

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**



KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP

**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**

Họ và tên sinh viên: NGUYỄN DUY LIÊM

Ngành: HỆ THỐNG THÔNG TIN ĐỊA LÝ

Niên khóa: 2007 – 2011

Tp. Hồ Chí Minh, Tháng 08/2011

**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**

Tác giả

NGUYỄN DUY LIÊM

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



NCS Th.S Đỗ Đức Dũng

Tp. Hồ Chí Minh, Tháng 08 năm 2011

LỜI CẢM ƠN

Trước tiên, tôi xin chân thành cảm ơn thầy NCS Th.S Đỗ Đức Dũng, cán bộ công tác tại Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam, người đã hướng dẫn tôi hoàn thành báo cáo tốt nghiệp. Cảm ơn thầy đã tận tình chỉ bảo, hỗ trợ và động viên tôi trong suốt thời gian qua.

Tôi cũng trân trọng cảm ơn Ban lãnh đạo Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam đã tạo điều kiện để tôi được thực tập tại quý cơ quan. Đặc biệt, tôi xin gửi lời cảm ơn đến các cán bộ công tác tại Phòng Quy hoạch Thủy lợi Đông Nam bộ và phụ cận đã trao đổi kiến thức, kinh nghiệm quý báu cũng như chia sẻ tài liệu, dữ liệu.

Tôi xin gửi lời tri ân sâu sắc đến thầy TS. Nguyễn Kim Lợi cùng tất cả quý thầy cô Trường Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh. Cảm ơn quý thầy cô về những kiến thức và giúp đỡ chân tình đã dành cho tôi trong bốn năm học tập tại trường.

Cuối cùng, con xin nói lời biết ơn sâu sắc đối với cha mẹ đã chăm sóc, nuôi dạy con thành người và luôn động viên tinh thần cho con để con yên tâm học tập.

Tp. Hồ Chí Minh, Tháng 07/2011

Nguyễn Duy Liêm

Trường Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh

Khoa Môi trường & Tài nguyên

Bộ môn Thông tin Địa lý Ứng dụng

TÓM TẮT

Khóa luận tốt nghiệp “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” đã được thực hiện trong khoảng thời gian từ ngày 07/03/2011 đến ngày 04/07/2011. Phương pháp tiếp cận của đề tài là tích hợp công nghệ viễn thám, GIS với mô hình toán bao gồm mô hình mưa – dòng chảy SWAT và mô hình cân bằng nước WEAP. Theo đó, công nghệ viễn thám, GIS có chức năng tính toán nhu cầu nước, phân vùng cân bằng nước làm cơ sở cho việc thiết lập mô hình WEAP; mô hình SWAT được sử dụng để mô phỏng dòng chảy trong hệ thống sông làm đầu vào cho mô hình WEAP; phần tính toán cân bằng nước lưu vực sông được mô phỏng bằng mô hình WEAP.

Kết quả đạt được của khóa luận trước tiên là bản đồ thực phủ năm 2002 của lưu vực được giải đoán từ ảnh vệ tinh Landsat ETM+ thể hiện 6 loại hình thực phủ bao gồm lúa – màu, cây công nghiệp lâu năm, đất rừng, đất xây dựng, mặt nước và đất trống với độ chính xác tương đối so sánh với dữ liệu thực tế. Tiếp đến, nghiên cứu đã mô phỏng dòng chảy trên lưu vực thời kì 1979 – 2007 trong SWAT với kết quả thu được khá tốt khi đối chiếu với số liệu thực đo trong giai đoạn 1979 - 1994 tại 2 vị trí quan trắc là Phước Long và Phước Hòa trên dòng chính sông Bé, thể hiện qua hệ số xác định (R^2) và chỉ số Nash – Sutcliffe (NSI) đều lớn hơn 0,7. Bên cạnh đó, chức năng phân tích không gian trong GIS được vận dụng, đã cho ra kết quả tính toán nhu cầu nước cũng như phân vùng cân bằng nước trên lưu vực. Cuối cùng, nghiên cứu đã tính toán cân bằng nước năm 2002 và 2010 trong WEAP. Kết quả cho thấy thực trạng thiếu hụt nguồn nước trên lưu vực sông Bé đang có xu hướng gia tăng với mức độ trầm trọng hơn. Trong khi tiềm năng nước trên lưu vực không có sự thay đổi nhiều với lượng nước tính đến cửa sông khoảng 3,2 tỉ m^3 (2002) và 2,4 tỉ m^3 (2010) thì nhu cầu nước trên lưu vực lại có sự gia tăng nhanh chóng với lượng nhu cầu ước tính trong năm 2002 là 34,5 triệu m^3 đã tăng lên 61,5 triệu m^3 trong năm 2010. Chính vì vậy, đã dẫn đến tình trạng thiếu nước tại vị trí thượng lưu hồ Thác Mơ, Cần Đơn và Srock Phu Miêng trong các tháng kiệt của dòng chảy với tổng lượng thiếu hụt năm 2002 và 2010

tương ứng là 0,89 và 5,85 triệu m³. Thêm vào đó, cũng trong khoảng thời trên, lượng nước trên dòng chảy chính sông Bé tại các vị trí sau hồ Thác Mơ, Cần Đơn và Srock Phu Miêng suy giảm xuống dưới mức cho phép, khiến cho tình trạng thiếu nước càng nghiêm trọng, tạo lên tác động cộng hưởng mang tính tiêu cực không chỉ đến kinh tế, xã hội mà còn ảnh hưởng đến môi trường sinh thái của lưu vực.

Với thông tin tính toán cân bằng nước nói trên, có thể hỗ trợ hiệu quả cho việc quy hoạch, quản lý nguồn nước trên lưu vực theo hướng bền vững. Bên cạnh đó, cũng đã chứng minh cách tiếp cận tích hợp công nghệ viễn thám, GIS, mô hình SWAT và mô hình WEAP là phương pháp có tính hiệu quả cao, phù hợp với đặc điểm lưu vực sông Bé và mang lại nhiều triển vọng trong nghiên cứu đánh giá cân bằng nước lưu vực sông.

MỤC LỤC

TRANG TỰA.....	i
LỜI CẢM ƠN	ii
TÓM TẮT	iii
MỤC LỤC.....	v
DANH MỤC VIẾT TẮT	xi
DANH MỤC BẢNG BIỂU	xii
DANH MỤC HÌNH ẢNH	xiv
CHƯƠNG 1. MỞ ĐẦU	1
1.1. Tính cấp thiết của đề tài	1
1.2. Mục tiêu nghiên cứu	3
1.3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	3
1.3.1. Đối tượng nghiên cứu.....	3
1.3.2. Phạm vi nghiên cứu.....	3
1.4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài	3
1.4.1. Ý nghĩa khoa học	3
1.4.2. Ý nghĩa thực tiễn.....	3
1.5. Cấu trúc khóa luận tốt nghiệp.....	4
CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN VỀ CÂN BẰNG NƯỚC LƯU VỰC SÔNG	5
2.1. Lưu vực sông	5
2.2. Phương trình cân bằng nước.....	6
2.2.1. Phương trình cân bằng nước thông dụng	6
2.2.2. Phương trình cân bằng thủy lợi	7
2.3. Cấu trúc của cân bằng nước	8
2.4. Nội dung tính toán cân bằng nước.....	10
2.4.1. Đánh giá tiềm năng nước	10
2.4.1.1. Lưu lượng dòng chảy	11
2.4.1.2. Tổng lượng dòng chảy	11
2.4.1.3. Độ sâu dòng chảy.....	12

2.4.1.4. Mô đun dòng chảy.....	12
2.4.1.5. Hệ số dòng chảy.....	12
2.4.2. Xác định nhu cầu nước.....	12
2.4.2.1. Nhu cầu nước trong nông nghiệp.....	13
2.4.2.2. Nhu cầu nước trong chăn nuôi.....	14
2.4.2.3. Nhu cầu nước cho công nghiệp	14
2.4.2.4. Nhu cầu nước cho sinh hoạt	15
2.4.2.5. Nhu cầu nước cho nhà máy thủy điện.....	15
2.4.2.6. Nhu cầu nước môi trường.....	15
2.5. Mô hình tính toán cân bằng nước	16
2.6. Tình hình nghiên cứu tính toán cân bằng nước lưu vực sông.....	17
2.6.1. Nghiên cứu trên thế giới.....	17
2.6.2. Nghiên cứu tại Việt Nam.....	18
CHƯƠNG 3. CƠ SỞ LÝ THUYẾT.....	20
3.1. Viễn thám	20
3.1.1. Lịch sử của viễn thám	20
3.1.2. Định nghĩa viễn thám	20
3.1.3. Nguyên lý của bức xạ điện từ.....	21
3.1.4. Đặc điểm của dữ liệu ảnh viễn thám.....	24
3.1.4.1. Độ phân giải không gian	24
3.1.4.2. Độ phân giải phổ.....	25
3.1.4.3. Độ phân giải bức xạ	25
3.1.4.4. Độ phân giải thời gian.....	26
3.1.5. Giải đoán, phân tích dữ liệu viễn thám	26
3.1.5.1. Giải đoán và trích đặc ảnh	26
3.1.5.2. Tiền xử lý ảnh số.....	27
3.1.5.3. Tăng cường chất lượng ảnh và trích xuất đối tượng.....	27
3.1.5.4. Phân loại ảnh.....	27
3.2. Hệ thống thông tin địa lý (GIS).....	28
3.2.1. Lịch sử của GIS	28
3.2.2. Định nghĩa GIS	28

3.2.3. Thành phần của GIS.....	29
3.2.4. Dữ liệu địa lý trong GIS.....	31
3.2.4.1. Mô hình dữ liệu raster và vector.....	31
3.2.4.2. Mô hình dữ liệu thuộc tính.....	32
3.2.5. Chức năng của GIS.....	33
3.3. Mô hình SWAT.....	34
3.3.1. Lịch sử phát triển.....	34
3.3.2. Lý thuyết mô hình.....	35
3.3.2.1. Pha đất của chu trình thủy văn.....	37
3.3.2.2. Pha nước của chu trình thủy văn.....	39
3.3.3. Nguyên lý mô phỏng dòng chảy.....	39
3.3.3.1. Phương pháp đường cong số SCS.....	40
3.3.3.2. Phương trình Manning.....	42
3.4. Mô hình WEAP.....	43
3.4.1. Lịch sử phát triển.....	43
3.4.2. Lý thuyết mô hình.....	44
3.4.3. Cấu trúc của WEAP.....	45
3.4.3.1. Sơ đồ.....	45
3.4.3.2. Dữ liệu.....	46
3.4.3.3. Kết quả.....	46
3.4.3.4. Khám phá kịch bản.....	46
3.4.3.5. Ghi chú.....	46
CHƯƠNG 4. ĐẶC ĐIỂM LƯU VỰC SÔNG BÉ.....	49
4.1. Đặc điểm tự nhiên.....	49
4.1.1. Vị trí địa lý.....	49
4.1.2. Địa hình.....	50
4.1.3. Khí hậu.....	51
4.1.3.1. Nhiệt độ.....	52
4.1.3.2. Lượng mưa.....	53
4.1.3.3. Độ ẩm không khí.....	54
4.1.3.4. Bốc hơi.....	54

4.1.3.5. Số giờ nắng	55
4.1.3.6. Gió.....	55
4.1.4. Thủy văn.....	56
4.1.5. Địa chất thủy văn	58
4.1.6. Thổ nhưỡng.....	59
4.1.7. Thảm thực vật	61
4.2. Đặc điểm kinh tế - xã hội	62
4.2.1. Dân cư, xã hội.....	62
4.2.2. Hiện trạng phát triển kinh tế.....	62
4.3. Hiện trạng nguồn nước.....	63
4.3.1. Hệ thống công trình thủy lợi.....	63
4.3.2. Tiềm năng và nhu cầu sử dụng nước	64
CHƯƠNG 5. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	66
5.1. Lược đồ phương pháp	66
5.2. Thành lập bản đồ thực phủ từ ảnh vệ tinh.....	67
5.2.1. Thu thập dữ liệu.....	68
5.2.1.1. Ảnh vệ tinh	68
5.2.1.2. Dữ liệu bản đồ.....	69
5.2.2. Ghép ảnh, cắt ảnh.....	69
5.2.3. Tăng cường chất lượng ảnh.....	69
5.2.4. Phát triển lược đồ phân loại thực phủ	70
5.2.5. Giải đoán ảnh.....	72
5.2.6. Phân loại thực phủ.....	73
5.2.7. Đánh giá độ chính xác của kết quả phân loại	74
5.3. Mô phỏng lưu lượng dòng chảy trên lưu vực bằng mô hình SWAT	76
5.3.1. Thu thập, xử lý dữ liệu.....	76
5.3.1.1. Dữ liệu địa hình	77
5.3.1.2. Dữ liệu sử dụng đất	78
5.3.1.3. Dữ liệu thổ nhưỡng	80
5.3.1.4. Dữ liệu thời tiết.....	82
5.3.1.5. Dữ liệu lưu lượng dòng chảy thực đo	83

5.3.2. Tiến trình thực hiện trong SWAT	84
5.3.2.1. Phân định lưu vực	84
5.3.2.2. Phân tích đơn vị thủy văn	84
5.3.2.3. Ghi chép dữ liệu đầu vào	86
5.3.2.4. Chạy mô hình	87
5.3.2.5. Đánh giá mô hình	87
5.4. Phân vùng cân bằng nước trên lưu vực trong GIS	88
5.4.1. Phạm vi nút cân bằng	88
5.4.2. Các loại hình sử dụng đất trong từng nút cân bằng	89
5.4.3. Nhu cầu nước từng nút cân bằng	90
5.4.3.1. Nhu cầu tưới trong nông nghiệp	91
5.4.3.2. Nhu cầu nước trong chăn nuôi	91
5.4.3.3. Nhu cầu nước cho công nghiệp	91
5.4.3.4. Nhu cầu nước cho sinh hoạt	91
5.4.3.5. Nhu cầu nước môi trường	91
5.4.4. Dòng chảy tại các nút cân bằng	92
5.5. Tính toán cân bằng nước trên lưu vực trong mô hình WEAP	92
5.5.1. Xác định vùng nghiên cứu	93
5.5.2. Phác họa hệ thống nguồn nước	93
5.5.3. Khai báo thông tin	95
5.5.4. Chạy mô hình	96
CHƯƠNG 6. KẾT QUẢ, THẢO LUẬN	98
6.1. Kết quả phân loại thực phủ	98
6.1.1. Bản đồ phân loại thực phủ	98
6.1.2. Đánh giá độ chính xác	100
6.2. Kết quả mô phỏng dòng chảy lưu vực	102
6.2.1. Đánh giá mô hình	102
6.2.2. Diễn biến lưu lượng dòng chảy	107
6.3. Kết quả phân vùng cân bằng nước	109
6.3.1. Nhu cầu nước	109
6.3.1.1. Nhu cầu nước toàn lưu vực	109

6.3.1.2. Nhu cầu nước từng vùng	109
6.3.2. Nhu cầu nước môi trường	109
6.3.3. Lưu lượng dòng chảy	111
6.4. Kết quả tính toán cân bằng nước	112
6.4.1. Kịch bản cân bằng nước năm 2002.....	112
6.4.2. Kịch bản cân bằng nước năm 2010.....	113
6.4.3. Đánh giá kết quả tính toán cân bằng nước	116
CHƯƠNG 7. KẾT LUẬN, ĐỀ XUẤT.....	118
7.1. Kết luận	118
7.2. Đề xuất	119
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	120

DANH MỤC VIẾT TẮT

DEM	Digital Elevation Model (Mô hình độ cao số)
DPGKG	Độ phân giải không gian
FAO	Food and Agriculture Organization (Tổ chức Nông Lương Liên Hiệp Quốc)
GIS	Geographic Information System (Hệ thống thông tin địa lý)
HRU(s)	Hydrologic Response Units (Đơn vị thủy văn)
MLC	Maximum Likelihood Classifier (Phương pháp phân loại gần đúng nhất)
SEI	Stockholm Environment Institute (Viện Môi trường Stockholm)
SWAT	Soil and Water Assessment Tool (Mô hình đánh giá đất và nước)
VQHTLMN	Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam
WEAP	Water Evaluation And Planning System (Mô hình đánh giá - quy hoạch tài nguyên nước)

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 4.1. Độ ẩm trung bình tháng tại một số địa điểm (%)	54
Bảng 4.2. Lượng bốc hơi trung bình tháng trên ống Piche tại một số địa điểm (mm) .	55
Bảng 4.3. Tổng số giờ nắng trung bình tháng tại một số vị trí	55
Bảng 4.4. Tốc độ gió trung bình tháng tại một số địa điểm (m/s)	56
Bảng 4.5. Dân số phân theo đơn vị hành chính trên lưu vực sông Bé (năm 2009)	62
Bảng 4.6. Thông số kỹ thuật chính của các bậc thang trên sông Bé	64
Bảng 5.1. Các thông số ảnh Landsat	69
Bảng 5.2. Lược đồ phân loại thực phủ được sử dụng trong nghiên cứu	71
Bảng 5.3. Khóa giải đoán ảnh	72
Bảng 5.4. Ma trận sai số phân loại	75
Bảng 5.5. Các loại hình sử dụng đất năm 1993 trong lưu vực sông Bé	79
Bảng 5.6. Các loại đất trong lưu vực sông Bé	81
Bảng 5.7. Đặc trưng địa lý của các trạm quan trắc khí tượng	82
Bảng 5.8. Mạng lưới trạm quan trắc thủy văn trên lưu vực sông Bé	83
Bảng 5.9. Thống kê loại hình sử dụng đất năm 2010 trong các nút cân bằng (ha).....	90
Bảng 5.10. Tiêu chuẩn cấp nước sinh hoạt đô thị (lít/người/ngày).....	92
Bảng 6.1. Thống kê diện tích các lớp thực phủ năm 2002	98
Bảng 6.2. Ma trận sai số của bản đồ phân loại thực phủ năm 2002.....	101
Bảng 6.3. Thống kê so sánh lưu lượng dòng chảy tháng tại Phước Long, Phước Hòa (thời kì 1979 – 1994)	103
Bảng 6.4. Nhu cầu nước trong năm 2002 và 2010 trên lưu vực sông Bé.....	109
Bảng 6.5. Nhu cầu nước năm 2002 và 2010 tại các nút cân bằng trên lưu vực sông Bé (nghìn m ³).....	110

Bảng 6.6. Lưu lượng dòng chảy trong năm 2002 và 2007 đổ vào dòng chảy chính sông Bé tại các nút cân bằng (m ³ /s).....	111
Bảng 6.7. Lượng nước thiếu hụt trong năm 2002 tại các nút cân bằng	113
Bảng 6.8. Lượng nước thiếu hụt trong năm 2010 tại các nút cân bằng	114

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 2.1. Đường phân thủy của lưu vực.....	5
Hình 2.2. Lưu vực sông và các thành phần của cân bằng nước.....	7
Hình 2.3. Các thành phần trong tính toán cân bằng nước (Lê Anh Tuấn, 2007).....	10
Hình 3.1. Trường điện từ trong không gian (phỏng theo Canada Centre for Remote Sensing, 2007)	21
Hình 3.2. Tần số và bước sóng phổ điện từ (phỏng theo Canada Centre for Remote Sensing, 2007)	22
Hình 3.3. Sự truyền tải sóng điện từ trong bầu khí quyển (phỏng theo Canada Centre for Remote Sensing, 2007).....	23
Hình 3.4. Đường cong phản xạ phổ của thực vật, nước và đất (Qihao, W., 2010).....	24
Hình 3.5. Sáu thành phần cơ bản của GIS (phỏng theo Shahab Fazal, 2008).....	30
Hình 3.6. Định dạng vector (trái), raster (phải)	32
Hình 3.7. Liên kết dữ liệu không gian và thuộc tính.....	33
Hình 3.8. Hệ quản trị cơ sở dữ liệu quan hệ	33
Hình 3.9. Sơ đồ lịch sử phát triển của SWAT (phỏng theo Philip W. Gassman <i>et al.</i> , 2009)	35
Hình 3.10. Sơ đồ chu trình thủy văn trong pha đất (phỏng theo Susan L. neitsch <i>et al.</i> , 2009)	37
Hình 3.11. Các quá trình trong dòng chảy được mô phỏng bởi SWAT (phỏng theo Susan L. neitsch <i>et al.</i> , 2009)	37
Hình 3.12. Vòng lặp HRU/tiểu lưu vực (phỏng theo Susan L. neitsch <i>et al.</i> , 2009)	39
Hình 3.13. Dòng chảy mặt	40
Hình 3.14. Mối liên hệ giữa dòng chảy với mưa trong phương pháp đường cong số SCS (S.L. Neitsch <i>et al.</i> , 2005)	41
Hình 3.15. Dòng chảy dạng hình thang	42
Hình 3.16. Khung nhìn sơ đồ trong WEAP	46

Hình 3.17. Khung nhìn dữ liệu trong WEAP.....	47
Hình 3.18. Khung nhìn kết quả trong WEAP	47
Hình 3.19. Khung nhìn khám phá kịch bản trong WEAP	48
Hình 3.20. Khung nhìn ghi chú trong WEAP	48
Hình 4.1. Vị trí địa lý lưu vực sông Bé.....	49
Hình 4.2. Bản đồ địa hình lưu vực sông Bé.....	51
Hình 4.3. Bản đồ nhiệt độ trung bình năm lưu vực sông Bé	52
Hình 4.4. Bản đồ lượng mưa trung bình năm lưu vực sông Bé	53
Hình 4.5. Bản đồ thủy văn lưu vực sông Bé	57
Hình 4.6. Bản đồ mô đun dòng chảy ngầm lưu vực sông Bé	59
Hình 4.7. Bản đồ đất lưu vực sông Bé.....	60
Hình 5.1. Sơ đồ phương pháp nghiên cứu	67
Hình 5.2. Lược đồ thành lập bản đồ thực phủ.....	68
Hình 5.3. Kết quả cắt ảnh lưu vực sông Bé năm 2002	70
Hình 5.4. Mô tả sự phân loại theo phương pháp MLC (Trần Thống Nhất và Nguyễn Kim Lợi, 2009)	74
Hình 5.5. Lược đồ mô phỏng lưu lượng dòng chảy	76
Hình 5.6. Bản đồ địa hình lưu vực sông Bé (dưới dạng đường đồng mức)	77
Hình 5.7. Bản đồ DEM lưu vực sông Bé.....	78
Hình 5.8. Bản đồ sử dụng đất lưu vực sông Bé năm 1993	80
Hình 5.9. Bản đồ đất lưu vực sông Bé.....	81
Hình 5.10. Vị trí các trạm khí tượng, thủy văn được sử dụng trong nghiên cứu.....	83
Hình 5.11. Kết quả phân định lưu vực sông Bé	85
Hình 5.12. Kết quả tạo đơn vị thủy văn lưu vực sông Bé	86
Hình 5.13. Lược đồ phân vùng cân bằng nước	88
Hình 5.14. Các nút cân bằng nước trên lưu vực sông Bé	89

Hình 5.15. Lược đồ tính toán cân bằng nước.....	93
Hình 5.16. Sơ đồ hệ thống nguồn nước lưu vực sông Bé trong WEAP.....	94
Hình 6.1. Bản đồ bản đồ thực phủ lưu vực sông Bé năm 2002	99
Hình 6.2. Vị trí các điểm lấy mẫu trên bản đồ sử dụng đất lưu vực sông Bé năm 2000 (kí hiệu bằng chấm tròn).....	100
Hình 6.3. Vị trí hai tiểu lưu vực Phước Long và Phước Hòa	102
Hình 6.4. Phân bố lưu lượng dòng chảy thực đo và mô phỏng tại Phước Long	103
Hình 6.5. Phân bố lưu lượng dòng chảy thực đo và mô phỏng tại Phước Hòa	104
Hình 6.6. Giá trị lưu lượng dòng chảy mô phỏng và thực đo tại Phước Long	105
Hình 6.7. Giá trị lưu lượng dòng chảy mô phỏng và thực đo tại Phước Hòa.....	106
Hình 6.8. Lưu lượng dòng chảy trung bình thời kì 1979 – 1994 tại Phước Long, Phước Hòa.....	107
Hình 6.9. Diễn biến lượng mưa và giá trị lưu lượng dòng chảy mô phỏng tại Phước Long và Phước Hòa	108
Hình 6.10. Diễn biến lưu lượng dòng chảy năm 2002 và 2007 tại các nút cân bằng .	112
Hình 6.11. Diễn biến lượng nước thiếu hụt trong năm 2002 và 2010.....	115

CHƯƠNG 1

MỞ ĐẦU

1.1. Tính cấp thiết của đề tài

Sông Bé là một phụ lưu lớn của hệ thống sông Đồng Nai, với diện tích lưu vực 7.650 km², nằm trên địa bàn các tỉnh Đắc Nông, Bình Phước, Bình Dương, Đồng Nai và một phần nhỏ ở thượng lưu thuộc Campuchia. Lưu vực sông Bé có nguồn nước dồi dào, với lưu lượng dòng chảy trung bình hàng năm trên lưu vực là 251,4 m³/s và tổng lượng nước mặt hàng năm trên lưu vực nhận được khoảng 7.929,45 triệu m³. Tuy nhiên, trên lưu vực vẫn xảy ra tình trạng thiếu nước cục bộ. 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. Bên cạnh đó, sự phân bố nguồn nước không đều theo thời gian và không gian cùng với yêu cầu dòng chảy môi trường, dẫn đến sự thiếu hụt nước ngày càng nghiêm trọng hơn. Chính vì vậy, vấn đề quản lý nguồn nước lưu vực, trong đó có tính toán cân bằng nước trên lưu vực sông Bé là một trong những nội dung cấp thiết và có ý nghĩa thực tiễn cao cho sự phát triển tổng hợp của lưu vực.

Trong những năm gần đây, viễn thám được đánh giá là một công cụ mạnh mẽ trong quản lý tài nguyên thiên nhiên với khả năng cung cấp dữ liệu trên phạm vi không gian rộng lớn, trong khoảng thời gian lặp lại theo chu kỳ. Kết hợp với Hệ thống thông tin địa lý (GIS), viễn thám trở thành một công nghệ mạnh mẽ và được ứng dụng ngày càng rộng rãi trong lĩnh vực quản lý tài nguyên thiên nhiên (R. K. Singh and V. Hari Prasad, 2003). Một trong số những khả năng của viễn thám và GIS là cung cấp thông tin về thực phủ, tình hình sử dụng đất, đặc trưng vật lý của vùng/lưu vực sông theo không gian và thời gian, có thể phục vụ cho việc đánh giá tiềm năng, nhu cầu nước, hỗ trợ cho việc tính toán cân bằng nước trên lưu vực sông.

Nội dung tính toán cân bằng nước lưu vực sông thường liên quan đến nhiều vấn đề, nhiều đối tượng và các đối tượng này không đơn nhất nên thường tạo ra một hệ thống rất phức tạp. Để giải quyết vấn đề có tính hệ thống phức tạp như vậy, cần phải có sự hỗ trợ của các công cụ máy tính, công cụ mô hình toán. Hiện nay, có khá nhiều mô hình toán liên quan đến cân bằng nước lưu vực sông đang được dùng nhiều trên thế giới và trong nước bao gồm các mô hình mưa - dòng chảy như mô hình TANK, NAM, SSARR, RRMOD, SWAT,... các mô hình cân bằng nước lưu vực sông như mô hình MITSIM, MIKE BASIN, RIVERBASIM, WEAP,... Trong số các mô hình này, mô hình đánh giá đất và nước (SWAT) và mô hình đánh giá - quy hoạch tài nguyên nước (WEAP) là hai trong số những mô hình đang được sử dụng, giảng dạy tại một số trường đại học và các viện nghiên cứu, quy hoạch ở Việt Nam. Mô hình SWAT là mô hình mô phỏng tài nguyên nước lưu vực sông. Một trong những mô đun chính yếu của mô hình này là mô phỏng dòng chảy từ mưa và các đặc trưng vật lý trên lưu vực. Kết quả mô phỏng dòng chảy từ mô hình này có thể trợ giúp trong đánh giá cân bằng nước lưu vực sông. Bên cạnh đó, mô hình tích hợp được các dữ liệu GIS, nhờ đó giúp nâng cao độ chính xác của kết quả mô phỏng. Mô hình WEAP được phát triển bởi Viện Môi trường Stockholm (SEI) là một công cụ hỗ trợ cho việc quy hoạch, quản lý nguồn nước. Mô hình này tính toán cân bằng nước ngầm và nước mặt ứng với nhu cầu ở thời điểm hiện tại cũng như trong tương lai ở cấp độ lưu vực, hoặc tiểu lưu vực (Droubi, A *et al.*, 2008). Công cụ hữu ích này dễ sử dụng, miễn phí, có giao diện thân thiện với sự hỗ trợ của GIS và chỉ yêu cầu cấu hình máy tính vừa phải nên có thể ứng dụng để thiết lập và kiểm tra sự tương xứng giữa nhu cầu về nước trong một khu vực, một vùng nào đó với tiềm năng nước lưu vực theo cách tối ưu nhất (Hoff, H *et al.*, 2007). Bên cạnh đó, nó còn hỗ trợ các nhà quản lý định lượng các phương án thay đổi cơ cấu dùng nước, phương án bổ sung nguồn nước, khai thác tổng hợp tài nguyên nước và lựa chọn đưa ra các giải pháp sử dụng hợp lý tài nguyên nước.

Xuất phát từ các lý do trên, đề tài “**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**” vừa mang tính cần thiết, vừa mang tính khoa học và thực tiễn đã được đề xuất thực hiện. Công nghệ viễn thám, GIS và mô hình toán được chọn vì đây là những công nghệ có thể

giúp việc tính toán cân bằng nước chính xác và nhanh chóng trên phạm vi lưu vực rộng lớn, trong khoảng thời gian dài.

1.2. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu chung của nghiên cứu là ứng dụng công nghệ viễn thám, GIS và mô hình toán (SWAT, WEAP) tính toán cân bằng nước lưu vực sông Bé. Qua đó, đề xuất cơ sở khoa học hỗ trợ cho việc quản lý hiệu quả tài nguyên nước trên lưu vực. Chi tiết các mục tiêu cụ thể được đặt ra như sau:

- Xác định nhu cầu nước trên lưu vực sông Bé,
- Đánh giá tiềm năng nước lưu vực sông Bé,
- Phân vùng, tính toán cân bằng nước lưu vực sông Bé,
- Đề xuất giải pháp khắc phục tình trạng thiếu hụt nước trên lưu vực sông Bé.

1.3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

1.3.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của đề tài là tài nguyên nước lưu vực sông Bé, các phương thức khai thác, sử dụng, quản lý và bảo vệ tài nguyên nước.

1.3.2. Phạm vi nghiên cứu

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

1.4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

1.4.1. Ý nghĩa khoa học

Nghiên cứu đã chứng minh cách tiếp cận kết hợp công nghệ viễn thám, GIS với các công cụ mô hình toán (SWAT, WEAP) trong tính toán cân bằng nước lưu vực sông Bé là phương pháp có độ tin cậy cao, phản ánh chính xác, nhanh chóng mối liên hệ giữa nhu cầu nước và tài nguyên nước của lưu vực.

1.4.2. Ý nghĩa thực tiễn

Kết quả của nghiên cứu phản ánh hiện trạng cân bằng nước của lưu vực nên có thể được sử dụng như tài liệu tham khảo hữu ích trong quá trình quy hoạch, quản lý tài

nguyên nước lưu vực sông với mục đích đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội, bảo vệ môi trường theo hướng bền vững.

1.5. Cấu trúc khóa luận tốt nghiệp

Nội dung của khóa luận được trình bày trong 7 chương. Chương 1 giới thiệu những vấn đề cơ bản của nghiên cứu (tính cấp thiết, mục tiêu, đối tượng, phạm vi, ý nghĩa của nghiên cứu). Chương 2 cung cấp cái nhìn bao quát về bài toán cân bằng nước. Những công nghệ, mô hình toán được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm công nghệ viễn thám, GIS, mô hình SWAT, mô hình WEAP được khái quát ở chương 3. Tổng quan về đặc điểm tự nhiên, kinh tế, xã hội cũng như thực trạng nguồn nước trên lưu vực sông Bé được thể hiện trong chương 4. Phương pháp tiếp cận của nghiên cứu được mô tả chi tiết ở chương 5. Kết quả phân loại ảnh viễn thám, mô phỏng dòng chảy trong SWAT, phân vùng cân bằng nước trong GIS và tính toán cân bằng nước trong WEAP được trình bày ở chương 6. Chương 7 tóm tắt những kết quả nghiên cứu đã đạt được và đề xuất hướng phát triển tiếp theo.

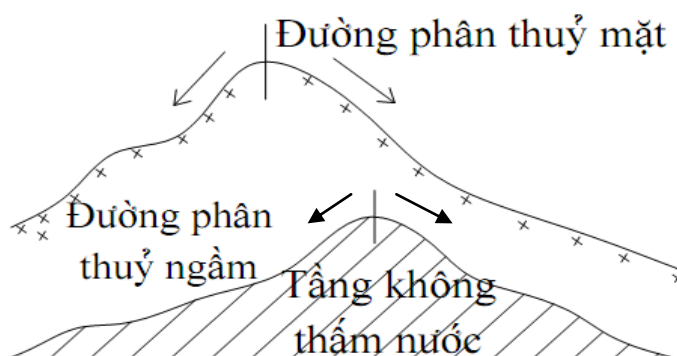
CHƯƠNG 2

TỔNG QUAN VỀ CÂN BẰNG NƯỚC LƯU VỰC SÔNG

2.1. Lưu vực sông

Lưu vực sông có thể được định nghĩa là khu vực địa lý được phân chia bởi địa hình mà trên đó, nguồn nước mặt và nước ngầm cùng chảy về một điểm chung (S.K. Jain and V.P. Singh, 2003). Lưu vực sông được giới hạn bởi đường phân thủy của lưu vực. Có 2 loại đường phân thủy (Nguyễn Quang Đoàn, 2004): đường phân thủy mặt và đường phân thủy ngầm (Hình 2.1):

- Đường phân thủy mặt là đường liên tục nối các điểm cao nhất xung quanh lưu vực. Nước mưa rơi xuống hai phía của đường phân thủy này sẽ chảy vào hai lưu vực sông khác nhau.
- Đường phân thủy ngầm là đường nối các điểm cao nhất của tầng không thấm nước trên cùng xung quanh lưu vực. Khi nước ngầm chảy xuống hai bên của đường phân thủy này thì nước sẽ chảy vào hai lưu vực sông khác nhau.



Hình 2.1. Đường phân thủy của lưu vực

Thông thường, đường phân thủy nước mặt và nước ngầm không trùng nhau, thêm vào đó việc xác định đường phân thủy nước ngầm rất khó khăn và tốn kém. Do vậy, trên

thực tế, người ta thường lấy đường phân thủy nước mặt làm đường phân thủy chung của lưu vực. Dưới góc nhìn quản lý và phát triển nguồn nước, lưu vực sông là đơn vị quản lý có ý nghĩa quan trọng. Bởi vì nước vận động theo lưu vực sông, không theo địa giới hành chính. Mọi hoạt động khai thác, sử dụng tài nguyên nước cũng như các tác động của nó đều diễn ra trên quy mô lưu vực. Tiềm năng nước ở một vị trí cho trước phụ thuộc vào đặc điểm lưu vực thượng nguồn của nó. Phần lớn nhu cầu tiêu hao nước (như tưới tiêu) và không tiêu hao nước (như vận hành thủy điện, lưu thông) được đặt trên lưu vực. Bên cạnh đó, lưu vực cũng nhận trở lại phần lớn dòng chảy hồi quy từ tưới tiêu và nước thải. Vì vậy, về mặt khoa học cũng như thực tiễn, cần phải quản lý tài nguyên nước theo lưu vực sông, trong đó có tính toán cân bằng nước phải trên đơn vị cơ sở là lưu vực sông (S.K. Jain and V.P. Singh, 2003).

2.2. Phương trình cân bằng nước

2.2.1. Phương trình cân bằng nước thông dụng

Thuật ngữ cân bằng nước đã xuất hiện từ đầu thế kỉ XX. Lúc đó, cân bằng nước dùng để chỉ khái niệm cân bằng các yếu tố thủy văn trong cơ cấu tạo thành dòng chảy theo phương trình được gọi là phương trình cân bằng nước. Phương trình này xuất phát từ định luật bảo toàn vật chất, đối với một lưu vực có thể phát biểu như sau: “Hiệu số của lượng nước đến và lượng nước đi khỏi một lưu vực trong một thời đoạn tính toán nhất định bằng sự thay đổi trữ lượng nước chứa trong lưu vực đó” (Lê Anh Tuấn, 2007).

Trong một lưu vực bất kỳ, giả thiết có một mặt trụ thẳng đứng bao quanh lưu vực đó tới tầng không thấm nước như Hình 2.2. Chọn thời đoạn Δt bất kỳ. Dựa vào nguyên lý cân bằng nước, ta có biểu thức sau:

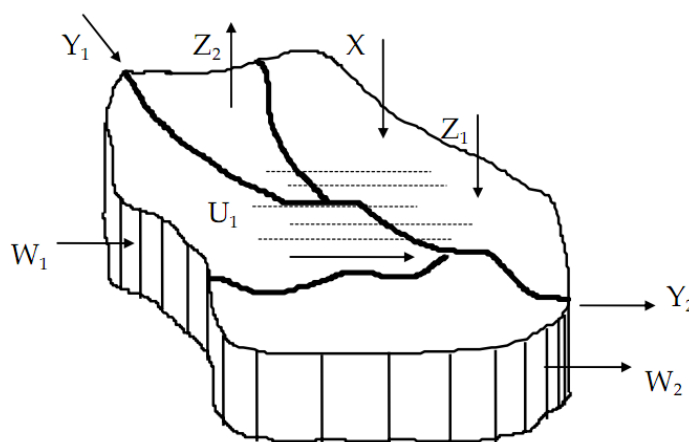
$$(X + Z_1 + Y_1 + W_1) - (Z_2 + Y_2 + W_2) = |U_2 - U_1| = \pm \Delta U \quad (2.1)$$

Trong đó,

- X: lượng mưa bình quân rơi trên lưu vực,
- Z_1 : lượng nước ngưng tụ trên mặt lưu vực,
- Y_1 : lượng dòng chảy mặt đến,

- W_1 : lượng dòng chảy ngầm đến,
- Z_2 : lượng nước bốc hơi bình quân khối lưu vực,
- Y_2 : lượng dòng chảy mặt đi,
- W_2 : lượng dòng chảy ngầm đi,
- U_1 : lượng nước trữ trong lưu vực ở thời đoạn đầu của Δt ,
- U_2 : lượng nước trữ trong lưu vực ở thời đoạn cuối của Δt ,
- ΔU : mang dấu dương khi $U_2 > U_1$ và ngược lại.

Phương trình trên là phương trình tổng quát nói lên tính chất vật lý của dòng chảy.



Hình 2.2. Lưu vực sông và các thành phần của cân bằng nước

2.2.2. Phương trình cân bằng thủy lợi

Từ giữa thế kỉ XX, nhu cầu nước tăng nhanh. Ở nhiều lưu vực, nguồn nước đã bị khai thác quá mức trong khi nhu cầu nước vẫn gia tăng. Hậu quả dẫn đến là khả năng thỏa mãn các nhu cầu nước khác nhau ngày một suy giảm, kéo theo nảy sinh sự mâu thuẫn giữa các nhu cầu nước, giữa nhu cầu nước thượng nguồn và hạ nguồn (S.K. Jain and V.P. Singh, 2003). Do đó, yêu cầu cân bằng giữa nguồn nước và nhu cầu nước được đặt ra và cách cân bằng này được gọi là cân bằng thủy lợi.

Cân bằng thủy lợi thực hiện cân bằng giữa nguồn nước và nhu cầu sử dụng nước trong một lưu vực, một đoạn sông hoặc giữa hai lưu vực lân cận mà không xét đến nguyên nhân hình thành và các yếu tố tác động đến sự hình thành dòng chảy. Phương trình cân bằng thủy lợi có dạng sau đây (VQHTLMN, 2006):

$$D = Q + R_e - E - \Delta V \pm \Delta S \quad (2.2)$$

Trong đó,

- D: dòng chảy xuống hạ lưu đoạn sông trong thời đoạn tính toán,
- Q: dòng chảy đổ vào đoạn sông trong thời đoạn tính toán,
- R_e : lượng nước chảy từ các hồ chứa nước vào đoạn sông đó trong thời đoạn tính toán,
- E: lượng nước lấy từ đoạn sông cung cấp cho các hồ chứa nước trong hoặc ngoài lưu vực,
- ΔV : lượng nước mất do bốc hơi, thấm... trong thời đoạn tính toán,
- ΔS : biến đổi trữ lượng nước lòng sông hoặc hồ chứa để điều hòa dòng chảy trong thời đoạn tính toán.

Để thuận tiện, trong nghiên cứu này, thuật ngữ cân bằng nước được hiểu với nghĩa là cân bằng thủy lợi.

2.3. Cấu trúc của cân bằng nước

Nước là tài nguyên đặc biệt quan trọng, là thành phần thiết yếu của sự sống và môi trường, quyết định sự tồn tại, phát triển bền vững của đất nước. Trong quá trình phát triển, bằng các biện pháp thủy lợi, con người đã làm thay đổi trạng thái tự nhiên của nguồn nước nhằm thỏa mãn các nhu cầu về nước ngày càng tăng của xã hội loài người. Các biện pháp thủy lợi rất đa dạng, bao gồm các hệ thống công trình thủy lợi như: hồ chứa, đập dâng nước, hệ thống đê, hệ thống các trạm bơm và cống tưới tiêu, cống ngăn mặn...

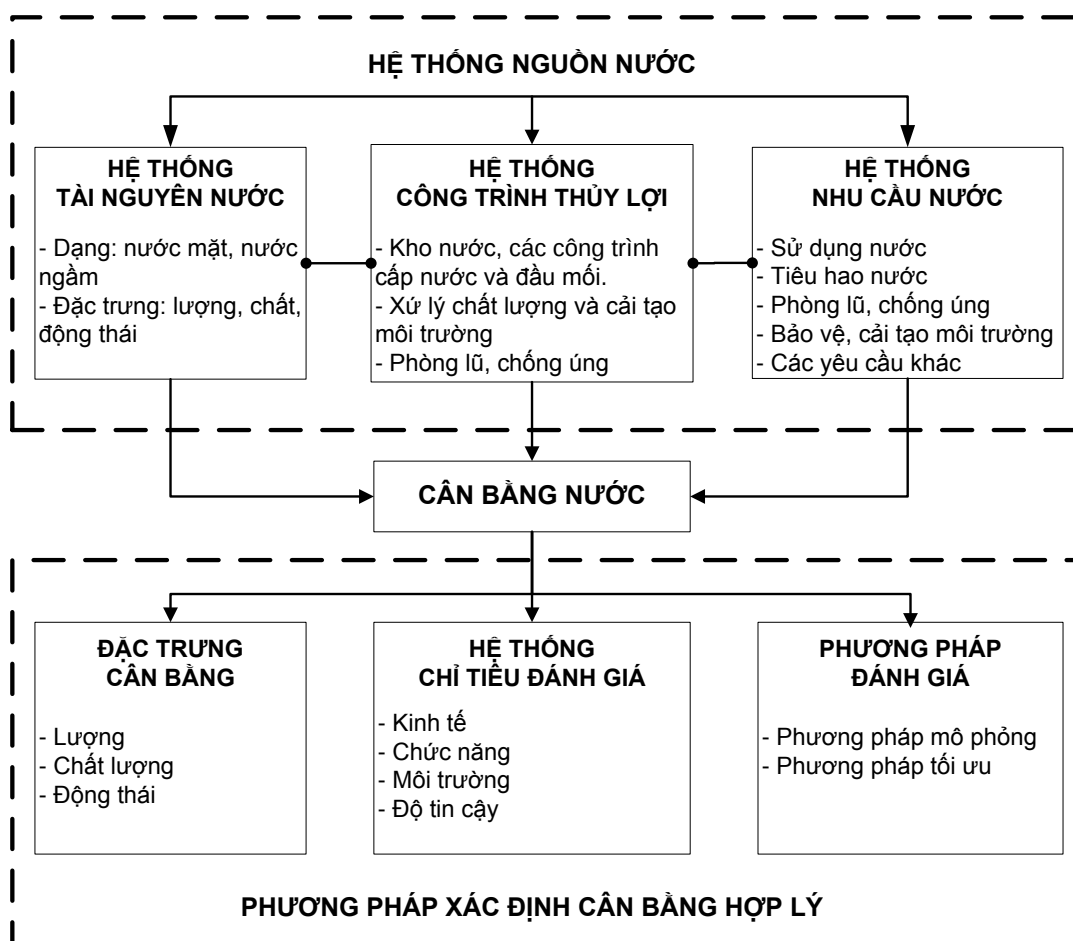
Những công trình thủy lợi được xây dựng đã làm thay đổi đáng kể những đặc điểm tự nhiên của hệ thống nguồn nước. Mức độ khai thác nguồn nước càng lớn thì sự thay đổi thuộc tính tài nguyên nước càng lớn và sau đó đến lượt mình, tài nguyên nước lại ảnh hưởng đến quá trình khai thác sử dụng nước của con người. Chính vì vậy, khi đánh giá cân bằng nước, cần xem xét trong một hệ thống nguồn nước (xem Hình 2.3), đó là “một tập hợp các thành phần của nguồn nước được liên kết với nhau bởi các mối liên hệ bên trong để hướng đến một mục đích chung, bao gồm tài nguyên nước, các biện pháp khai thác và bảo vệ nguồn nước, các nhu cầu về nước cùng với mối quan hệ tương tác giữa chúng và sự tác động của môi trường lên nó” (S.K. Jain and V.P. Singh, 2003; Hà Văn Khôi, 2005).

Quá trình đánh giá cân bằng nước cần quan tâm đến 3 yếu tố (Hà Văn Khôi, 2005):

- Đặc trưng cân bằng (lượng, chất lượng, động thái của nước): đánh giá cân bằng nước so sánh các nhu cầu nước với tiềm năng nước. Vì nhu cầu nước và tiềm năng nước có sự thay đổi theo không gian, thời gian nên việc tính toán cân bằng nước cần xem xét đến cả ba đặc trưng của nguồn nước là lượng, chất lượng, động thái của nước. Lượng nước là tổng lượng nước sinh ra trong một khoảng thời gian một năm hoặc một thời kì nào đó trong năm; nó biểu thị mức độ phong phú của tài nguyên nước trên một vùng lãnh thổ. Chất lượng nước bao gồm các đặc trưng về hàm lượng của các chất hòa tan và không hòa tan trong nước (có lợi hoặc có hại theo tiêu chuẩn sử dụng của đối tượng sử dụng nước). Động thái của nước là sự thay đổi các đặc trưng dòng chảy theo thời gian, sự trao đổi nước giữa các khu vực chứa nước, sự vận chuyển và quy luật chuyển động của nước trong sông, sự chuyển động của nước ngầm, các quá trình trao đổi chất hòa tan, truyền mặn...

- Hệ thống chỉ tiêu đánh giá (kinh tế, chức năng, môi trường, độ tin cậy): tính toán cân bằng nước trong hệ thống lưu vực nghĩa là đánh giá xem hệ thống có đạt được tính hiệu quả cao nhất của các biện pháp khai thác với chi phí thấp nhất; có đáp ứng tối đa các nhu cầu nước trong vùng nghiên cứu; có đảm bảo sự cân bằng phát triển bền vững của vùng hoặc lưu vực sông; có độ tin cậy cao, nghĩa là xác suất của sự sai khác giữa những thay đổi trong tương lai so với quy hoạch ban đầu là nhỏ nhất hay không.

- Phương pháp đánh giá (mô phỏng, tối ưu): mô hình hóa là công cụ quan trọng và không thể thiếu được trong quá trình đánh giá cân bằng nước. Mô hình hóa hệ thống bao gồm mô hình mô phỏng và mô hình tối ưu. Mô hình mô phỏng mô tả các quá trình vật lý và hoạt động của nguồn nước, với các dạng như: mô hình tính toán dòng chảy, mô hình tính toán nước ngầm, mô hình xác định nhu cầu về nước, mô hình tính toán điều tiết nước trong hệ thống hồ chứa, mô hình tính toán nhiễm mặn và truyền chất... Trong khi đó, mô hình tối ưu thiết lập lựa chọn tối ưu về cách thức phân phối, vận hành nguồn nước dựa trên một hàm mục tiêu. Đối với đánh giá cân bằng nước, việc sử dụng mô hình mô phỏng phù hợp hơn mô hình tối ưu.



Hình 2.3. Các thành phần trong tính toán cân bằng nước (Lê Anh Tuấn, 2007)

2.4. Nội dung tính toán cân bằng nước

2.4.1. Đánh giá tiềm năng nước

Xác định khả năng cung cấp của nguồn nước là một yêu cầu quan trọng trong tính toán cân bằng nước. Việc điều tra, thu thập số liệu thủy văn càng dài, chi tiết và đầy đủ sẽ

giúp cho việc tính toán càng chính xác. Để chỉ khả năng cung cấp nước hay tiềm năng nước của một lưu vực sông, trong thủy văn người ta dùng thuật ngữ “Dòng chảy”. Đó là lượng nước của một lưu vực chảy qua mặt cắt cửa ra sau một khoảng thời gian nhất định cùng với sự thay đổi của nó trong khoảng thời gian đó (Hà Văn Khôi và Đoàn Trung Lưu, 1993). Nếu thời gian tính toán là một năm ta có dòng chảy năm, bao gồm lượng dòng chảy năm và sự biến đổi lượng dòng chảy theo thời gian trong năm. Sự thay đổi dòng chảy trong thời gian một năm thường gọi là phân phối dòng chảy trong năm.

Lượng dòng chảy của một lưu vực sông được đánh giá qua các đặc trưng biểu thị dòng chảy như sau:

2.4.1.1. Lưu lượng dòng chảy

Lưu lượng dòng chảy là lượng nước chảy qua mặt cắt cửa ra trong một đơn vị thời gian (m^3/s). Lưu lượng trên sông thay đổi theo thời gian. Đồ thị biểu diễn sự thay đổi đó gọi là đường quá trình lưu lượng $Q(t)$. Lưu lượng bình quân trong khoảng thời gian T là giá trị trung bình của lưu lượng nước trong khoảng thời gian đó, được xác định theo công thức dưới đây.

$$\bar{Q} = \frac{1}{T} \int_0^T Q(t)dt \quad (2.3) \quad \text{hoặc} \quad \bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \quad (2.4)$$

Trong đó, $\bar{Q}$ là giá trị bình quân của lưu lượng, n là số thời đoạn tính toán, Q_i là lưu lượng bình quân tại mỗi thời đoạn thứ i bất kì.

2.4.1.2. Tổng lượng dòng chảy

Tổng lượng dòng chảy là lượng nước chảy qua mặt cắt cửa ra trong một khoảng thời gian T (tháng, mùa, năm) nào đó từ thời điểm t_1 đến t_2 ($T = t_2 - t_1$).

$$\bar{W} = \int_{t_1}^{t_2} Q(t)dt \quad (2.5) \quad \text{hoặc} \quad \bar{W} = \bar{Q}(t_2 - t_1) \quad (2.6)$$

Trong đó, $\bar{W}$ là tổng lượng dòng chảy (m^3 hoặc km^3), $\bar{Q}$ là lưu lượng bình quân trong khoảng thời gian T .

2.4.1.3. Độ sâu dòng chảy

Độ sâu dòng chảy là tỉ số giữa tổng lượng dòng chảy với diện tích lưu vực.

$$Y = \frac{10^3 \cdot W}{10^6 \cdot F} = \frac{W}{10^3 \cdot F} \quad (2.7)$$

Trong đó, Y là độ sâu dòng chảy (mm), W là tổng lượng nước (m³), F là diện tích lưu vực (km²).

2.4.1.4. Mô đun dòng chảy

Mô đun dòng chảy là trị số lưu lượng dòng chảy trên một đơn vị diện tích của lưu vực.

$$M = \frac{10^3 \cdot \bar{Q}}{F} \quad (2.8)$$

Trong đó, M là mô đun dòng chảy (l/s.km²), $\bar{Q}$ là giá trị bình quân của lưu lượng (m³/s), F là diện tích lưu vực (km²).

2.4.1.5. Hệ số dòng chảy

Hệ số dòng chảy α là tỉ số giữa độ sâu dòng chảy và lượng mưa tương ứng sinh ra trong thời gian T.

$$\alpha = \frac{Y}{X} \quad (2.9)$$

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 bé và ngược lại. Bởi vậy, α phản ánh tình hình sản sinh dòng chảy trên lưu vực. Trong khi đó, mô đun dòng chảy và độ sâu dòng chảy phản ánh khả năng phong phú nguồn nước của một lưu vực.

2.4.2. Xác định nhu cầu nước

Nhu cầu nước thể hiện lượng nước mà người tiêu dùng sử dụng theo một đơn vị thời gian ứng với một mức giá nước (Mays, L. and Tung, Y., 1992 trích dẫn trong Mohammad Karamouz *et al.*, 2003). Dưới tác động của nhiều nhân tố tự nhiên, kinh tế, xã hội và chính sách khác nhau, nhu cầu nước thay đổi theo thời gian, từ năm này qua năm khác, từ tháng này qua tháng khác.

Nhu cầu nước có thể được phân loại thành hai nhóm cơ bản: nhu cầu tiêu hao nước và nhu cầu không tiêu hao nước (Tổng Đức Khang và ctv, 2007).

- Nhu cầu tiêu hao nước là nhu cầu mà nước sau khi sử dụng bị tiêu hao về lượng và cũng bị thay đổi chất lượng nước, nên có thể không sử dụng lại được nguồn nước này. Ví dụ như nông nghiệp, công nghiệp, sinh hoạt.

- Nhu cầu không tiêu hao nước là nhu cầu mà nước sau khi sử dụng, không tiêu hao về lượng và cũng không làm thay đổi chất lượng nước. Ví dụ như phát điện, vận tải thủy, ngư nghiệp, du lịch, dòng chảy môi trường.

2.4.2.1. Nhu cầu nước trong nông nghiệp

Trong nông nghiệp, nhu cầu dùng nước rất lớn. Nhu cầu nước của cây trồng được định nghĩa là lượng nước cần thiết để đáp ứng sự mất nước qua bốc thoát hơi. Nói cách khác, đó là lượng nước cần thiết cho các cây trồng khác nhau để phát triển tối ưu. Nhu cầu nước của cây trồng thường được ước lượng dựa trên lượng bốc thoát hơi nước tham chiếu ET_0 , đó là lượng bốc thoát hơi từ một khu vực rộng lớn, được che phủ hoàn toàn bởi một cây trồng là cỏ chuẩn, cao 8 - 15 cm, phát triển mạnh và được cung cấp nước đầy đủ theo một điều kiện tối ưu. Phương pháp xác định lượng bốc thoát hơi nước tham chiếu có thể kể đến như Blaney - Criddle (1945), Thornthwaite - Mather (1955), Penman (1948) và Thomas (1981). Công thức tính nhu cầu nước cây trồng có dạng như sau (Brouwer, C. and Heibloem, M., 1986):

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (2.10)$$

Với ET_c là nhu cầu nước ứng với một cây trồng nhất định, K_c là hệ số cây trồng thực nghiệm, ET_0 là lượng bốc thoát hơi nước tham chiếu.

Giá trị ET_c phụ thuộc chủ yếu vào:

- Khí hậu: trong khí hậu nắng nóng, cây trồng cần nhiều nước hơn trong khí hậu nhiều mây và lạnh.

- Loại cây trồng: cây trồng như ngô hoặc mía cần nhiều nước hơn so với cây trồng như kê hay dưa chuột.

- Giai đoạn phát triển của cây trồng: cây trồng khi phát triển đầy đủ sẽ sử dụng nước nhiều hơn so với khi mới được trồng.

Nhu cầu nước của cây trồng có thể được đáp ứng từ nước mưa, từ hoạt động tưới hay cả hai. Trong trường hợp mà toàn bộ lượng nước cần để cây trồng phát triển tối ưu được cung cấp từ nước mưa, khi đó không cần đến hoạt động tưới; nói cách khác, nhu cầu tưới bằng 0. Trong trường hợp không có mưa trong suốt thời kì phát triển của cây trồng, toàn bộ lượng nước cây trồng cần phải được cung cấp từ hoạt động tưới; khi đó, nhu cầu tưới bằng nhu cầu nước của cây trồng. Tuy nhiên, trong hầu hết các trường hợp, một phần nhu cầu nước của cây trồng được cung cấp từ nước mưa và phần còn lại đến từ hoạt động tưới; khi đó, nhu cầu tưới là chênh lệch giữa nhu cầu nước cây trồng và phần nước mưa hữu hiệu được cây trồng sử dụng.

Lượng mưa hữu hiệu là phần nước mưa trữ lại trong tầng rễ và được cây trồng hấp thu gọi là, kí hiệu là R_e . Để ước lượng giá trị R_e , có thể tham khảo hai công thức dưới đây (Brouwer, C. and Heibloem, M., 1986). Các công thức này có thể được áp dụng với khu vực có độ dốc lớn nhất 4 – 5 %.

$$R_e = 0,8 R \text{ khi } R > 75 \text{ mm/tháng} \quad (2.11)$$

và

$$R_e = 0,6 R \text{ khi } R < 75 \text{ mm/tháng} \quad (2.12)$$

Trong đó, R_e là lượng mưa hữu hiệu (mm/tháng), R là lượng mưa (mm/tháng).

2.4.2.2. Nhu cầu nước trong chăn nuôi

Nhu cầu nước cho chăn nuôi được tính theo đầu các súc vật chăn nuôi. Nước sử dụng cho chăn nuôi gồm có nước cho ăn uống, nước vệ sinh chuồng trại.

2.4.2.3. Nhu cầu nước cho công nghiệp

Lượng nước dùng cho công nghiệp gồm lượng nước trực tiếp tạo ra sản phẩm, nước tạo ra môi trường và vệ sinh công nghiệp, nước để pha loãng chất thải và nước sinh hoạt cho công nhân trong nhà máy. Tổng lượng nước dùng trong công nghiệp được tiêu chuẩn hóa theo đơn vị sản phẩm.

2.4.2.4. Nhu cầu nước cho sinh hoạt

Nhu cầu nước cho sinh hoạt thường được tính bằng khối lượng nước được sử dụng theo đầu người mỗi ngày, được gọi là mức sử dụng nước bình quân. Đơn vị tính thường là lít/người/ngày.

Nước dùng cho sinh hoạt chia ra theo 2 khu vực: đô thị và nông thôn. Mỗi khu vực sẽ có tiêu chuẩn nước khác nhau. Theo đó, tiêu chuẩn nước dùng cho đô thị phụ thuộc vào loại đô thị và điều kiện khí hậu. Trong khi đó, tiêu chuẩn nước dùng cho nông thôn phụ thuộc vào khu vực đồng bằng hay miền núi và cũng phụ thuộc vào điều kiện khí hậu.

2.4.2.5. Nhu cầu nước cho nhà máy thủy điện

Công suất của nhà máy thủy điện và tổng lượng điện sản xuất hàng năm phụ thuộc trực tiếp vào lưu lượng dòng chảy của sông, tổng lượng nước đến và phân phối lượng dòng chảy trong năm. Ngoài ra, còn phụ thuộc vào điều kiện địa hình, địa mạo cụ thể của khu vực xây dựng hồ và nhà máy thủy điện. Công suất phát điện hữu ích của nhà máy thủy điện được tính toán theo công thức sau:

$$N = 9,81 \times Q \times H \times \eta \quad (2.13)$$

Trong đó, N là công suất phát điện hữu ích (kW), Q là tổng lưu lượng vào nhà máy (m^3/s), H là cột nước công tác của nhà máy (m) và η là hiệu suất tua-bin.

2.4.2.6. Nhu cầu nước môi trường

Theo quan điểm phát triển bền vững, khai thác nguồn nước phải đảm bảo không làm cạn kiệt, suy thoái nguồn nước và đảm bảo cân bằng sinh thái. Những biện pháp khai thác nguồn nước nhằm mục đích phát triển kinh tế, xã hội và phục vụ đời sống của con người có thể làm thay đổi đáng kể nguồn cả về số lượng, chất lượng và động thái của nó, dẫn đến sự thay đổi cân bằng nước trên lưu vực sông. Sự thay đổi cân bằng nước tự nhiên có thể có lợi hoặc có hại cho môi trường sinh thái. Do vậy, phát triển nguồn nước phải hướng tới sự thay đổi có lợi về cân bằng sinh thái của lưu vực sông. Nhu cầu nước môi trường được xem xét theo các mục đích sau:

- Đảm bảo cân bằng sinh thái tự nhiên,

- Tái tạo một phần sinh thái do tác động xấu đến từ việc sử dụng nước của con người,
- Cải tạo hoặc tạo ra môi trường sinh thái mới có lợi cho con người.

Việc xác định nhu cầu nước môi trường thường rất khó khăn và phụ thuộc vào điều kiện cụ thể của bài toán quy hoạch đặt ra. Hiện nay ở nước ta, phương pháp thường được dùng là chọn giá trị lưu lượng tối thiểu cần xả xuống hạ lưu trong thời kì mùa kiệt ứng với tần suất 90 % làm nhu cầu nước môi trường.

2.5. Mô hình tính toán cân bằng nước

Mô hình mô phỏng toán học là sự biểu diễn các quy luật vật lý và quá trình hoạt động của hệ thống bằng các biểu thức toán học bao gồm hàm số, công thức toán học, biểu thức logic, bảng biểu và biểu đồ (Hà Văn Khôi, 2005). Đây là mô hình được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực quy hoạch và quản lý nguồn nước, bởi vì nó mô tả gần đúng các quá trình vật lý, cách thức hoạt động của hệ thống nguồn nước theo thời gian (Slobodan, P., 2009).

Hiện nay, có rất nhiều mô hình toán trong nghiên cứu thủy văn, cân bằng nước lưu vực sông đã được phát triển và áp dụng nhiều nơi trên thế giới. Trong số đó, có thể kể đến các mô hình như MIKE BASIN, MIKE 11,... của Viện Thủy lực và Môi trường Đan Mạch (DHI), mô hình MITSIM của Viện Công nghệ Massachusetts (MIT) - Hoa Kỳ, mô hình RIBASIM, SOBEK,... của Viện Nghiên cứu Thủy lực (Delft Hydraulics), Hà Lan.

Ở Việt Nam, việc ứng dụng phương pháp mô hình toán vào nghiên cứu, tính toán thủy văn được bắt đầu vào cuối những năm 60 của thế kỉ XX với việc Ủy ban sông Mê Kông ứng dụng mô hình SSARR của Mỹ, mô hình DELTA của Pháp và mô hình thủy triều của Hà Lan trong tính toán, dự báo dòng chảy sông Mê Kông. Thế nhưng, chỉ từ sau ngày miền Nam hoàn toàn giải phóng (1975), đất nước thống nhất thì phương pháp này mới thực sự trở thành công cụ quan trọng trong tính toán, dự báo thủy văn ở nước ta. Đến nay, ngoài các mô hình trên, một số mô hình toán khác đã được nhiều cơ quan nghiên cứu và áp dụng như mô hình TANK của Nhật, mô hình mưa – dòng chảy SWAT, mô hình mô phỏng sử dụng nước lưu vực IQQM, bộ mô hình MIKE của Viện

Thủy lực Đan Mạch (DHI), mô hình MITSIM do Viện Quy hoạch Thủy lợi áp dụng, mô hình thủy lực chất lượng nước như VRSAP, SALBOD của Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam, mô hình chất lượng nước KOD của Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.

Do chưa có một mô hình nào đề cập đến toàn bộ các vấn đề liên quan tới nội dung cân bằng nước nên thông thường khi nghiên cứu cân bằng nước lưu vực sông, các mô hình được sử dụng riêng rẽ sau đó kết hợp lại với nhau. Ví dụ, việc tính toán cân bằng nước cho khu vực không chịu ảnh hưởng triều (vùng thượng lưu lưu vực sông) thì thường dùng các mô hình như MIKE BASIN, MITSIM, RIBASIM, WEAP... còn đối với vùng hạ lưu chịu ảnh hưởng triều thì thường dùng các mô hình thủy lực - chất lượng nước như mô hình MIKE 11, SOBEK RURAL, VRSAP,...

2.6. Tình hình nghiên cứu tính toán cân bằng nước lưu vực sông

2.6.1. Nghiên cứu trên thế giới

Quản lý bền vững tài nguyên nước lưu vực sông hướng đến mục tiêu tối ưu hóa việc sử dụng các nguồn nước có sẵn để đáp ứng nhu cầu nước trong nông nghiệp, công nghiệp và dân sinh về mặt số lượng cũng như chất lượng, bảo tồn cũng như kiểm soát, nói cách khác là đảm bảo cân bằng nước bền vững. Để đạt được mục tiêu trên, điều kiện tiên quyết là cần có sự hiểu biết thấu đáo các hiện tượng thủy văn, nguồn nước tiềm năng và cách thức sử dụng nó.

Những năm gần đây, viễn thám đã và đang đóng vai trò quan trọng trong lĩnh vực quản lý tài nguyên nước (Bastiaansen, W. G., 1998). Các nghiên cứu ứng dụng viễn thám trong lĩnh vực này xoay quanh một số vấn đề như tính toán lượng mưa (Wang Jianhua *et al.*, 2003), ước tính lượng bốc thoát hơi tiềm năng và nhu cầu nước cây trồng phục vụ cho mục tiêu quản lý nước ở khu tưới (Hu Minggang *et al.*, 2006), theo dõi độ ẩm đất (Zhang Canlong *et al.*, 2006), ước lượng diện tích và lượng nước mặt cũng như chế độ thủy văn (Wang Yanjiao and Zhang Ying, 2005), dò tìm, khai thác, ước tính trữ lượng nước ngầm (Tashpolat Tiyip *et al.*, 2005), thành lập bản đồ khu tưới, tính toán nhu cầu nước cây trồng (Bao Yansong *et al.*, 2006). Quá trình xử lý dữ liệu viễn thám thường được thực hiện trong GIS. Bên cạnh đó, viễn thám còn được

tích hợp với các mô hình thủy văn trong vai trò cung cấp dữ liệu đầu vào như thực phủ, thổ nhưỡng, địa hình, khí tượng (Li Daofeng *et al.*, 2005).

Quản lý nguồn nước yêu cầu một số lượng lớn dữ liệu không gian. Sự kết hợp của GIS với mô hình mô phỏng (HEC, MODFLOW, SHE, SWAT, MIKE BASIN, WEAP) là giải pháp hiệu quả để giải quyết vấn đề này. Trong mối liên kết này, GIS đóng vai trò mở rộng khả năng hiển thị thông tin, qua đó mở rộng khả năng xử lý chúng. GIS tác động đến sự phát triển, hoạt động của các mô hình thủy văn, mô hình cân bằng nước ở nhiều cấp độ khác nhau như cung cấp dữ liệu đầu vào, thiết lập giao diện cho phép mô hình mô phỏng chạy trong môi trường GIS (Orzol, L.L. and T.S. McGrath, 1992; Wilson J.P., 1999). Bên cạnh đó, GIS cũng được dùng để chỉnh sửa dữ liệu đầu vào của mô hình và so sánh kết quả mô phỏng của mô hình với dữ liệu thực đo (Wilson J.P *et al.*, 1993, 1996).

2.6.2. Nghiên cứu tại Việt Nam

Hiện nay ở Việt Nam, có rất nhiều mô hình cân bằng nước được sử dụng trong các cơ quan, viện nghiên cứu như MIKE BASIN, MITSIM, RIBASIM, WEAP,... tùy thuộc vào đặc điểm của từng lưu vực sông khác nhau. Do chưa có một mô hình nào đề cập đến toàn bộ các vấn đề liên quan tới nội dung cân bằng nước nên thông thường khi nghiên cứu cân bằng nước lưu vực sông, các mô hình thủy văn được sử dụng kết hợp với mô hình cân bằng nước. Một số nghiên cứu điển hình có thể kể đến như ứng dụng mô hình WEAP tính toán cân bằng nước trên địa bàn huyện Lạc Dương, tỉnh Lâm Đồng (Bùi Thị Ninh và nnk, 2008), tích hợp mô hình NAM, MIKE BASIN và GIS hỗ trợ quản lý sử dụng hiệu quả tài nguyên nước lưu vực sông Bé (Nguyễn Hải Âu, 2009).

Đối với mô hình mưa – dòng chảy SWAT, trong nước đã có một số nghiên cứu ứng dụng tại các khu vực khác nhau, chủ yếu xoay quanh các vấn đề như tính toán dòng chảy (Trịnh Minh Ngọc, 2009), đánh giá tác động của kịch bản sử dụng đất lên dòng chảy, bồi lắng, nitrat, photpho (Nguyễn Ý Như và Nguyễn Thanh Sơn, 2009), đánh giá chất lượng nước (Le Bao Trung, 2005). Trong khi đó, viễn thám và GIS ngày càng

được ứng dụng rộng rãi trong giám sát môi trường và tài nguyên thiên nhiên (Nguyễn Kim Lợi và Trần Thống Nhất, 2007; Trần Thống Nhất và Nguyễn Kim Lợi, 2009).

Tóm lại, các nghiên cứu về cân bằng nước nêu trên tuy đa dạng phong phú trong cách tiếp cận song xu hướng nổi bật hơn cả, đạt hiệu quả cao là tích hợp sử dụng viễn thám, GIS, mô hình thủy văn, mô hình cân bằng nước. Riêng ở Việt Nam, đây là phương pháp tiếp cận còn mới mẻ và chưa được nghiên cứu nhiều. Chính vì vậy, đề tài này hướng đến việc tích hợp viễn thám, GIS với mô hình mưa – dòng chảy SWAT, mô hình cân bằng nước WEAP trong tính toán cân bằng nước lưu vực sông Bé.

CHƯƠNG 3

CƠ SỞ LÝ THUYẾT

3.1. Viễn thám

3.1.1. Lịch sử của viễn thám

Công nghệ viễn thám được phát triển dần dần trong khoa học từ sau Thế chiến thứ II (Qihao, W., 2010). Ban đầu, nó được phát triển chủ yếu trong mục đích quân sự. Sau đó, dữ liệu viễn thám trở nên phổ biến trong ứng dụng dân sự. Phạm vi ứng dụng của viễn thám tuy rất đa dạng bao gồm khảo cổ học, nông nghiệp, bản đồ học, công trình dân dụng, khí tượng học và khí hậu học, nghiên cứu bờ biển, ứng cứu khẩn cấp, lâm nghiệp, địa chất, GIS, thiên tai, sử dụng đất và thực phủ, thảm họa thiên nhiên, hải dương học, tài nguyên nước, v.v...nhưng chức năng chính của viễn thám là thành lập bản đồ và theo dõi các nguồn tài nguyên Trái Đất. Gần đây, với các ảnh có độ phân giải không gian (ĐPGKG) cao và khả năng công nghệ được mở rộng hơn, lĩnh vực đô thị và các ứng dụng liên quan của viễn thám đã được phát triển nhanh chóng trong cộng đồng viễn thám.

3.1.2. Định nghĩa viễn thám

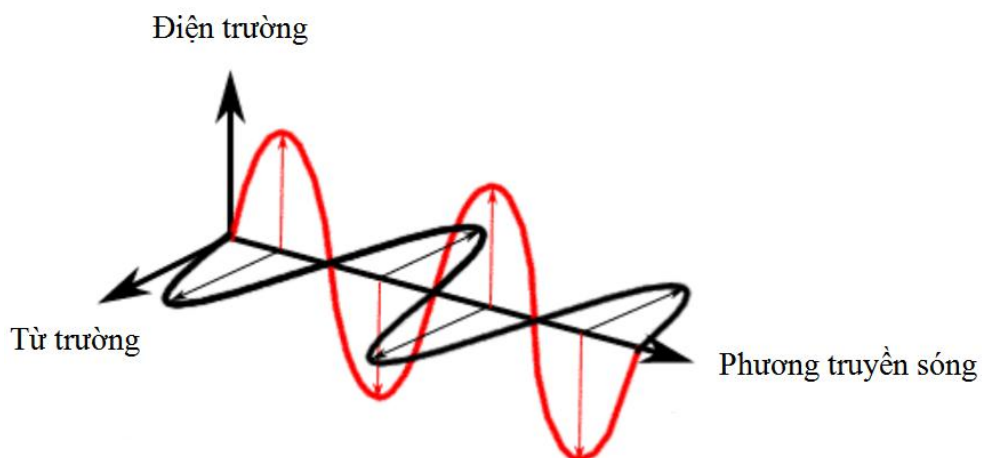
Viễn thám là hoạt động thu nhận, quan sát và nhận biết (thám) các vật thể hay hiện tượng từ một khoảng cách xa (viễn) (Qihao, W., 2010). Trong viễn thám, các bộ cảm biến không tiếp xúc trực tiếp với vật thể hay hiện tượng cần quan sát. Bức xạ điện từ thường được sử dụng như là vật chuyên chở thông tin trong viễn thám, là cơ sở để nhận biết và tìm hiểu đối tượng hay điều kiện môi trường (do mỗi vật thể có các đặc trưng riêng về phản xạ và bức xạ). Đầu ra của hệ thống viễn thám thường là một bức ảnh thể hiện vùng được quan sát.

Có thể định nghĩa hẹp hơn, viễn thám là khoa học và công nghệ thu nhận thông tin về bề mặt Trái Đất (đất liền và đại dương) và khí quyển sử dụng các bộ cảm biến trên vật

mang đặt trong máy bay (máy bay hay khinh khí cầu), hay trong không gian (vệ tinh, tàu con thoi). Theo đó, viễn thám có thể được chia ra thành (1) vệ tinh viễn thám (khi vật mang là vệ tinh), (2) quang trắc ảnh và chụp ảnh (khi ảnh được dùng để thu nhận ánh sáng nhìn thấy), (3) viễn thám nhiệt (khi phần viễn thám nhiệt trong quang phổ được dùng), (4) viễn thám radar (khi bước sóng ngắn được dùng) và (5) viễn thám LiDAR (khi xung laser phát tới mặt đất và khoảng cách giữa bộ cảm biến và mặt đất được đo lường dựa trên thời gian trở về của từng xung).

3.1.3. Nguyên lý của bức xạ điện từ

Bức xạ điện từ là quá trình truyền năng lượng điện từ trên cơ sở các dao động của điện trường và từ trường trong không gian (Lê Văn Trung, 2005). Hai trường này nằm trong hai mặt phẳng vuông góc với phương truyền sóng và đồng thời chúng vuông góc với nhau như trong Hình 3.1.



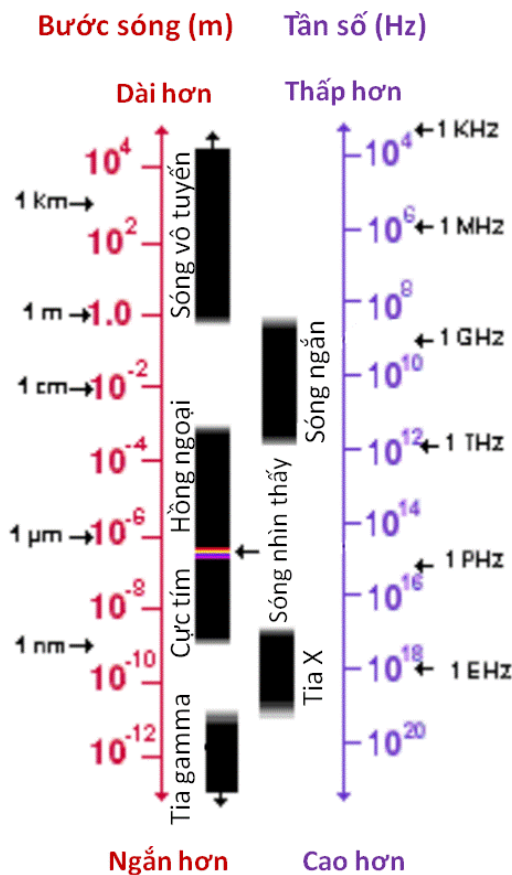
Hình 3.1. Trường điện từ trong không gian (phỏng theo Canada Centre for Remote Sensing, 2007)

Hai đặc điểm quan trọng của bức xạ điện từ liên quan trong lĩnh vực viễn thám, đó là bước sóng (λ) và tần số (ν), liên hệ với nhau theo công thức sau:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (3.1)$$

Trong đó, c là tốc độ lan truyền bức xạ điện từ.

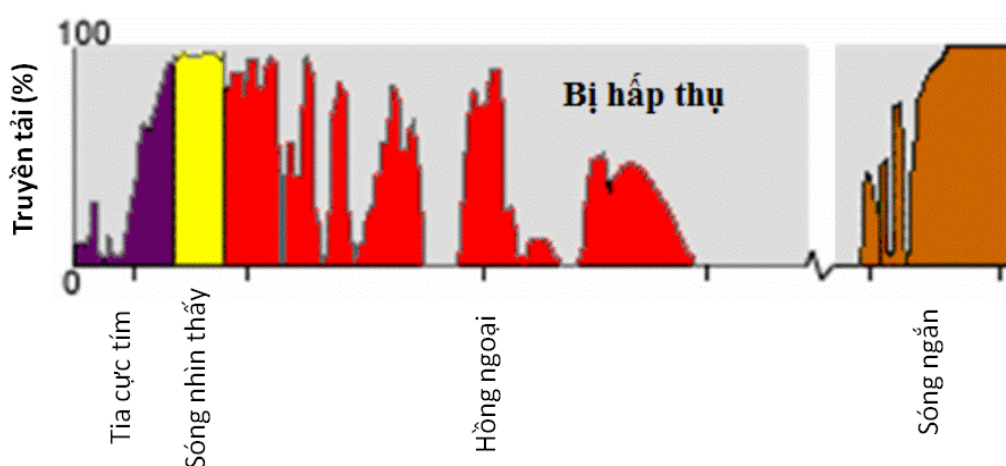
Phổ điện từ, hay dãy liên tục của bước sóng và tần số, được chia thành nhiều phần khác nhau (Hình 3.2), trải dài từ bước sóng ngắn, tần số cao đến bước sóng dài, tần số thấp, bao gồm tia gamma, tia X, tia cực tím, sóng nhìn thấy, sóng hồng ngoại, sóng ngắn và sóng vô tuyến. Nhìn chung, các dải phổ được sử dụng trong viễn thám bắt đầu từ vùng cực tím (0,3 – 0,4 μm), sóng ánh sáng (0,4 – 0,7 μm) đến hồng ngoại phản xạ (0,7 – 3 μm), hồng ngoại nhiệt (3 – 100 μm) và sóng ngắn (1 mm – 1 m) (Lê Văn Trung, 2005).



Hình 3.2. Tần số và bước sóng phổ điện từ (phỏng theo Canada Centre for Remote Sensing, 2007)

Trước khi sóng điện từ vươn tới bề mặt Trái Đất và đến bộ cảm biến, nó phải trải qua ít nhất một hành trình xuyên qua lớp khí quyển Trái Đất tùy thuộc vào hệ thống viễn thám là chủ động hay thụ động. Mỗi lần đi qua khí quyển, sóng điện từ sẽ bị hấp thụ hoặc tán xạ. Hiện tượng hấp thụ chủ yếu gây ra bởi ba thành phần chính của khí quyển là ozon, khí carbonic và hơi nước. Sóng điện từ bị hấp thụ và tái bức xạ theo tất cả các

hướng và ở nhiều bước sóng khác nhau. Trong khi đó, sự tán xạ lại do phân tử nitơ, oxi, hạt sương, mây mù và giọt mưa gây ra. Sóng điện từ bị tán xạ theo các hướng khác nhau, năng lượng của nó bị yếu đi nhưng bước sóng của nó không thay đổi. Tuy nhiên, có một số vùng sóng điện từ nhất định có thể đi xuyên qua khí quyển mà ít hoặc không bị suy giảm năng lượng, viễn thám có thể sử dụng. Đó là 4 cửa sổ khí quyển (chia theo khoảng bước sóng) bao gồm (1) sóng nhìn thấy – hồng ngoại (0,4 – 2,5 μm), (2) hồng ngoại giữa (3 – 5 μm), (3) hồng ngoại nhiệt (8 – 14 μm) và (4) sóng ngắn (1 – 30 cm) (Qihao, W., 2010).

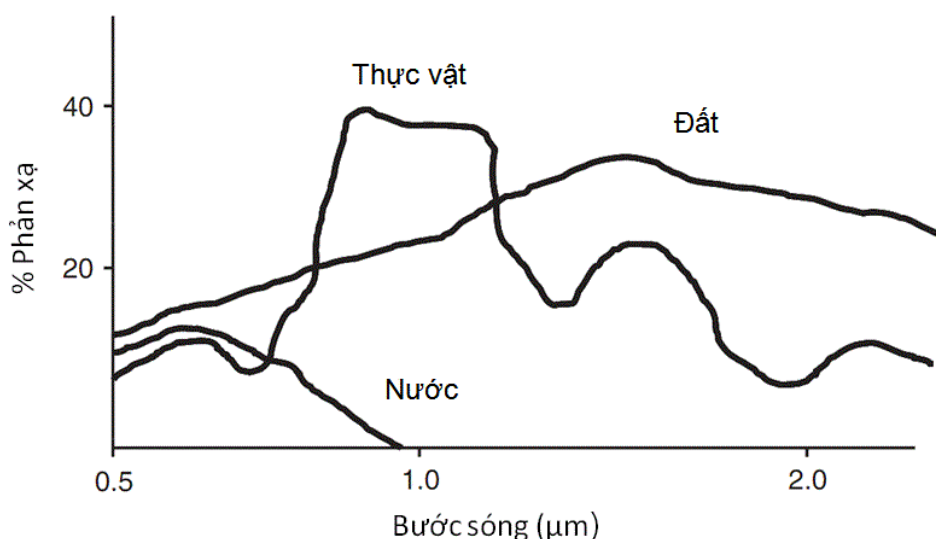


Hình 3.3. Sự truyền tải sóng điện từ trong bầu khí quyển (phỏng theo Canada Centre for Remote Sensing, 2007)

Sóng điện từ mà không bị tán xạ, hấp thụ bởi khí quyển có thể vươn tới và tương tác với các đối tượng vật chất trên bề mặt Trái Đất. Có ba dạng tương tác có thể xảy ra khi sóng điện từ đập vào bề mặt Trái Đất là hấp thụ, xuyên qua và phản xạ. Tổng năng lượng đến của sóng điện từ sẽ tương tác với bề mặt trong một hoặc nhiều dạng trong ba dạng tương tác này. Thành phần của mỗi loại phụ thuộc vào bước sóng của năng lượng và vật liệu cũng như đặc điểm của đối tượng. Trong viễn thám, dạng phản xạ là dạng được quan tâm nhất cho việc đo lường các năng lượng phản xạ từ các đối tượng cho việc tạo ảnh vệ tinh (Trần Thống Nhất và Nguyễn Kim Lợi, 2009).

Các đối tượng khác nhau sẽ có sự phản xạ, hấp thụ và xuyên qua đối với sóng điện từ khác nhau theo từng bước sóng. Thuộc tính quan trọng này cho phép các nhà khoa học có thể xây dựng một đường cong phản xạ phổ (đặc trưng phổ) cho từng đối tượng. Trên cơ sở so sánh các đường cong phản xạ phổ giữa các đối tượng với nhau, có thể

giúp phát hiện và tách biệt các đối tượng này (Trần Thống Nhất và Nguyễn Kim Lợi, 2009; Qihao, W., 2010). Ví dụ, Hình 3.4 mô tả đường cong phản xạ phổ của 3 đối tượng là thực vật, nước và đất.



Hình 3.4. Đường cong phản xạ phổ của thực vật, nước và đất (Qihao, W., 2010)

3.1.4. Đặc điểm của dữ liệu ảnh viễn thám

Tất cả hệ thống viễn thám đều thu nhận “tín hiệu” năng lượng từ các đối tượng trên mặt đất và/ hoặc từ khí quyển. Dữ liệu thu nhận từ những hệ thống viễn thám này có thể ở định dạng ảnh tương tự (ảnh hàng không, dữ liệu video) hay ảnh số (ma trận “giá trị độ sáng” tương ứng với giá trị bức xạ trung bình đo lường trong pixel ảnh). Ảnh số viễn thám có thể được đưa trực tiếp vào GIS để sử dụng; dữ liệu ảnh tương tự cũng có thể được dùng trong GIS thông qua việc chuyển đổi ảnh tương tự sang ảnh số hoặc bằng máy quét. Thông thường, dữ liệu viễn thám trước tiên được giải đoán và phân tích bằng nhiều phương pháp trích xuất thông tin khác nhau để cung cấp các lớp dữ liệu cần thiết cho GIS. Để việc thu nhận dữ liệu viễn thám thành công, đòi hỏi cần nắm bắt 4 đặc trưng độ phân giải cơ bản bao gồm độ phân giải không gian, phổ, bức xạ và thời gian (Jensen, J. R, 2005).

3.1.4.1. Độ phân giải không gian

Độ phân giải không gian (ĐPGKG) là khoảng cách tối thiểu giữa hai đối tượng mà cho phép chúng có thể được phân biệt với một đối tượng khác trên ảnh và là hàm số của độ cao bộ cảm biến, kích thước bộ tách sóng, kích thước tiêu điểm và thiết lập hệ thống

(Jensen, J. R, 2005). Độ phân giải không gian xác định mức độ chi tiết về mặt không gian có thể quan sát trên bề mặt Trái Đất. Dữ liệu có độ phân giải không gian kém có thể chứa đựng một số lượng lớn pixel hỗn hợp, nghĩa là có hơn một lớp thực phủ có thể tìm thấy trong một pixel. Trong khi đó, dữ liệu có độ phân giải tốt có thể giảm thiểu vấn đề pixel hỗn hợp, chúng có thể tăng sự khác biệt bên trong các lớp thực phủ. Độ phân giải càng cao đồng nghĩa với nhu cầu lưu trữ càng lớn, chi phí càng cao và có thể gây khó khăn trong việc xử lý trên một khu vực rộng lớn. Mối quan hệ giữa tỉ lệ địa lý của khu vực nghiên cứu với độ phân giải không gian của ảnh viễn thám đã được nghiên cứu (Quattrochi, D. A. and Goodchild, M. F., 1997). Theo đó, ở cấp độ địa phương, ảnh có ĐPGKG cao, như IKONOS và QuickBird, là phù hợp. Ở cấp độ vùng, ảnh có ĐPGKG trung bình, như Landsat TM/ ETM và ASTER, thường được dùng. Ở cấp độ châu lục hay toàn cầu, ảnh có ĐPGKG thấp, như AVHRR và MODIS, là thích hợp nhất.

3.1.4.2. Độ phân giải phổ

Mỗi bộ cảm biến quan tâm đến dải phổ điện từ khác nhau. Các thiết bị viễn thám khác nhau thu nhận các kênh phổ khác nhau của phổ điện từ. Độ phân giải phổ của bộ cảm biến là số lượng và phạm vi kênh phổ mà nó có thể thu nhận (Jensen, J. R, 2005). Ví dụ, bộ cảm biến Landsat TM thu nhận 7 kênh phổ, bao gồm (1) 0,45 – 0,52 μm (lam), (2) 0,52 - 0,60 μm (lục), (3) 0,63 – 0,69 μm (đỏ), (4) 0,76 – 0,90 μm (hồng ngoại gần), (5) 1,55 - 1,75 μm (hồng ngoại sóng ngắn), (6) 10,4 – 12,5 μm (hồng ngoại nhiệt) và (7) 2,08 – 2,35 μm (hồng ngoại sóng ngắn).

3.1.4.3. Độ phân giải bức xạ

Độ phân giải bức xạ thể hiện mức độ nhạy của bộ cảm biến với bức xạ điện từ đến, nghĩa là có bao nhiêu sự thay đổi bức xạ trên bộ cảm biến trước khi một sự thay đổi giá trị độ sáng xảy ra (Jensen, J. R, 2005). Độ phân giải bức xạ thấp sẽ thu nhận ảnh sử dụng số lượng ít cấp độ sáng. Trong khi đó, độ phân giải bức xạ cao sẽ thu nhận bức xạ ảnh đó sử dụng nhiều cấp độ sáng. Ví dụ, ảnh Landsat 1 MSS thu nhận năng lượng bức xạ trong 6 bits (giá trị thay đổi từ 0 – 63) và sau này tăng lên 7 bits (giá trị thay đổi từ 0 – 127). Trong khi đó, dữ liệu Landsat TM thu nhận ở 8 bits, nghĩa là cấp độ sáng thay đổi từ 0 – 255.

3.1.4.4. Độ phân giải thời gian

Độ phân giải thời gian thể hiện khoảng thời gian cần thiết để bộ cảm biến quay trở lại vị trí ảnh xem xét trước đó (Qihao, W., 2010). Vì vậy, độ phân giải thời gian có ý nghĩa quan trọng trong việc phát hiện biến động và theo dõi môi trường. Độ phân giải thời gian thực tế của một bộ cảm biến phụ thuộc nhiều yếu tố bao gồm khả năng của vệ tinh, độ trùng lặp của các đường bay và vĩ độ (Canada Centre for Remote Sensing, 2007).

3.1.5. Giải đoán, phân tích dữ liệu viễn thám

Dữ liệu viễn thám có thể được dùng để trích xuất thông tin chuyên đề và đo lường, làm đầu vào cho GIS. Thông tin chuyên đề cung cấp dữ liệu mô tả về các đối tượng trên mặt đất và có sự thay đổi rất đa dạng tùy thuộc vào lĩnh vực quan tâm, như là đất, thực vật, độ sâu lớp nước và thực phủ. Thông tin đo lường bao gồm vị trí, độ cao và các thông tin liên quan như diện tích, thể tích, độ dốc, ... Thông tin chuyên đề có thể thực hiện thông qua giải đoán ảnh bằng mắt hay phân tích ảnh số bằng máy tính. Trong khi đó, thông tin đo lường được trích xuất trên cơ sở sử dụng nguyên lý của trắc đạc ảnh.

3.1.5.1. Giải đoán và trắc đạc ảnh

Giải đoán ảnh được định nghĩa là nghệ thuật xem xét ảnh viễn thám nhằm mục đích nhận diện đối tượng và phán đoán ý nghĩa của chúng (Colwell, R. N, 1997). Các hoạt động trong giải đoán ảnh viễn thám bao gồm (1) dò tìm/ nhận diện, (2) đo lường và (3) giải quyết vấn đề. Trong tiến trình dò tìm và nhận diện, nhà giải đoán nhận diện các đối tượng, vật thể, các quá trình trong ảnh và gắn nhãn cho chúng. Những nhãn này thường thể hiện bằng các thuật ngữ định tính, như là “giống như”, “có thể” hay “chắc chắn”. Các nhà giải đoán cũng cần thực hiện các đo lường định lượng. Ở phần giải quyết vấn đề, nhà giải đoán nhận diện đối tượng qua nghiên cứu các vật thể liên quan hay phức hợp từ phân tích các đối tượng thành phần của chúng và điều này cũng có thể liên quan đến việc xem xét tác động của một số tiến trình và đề xuất nguyên nhân có thể (Qihao, W., 2010). Bảy thành phần thường được dùng phổ biến trong giải đoán ảnh là (1) tông/ màu, (2) kích thước, (3) hình dạng, (4) cấu trúc, (5) hình mẫu, (6) bóng và (7) mối quan hệ.

Trắc đạc ảnh theo truyền thống được định nghĩa là khoa học hay nghệ thuật thực hiện các phép đo lường tin cậy bằng công cụ của thuật chụp ảnh (Colwell, R. N, 1997). Những tiến bộ gần đây trong công nghệ ảnh và máy tính đã chuyển đổi trắc đạc ảnh tương tự sang trắc đạc ảnh số, sử dụng các công nghệ hiện đại để thành lập bản đồ địa hình, ảnh trực giao chính xác hơn dựa trên các nguyên lý của trắc đạc ảnh.

3.1.5.2. Tiền xử lý ảnh số

Trước khi phân tích ảnh, quá trình tiền xử lý ảnh số cần được thực hiện. Tiền xử lý ảnh có thể bao gồm dò tìm và khắc phục nhiễu, hiệu chỉnh hình học hay đăng kí ảnh, căn chỉnh bức xạ, hiệu chỉnh khí quyển và hiệu chỉnh địa hình (Qihao, W., 2010).

3.1.5.3. Tăng cường chất lượng ảnh và trích xuất đối tượng

Có nhiều phương pháp tăng cường chất lượng ảnh có thể áp dụng để tăng chất lượng giải đoán dữ liệu viễn thám bằng mắt cũng như tạo thuận lợi cho việc trích xuất thông tin sau này. Các phương pháp tăng cường chất lượng ảnh có thể nhóm thành 3 loại: (1) tăng cường độ tương phản, (2) tăng ĐPGKG và (3) chuyển đổi phổ (Qihao, W., 2010).

Trích xuất đối tượng là bước cần thiết cho việc trích xuất thông tin chuyên đề. Có nhiều yếu tố thường được dùng trong phân loại ảnh, bao gồm đặc trưng phổ, chỉ số thực vật, ảnh chuyển đổi, ảnh đa bộ cảm biến và dữ liệu bổ trợ. Do khả năng khác nhau trong tách biệt các lớp nên việc sử dụng quá nhiều yếu tố trên trong phân loại có thể làm giảm mức độ chính xác của phân loại (Price, K. P *et al.*, 2002). Điều quan trọng là chỉ lựa chọn yếu tố nào có hiệu lực nhất cho việc tách biệt các lớp chuyên đề.

3.1.5.4. Phân loại ảnh

Phân loại ảnh sử dụng thông tin phổ, đại diện bởi giá trị số trong một hay nhiều kênh phổ và phân loại mỗi pixel riêng biệt dựa trên thông tin phổ. Mục đích là để gán tất cả pixel trên ảnh vào từng lớp riêng biệt (ví dụ, nước, rừng, đô thị,...) và thành lập bản đồ chuyên đề. Điều quan trọng là cần phân biệt giữa lớp thông tin và lớp phổ. Người phân loại nên chú ý đến lớp thông tin quan tâm trước, sau đó mới là nhóm pixel có sự đồng nhất (hoặc gần giống nhau) thông qua giá trị sáng của chúng ở các kênh phổ khác nhau. Nhìn chung, có hai cách phân loại ảnh: có giám định và phi giám định. Trong phân loại có giám định, nhà phân tích nhận diện các mẫu đại diện đồng nhất trên ảnh

của từng lớp thực phủ quan tâm khác nhau (đó là lớp thông tin) để làm mẫu huấn luyện. Mỗi pixel trên ảnh sau đó được so sánh phổ với mẫu huấn luyện để xác định chúng thuộc lớp thông tin nào. Phân loại có giám định sử dụng những thuật toán như khoảng cách ngắn nhất, hình hộp và gần đúng nhất (Lillesand, T. M *et al.*, 2008). Trong phân loại phi giám định, các lớp phổ trước tiên được nhóm lại dựa trên giá trị số trên ảnh, rồi sau đó được gán vào các lớp thông tin bởi nhà phân tích.

Trong những năm gần đây, nhiều phương pháp phân loại tiên tiến, như là mạng nhân tạo, tập mờ và hệ chuyên gia, đã được ứng dụng rộng rãi trong phân loại ảnh.

3.2. Hệ thống thông tin địa lý (GIS)

3.2.1. Lược sử của GIS

GIS sẽ không thể tồn tại nếu thiếu địa lý và bản đồ học. Sự phát triển của hệ thống thông tin kết hợp với công nghệ máy tính đã làm cho GIS trở nên công cụ phân tích mạnh mẽ.

Công nghệ GIS phát triển từ nền tảng địa lý. Các sản phẩm bản đồ được xem là hình thức thủ công sơ khai của GIS. Tuy nhiên, sau đó, nhiều lĩnh vực khác như kiến trúc đô thị, bản đồ số, trắc địa ảnh, viễn thám, hệ thống định vị toàn cầu, hệ quản trị cơ sở dữ liệu, khoa học trái đất,... đã ảnh hưởng đến sự phát triển của GIS và làm cho nó trở thành công nghệ liên ngành.

Canada là quốc gia tiên phong phát triển GIS vào đầu thập niên 60 của thế kỉ XX. Mặc dù GIS nổi bật trong suốt 25 năm qua, nhưng tiềm năng thực sự trở nên rõ ràng chỉ từ cuối thập niên 80 của thế kỉ XX (International Centre for Integrated Mountain Development, 1996).

3.2.2. Định nghĩa GIS

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. Một số định nghĩa tiêu biểu về GIS có thể kể đến như:

- Burrough (1986 trích dẫn trong International Centre for Integrated Mountain Development, 1996, p.9) cho rằng GIS là “một tập hợp các công cụ thu thập, lưu trữ, trích xuất, chuyển đổi và hiển thị dữ liệu không gian từ thế giới thực để phục vụ cho một mục đích nào đó”.
- Chi tiết hơn, Aronoff (1989 trích dẫn trong International Centre for Integrated Mountain Development, 1996, p.9) định nghĩa GIS là “một hệ thống dựa trên máy tính cung cấp bốn khả năng về dữ liệu không gian: i) nhập dữ liệu, ii) quản lý dữ liệu, iii) xử lý và phân tích, iv) xuất dữ liệu”.
- Nguyễn Kim Lợi và ctv (2009) định nghĩa GIS như 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 từ thông tin cho các mục đích con người đặt ra, chẳng hạn như: hỗ trợ việc ra quyết định cho quy hoạch và quản lý sử dụng đất, tài nguyên thiên nhiên, môi trường, giao thông, dễ dàng trong việc quy hoạch phát triển đô thị và những việc lưu trữ dữ liệu hành chính”.

3.2.3. Thành phần của GIS

Theo Shahab Fazal (2008), GIS có 6 thành phần cơ bản (Hình 3.5) như sau:

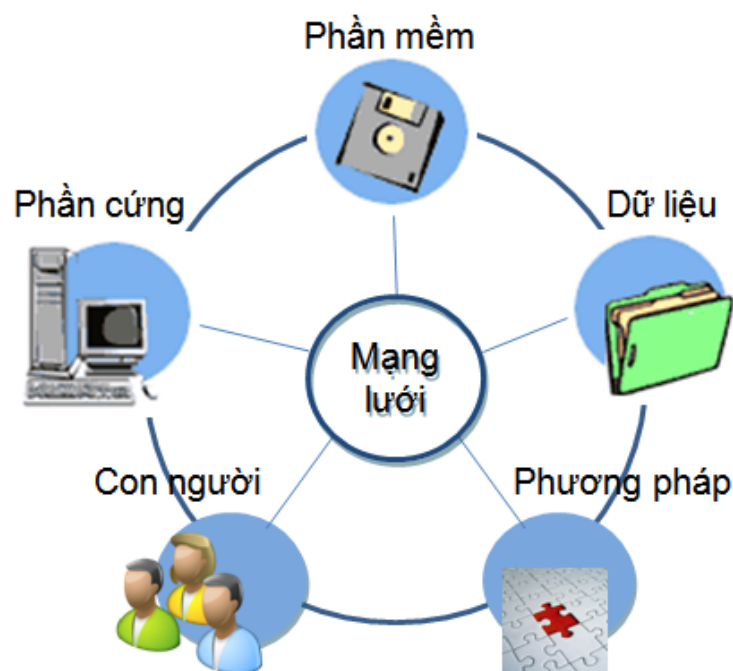
- Phần cứng: bao gồm hệ thống máy tính mà các phần mềm GIS chạy trên đó. Việc lựa chọn hệ thống máy tính có thể là máy tính cá nhân hay siêu máy tính. Các máy tính cần thiết phải có bộ vi xử lý đủ mạnh để chạy phần mềm và dung lượng bộ nhớ đủ để lưu trữ thông tin (dữ liệu).
- Phần mềm: phần mềm GIS cung cấp các chức năng và công cụ cần thiết để lưu trữ, phân tích và hiển thị dữ liệu không gian. Nhìn chung, tất cả các phần mềm GIS có thể đáp ứng được những yêu cầu này, nhưng giao diện của chúng có thể khác nhau.
- Dữ liệu: dữ liệu địa lý và dữ liệu thuộc tính liên quan là nền tảng của GIS. Dữ liệu này có thể được thu thập nội bộ hoặc mua từ một nhà cung cấp dữ liệu thương mại. Bản đồ số là hình thức dữ liệu đầu vào cơ bản cho GIS. Dữ liệu thuộc tính đi kèm đối

tượng bản đồ cũng có thể được đính kèm với dữ liệu số. Một hệ thống GIS sẽ tích hợp dữ liệu không gian và các dữ liệu khác bằng cách sử dụng hệ quản trị cơ sở dữ liệu.

- Phương pháp: một hệ thống GIS vận hành theo một kế hoạch, đó là những mô hình và cách thức hoạt động đối với mỗi nhiệm vụ. Về cơ bản, nó bao gồm các phương pháp phân tích không gian cho một ứng dụng cụ thể. Ví dụ, trong thành lập bản đồ, có nhiều kỹ thuật khác nhau như tự động chuyển đổi từ raster sang vector hoặc vector hóa thủ công trên nền ảnh quét.

- Con người: người sử dụng GIS có thể là các chuyên gia kỹ thuật, đó là người thiết kế và thực hiện hệ thống GIS, hay có thể là người sử dụng GIS để hỗ trợ cho các công việc thường ngày. GIS giải quyết các vấn đề không gian theo thời gian thực. Con người lên kế hoạch, thực hiện và vận hành GIS để đưa ra những kết luận, hỗ trợ cho việc ra quyết định.

- Mạng lưới: với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ thông tin, ngày nay thành phần có lẽ cơ bản nhất trong GIS chính là mạng lưới. Nếu thiếu nó, không thể có bất cứ giao tiếp hay chia sẻ thông tin số. GIS ngày nay phụ thuộc chặt chẽ vào mạng internet, thu thập và chia sẻ một khối lượng lớn dữ liệu địa lý.



Hình 3.5. Sáu thành phần cơ bản của GIS (phỏng theo Shahab Fazal, 2008)

3.2.4. Dữ liệu địa lý trong GIS

Có hai thành phần quan trọng của dữ liệu địa lý: dữ liệu không gian (nó ở đâu?) và dữ liệu thuộc tính (nó là gì?).

- Dữ liệu không gian xác định vị trí của một đối tượng theo một hệ tọa độ.
- Dữ liệu thuộc tính thể hiện một hay nhiều thuộc tính của thực thể không gian, bao gồm dữ liệu định tính và định lượng. Dữ liệu định tính xác định loại đối tượng (ví dụ, nhà cửa, rừng núi, sông ngòi); trong khi dữ liệu định lượng chia thành dữ liệu tỉ lệ (dữ liệu được đo lường từ điểm gốc là 0), dữ liệu khoảng (dữ liệu được chia thành các lớp), dữ liệu dạng chữ (dữ liệu được thể hiện dưới dạng chữ) (Shahab Fazal, 2008). Dữ liệu thuộc tính còn gọi là dữ liệu phi không gian vì bản thân chúng không thể hiện thông tin không gian (Basanta Shrestha *et al.*, 2001).

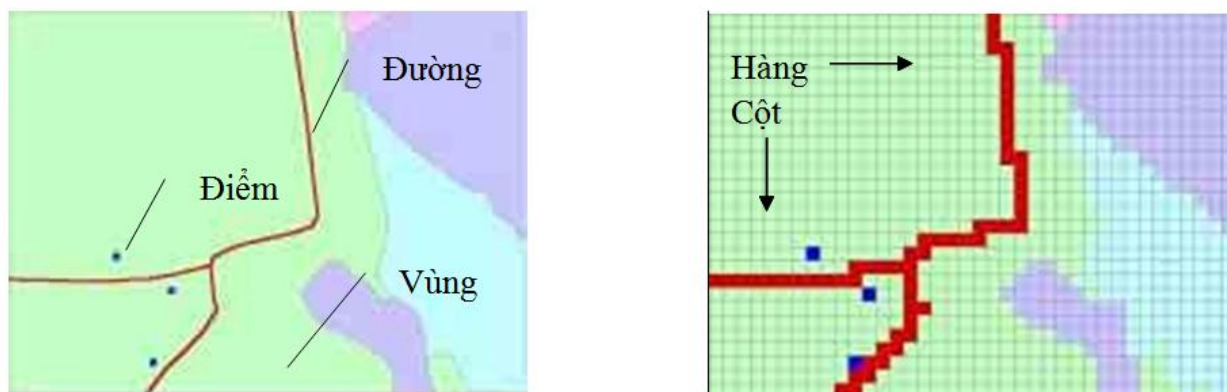
3.2.4.1. Mô hình dữ liệu raster và vector

Đối tượng không gian trong cơ sở dữ liệu GIS được lưu trữ dưới dạng vector hoặc raster (Basanta Shrestha *et al.*, 2001).

- Cấu trúc dữ liệu vector lưu trữ vị trí của đối tượng bản đồ bằng cặp tọa độ x, y (và đôi khi có z). Một điểm được mô tả bằng một cặp tọa độ x-y và tên của nó. Một đường thẳng được mô tả bởi một tập hợp nhiều cặp tọa độ và tên của nó. Về lý thuyết, một đường thẳng được mô tả bởi vô số điểm, nhưng trên thực tế, điều này là không thể. Do đó, một đường thẳng được xây dựng bởi nhiều đoạn thẳng. Một diện tích hay một vùng được mô tả bởi một tập hợp nhiều cặp tọa độ và tên của nó, nhưng có điều khác là cặp tọa độ bắt đầu và kết thúc phải trùng nhau (Hình 3.6). Định dạng vector thể hiện vị trí và hình dạng của đối tượng và đường bao chính xác. Chỉ có độ chính xác, tỉ lệ của bản đồ trong quá trình biên tập, độ phân giải của thiết bị đầu vào và kĩ năng nhập dữ liệu mới làm giảm độ chính xác.

- Ngược lại, định dạng raster hay lưới ô vuông thể hiện đối tượng bản đồ là các ô vuông trong một ma trận lưới (Hình 3.6). Không gian này được định nghĩa bởi một ma trận điểm được tổ chức thành hàng và cột. Nếu hàng và cột được đánh số, vị trí của mỗi thành phần sẽ được xác định bởi số hàng và số cột, thông qua đó có thể liên kết

với một hệ tọa độ. Mỗi ô vuông có một giá trị thuộc tính (dạng số) thể hiện đối tượng địa lý hoặc dữ liệu định danh như loại hình sử dụng đất, lượng mưa, độ cao. Kích thước của ô vuông trong ma trận lưới sẽ xác định mức độ chi tiết mà đối tượng bản đồ có thể được hiển thị.



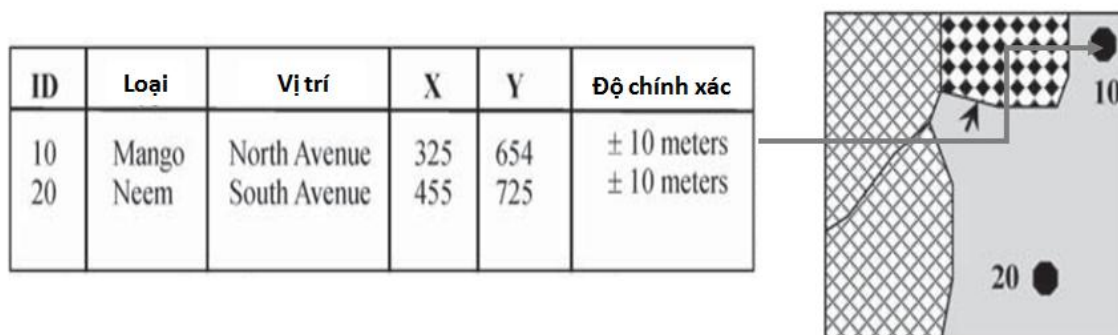
Hình 3.6. Định dạng vector (trái), raster (phải)

3.2.4.2. Mô hình dữ liệu thuộc tính

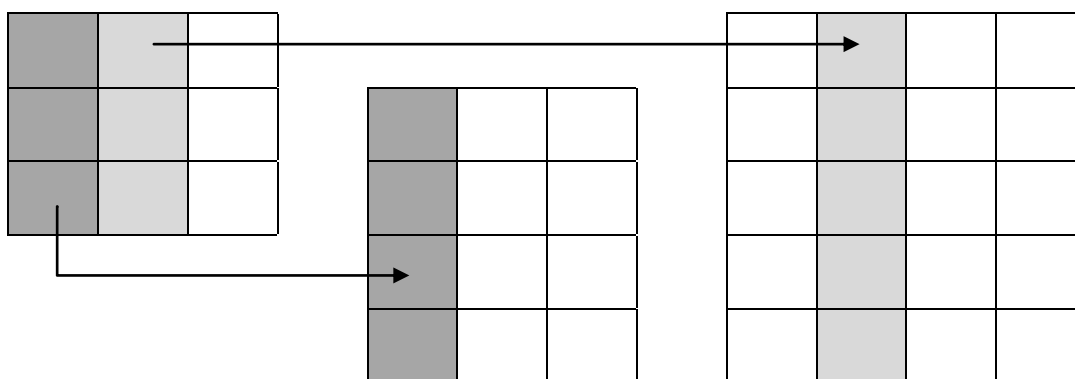
GIS sử dụng định dạng raster hoặc vector để thể hiện các đối tượng địa lý. Bên cạnh vị trí, GIS cũng phải lưu trữ thông tin về chúng (Basanta Shrestha *et al.*, 2001). Ví dụ, đường thẳng trung tâm thể hiện đường giao thông trên bản đồ không nói cho chúng ta nhiều về con đường ngoại trừ vị trí của nó. Để xác định độ rộng, loại đường, những thông tin này cần được lưu trữ để hệ thống có thể xử lý khi cần. Nghĩa là GIS phải tạo một mối liên kết giữa dữ liệu không gian và phi không gian. Mối liên kết giữa một đối tượng bản đồ và thuộc tính của nó được thiết lập bằng cách cho mỗi đối tượng ít nhất một mã định danh riêng - tên hoặc số, thường gọi là ID. Thông tin phi không gian của đối tượng sau đó được lưu trữ, thường trong một hay nhiều tập tin theo số ID (Hình 3.7).

Dữ liệu phi không gian có thể được lưu trữ theo nhiều cách. Nhiều phần mềm GIS sử dụng hệ quản trị cơ sở dữ liệu quan hệ để lưu trữ dữ liệu thuộc tính. Một hệ quản trị cơ sở dữ liệu quan hệ xem dữ liệu như là một chuỗi các bảng có mối liên hệ logic với các bảng khác theo thuộc tính liên kết (Hình 3.8). Bất kỳ thành phần dữ liệu trong một mối quan hệ có thể được tìm thấy khi cho biết tên bảng, tên thuộc tính (cột) và giá trị của khóa chính.

Ưu điểm của hệ quản trị này là chúng linh hoạt và có thể đưa ra câu trả lời cho bất cứ câu hỏi nào được mô tả bằng toán tử logic và toán học.



Hình 3.7. Liên kết dữ liệu không gian và thuộc tính



Hình 3.8. Hệ quản trị cơ sở dữ liệu quan hệ

3.2.5. Chức năng của GIS

GIS có 4 chức năng cơ bản (Basanta Shrestha *et al.*, 2001), đó là:

- Thu thập 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. Nguồn dữ liệu chính bao gồm số hóa thủ công/ quét ảnh hàng không, bản đồ giấy và dữ liệu số có sẵn. Ảnh vệ tinh và Hệ thống Định vị Toàn cầu (GPS) cũng là nguồn dữ liệu đầu vào.
- 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 làm cho nó khác với các hệ thống khác. Phân tích không gian cung cấp các chức năng như nội suy không gian, tạo vùng đệm, chồng lớp.

- Hiện thị kết quả: một trong những khía cạnh nổi bật của GIS là có nhiều cách hiện thị thông tin khác nhau. Phương pháp truyền thống bằng bảng biểu và đồ thị được bổ sung với bản đồ và ảnh ba chiều. Hiện thị trực quan là một trong những khả năng đáng chú ý nhất của GIS, cho phép người sử dụng tương tác hữu hiệu với dữ liệu.

3.3. Mô hình SWAT

3.3.1. Lược sử phát triển

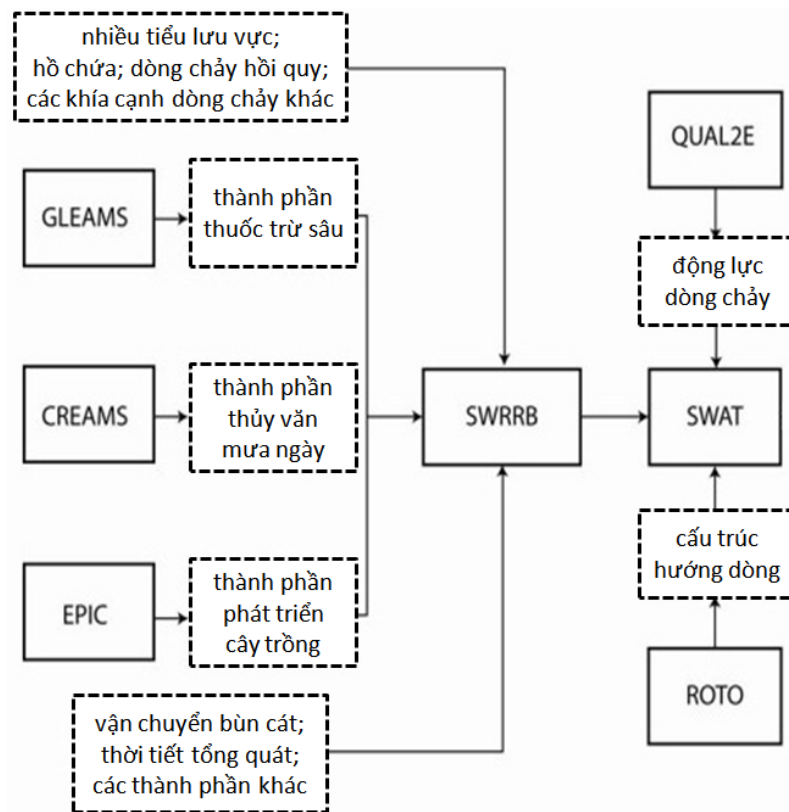
Sự phát triển của SWAT là nỗ lực của Trung tâm Phục vụ Nghiên cứu Nông nghiệp (ARS) thuộc Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA) trong gần 30 năm qua. SWAT tích hợp nhiều mô hình của USDA - ARS, bao gồm: mô hình Hệ thống Quản lý Nông nghiệp về hóa chất, dòng chảy và xói mòn (CREAMS) (Knisel, W. G, 1980), mô hình Hệ thống Quản lý Nông nghiệp về ảnh hưởng của sự tích trữ nước ngầm (GLEAMS) (Leonard, R.A *et al.*, 1987) và mô hình Chính sách Khí hậu về Tác động Môi trường (EPIC) (Izaurrealde, R.C *et al.*, 2006).

Mô hình SWAT là thế hệ tiếp nối của mô hình Mô phỏng Tài nguyên nước Lưu vực Nông thôn (SWRRB) (Arnold, J. G and J.R. Williams, 1987), được thiết kế để mô phỏng tác động của hoạt động quản lý lên nước và vận chuyển phù sa cho những lưu vực nông thôn không có hệ thống quan trắc tại Hoa Kỳ. Mô hình SWRRB ra đời đầu thập niên 80 của thế kỷ XX với sự chỉnh sửa mô hình thủy văn lượng mưa hàng ngày của CREAMS, có sự bổ sung nhiều thành phần mới trong đó có mô hình con về phát triển cây trồng của EPIC. Cuối thập niên này, mô hình SWRRB tiếp tục được chỉnh sửa như thêm vào thành phần thuốc trừ sâu của GLEAMS.

Đầu thập niên 90 thế kỷ XX, Arnold, J. G *et al.* (1995) phát triển mô hình Dẫn dòng Đầu ra đến Cửa xả lưu vực (ROTO) để hỗ trợ đánh giá tác động của hạ lưu lên quản lý nguồn nước ở vùng đất bảo tồn tại bang Arizona và New Mexico. Mô hình này liên kết đầu ra từ nhiều mô hình SWRRB và sau đó vạch ra dòng chảy thông qua hệ thống kênh và hồ trong ROTO. Phương pháp này khắc phục nhược điểm của SWRRB như

chỉ cho phép 10 tiểu lưu vực, tuy nhiên dữ liệu đầu vào và đầu ra còn nặng nề, đòi hỏi nhiều bộ nhớ máy tính. Để khắc phục sự bất tiện này, SWRRB và ROTO được kết hợp thành một mô hình duy nhất là SWAT. Mô hình SWAT giữ lại tất cả những thành phần của SWRRB, trong khi vẫn cho phép mô phỏng khu vực rộng lớn.

Từ khi ra đời vào đầu thập niên 90 thế kỉ XX, SWAT luôn được nghiên cứu và mở rộng khả năng. Đến nay, mô hình SWAT đã trải qua các phiên bản: SWAT94.2, SWAT96.2, SWAT98.1, SWAT99.2, SWAT2000, SWAT2005 và mới nhất là SWAT2009.



Hình 3.9. Sơ đồ lịch sử phát triển của SWAT (phỏng theo Philip W. Gassman *et al.*, 2009)

3.3.2. Lý thuyết mô hình

SWAT là mô hình ở cấp độ lưu vực, được thiết kế để dự báo những ảnh hưởng của thực hành quản lí lên nước, phù sa và lượng hóa chất sinh ra từ hoạt động nông nghiệp trên những lưu vực không có mạng lưới quan trắc. Mô hình dựa trên các quá trình vật lý, với sự hỗ trợ của máy tính và khả năng mô phỏng liên tục trong khoảng thời gian dài. Các thành phần chính của mô hình bao gồm thời tiết, thủy văn, tính chất và nhiệt

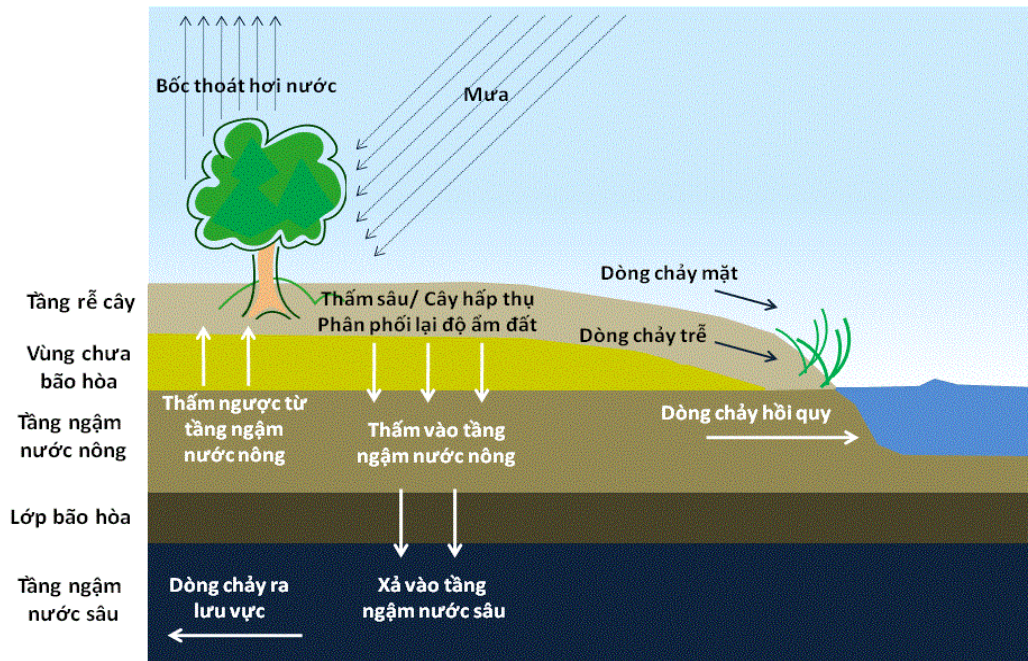
độ của đất, sự phát triển cây trồng, dưỡng chất, thuốc trừ sâu, vi khuẩn, mầm bệnh và quản lý đất đai (Philip W. Gassman *et al.*, 2009).

Để hỗ trợ mô phỏng, trong SWAT, lưu vực được phân chia thành nhiều tiểu lưu vực, mà sau đó lại tiếp tục được chia thành các đơn vị thủy văn (HRUs). Thông tin đầu vào của mỗi tiểu lưu vực được tập hợp và phân loại thành những nhóm chính sau: khí hậu, HRUs, hồ, nước ngầm, sông chính và nhánh, đường phân thủy. HRUs là các đơn vị đất đai trong tiểu lưu vực có sự đồng nhất về sử dụng đất, tính chất đất và thực hành quản lý (Susan L. Neitsch *et al.*, 2009).

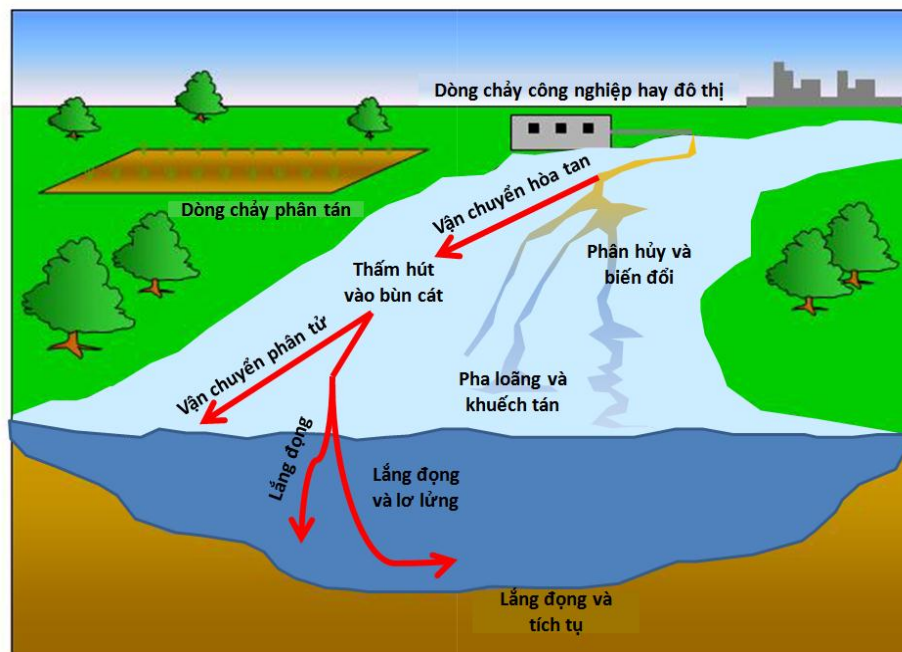
Cho dù nghiên cứu vấn đề gì trong SWAT thì cân bằng nước vẫn là lực chi phối phía sau tất cả những thứ xuất hiện trong lưu vực. Để dự báo chính xác sự di chuyển của thuốc trừ sâu, phù sa và dưỡng chất thì chu trình thủy văn được mô phỏng bởi SWAT cần phải phù hợp với những diễn biến đang xảy ra trong lưu vực.

Mô hình thủy văn trong lưu vực được phân chia thành hai nhóm chính (Susan L. Neitsch *et al.*, 2009):

- Pha đất của chu trình thủy văn: kiểm soát lượng nước, phù sa, dinh dưỡng và thuốc trừ sâu được đưa từ trong mỗi tiểu lưu vực ra sông chính.
- Pha nước của chu trình thủy văn: kiểm soát quá trình di chuyển của dòng nước, quá trình bồi lắng, v.v...diễn ra thông qua hệ thống sông ngòi của lưu vực đến cửa xả.



Hình 3.10. Sơ đồ chu trình thủy văn trong pha đất (phỏng theo Susan L. neitsch *et al.*, 2009)



Hình 3.11. Các quá trình trong dòng chảy được mô phỏng bởi SWAT (phỏng theo Susan L. neitsch *et al.*, 2009)

3.3.2.1. Pha đất của chu trình thủy văn

SWAT mô hình hóa chu trình nước dựa trên cơ sở phương trình cân bằng nước sau (Susan L. neitsch *et al.*, 2009):

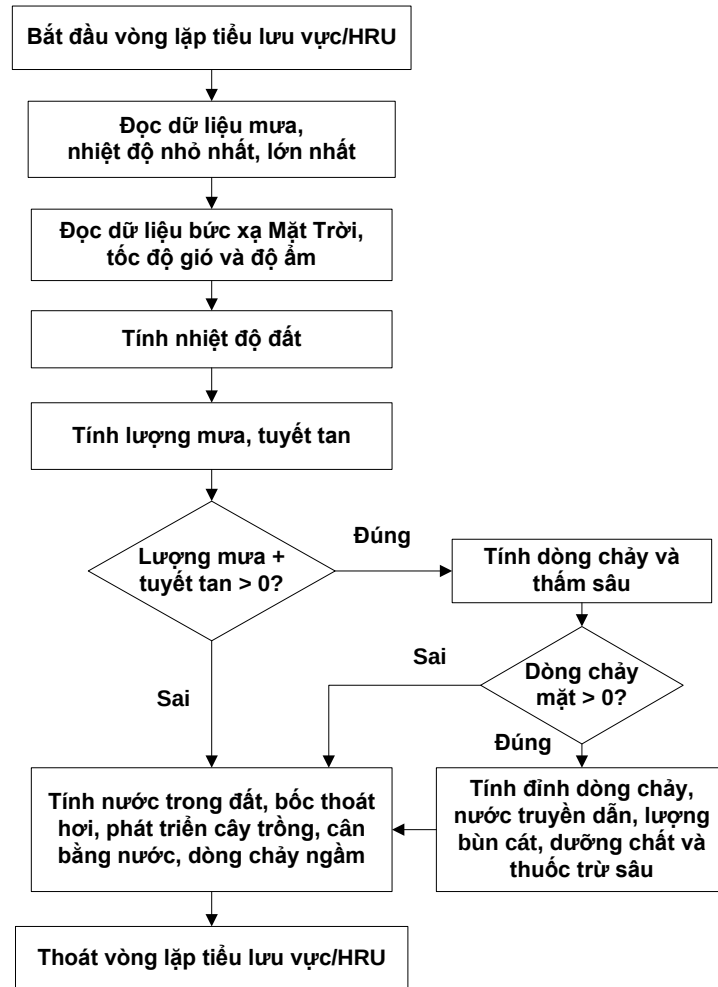
$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (3.2)$$

Trong đó,

- SW_t : lượng nước trong đất tại thời điểm t (mm)
- SW_o : lượng nước trong đất tại thời điểm ban đầu trong ngày thứ i (mm)
- t : thời gian (ngày)
- R_{day} : lượng nước mưa trong ngày thứ i (mm)
- Q_{surf} : lượng dòng chảy mặt trong ngày thứ i (mm)
- E_a : lượng nước bốc hơi trong ngày thứ i (mm)
- w_{seep} : lượng nước thấm vào vùng chưa bão hòa trong ngày thứ i (mm)
- Q_{gw} : lượng nước ngầm chảy ra sông trong ngày thứ i (mm)

Quá trình chia nhỏ lưu vực thành các tiểu lưu vực và HRUs làm cho việc mô tả cân bằng nước thêm độ chính xác và tốt hơn.

Trình tự các bước SWAT mô phỏng chu trình thủy văn trong pha đất được thể hiện trong Hình 3.12. Các dữ liệu đầu vào và tiến trình liên quan đến pha đất của chu trình thủy văn bao gồm: khí hậu, thủy văn, thực phủ/ sự phát triển cây trồng, xói mòn, dưỡng chất, thuốc trừ sâu, quản lý.



Hình 3.12. Vòng lặp HRU/tiểu lưu vực (phỏng theo Susan L. neitsch *et al.*, 2009)

3.3.2.2. Pha nước của chu trình thủy văn

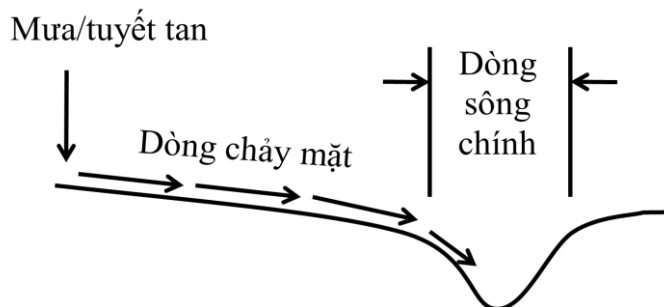
SWAT xác định quá trình di chuyển nước, phù sa, dưỡng chất và thuốc trừ sâu vào mạng lưới sông ngòi của lưu vực bằng cách sử dụng cấu trúc lệnh. Thêm vào đó, để thể hiện dòng di chuyển của hóa chất, SWAT mô phỏng sự biến đổi của hóa chất trong kênh, rạch và sông chính.

Hình 3.11 minh họa các quá trình trong dòng chảy được mô phỏng bởi SWAT, bao gồm dòng chảy trong sông và dòng chảy trong hồ chứa.

3.3.3. Nguyên lý mô phỏng dòng chảy

Dòng chảy mặt, hay dòng chảy tràn, dòng chảy trong kênh là dòng chảy xuất hiện trên bề mặt lưu vực khi lượng nước trên bề mặt đất vượt quá tỉ lệ thấm (xem Hình 3.13). Khi nước chảy trên đất khô, tỉ lệ thấm thường cao. Tuy nhiên, tỉ lệ này sẽ giảm khi đất

trở nên ướt hơn. Đến khi lượng nước chảy tràn cao hơn tỉ lệ thấm, bề mặt đất dần trở nên bão hòa, dòng chảy mặt bắt đầu xuất hiện.



Hình 3.13. Dòng chảy mặt

SWAT cung cấp hai phương pháp ước lượng dòng chảy mặt là đường cong số SCS (Soil Conservation Service, 1972) và Green – Ampt (Green, W.H. and G.A. Ampt, 1911). Phương pháp đường cong số chỉ cần lượng mưa theo ngày, trong khi đó phương pháp Green – Ampt yêu cầu lượng mưa theo giờ. Do vậy, để phù hợp với khả năng dữ liệu hiện có, đề tài chỉ đề cập đến phương pháp đường cong số. Bên cạnh ước lượng dòng chảy mặt, SWAT còn cho phép xác định lưu lượng và vận tốc dòng chảy dựa trên phương trình Manning (S.L. Neitsch *et al.*, 2005).

3.3.3.1. Phương pháp đường cong số SCS

Phương trình dòng chảy SCS là một mô hình thực nghiệm được sử dụng phổ biến trong những năm 50 của thế kỉ XX. Nó là sản phẩm của hơn 20 năm nghiên cứu mối liên hệ mưa – dòng chảy tại các lưu vực nông thôn trên toàn nước Mỹ. Mô hình này được phát triển để cung cấp cơ sở phù hợp cho việc ước lượng dòng chảy dưới điều kiện sử dụng đất và loại đất khác nhau (Rallison, R.E. and N. Miller, 1981).

Phương trình đường cong số SCS có dạng như sau (Soil Conservation Service, 1972):

$$Q_{\text{surf}} = \frac{(R_{\text{day}} - I_a)^2}{(R_{\text{day}} - I_a + S)} \quad (3.3)$$

Trong đó, Q_{surf} là dòng chảy tích lũy hay lượng mưa vượt quá (mm), R_{day} là lượng mưa trong ngày (mm), I_a là lượng nước mất đi ban đầu bao gồm lưu trữ bề mặt, thấm trước khi hình thành dòng chảy (mm), còn lại S là tham số duy trì (mm). Tham số duy trì thay đổi theo không gian tùy thuộc vào sự biến đổi của đất, sử dụng đất, quản lý, độ

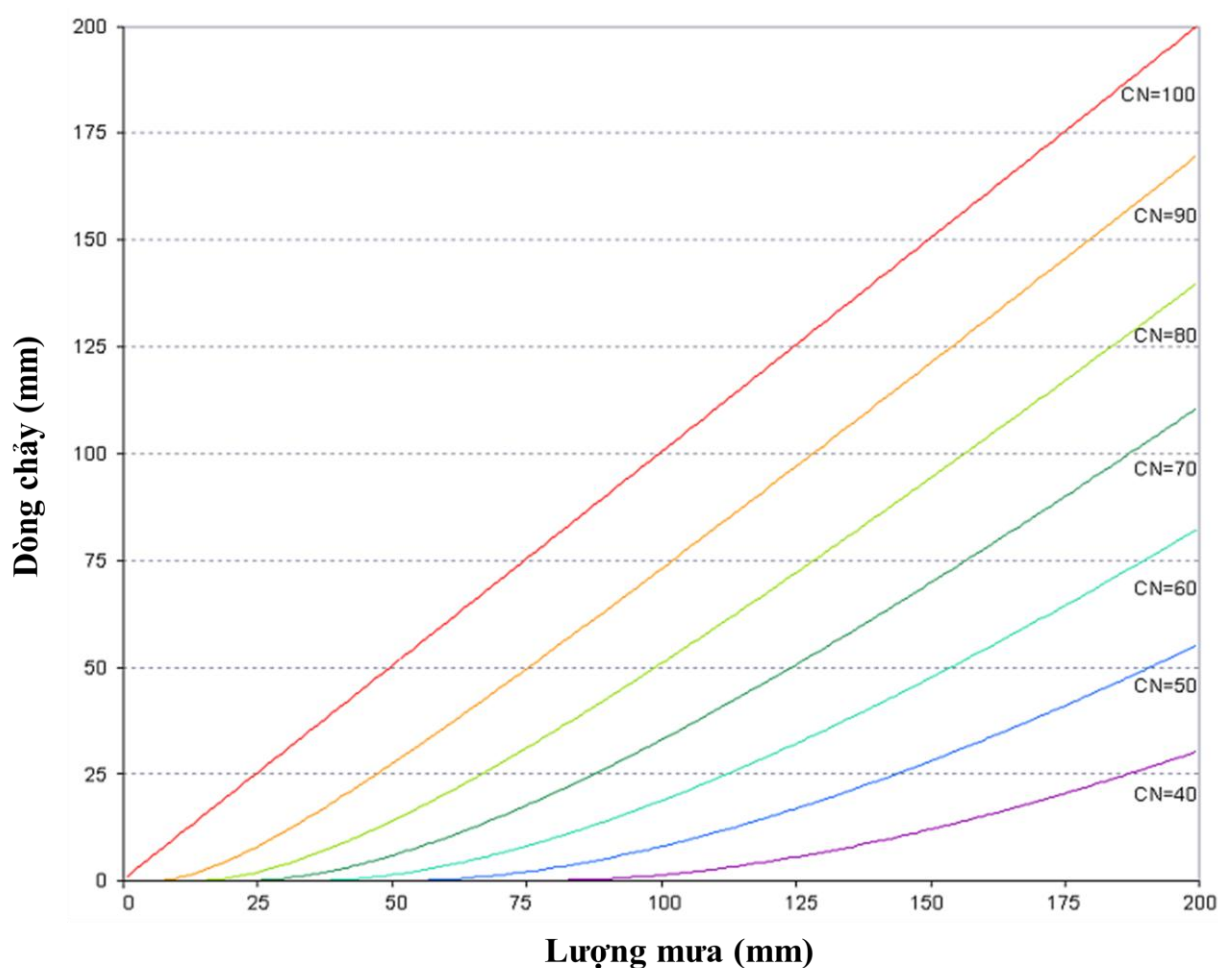
dốc và theo thời gian do sự thay đổi nước trong đất. Tham số này được định nghĩa như sau (S.L. Neitsch *et al.*, 2005):

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3.4)$$

Trong đó, CN là đường cong số trong ngày. Lượng nước mất đi ban đầu I_a thường thường xấp xỉ bằng $0,2S$. Khi đó, phương trình 3.3 trở thành:

$$Q_{\text{surf}} = \frac{(R_{\text{day}} - 0,2S)^2}{(R_{\text{day}} + 0,8S)} \quad (3.5)$$

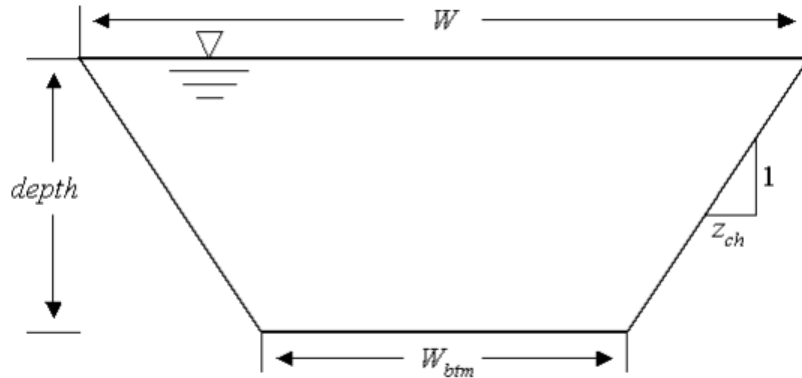
Dòng chảy chỉ xuất hiện khi $R_{\text{day}} > I_a$. Lời giải hình học cho phương trình ứng với các đường cong số khác nhau được thể hiện như Hình 3.14.



Hình 3.14. Mối liên hệ giữa dòng chảy với mưa trong phương pháp đường cong số SCS (S.L. Neitsch *et al.*, 2005)

3.3.3.2. Phương trình Manning

SWAT giả thiết dòng chảy chính có dạng hình thang (Hình 3.15).



Hình 3.15. Dòng chảy dạng hình thang

Trong đó, depth là độ sâu mực nước trong sông (m), W là chiều rộng đỉnh sông ứng với độ sâu mực nước (m), W_{btm} là chiều rộng đáy sông (m), z_{ch} là giá trị nghịch đảo của độ dốc sông (theo giả thiết trong SWAT, $z_{ch} = 2$).

Chiều rộng đáy sông được tính toán theo công thức (S.L. Neitsch *et al.*, 2005):

$$W_{btm} = W_{bnkfull} - 2 \cdot z_{ch} \cdot depth_{bnkfull} \quad (3.6)$$

Trong đó, $W_{bnkfull}$ là chiều rộng đỉnh sông khi đầy nước (m), $depth_{bnkfull}$ là độ sâu mực nước trong sông khi đạt đến đỉnh sông (m). Bởi vì giả thiết $z_{ch} = 2$, nên có thể chiều rộng đáy sông tính theo phương trình 3.6 nhỏ hơn hoặc bằng 0. Nếu trường hợp này xuất hiện, mô hình đặt $W_{btm} = (0,5 \cdot W_{bnkfull})$ và tính toán lại giá trị z_{ch} theo phương trình:

$$z_{ch} = \frac{(W_{bnkfull} - W_{btm})}{2 \cdot depth_{bnkfull}} \quad (3.7)$$

Phương trình Manning cho dòng chảy đồng nhất được dùng để tính toán lưu lượng và vận tốc dòng chảy tại từng đoạn sông ứng với thời gian bước nhảy cho trước (S.L. Neitsch *et al.*, 2005):

$$Q_{ch} = \frac{A_{ch} \cdot R_{ch}^{2/3} \cdot slp_{ch}^{1/2}}{n} \quad (3.8)$$

$$V_{ch} = \frac{R_{ch}^{2/3} \cdot slp_{ch}^{1/2}}{n} \quad (3.9)$$

Trong đó, q_{ch} là lưu lượng dòng chảy trong sông (m^3/s), A_{ch} là diện tích mặt cắt dọc dòng chảy trong sông (m^2), R_{ch} là bán kính thủy lực của sông ứng với độ sâu dòng chảy (m), slp_{ch} là độ dốc dọc theo chiều dài sông (m/m), n là hệ số nhám Manning (phụ thuộc vào đặc điểm bề mặt đất) và v_c là vận tốc dòng chảy (m/s).

Diện tích mặt cắt dọc dòng chảy A_{ch} (m^2) được tính toán theo công thức (S.L. Neitsch *et al.*, 2005):

$$A_{ch} = (W_{btm} + z_{ch} \cdot depth) \cdot depth \quad (3.10)$$

Bán kính thủy lực của sông R_{ch} (m) được tính bởi công thức (S.L. Neitsch *et al.*, 2005):

$$R_{ch} = \frac{A_{ch}}{P_{ch}} \quad (3.11)$$

Trong đó, P_{ch} (m) là tham số ẩm của sông được tính theo công thức (S.L. Neitsch *et al.*, 2005):

$$P_{ch} = W_{btm} + 2 \cdot depth \cdot \sqrt{1 + z_{ch}^2} \quad (3.12)$$

Độ dốc sông là tỉ lệ giữa chênh lệch độ cao thấp nhất và cao hơn của sông (ΔE_c) với chiều dài sông tính từ điểm đầu và điểm cuối của sông dọc theo dòng sông chính (L_c) theo công thức (Mohammad Karamouz *et al.*, 2003):

$$slp_{ch} = \frac{\Delta E_c}{L_c} \quad (3.13)$$

3.4. Mô hình WEAP

3.4.1. Lịch sử phát triển

WEAP được tạo ra vào năm 1988, bởi Paul Raskin với mục đích trở thành một công cụ lập kế hoạch linh hoạt, tích hợp và minh bạch để đánh giá tính bền vững của nhu cầu nước hiện tại, mô hình cung cấp nước và khám phá các phương án kịch bản lâu dài. SEI là tổ chức hỗ trợ chính cho việc phát triển mô hình WEAP. Trung tâm Kỹ thuật Thủy văn của quân đội Mỹ đã tài trợ cho việc cải tiến mô hình. Một số cơ quan,

bao gồm Ngân hàng Thế giới, USAID và Quỹ Cơ sở Hạ tầng Toàn cầu của Nhật Bản đã hỗ trợ dự án.

Ứng dụng quan trọng đầu tiên của WEAP là tại vùng biển Aral vào năm 1989 với sự tài trợ của SEI. SEI tiếp tục hỗ trợ sự phát triển của WEAP thông qua Trung tâm của SEI tại Hoa Kỳ. Đến nay, WEAP đã được áp dụng trong đánh giá nguồn nước ở hàng chục quốc gia, trong đó có Hoa Kỳ, Mexico, Brazil, Đức, Ghana, Burkina Faso, Kenya, Nam Phi, Mozambique, Ai Cập, Israel, Oman, Trung Á, Sri Lanka, Ấn Độ, Nepal, Trung Quốc, Hàn Quốc và Thái Lan (SEI, 2010).

3.4.2. Lý thuyết mô hình

Hoạt động dựa trên nguyên tắc cơ bản của cân bằng nước, WEAP được áp dụng cho các hệ thống đô thị và nông nghiệp, lưu vực đơn lẻ hoặc các hệ thống sông xuyên biên giới phức tạp. Hơn nữa, WEAP có thể giải quyết một loạt vấn đề, ví dụ, phân tích nhu cầu nước, bảo tồn nước, quyền và ưu tiên phân bổ nước, nước ngầm và mô phỏng dòng chảy, điều hành hồ chứa, thủy điện, theo dõi ô nhiễm, yêu cầu hệ sinh thái, đánh giá tính dễ tổn thương và phân tích lợi ích - chi phí dự án. Hai chức năng chính của mô hình WEAP là (Sieber, J *et al.*, 2005):

- Mô phỏng các quá trình thủy văn diễn ra trong lưu vực (bao gồm bốc thoát hơi, dòng chảy và thấm hút), qua đó cho phép đánh giá tiềm năng nước của lưu vực.
- Mô phỏng các hoạt động của con người lên tài nguyên nước (bao gồm nhu cầu tiêu hao nước và không tiêu hao nước), từ đó đánh giá tác động của nhu cầu nước lên tài nguyên nước của lưu vực.

Để hỗ trợ mô phỏng quá trình phân phối nguồn nước, các thành phần trong hệ thống nhu cầu – cung cấp nước và mối liên hệ giữa chúng được khái quát hóa theo lưu vực quan tâm. Hệ thống nguồn nước được thể hiện dưới dạng những thuật ngữ về nguồn nước (ví dụ, nước mặt, nước ngầm); đường truyền dẫn, hồ chứa, nhà máy xử lý nước thải và nhu cầu nước (ví dụ, nhu cầu nông nghiệp, công nghiệp, dân sinh, ...). Cấu trúc dữ liệu và mức độ chi tiết của nó có thể dễ dàng tùy chỉnh để đáp ứng yêu cầu của một phân tích cụ thể và để phản ánh các giới hạn áp đặt bởi dữ liệu bị hạn chế.

Các ứng dụng WEAP thường bao gồm nhiều bước. Bước *định nghĩa vấn đề nghiên cứu* thiết lập khung thời gian, ranh giới không gian, thành phần hệ thống và cấu hình của vấn đề. Bước *đánh giá hiện trạng*, có thể được xem như là một bước hiệu chỉnh trong việc phát triển một ứng dụng, cung cấp cái nhìn nhanh về nhu cầu nước thực tế, lượng tải ô nhiễm, tài nguyên và nguồn cung cấp cho hệ thống. Những giả định có thể được xây dựng thành các đánh giá hiện trạng để đại diện cho các chính sách, chi phí và các yếu tố có ảnh hưởng đến nhu cầu, ô nhiễm, cung cấp và thủy văn. Bước *xây dựng kịch bản* được xây dựng trên các đánh giá hiện trạng và cho phép người sử dụng khám phá những tác động của các giả định khác nhau hoặc chính sách lên nguồn nước và sử dụng nước trong tương lai. Cuối cùng, các kịch bản được đánh giá đầy đủ về tính hiệu quả sử dụng nước, chi phí và lợi ích, tính tương thích với các mục tiêu môi trường và mức độ nhạy cảm với sự không chắc chắn trong các biến quan trọng.

WEAP là một mô hình tổng thể, dễ hiểu, dễ sử dụng và hướng đến sự hỗ trợ hơn là thay thế cho nhà quy hoạch có kỹ năng. Dưới góc độ cơ sở dữ liệu, WEAP cung cấp một hệ thống thông tin về nhu cầu và cung cấp nước. Dưới góc độ dự báo, WEAP mô phỏng nhu cầu, cung cấp nước, dòng chảy, lưu trữ, sự phát sinh ô nhiễm, cách xử lý và loại trừ. Dưới góc độ phân tích chính sách, WEAP đánh giá toàn diện các phương án phát triển và quản lý tài nguyên nước. Ngày càng có nhiều chuyên gia về nước nhận thấy WEAP là phần bổ sung hữu ích cho các mô hình, cơ sở dữ liệu, bảng tính và các phần mềm của họ (SEI, 2010).

3.4.3. Cấu trúc của WEAP

WEAP chứa 5 khung nhìn chính: sơ đồ (schematic), dữ liệu (data), kết quả (results), khám phá kịch bản (scenario explorer) và ghi chú (notes).

3.4.3.1. Sơ đồ

Khung nhìn sơ đồ là giao diện đồ họa “kéo và thả” được dùng để mô tả và hiển thị các đối tượng vật lý của hệ thống cung cấp và nhu cầu nước trong WEAP. Đây là điểm khởi đầu cho tất cả các hoạt động trên WEAP. Khung nhìn này chứa các công cụ GIS cho phép người dùng dễ dàng thiết lập cấu hình hệ thống. Các đối tượng (ví dụ, nút nhu cầu, hồ chứa) có thể được tạo ra và định vị trong hệ thống bằng cách kéo và thả

các thành phần từ trình đơn. Các tập tin chuẩn vector hoặc raster GIS có thể được thêm vào như là các lớp nền. Người dùng có thể nhanh chóng truy cập dữ liệu và hiển thị kết quả cho bất kỳ nút nào bằng cách nhấp vào đối tượng quan tâm.

3.4.3.2. Dữ liệu

Trong khung nhìn dữ liệu, người dùng có thể xây dựng mô hình hệ thống, nhập vào cấu trúc dữ liệu, dữ liệu, giả định, mô phỏng mối quan hệ và tài liệu cho đánh giá hiện trạng và cho từng kịch bản bằng cách sử dụng các biểu thức toán học và tự động liên kết với Excel.

3.4.3.3. Kết quả

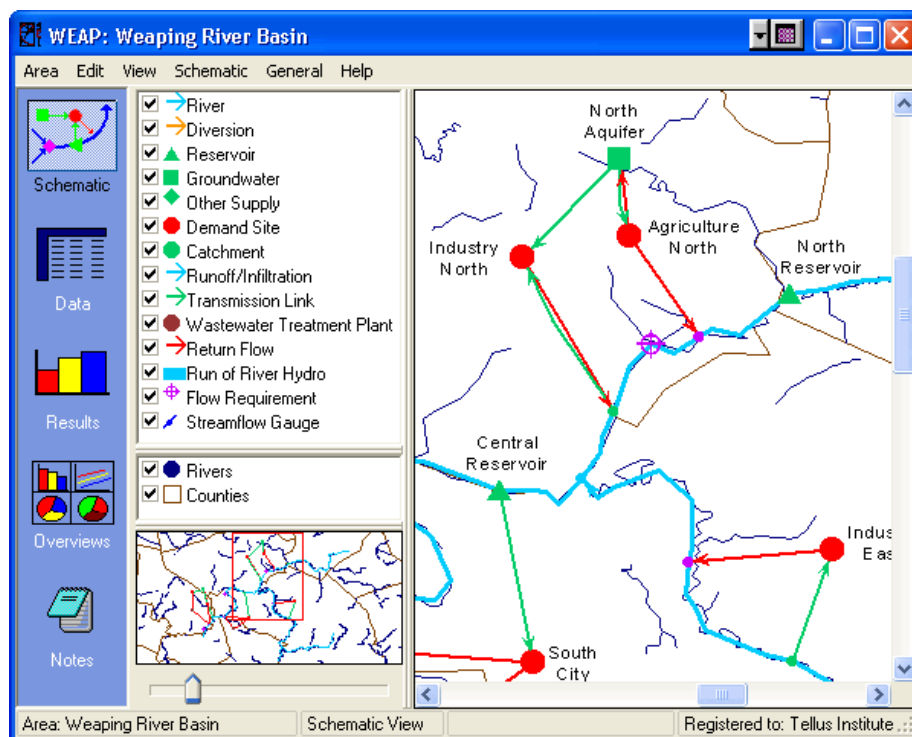
Khung nhìn kết quả cho phép hiển thị chi tiết và linh hoạt tất cả các kết quả đầu ra của mô hình, dưới dạng biểu đồ, bảng biểu và trên sơ đồ.

3.4.3.4. Khám phá kịch bản

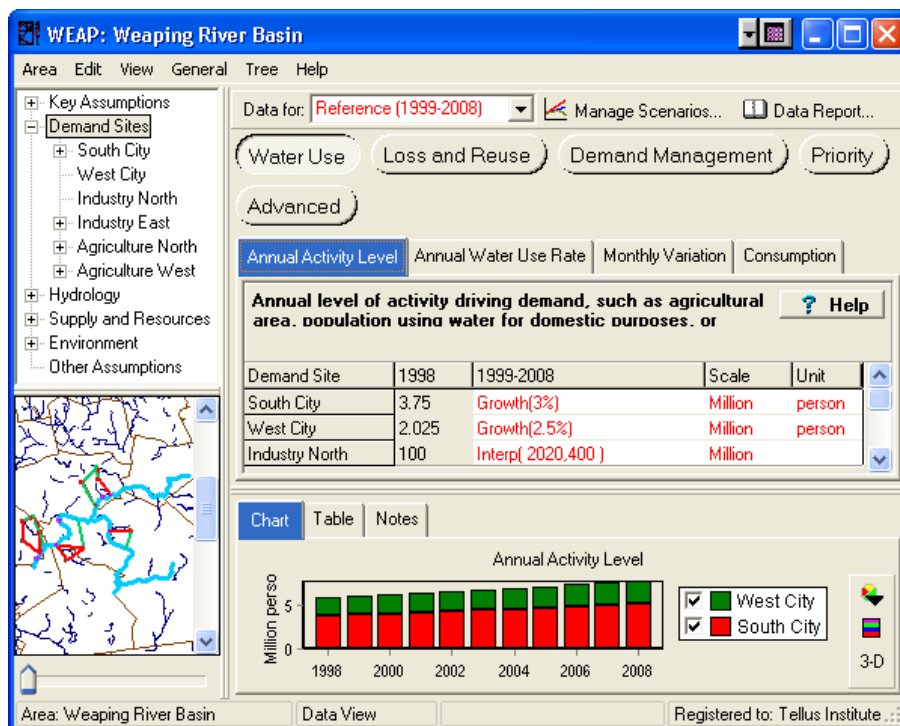
Người dùng có thể làm nổi bật các chỉ số quan trọng trong hệ thống của để xem nhanh.

3.4.3.5. Ghi chú

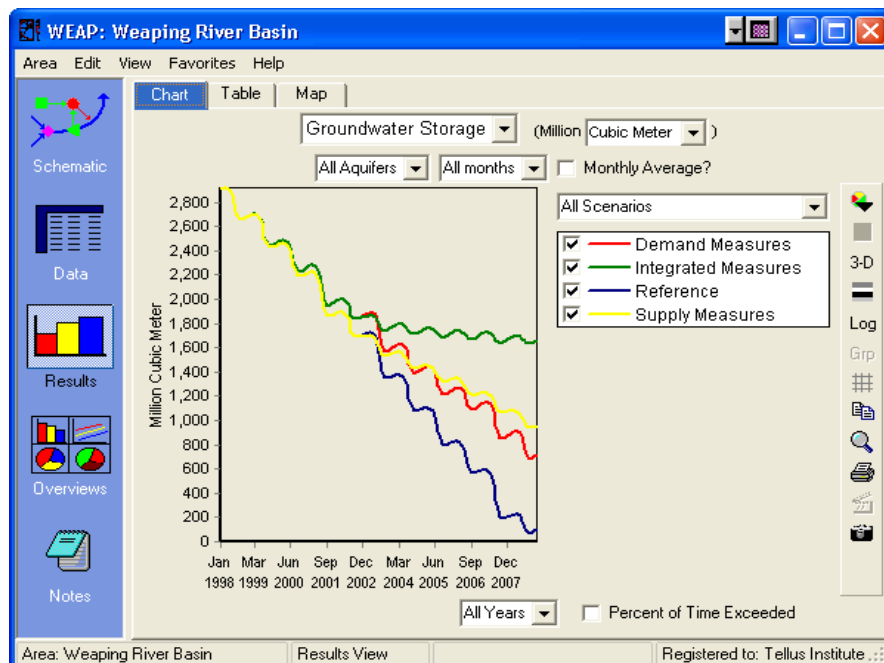
Khung nhìn ghi chú cung cấp nơi ghi chép dữ liệu và giả định của người dùng.



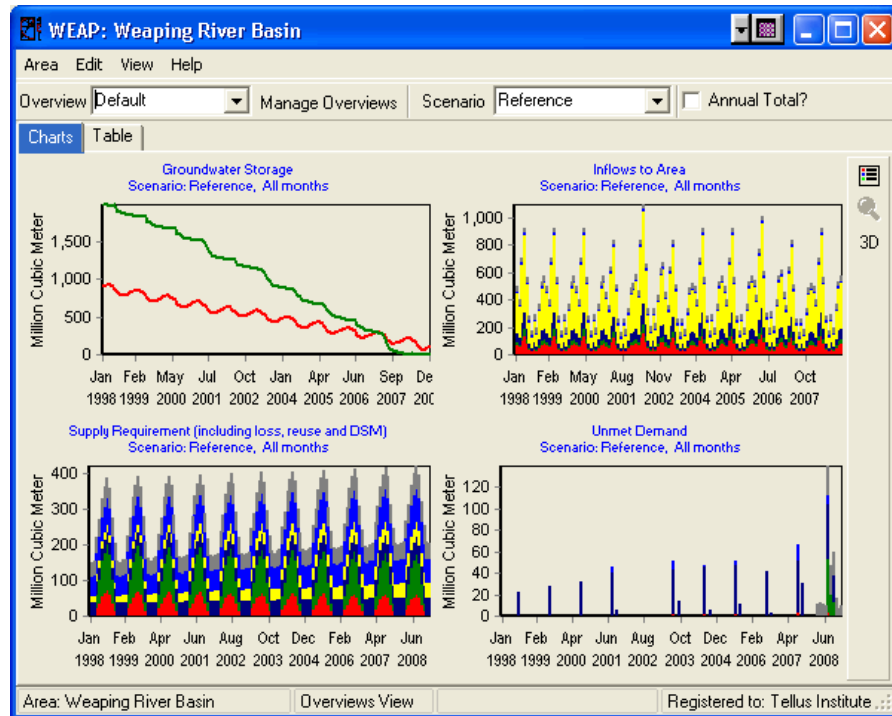
Hình 3.16. Khung nhìn sơ đồ trong WEAP



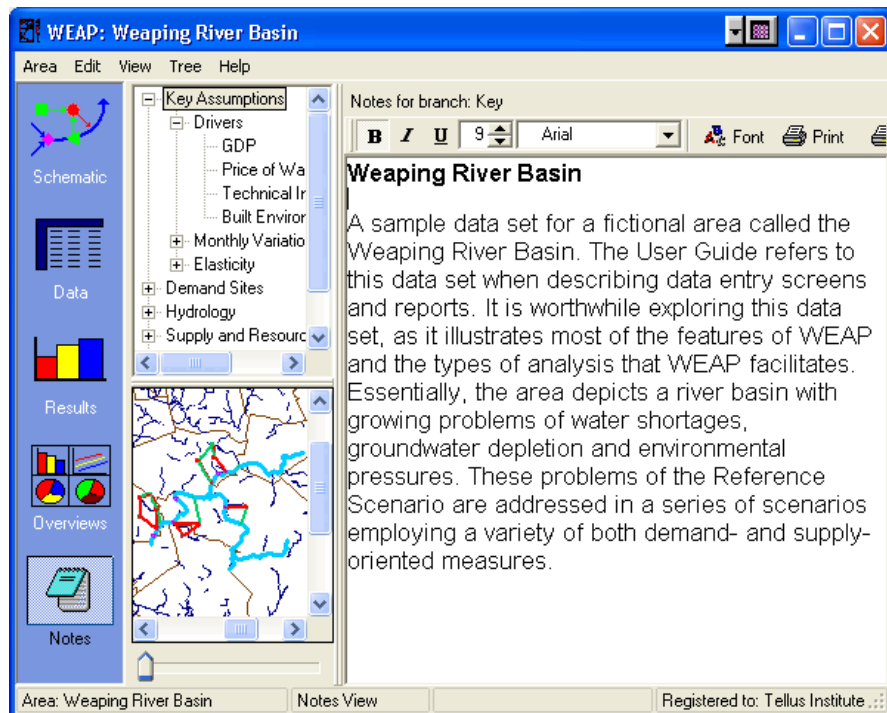
Hình 3.17. Khung nhìn dữ liệu trong WEAP



Hình 3.18. Khung nhìn kết quả trong WEAP



Hình 3.19. Khung nhìn khám phá kịch bản trong WEAP



Hình 3.20. Khung nhìn ghi chú trong WEAP

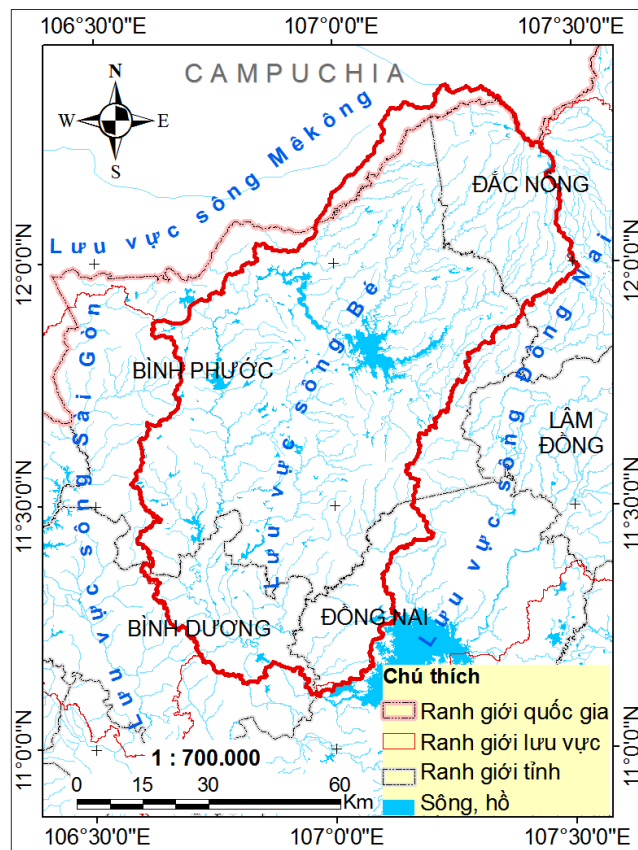
CHƯƠNG 4

ĐẶC ĐIỂM LƯU VỰC SÔNG BÉ

4.1. Đặc điểm tự nhiên

4.1.1. Vị trí địa lý

Sông Bé là một trong 4 phụ lưu lớn của hệ thống sông Đồng Nai, với diện tích là 7.650 km². Phạm vi lưu vực trải dài trong khoảng tọa độ 11°06' - 12°22' độ vĩ Bắc và 106°35' - 107°31' độ kinh Đông, thuộc địa phận các tỉnh Bình Phước, Bình Dương, Đồng Nai, Đắc Nông và một phần nhỏ trên đất Campuchia. 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. Sơ đồ vị trí lưu vực sông Bé được thể hiện ở Hình 4.1.



Hình 4.1. Vị trí địa lý lưu vực sông Bé

4.1.2. Địa hình

Lưu vực sông Bé nằm trên vùng chuyển tiếp từ địa hình núi cao, cao nguyên của phần cuối phía Nam dãy Trường Sơn xuống đồng bằng Nam Bộ nên địa hình biến đổi rất đa dạng và phức tạp. Trên lưu vực vừa có địa hình đồi núi lại vừa có địa hình trung du dạng gò đồi úp bát và lượn sóng xen lẫn một ít đồng bằng nhỏ, hẹp và một số dạng lòng chảo (bầu trũng).

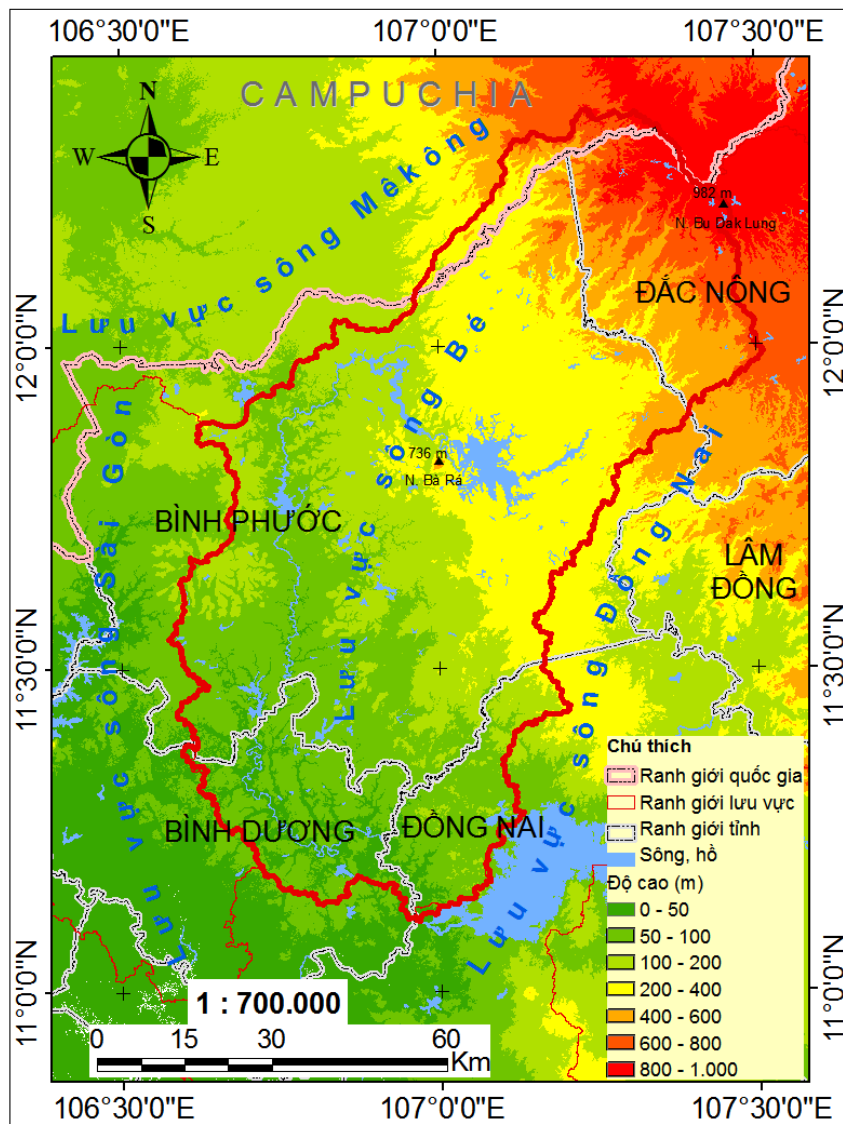
- Địa hình dạng đồi núi chiếm phần lớn diện tích lưu vực, tập trung chủ yếu ở trung lưu (đoạn Bình Long - Đồng Phú) lên thượng nguồn sông. Từ Phước Long trở lên, cao độ biến đổi từ 200 - 900 m. Đây là vùng có nhiều núi cao, với các đỉnh Bu Dak Lung 982 m, Don Linh 960 m, Yok R'tou 857 m, Bu Plang 849 m... đều thuộc huyện Đắc R'lấp, tỉnh Đắc Nông và kết thúc vùng này là núi Bà Rá thuộc huyện Phước Long, tỉnh Bình Phước, cao độ 726 m.

- Địa hình trung du dạng đồi bát úp và lượn sóng phân bố ở vùng trung lưu và phía Đông của hạ lưu vực sông. Cao độ phổ biến ở đây từ 100 - 200 m. Đất đai vùng này hầu hết là đất đỏ bazan, tơi xốp và phì nhiêu, đã được khai thác phần lớn để trồng cây công nghiệp có giá trị kinh tế cao như cao su, điều, cà phê và hồ tiêu...

- Địa hình vùng đồng bằng trung du ở hạ lưu ít chia cắt hơn, nhưng không có các cánh đồng lớn tập trung mà chủ yếu là dạng gò xoải và lượn sóng ven theo triền đồi của các suối Nước Trong, suối Giai phía bờ trái, vùng Tân Lập, Minh Hương, Tân Quan và Chơn Thành phía bờ phải. Cao độ vùng này phổ biến từ 50 - 100 m.

- Địa hình đồng bằng trũng cục bộ nằm rải rác dọc theo các sông suối trên lưu vực. Những đồng bằng dạng này thường nhỏ hẹp, chủ yếu dùng để trồng lúa nước, một số nơi chưa được cải tạo nên vẫn là đồng lầy hoang hóa.

Hướng nghiêng của địa hình cũng là hướng dốc của lưu vực, với độ cao giảm dần theo hướng Đông Bắc - Tây Nam, từ 750 - 1.000 m ở vùng thượng, trung lưu xuống vùng hạ lưu chỉ còn 80 - 100 m và tăng dần từ phía Tây lưu vực với 80 - 150 m sang phía Đông lưu vực với 250 - 700 m.



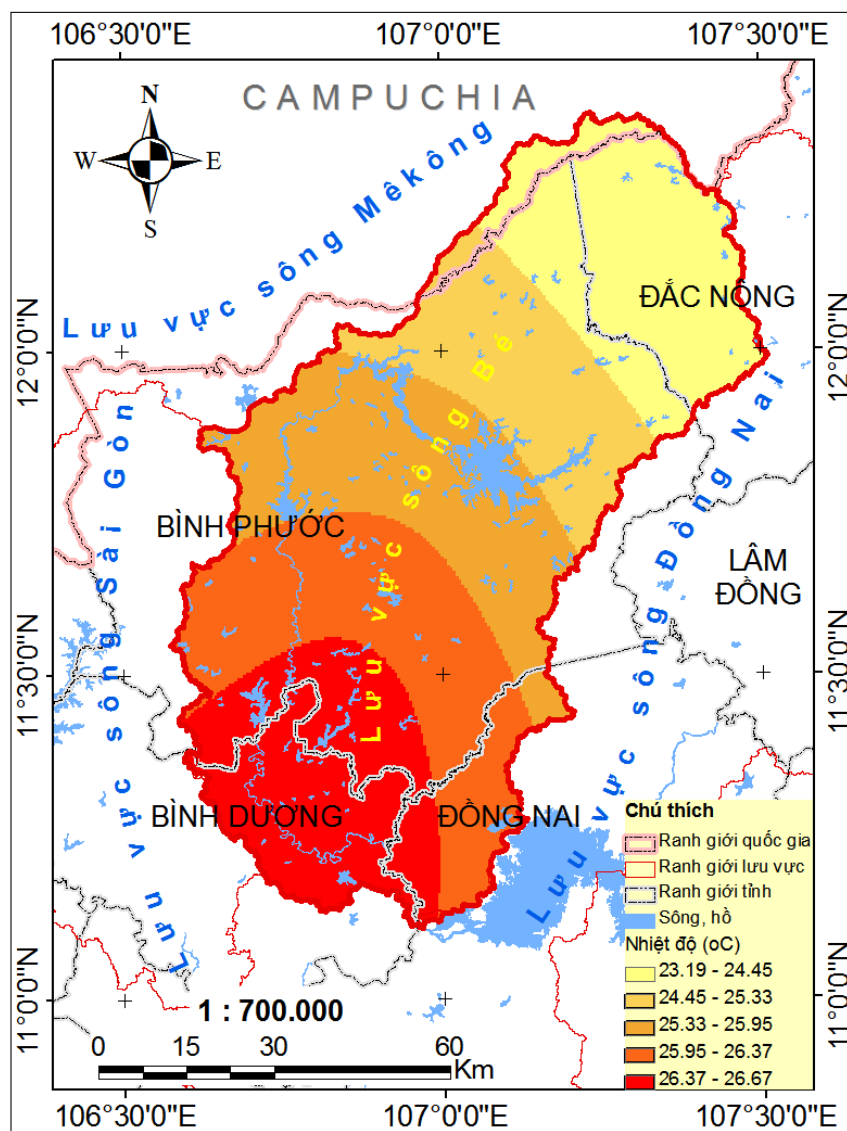
Hình 4.2. Bản đồ địa hình lưu vực sông Bè

4.1.3. Khí hậu

Lưu vực sông Bè nằm trong vùng chịu ảnh hưởng của chế độ khí hậu nhiệt đới gió mùa với hai mùa gió 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, tạo nên một mùa đông ẩm áp và khô hạn. Mùa hè, khu 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. 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.

4.1.3.1. Nhiệt độ

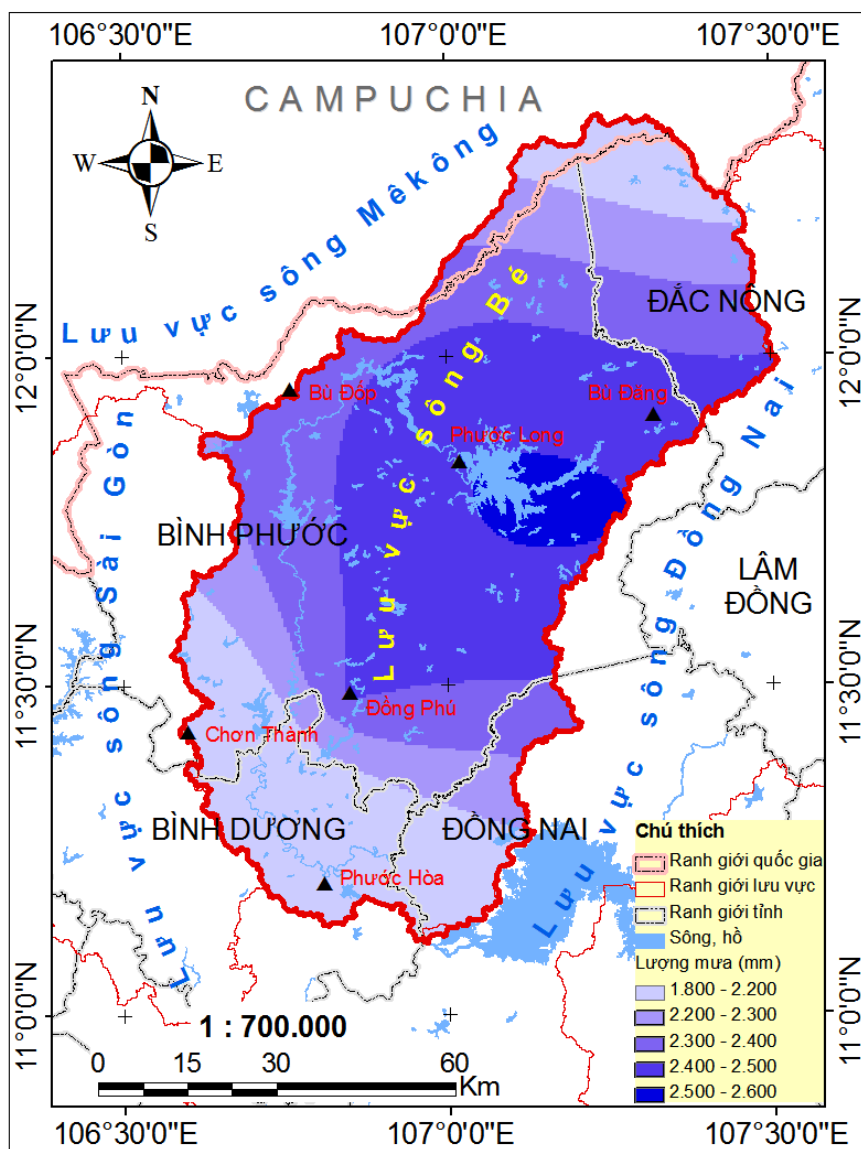
Lưu vực sông Bé có nền nhiệt độ cao với nhiệt độ trung bình năm ở các nơi dao động trong khoảng 25,5 – 26,7 °C và biến động nhiệt độ trung bình tháng lớn nhất và nhỏ nhất trong năm từ 20 – 40 °C. Thời gian nóng nhất trong năm thường vào những tháng cuối mùa khô và đầu mùa mưa, từ tháng III - V, với khoảng 27 – 28 °C, trong đó cao nhất là tháng IV. Thời gian lạnh nhất trong năm vào khoảng từ tháng XII - I, với 23 – 25 °C. Nhiệt độ cao nhất tuyệt đối có thể lên đến 38,5 - 40,6 °C nhưng nhiệt độ thấp nhất tuyệt đối chỉ ở mức từ 13,7 - 14,3 °C. Dao động nhiệt độ ngày đêm khá lớn, từ 9 - 11 °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).



Hình 4.3. Bản đồ nhiệt độ trung bình năm lưu vực sông Bé

4.1.3.2. 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.



Hình 4.4. Bản đồ lượng mưa trung bình năm lưu vực sông Bé

Theo không gian, lượng mưa có xu hướng tăng dần từ Tây sang Đông và từ Nam (hạ lưu) lên Bắc (thượng lưu). Lượng mưa lớn nhất xảy ra ở vùng núi cao phía Đông của Đồng Phú, nơi bắt nguồn của nhánh Dak Glun và các suối Mude, Rạch Rạt, suối Rát, Da Pantan... Nơi đây nằm trong dải mưa lớn nhất trên lưu vực sông Đồng Nai, kéo dài từ Tà Lài, Madagui cho đến Bảo Lộc (Lâm Đồng), với lượng mưa đạt từ 2.500 - 2.600

mm (Bù Đăng: 2.566 mm, Phước Long: 2.632 mm, Đồng Phú: 2.491 mm, Bù Đốp: 2.410 mm), nơi cao nhất có thể lên tới 2.700 - 2.800 mm. Nguyên nhân gây mưa chính ở khu vực này là do tồn tại nhiều ngọn núi cao, hẻm núi sâu, tạo điều kiện thuận lợi đón gió mùa Tây Nam. Trong khi đó, lượng mưa nhỏ nhất phân bố dọc theo thung lũng sông và vùng phía Tây Nam lưu vực, kéo dài từ Bình Long, Chơn Thành cho đến cửa ra dòng chính Đồng Nai, với lượng mưa từ 2.000 - 2.200 mm, thậm chí có nơi dưới 2.000 mm (Phước Hoà: 1.930 mm, Chơn Thành: 1.864 mm).

Theo thời gian, mưa trên lưu vực sông Bé được phân thành hai mùa mưa và khô tương phản nhau sâu sắc. Mùa mưa kéo dài 6 tháng (từ tháng V - X) trùng với thời kỳ gió mùa Tây Nam hoạt động, với lượng mưa chiếm từ 85 – 90 % tổng lượng mưa năm, 3 tháng có lượng mưa lớn nhất là VII, VIII và IX. Trong mùa khô, lượng mưa trên lưu vực rất nhỏ, chỉ 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.

4.1.3.3. Độ ẩm không khí

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 VI - X đạt từ 80 – 90 %) và độ ẩm nhỏ vào các tháng mùa khô (tháng I - III đạt từ 70 – 75 %).

Bảng 4.1. Độ ẩm trung bình tháng tại một số địa điểm (%)

Trạm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Trung bình năm
Phước Long	72	70	70	75	82	81	88	89	89	87	80	75	80
Đồng Phú	75	71	71	77	83	87	88	89	87	88	83	80	82
Lộc Ninh	70	69	69	73	83	88	89	90	90	80	73	74	79
Sở Sao	74	75	74	76	82	87	88	88	89	88	86	81	82

(VQHTLMN, 2002)

4.1.3.4. 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 46 - 70 mm, nhỏ nhất vào tháng IX (46 - 57 mm). Lượng bốc hơi lớn nhất thường vào các tháng mùa khô, 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 4.2. Lượng bốc hơi trung bình tháng trên ống Piche tại một số địa điểm (mm)

Trạm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Tổng năm
Phước Long	126,6	129,4	152,1	123,5	89,1	61,7	55,0	52,8	46,5	52,4	77,3	105,6	1072
Đồng Phú	114,5	134,6	159,2	125,8	75,1	56,7	52,4	49,8	46,6	54,9	66,7	94,7	1031
Lộc Ninh	147,2	151,2	173,5	160,4	105,4	58,5	55,8	51,2	48,0	60,5	93,0	116,3	1221
Sở Sao	114,2	123,9	150,9	136,7	93,5	65,4	63,5	69,1	57,2	56,6	66,2	88,8	1086

(VQHTLMN, 2002)

4.1.3.5. Số giờ nắng

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 - V, 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 4.3. Tổng số giờ nắng trung bình tháng tại một số vị trí

Trạm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Tổng năm
Phước Long	283	256	274	245	224	179	188	161	149	190	210	249	2608
Đồng Phú	241	232	252	229	204	181	163	156	142	180	182	203	2365
Lộc Ninh	248	241	254	219	186	162	161	146	138	186	210	254	2405
Sở Sao	235	219	265	238	204	188	173	180	138	185	174	182	2381

(VQHTLMN, 2002)

4.1.3.6. Gió

Lưu vực sông Bé chịu ảnh hưởng của hai luồng gió chính là gió mùa Đông Bắc và gió mùa Tây Nam. Gió mùa Đông Bắc thổi từ tháng XI - IV, hướng chủ yếu là Bắc và Đông Bắc xuống. 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 xuống thấp nhưng không quá lạnh, thậm chí vẫn có những ngày, những tháng khô nóng. Nguyên nhân của hiện tượng này là do khối không khí từ Bắc Bán cầu khi dịch chuyển sâu xuống phía Nam vừa gần với vĩ độ thấp, lại phải vượt qua nhiều dãy núi cao của dãy Trường Sơn nên bị biến tính ít nhiều, làm cho độ ẩm giảm, không khí trở nên khô nóng và ít lạnh hơn. Vào thời gian này ở những vùng núi cao thường có sương mù. Gió mùa Tây Nam thổi từ tháng V - X từ vịnh Bengal sang vào đầu mùa và từ Nam Thái Bình Dương lên vào giữa và cuối mùa. Những luồng gió này thường mang theo khối không khí có độ ẩm cao, khi di chuyển vào đất liền gặp địa hình lưu vực với vùng đồi núi có hướng đón gió phù hợp nên thường dễ dàng gây mưa, đôi khi mưa to và đó cũng chính là nguyên nhân cơ bản quyết định lượng mưa và diễn biến của mùa mưa ở đây.

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. Trong khi đó các nơi khác trên lưu vực tốc độ gió trung bình tháng chỉ đạt từ 0,7 – 1,4 m/s. Tốc độ gió lớn nhất trong năm tùy từng nơi có thể đạt tới 16 – 20 m/s.

Bảng 4.4. Tốc độ gió trung bình tháng tại một số địa điểm (m/s)

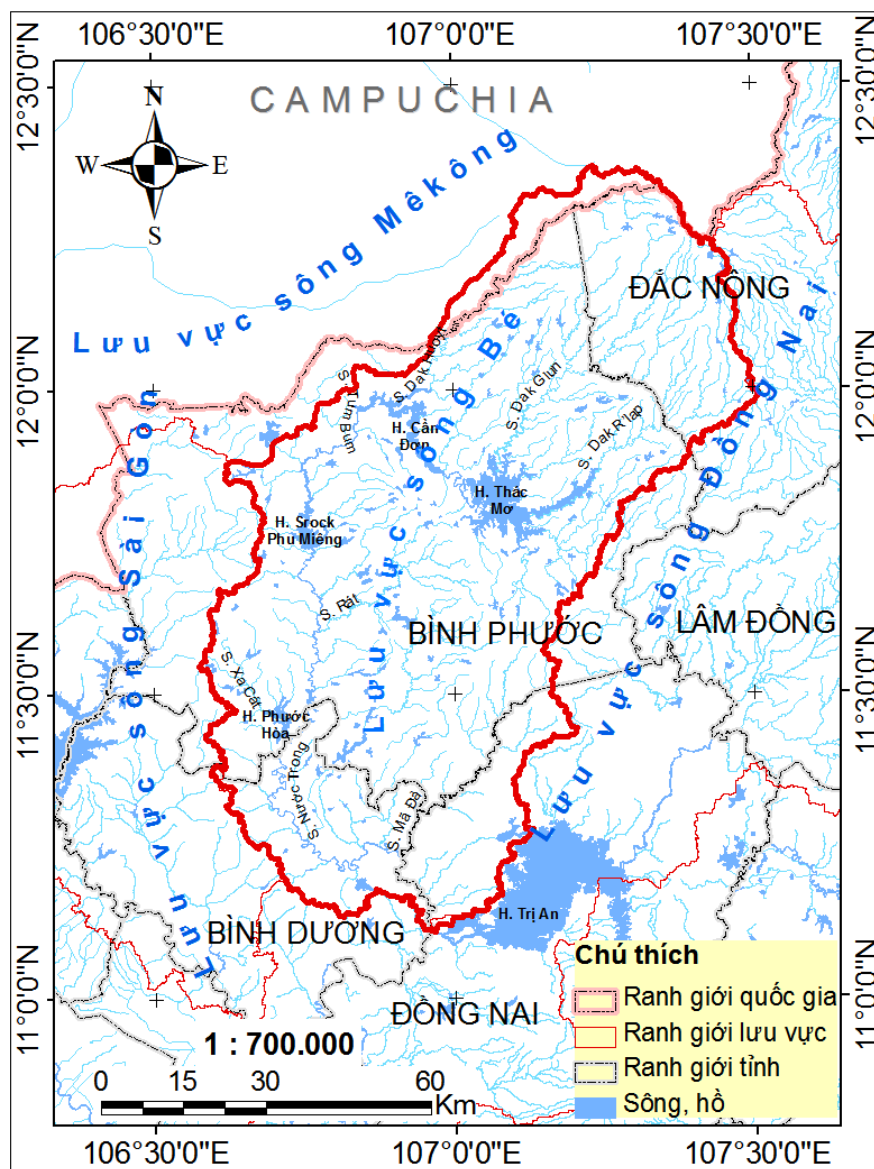
Trạm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Trung bình năm
Phước Long	1.8	1.9	2.1	1.9	1.9	1.9	2.1	1.9	1.7	1.5	1.8	2.0	1.9
Đồng Phú	1.0	1.1	1.3	1.0	0.7	0.9	0.9	1.1	1.0	0.7	0.9	1.0	1.0
Sở Sao	0.8	1.3	1.4	1.2	1.0	0.9	1.0	1.3	0.9	0.7	0.6	0.8	1.0

(VQHTLMN, 2002)

4.1.4. Thủy văn

Sông Bé là phụ lưu lớn nhất ở hữu ngạn sông Đồng Nai, 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. Lưu vực sông Bé có diện tích 7.650 km², lưu lượng dòng chảy 255 m³/s, chiều dài sông chính 350 km, hệ số uốn khúc 1,4 và độ dốc lòng sông là 0,0032. Dòng sông chảy quanh co, uốn khúc, luôn đổi hướng, tạo thành nhiều đoạn có hình vòng cung. 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, tại vị trí cách thác Trị An khoảng 6 km về phía hạ lưu. Sông hầu như không ảnh hưởng triều, chỉ trừ vài km gần cửa sông ảnh hưởng nước vật khi triều lên trên dòng chính Đồng Nai.



Hình 4.5. Bản đồ thủy văn lưu vực sông Bé

Sông Bé hình thành từ rất nhiều nhánh sông, suối nhỏ phân bố khá đều trên lưu vực. Từ thượng nguồn, sông Bé hợp lại từ hai nhánh suối lớn dạng nhánh cây là Dak R'lap và Dak Glun. Sau khi qua khỏi Thác Mơ chừng 32 km, sông Bé gặp nhánh Dak Huoyt chạy dọc biên giới Việt Nam – Campuchia. Đoạn trung lưu mạng lưới sông suối đồ

vào dòng chính sông Bé có dạng lông chim, đáng kể hơn cả gồm các suối Tum Bum, suối Nghiên, suối Sa Cát, suối Thôn nằm ở phía bờ phải; các suối Dak Cát, Dak Siem, suối Dam, suối Rát, suối Cam, suối Sam Bring và suối nước Trong ở phía bờ trái. Hạ lưu sông Bé kể từ sau cầu Phước Hoà xuống đến cửa sông, mạng lưới sông suối trong vùng này cũng tương tự như phần trung lưu. Do xu thế địa hình chung của vùng này nghiêng về phía lưu vực Sài Gòn nên phía bờ phải các suối đều ngắn và có lưu vực nhỏ. Phía bờ trái địa hình trải rộng nên có nhiều suối lớn như suối Rát, suối Giai, suối Mã Đà và suối Bờ Hào.

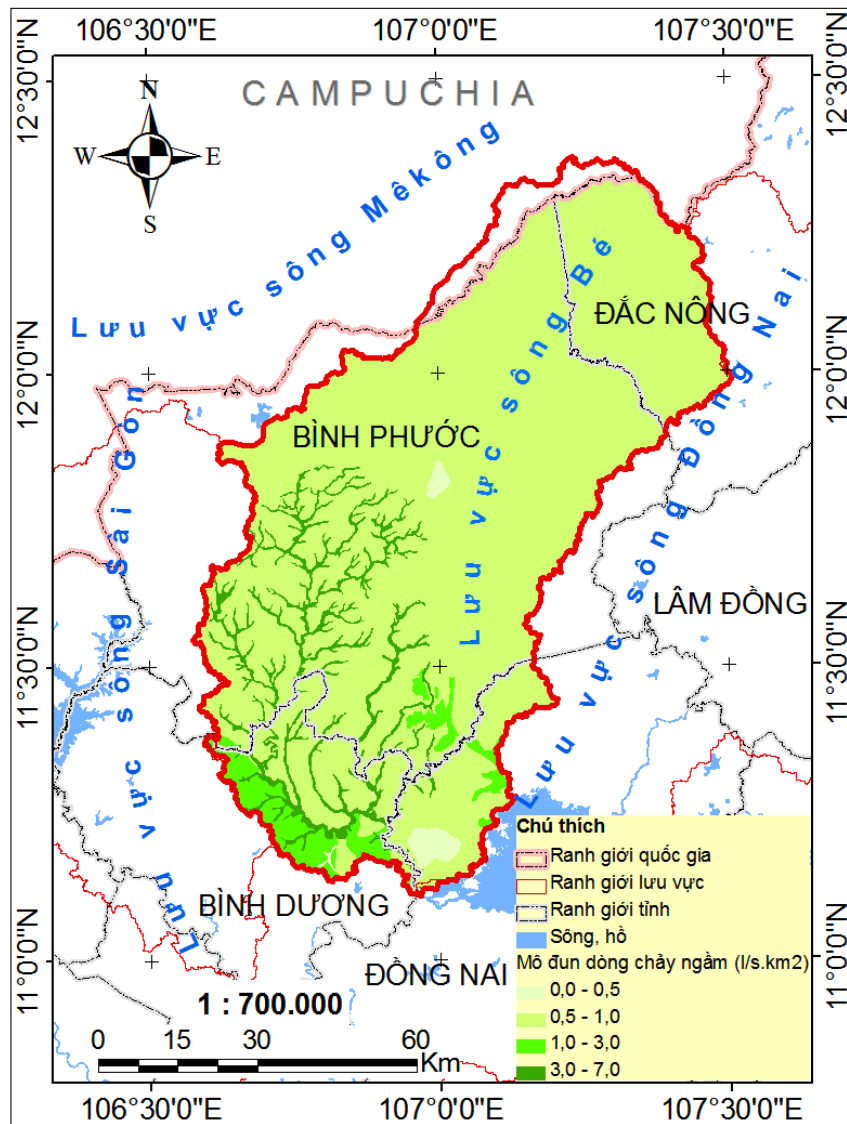
Về chất lượng nước, do nằm hoàn toàn trong vùng núi và trung du nên sông Bé không chịu ảnh hưởng của xâm nhập mặn và chua phèn. Dựa trên số liệu quan trắc của Cục bảo vệ Môi trường Đông Nam Bộ các năm 2006, 2007, 2008 cho thấy chất lượng nước sông Bé khá tốt. Theo đó, giá trị pH luôn nằm trong khoảng $6 \div 6,9$, độ dẫn điện luôn nhỏ hơn $41 \mu\text{S}/\text{cm}$, oxy hòa tan (DO) dao động trong khoảng $4,8 \div 6,64 \text{ mg/l}$. Hàm lượng phù sa thấp ($4 \div 230 \text{ mg/l}$). Giá trị tổng nitơ dao động từ $0,2 \div 0,6 \text{ mg/l}$, tổng photpho nhỏ hơn $0,3 \text{ mg/l}$. Hàm lượng chất hữu cơ COD, BOD_5 biến thiên trong khoảng từ $1 \div 6 \text{ mg/l}$ thấp hơn nhiều so với tiêu chuẩn cho phép đối với nguồn loại A (Nguyễn Hải Âu, 2009).

4.1.5. Địa chất thủy văn

Tại các vùng thấp dọc theo các con sông và suối, nguồn nước ngầm khá phong phú có thể khai thác phục vụ phát triển kinh tế - xã hội. Tầng chứa nước Bazal (QI - II) phân bố trên quy mô hơn 4.000 km^2 , lưu lượng nước tương đối khá $0,5 - 16 \text{ l/s}$, tuy nhiên do biến động lớn về tính thấm nên tỷ lệ khoan khai thác thành công không cao. Đối với tầng chứa nước Pleistocen (QI - III), đây là tầng chứa nước có trữ lượng lớn, chất lượng nước tốt, phân bố ở huyện Bình Long và nam Đồng Phú, tỉnh Bình Phước. Tầng chứa nước Plioxen (N2) lưu lượng $5 - 15 \text{ l/s}$, chất lượng nước tốt. Ngoài ra còn có tầng chứa nước Mezozol (M2) phân bố ở vùng đồi thấp (từ $100 - 250 \text{ m}$) (Nguyễn Hải Âu, 2009).

Nhìn chung, các vùng thấp dọc sông suối nhất là ở phía Tây Nam của lưu vực, nguồn nước ngầm khá phong phú, chất lượng nước tốt có thể khai thác phục vụ cho phát triển

kinh tế và đời sống. Tuy nhiên, để bảo vệ môi trường, phát triển bền vững nên hạn chế khai thác nước ngầm cho sản xuất nông nghiệp, chỉ phục vụ mục đích sinh hoạt.

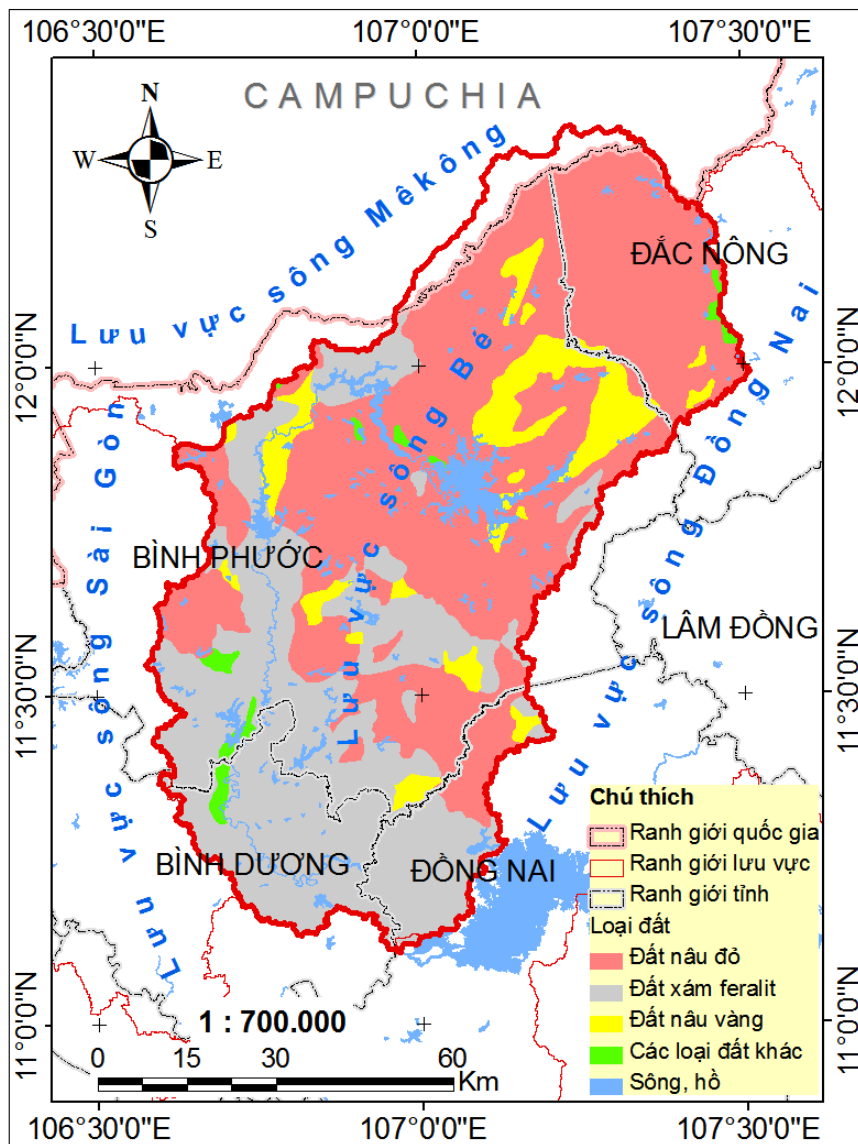


Hình 4.6. Bản đồ mô đun dòng chảy ngầm lưu vực sông Bé

4.1.6. 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. 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, phân bố chủ yếu ở vùng thượng, trung lưu thuộc các huyện Phước Long, Bù Đăng, Tuy Đức và Đồng Phú. Loại đất này có tầng canh tác khá dày, thích hợp để phát triển nhiều cây lâu năm có giá trị như cà phê, cao su, ca cao...



Hình 4.7. Bản đồ đất lưu vực sông Bé

- Đất xám feralit có diện tích 261.478,41 ha, chiếm 18,4 % diện tích lưu vực, phân bố dọc theo dòng chính sông Bé ở vùng trung, hạ lưu thuộc các huyện Phú Giáo, Vĩnh Cửu, Chơn Thành, Đồng Phú. Đây là loại đất tốt ở trung du miền núi, thích hợp cho việc sử dụng đa dạng vào mục đích nông lâm nghiệp và bảo vệ môi trường sinh thái.
- Đất nâu vàng có diện tích 60.478,27 ha, chiếm 8,30 % diện tích lưu vực, phân bố tập trung ở thượng nguồn hồ Thác Mơ, thuộc huyện Bù Đăng và rải rác ở huyện Phước Long.

- Các loại đất còn lại bao gồm đất phù sa chua, đất nâu thẫm trên bazan, đất glây chua, đất đá bột điển hình, đất lầy thụt và đất thuộc ao hồ, sông suối chiếm diện tích 11.592,22 ha (1,59 %).

Phần lớn đất trên lưu vực có chất lượng tốt và dày, tạo điều kiện thuận lợi để phát triển các loại cây trồng, đặc biệt là các loại cây công nghiệp như cao su, điều, cà phê, hồ tiêu và cây ăn quả khác. Đất có độ dày lớn còn là điều kiện tốt để nâng cao khả năng trữ nước.

4.1.7. 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.

Cách đây 30 năm, đất đai trên lưu vực chỉ mới được khai thác một phần nên hầu hết còn là rừng tự nhiên. Diện tích rừng trước 1975 trên 60 %. Đến 1983, diện tích rừng chỉ còn khoảng 45 % và hiện nay chỉ xấp xỉ 35 %. Trong 20 năm gần đây, đặc biệt trong khoảng thời gian từ 1980 - 1990, do có nguồn đất đai rộng lớn và thuận lợi nên cư dân ở nhiều vùng đất nước chuyển về đây khai hoang lập nghiệp theo nhiều hình thức khác nhau, trong đó di dân tự do chiếm tỷ lệ không nhỏ. Bên cạnh đó, nhiều nông trường (mà chủ yếu là nông trường cao su) được thành lập, nên đất đai được khai phá để phát triển sản xuất ngày càng nhiều. Những vùng gò đồi trước đây là rừng tự nhiên, nay đã được khai hoang và thay thế vào đó là vùng cây công nghiệp lâu năm như cao su, cà phê, điều, hồ tiêu... và các loại cây ăn quả khác.

Chính điều này đã làm cho diện tích rừng tự nhiên ngày càng bị thu hẹp dần, tỷ lệ và chất lượng lớp phủ bề mặt lưu vực giảm đi đáng kể. Những thay đổi trên là một trong những nguyên nhân chính dẫn đến tình trạng lũ lụt ngày càng trở nên nghiêm trọng trên lưu vực, khả năng điều hòa nước mặt trên lưu vực giảm đi đáng kể, gây cạn kiệt dòng chảy vào mùa khô. Qua khảo sát điều tra thực địa cho thấy nhiều khe suối trước đây có nước trong các tháng mùa khô, thì đến nay đã bị khô cạn.

4.2. Đặc điểm kinh tế - xã hội

4.2.1. Dân cư, xã hội

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

Bảng 4.5. Dân số phân theo đơn vị hành chính trên lưu vực sông Bé (năm 2009)

Tỉnh	Huyện	Dân số (người)
Đắc Nông	Tuy Đức	38.656
	Đắk R'lấp	74.087
Bình Phước	-	873.598
Bình Dương	Tân Uyên	204.825
	Bến Cát	192.818
	Phú Giáo	83.555
Đồng Nai	Vĩnh Cửu	124.912
Tổng số		1.592.451

(Tổng cục Thống kê, 2009)

4.2.2. 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 như: cao su, điều, cà phê, tiêu và một số cây trồng hàng năm như ngô, mì, đậu. Đây là yếu tố cơ bản nhằm tạo ra nguồn nguyên liệu phong phú để phát triển công nghiệp chế biến, xuất khẩu.

Trên lưu vực sông Bé, có nhiều nguồn tài nguyên khoáng sản, trong đó đáng lưu ý là mỏ đá vôi Tà Thiết cung cấp nguyên liệu cho sản xuất xi măng, cao lanh, đá xây dựng, sét, gạch ngói... đảm bảo cho nhu cầu phát triển trong lưu vực.

Bên cạnh đó, tiềm năng du lịch của lưu vực tương đối dồi dào, có nét đặc thù riêng. Tài nguyên du lịch của lưu vực được phân bố thành các môi trường du lịch trên toàn địa bàn, mỗi khu vực mang một sắc thái riêng tạo ra những tuyến du lịch xuyên tỉnh nối với cả vùng và khu vực, đặc biệt là du lịch sinh thái gắn liền với các công trình thủy lợi (Nguyễn Văn Hùng, 2009).

4.3. Hiện trạng nguồn nước

4.3.1. Hệ thống công trình thủy lợi

Theo số liệu điều tra, đến năm 2002, toàn lưu vực đã có đến hàng chục công trình thủy lợi, trong đó có 22 hồ chứa (không kể hồ Thác Mơ thuộc trung ương quản lý), 5 đập dâng do các Sở Nông nghiệp & Phát triển Nông thôn và các nông trường quản lý, phục vụ nhu cầu tưới, công nghiệp và dân sinh. Các nhà máy nước hoạt động trên lưu vực như Thác Mơ, Bình Phước, Phước Long với mục tiêu cấp nước sinh hoạt đã đem lại lợi ích thiết thực như nâng cao đời sống kinh tế, tinh thần cho dân cư. Ngoài ra, còn có nhiều công trình dân tự xây dựng lấy nước sinh hoạt từ hồ, dòng chính; các đập tạm thời, các bơm nhỏ lấy nước từ suối, ao hồ bơm lên để tưới cây hàng năm, cây cà phê, cây tiêu và cây ăn quả.

Cùng với đó, các công trình thủy điện đã đem lại nguồn điện hòa dòng cùng với mạng lưới điện quốc gia, góp phần phát triển kinh tế văn hóa trên lưu vực. Hiện nay, đã có 3 công trình thủy điện gồm Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng được đầu tư xây dựng trên lưu vực sông Bé với mục đích 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 3 nhà máy thủy điện nêu trên trên sông Bé được đánh giá là hệ thống khai thác hoàn chỉnh nhất về bậc thang thủy điện trong cả nước.

Trong tương lai, công trình thủy lợi Phước Hòa là bậc thang cuối cùng của sông Bé làm nhiệm vụ cấp nước dự kiến cho dân sinh và công nghiệp ($17 \text{ m}^3/\text{s}$), chuyển nước sang hồ Dầu Tiếng ($50 \text{ m}^3/\text{s}$) và bảo đảm dòng chảy môi trường cho dòng sông ($14 \text{ m}^3/\text{s}$). Các thông số chính của các hồ chứa trên lưu vực sông Bé được trình bày chi tiết ở Bảng 4.6.

Bảng 4.6. Thông số kỹ thuật chính của các bậc thang trên sông Bé

Thông số	Hồ thủy điện Thác Mơ	Hồ thủy điện Cần Đơn	Hồ thủy điện Srock Phu Miêng	Hồ thủy lợi Phước Hòa
F_{lv}	2.200	3.225	3.830	5.200
Q_{bd}	92,4	134	150	172
H_{bt}	218	110	72	42,9
H_c	197	104	70	42,5
H_{gc}	220	111,6	-	-
V_t	1.370	165,5	284	-
V_c	110	85,6	206	-
V_h	1.260	79,9	78	-
P_{lm}	150	72	60	-
P_{db}	55	18,93	16,54	-
E_{tbnn}	600	284,6	218,4	-
F_{mh}	108	19,02	43	31,42
Tình trạng	1995	2003	2006	Đang xây dựng

(VQHTLMN, 2002; Nguyễn Hải Âu, 2009)

Ghi chú,

F_{lv} : Diện tích lưu vực (km^2)

V_c : Dung tích chết ($10^6 m^3$)

Q_{bd} : Dòng chảy bình quân nhiều năm
(m^3/s)

V_h : Dung tích hiệu dụng ($10^6 m^3$)

P_{lm} : Công suất lắp máy (MW)

H_{bt} : Mức nước dâng bình thường (m)

P_{db} : Công suất đảm bảo (MW)

H_c : Mức nước chết (m)

E_{tbnn} : Điện lượng trung bình nhiều năm
(GWh)

H_{gc} : Mức nước gia cường (m)

V_t : Dung tích toàn bộ ($10^6 m^3$)

F_{mh} : Diện tích mặt hồ ứng với mực nước
dâng bình thường (km^2)

4.3.2. Tiềm năng và nhu cầu sử dụng nước

Lưu vực sông Bé có nguồn nước dồi dào trong hệ thống sông Đồng Nai. Theo nghiên cứu VQHTLMN (2007), lưu lượng dòng chảy trung bình hàng năm trên lưu vực là $251,4 m^3/s$ và tổng lượng nước mặt hàng năm trên lưu vực nhận được khoảng 7.929,45

triệu m³. 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. Hiện tại và dự báo đến năm 2020, nhu cầu dùng nước tại các bậc thang trên sông Bé được xác định bao gồm: nhu cầu nước cho nông nghiệp, nhu cầu cấp nước sinh hoạt, nhu cầu phát triển công nghiệp, nhu cầu phát điện, nhu cầu chuyển nước cho hồ Dầu Tiếng, nhu cầu nước cho nhà máy nước Nam Bình Dương và cuối cùng là 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. Bên cạnh đó, sự phân bố nguồn nước không đều theo thời gian và không gian cùng với tình hình diễn biến bất thường của thời tiết dưới tác động của biến đổi khí hậu đã làm cho sự thiếu hụt nước ngày càng nghiêm trọng hơn. Điển hình như đợt hạn hán vào năm 2002 với nguyên nhân chính là do thời tiết bất thường, đã gây thiệt hại đáng kể đến sản xuất và sinh hoạt. Theo thống kê, đợt hạn này đã khiến gần 10.000 ha cây trồng thiếu nước. Trong đó, có 1.300 ha cây trồng hàng năm và lâu năm bị mất trắng. Nhiều nơi các giếng nước ngầm bị khô kiệt làm cho hàng nghìn hộ nông dân thiếu nước sinh hoạt. Những nơi có công trình thủy lợi, nhất là công trình có khả năng điều tiết nước cũng chịu ảnh hưởng từ hạn hán nhưng không đáng kể (VQHTLMN, 2002).

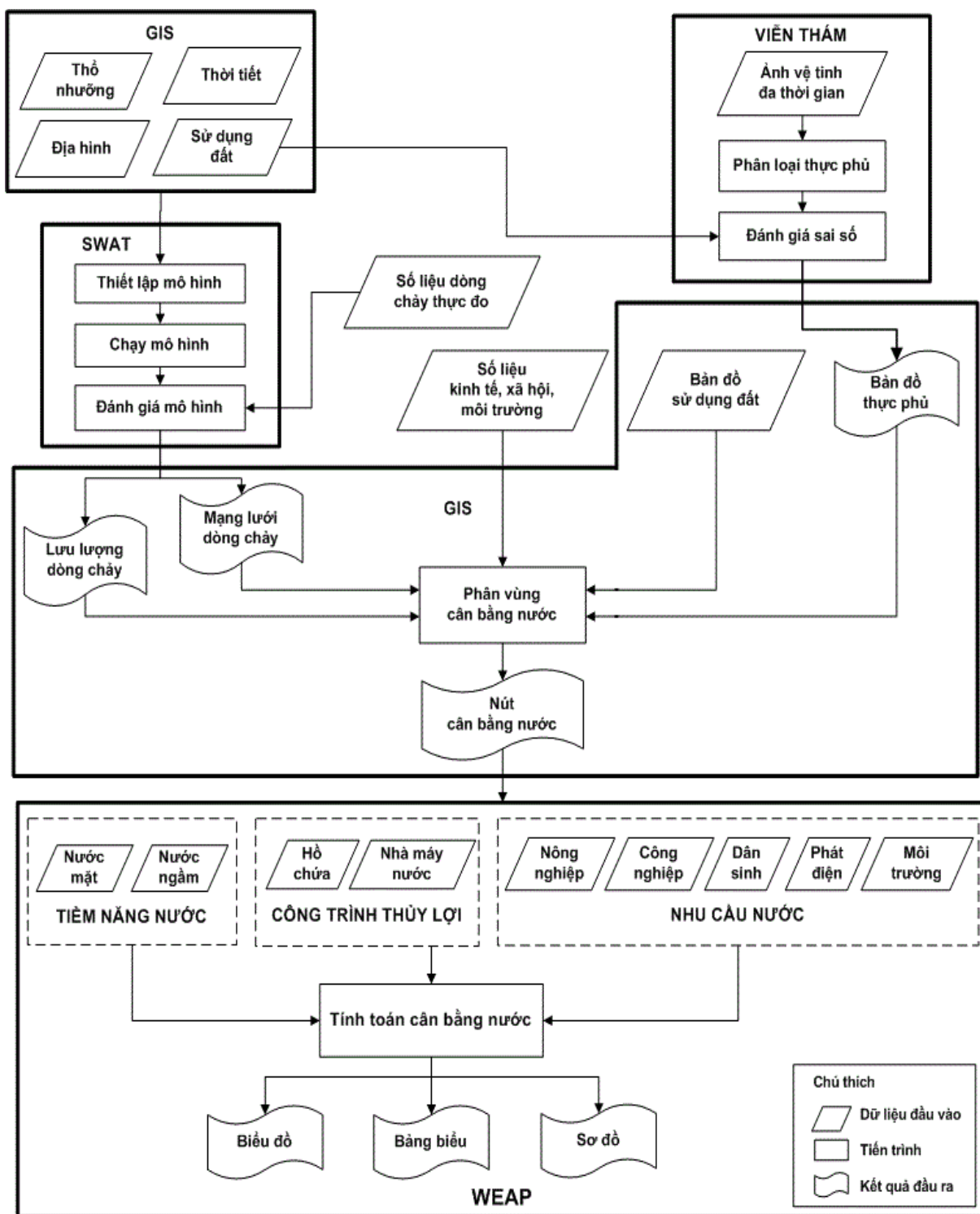
CHƯƠNG 5

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

5.1. Lược đồ phương pháp

Cách tiếp cận tính toán cân bằng nước lưu vực sông Bé được sử dụng trong nghiên cứu này tích hợp nhiều công cụ, mô hình khác nhau, bao gồm viễn thám, GIS, mô hình SWAT và mô hình WEAP như Hình 5.1. Theo đó, trong sự kết hợp này,

- Viễn thám có chức năng giải đoán, phân loại, thành lập bản đồ thực phủ lưu vực sông Bé dựa trên dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat thu nhận trong năm 2002. Tiếp theo, kết quả phân loại thực phủ năm 2002 được đánh giá sai số dựa trên bản đồ sử dụng đất năm 2000.
- Các lớp dữ liệu địa hình, sử dụng đất năm 1993, thổ nhưỡng, thời tiết được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho mô hình SWAT mô phỏng lưu vực trong khoảng thời gian từ năm 1979 - 2007, tính toán dòng chảy lưu vực sông Bé. Sau đó, kết quả tính toán lưu lượng dòng chảy được so sánh với kết quả thực đo lưu lượng dòng chảy, qua đó đánh giá độ tin cậy của mô hình.
- Dữ liệu mô phỏng mạng lưới dòng chảy, lưu lượng dòng chảy trong SWAT, bản đồ thực phủ năm 2002, bản đồ sử dụng đất năm 2010, cùng với số liệu kinh tế, xã hội, môi trường lưu vực sông Bé được tổng hợp đưa vào GIS để tiến hành phân vùng cân bằng nước.
- Sau đó, thông tin về lưu lượng dòng chảy, nhu cầu nước và các thông tin liên quan khác tại từng nút cân bằng nước được đưa vào mô hình WEAP để phân tích, tính toán cân bằng nước trong thời kì 2002 - 2010. Kết quả tính toán cân bằng nước được thể hiện dưới dạng biểu đồ, bảng biểu, hoặc sơ đồ.

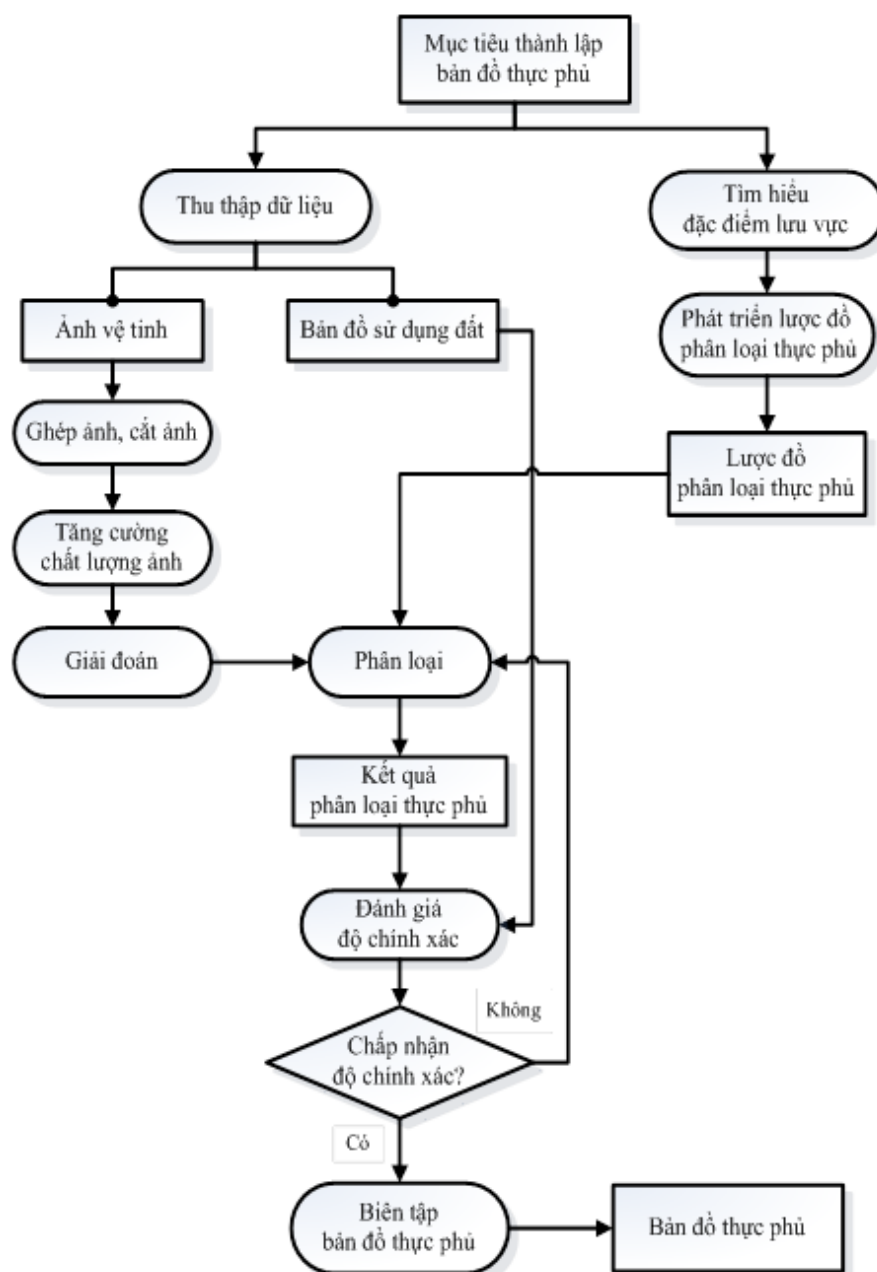


Hình 5.1. Sơ đồ phương pháp nghiên cứu

5.2. Thành lập bản đồ thực phủ từ ảnh vệ tinh

Dựa trên dữ liệu ảnh Landsat và những thông tin bổ trợ, các bước chính trong thành lập bản đồ thực phủ lưu vực sông Bé bao gồm chuẩn bị dữ liệu, phân loại ảnh, đánh

giá độ chính xác và biên tập bản đồ. Toàn bộ quá trình được tiến hành như Hình 5.2 với sự hỗ trợ của phần mềm ENVI 5.



Hình 5.2. Lược đồ thành lập bản đồ thực phủ

5.2.1. Thu thập dữ liệu

5.2.1.1. Ảnh vệ tinh

Ảnh Landsat sử dụng trong nghiên cứu được thu nhận bởi bộ cảm biến ETM+. Các tờ ảnh này bao phủ lưu vực sông Bé, trong điều kiện tương đối quang mây. Thông số chi tiết của những ảnh này được mô tả chi tiết trong Bảng 5.1.

Bảng 5.1. Các thông số ảnh Landsat

Bộ cảm biến	Thời gian thu nhận ảnh	Chiều dài bước sóng (μm)	Kênh phổ	Độ phân giải không gian (m)
ETM+	05/01/2002	0,45 - 0,52	Xanh lơ	30
	13/02/2002	0,53 - 0,61	Lục	30
		0,63 - 0,69	Đỏ	30
		0,75 - 0,90	Hồng ngoại gần	30
		1,55 - 1,75	Hồng ngoại trung bình	30
		10,4 - 12,5	Hồng ngoại nhiệt	60
		2,09 - 2,35	Hồng ngoại trung bình	30
		0,52 - 0,90	Toàn sắc	15

5.2.1.2. Dữ liệu bản đồ

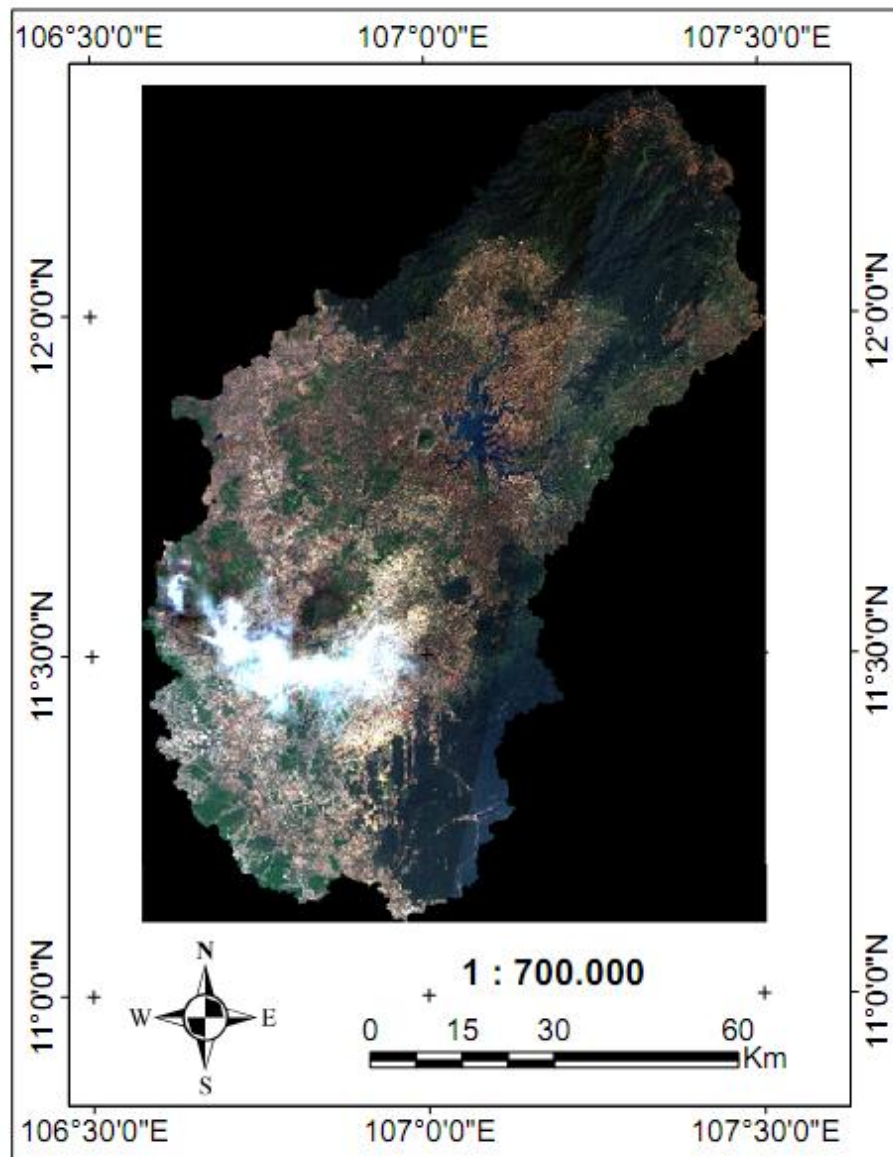
Ngoài dữ liệu vệ tinh, nghiên cứu còn kết hợp sử dụng bản đồ sử dụng đất năm 2000 (Nguồn: VQHTLMN) để lấy một số thông tin về sử dụng đất, phục vụ cho đánh giá sai số kết quả phân loại.

5.2.2. Ghép ảnh, cắt ảnh

Do lưu vực sông Bé nằm trên 2 tờ ảnh khác nhau, nên cần phải tiến hành ghép ảnh. Quá trình ghép được thực hiện bằng phương pháp nội suy - tái chia mẫu là người láng giềng gần nhất. Sau đó, một tập tin chứa ranh giới sông Bé được dùng để cắt ra khu vực cần quan tâm. Kết quả cắt ảnh được thể hiện như Hình 5.3.

5.2.3. Tăng cường chất lượng ảnh

Để hỗ trợ cho việc giải đoán, sự hiển thị trực quan của các đối tượng trên ảnh được cải thiện bằng kỹ thuật tổ hợp màu (Jay Gao, 2009). Nghiên cứu này sử dụng tổ hợp màu thật được tạo ra bằng cách gán lần lượt kênh 3, kênh 2, kênh 1 của ảnh Landsat vào kênh Red, Green, Blue.



Hình 5.3. Kết quả cắt ảnh lưu vực sông Bé năm 2002

5.2.4. Phát triển lược đồ phân loại thực phủ

Lược đồ phân loại thực phủ là một danh sách các lớp thực phủ có mặt bên trong khu vực nghiên cứu mà có thể nhận diện hoàn toàn và đầy đủ từ ảnh vệ tinh. Việc phân loại thực phủ có thành công hay không phần lớn phụ thuộc vào tính hợp lí của lược đồ phân loại. Muốn vậy, lược đồ này cần dễ hiểu và bao gồm tất cả các lớp thực phủ có mặt bên trong khu vực nghiên cứu. Tất cả các lớp trong lược đồ phân loại cần được định nghĩa rõ ràng để tránh nhầm lẫn và thường được nhóm theo cấp bậc để thuận tiện cho thành lập bản đồ (Jay Gao, 2009). Có nhiều lược đồ phân loại thực phủ được sử dụng. Một trong số các lược đồ phổ biến nhất là Hệ thống Phân loại Thực phủ và Sử

dụng đất Hoa Kỳ (U.S. Geological Survey Land Use/Cover System) được phát minh bởi Anderson *et al.* (1976), với 4 cấp bậc (I, II, III, IV). Lược đồ này được thiết kế cho việc sử dụng dữ liệu viễn thám và có thể ứng dụng cho toàn cầu. Đối với dữ liệu có ĐPGKG trung bình như Landsat, sử dụng lược đồ này có thể thành lập bản đồ thực phủ ở mức độ chi tiết cấp II.

Dựa trên tìm hiểu đặc điểm lưu vực nghiên cứu và mục tiêu của đề tài, một lược đồ phân loại thực phủ cho lưu vực sông Bé đã được phát triển, dựa trên Hệ thống Phân loại Thực phủ và Sử dụng đất Hoa Kỳ, có kèm theo những biến đổi để phù hợp với khu vực nghiên cứu như Bảng 5.2.

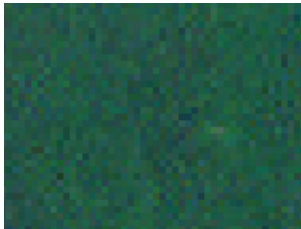
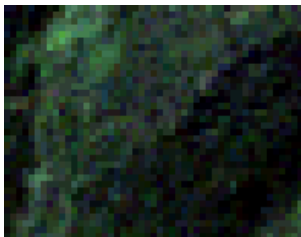
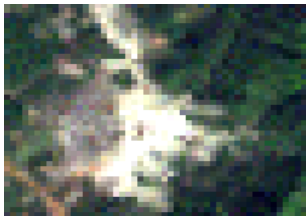
Bảng 5.2. Lược đồ phân loại thực phủ được sử dụng trong nghiên cứu

Loại thực phủ		Mã số	Định nghĩa
Cấp I	Cấp II		
Đất nông nghiệp	Lúa, màu	1	Ruộng, nương rẫy trồng lúa từ 1 vụ trở lên hoặc trồng kết hợp với màu.
	Cây công nghiệp lâu năm	2	Đất trồng cây lâu năm có sản phẩm thu hoạch làm nguyên liệu cho sản xuất công nghiệp như cà phê, cao su, điều,...
Đất rừng	x	3	Đất đang có rừng tự nhiên hoặc rừng trồng đạt tiêu chuẩn rừng, với các loại cây như thông, kim giao, tùng bách,...
Đất xây dựng	x	4	Khu vực sử dụng đất tập trung dưới hình thức nhà ở, các công trình kiến trúc. Bao gồm khu dân cư, khu công nghiệp, công trình giao thông,...
Mặt nước	x	5	Tất cả các vùng nước bao gồm sông, suối, ao, hồ, đập nước,...
Đất trống	x	6	Vùng đất có dưới 1/3 diện tích là thực vật. Bao gồm đất trồng trọt chuẩn bị gieo cấy hay mới thu hoạch, đụn cát, đá,...

5.2.5. Giải đoán ảnh

Quá trình giải đoán ảnh viễn thám bắt đầu bằng việc đọc ảnh, nói cách khác là ghi nhận các lớp thực phủ bằng việc sử dụng các yếu tố giải đoán ảnh (kích thước, hình dạng, bóng râm, độ đậm nhạt, màu sắc, cấu trúc, hình mẫu, mối liên quan). Từ đó, xây dựng nên khóa giải đoán cho từng lớp thực phủ, giúp cho việc chọn mẫu huấn luyện, mẫu đánh giá trên ảnh được nhanh chóng và chính xác. Trong nghiên cứu này, dựa trên tổ hợp màu thật, khóa giải đoán cho 6 loại thực phủ trên lưu vực sông Bé đã được phát triển như Bảng 5.3.

Bảng 5.3. Khóa giải đoán ảnh

Lớp thực phủ	Ảnh mẫu	Ảnh thực địa	Yếu tố giải đoán
Lúa, màu			Màu xanh, có ranh thửa rõ ràng, cấu trúc hơi mịn
Cây công nghiệp lâu năm			Màu xanh đậm, có ranh thửa rõ ràng, cấu trúc tương đối mịn
Đất rừng			Màu xanh đen, cấu trúc lốm đốm
Đất xây dựng			Màu trắng, hình dạng không xác định, cấu trúc lốm đốm, xen lẫn với các đốm đỏ

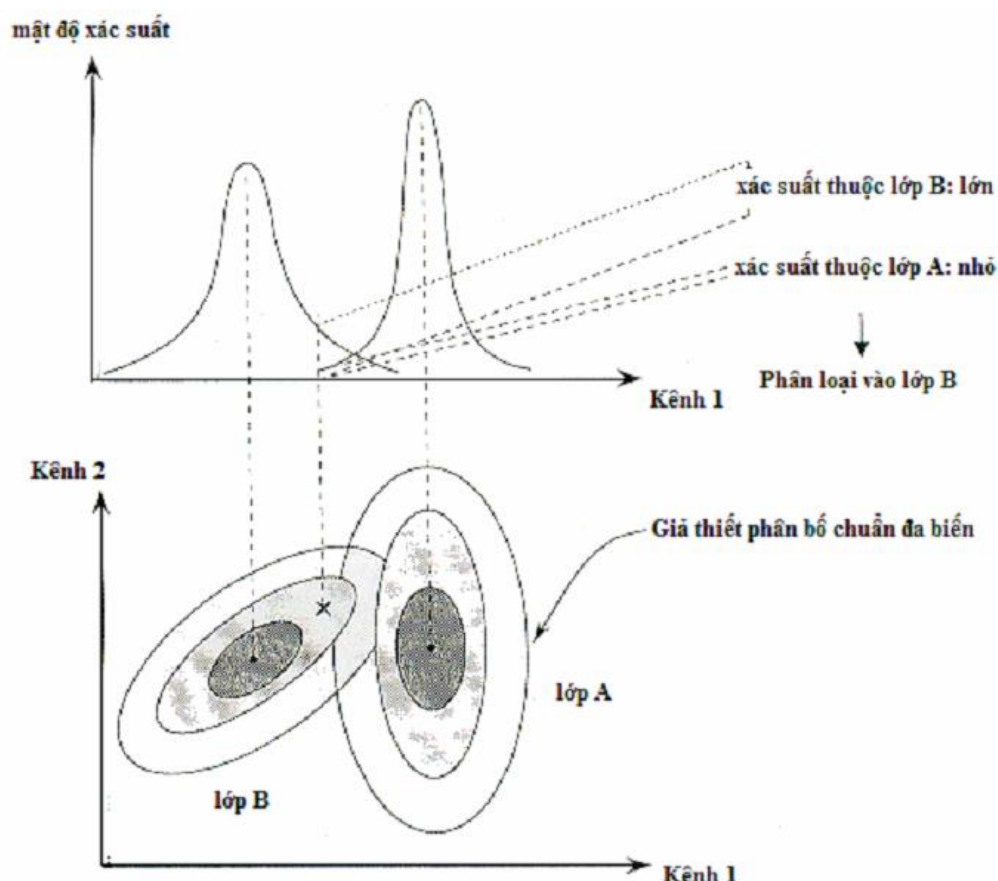
Bảng 5.3. Khóa giải đoán ảnh (tt)

Mặt nước			Màu xanh đậm hơi tối, hình dạng đối với sông có dạng tuyến, các ao hồ hình đa giác
Đất trồng			Màu đỏ vàng, hình dạng không xác định, cấu trúc tương đối mịn

5.2.6. Phân loại thực phủ

Dựa trên quan điểm của P.H. Swain and S.M. Davis (1978), số lượng mẫu huấn luyện được chọn trên mỗi kênh phổ cho từng lớp thực phủ đều trên 30 pixel để có thể ứng dụng phương pháp phân loại gần đúng nhất (MLC). Phương pháp MLC được xem là phương pháp phân loại có giám định phổ biến nhất (P.H. Swain and S.M. Davis, 1978) và là thuật toán chuẩn để so sánh với các thuật toán khác được sử dụng trong xử lý ảnh viễn thám (Lê Văn Trung, 2005). Thuật toán này dựa trên giả thiết: (i) dữ liệu ảnh có phân phối chuẩn, (ii) ảnh có độ phân giải- H^1 ; và (iii) các pixel thuộc trọn vẹn vào một lớp thực phủ (Franklin, J. *et al.*, 2003). Mỗi pixel được tính xác suất thuộc vào mỗi loại và nó được chỉ định gán tên loại mà xác suất thuộc vào loại đó là lớn nhất như minh họa ở Hình 5.4 (Lê Văn Trung, 2005).

¹ Độ phân giải- H chỉ các đối tượng được quan tâm trên mặt đất lớn hơn kích thước pixel. Vì thế, giá trị phản xạ đo lường ở vị trí cho trước gần giống với giá trị phản xạ của đối tượng đó.



Hình 5.4. Mô tả sự phân loại theo phương pháp MLC (Trần Thống Nhất và Nguyễn Kim Lợi, 2009)

5.2.7. Đánh giá độ chính xác của kết quả phân loại

Đánh giá độ chính xác phân loại cho phép xác định mức độ tin cậy của kết quả phân loại thực phủ. Có nhiều cách tiếp cận khác nhau trong đánh giá độ chính xác phân loại nhưng trong nghiên cứu này, ma trận sai số, độ chính xác toàn cục và chỉ số Kappa được sử dụng.

Ma trận sai số là một ma trận vuông O có $K \times K$ phần tử, với K là số lớp trên ảnh phân loại. Phần tử O_{ij} là số pixel thuộc lớp i được phân loại vào lớp j . Vì vậy, những phần tử trên đường chéo ma trận, O_{ii} , tương ứng với số pixel được phân loại đúng và tất cả các phần tử không nằm trên đường chéo ma trận tương ứng với số pixel bị phân loại nhầm (W.G. Rees, 2001). Ma trận sai số là cách thể hiện rất hiệu quả độ chính xác bản đồ theo cách độ chính xác riêng biệt của từng lớp được giải thích rõ ràng bởi sai số bỏ sót và sai số thêm vào. Sai số bỏ sót ghi nhận những pixel thuộc lớp quan tâm bị gán nhãn

sai vào các lớp khác. Ngược lại, sai số thêm vào ghi nhận những pixel của các lớp khác bị gán nhãn vào lớp quan tâm (Trần Thống Nhất và Nguyễn Kim Lợi, 2009). Minh họa ma trận sai số như Bảng 5.4.

Độ chính xác toàn cục (T) là tổng số pixel được phân loại đúng trên đường chéo của ma trận sai số chia cho tổng số pixel trong ma trận sai số (xem Công thức 5.1). Giá trị này được dùng phổ biến để thống kê độ chính xác (Russell G. Congalton and Kass Green, 2009).

$$T = \frac{\sum_{i=1}^k O_{ii}}{n} \times 100 \quad (5.1)$$

Chỉ số Kappa (K) được tính toán từ các phần tử trong ma trận sai số, bằng cách nhân tổng số pixel trong ma trận sai số (n) với tổng các pixel được phân loại đúng nằm trên đường chéo của ma trận sai số (O_{ii}) sau đó trừ đi tổng của tích giá trị pixel hàng (S_{i+}) với giá trị pixel cột tương ứng (S_{+i}) và chia cho bình phương tổng số pixel trừ đi tổng của tích giá trị pixel hàng (S_{i+}) với giá trị pixel cột tương ứng (S_{+i}), thể hiện như Công thức 5.2 (John A. Richards and Xiuping Jia, 2006).

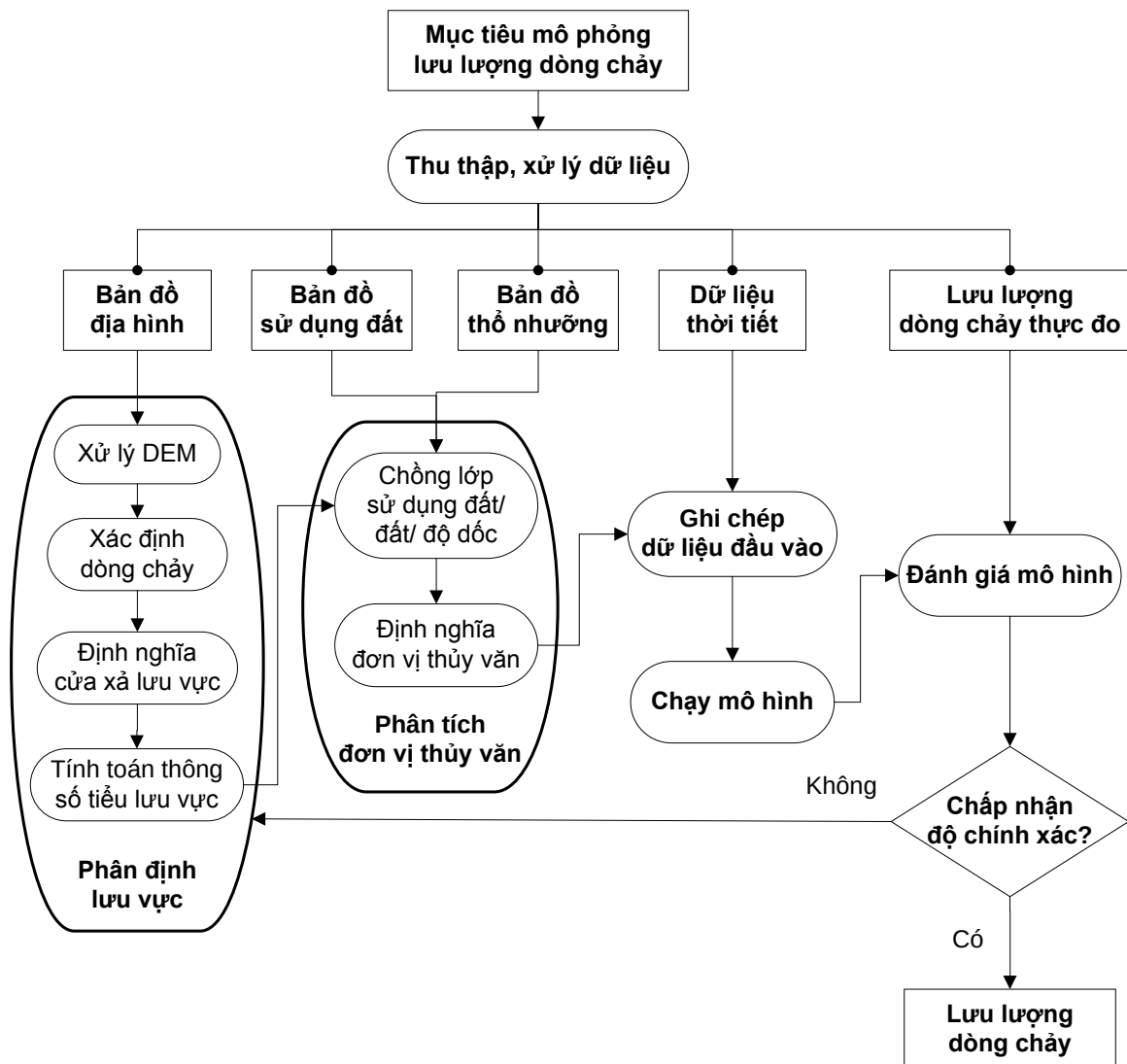
$$K = \frac{n \sum_{i=1}^k O_{ii} - \sum_{i=1}^k S_{i+} S_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k S_{i+} S_{+i}} \quad (5.2)$$

Bảng 5.4. Ma trận sai số phân loại

Loại thực Loại giải đoán	(1)	...	(K)	Tổng hàng	Sai số thêm vào (%)
(1)	O_{11}	$\dots$	O_{1k}	$S_{1+} = \sum_{j=1}^k O_{1j}$	$t_{1+} = \frac{S_{1+} - O_{11}}{S_{1+}} \times 100$
...	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
(K)	O_{k1}	$\dots$	O_{kk}	$S_{k+} = \sum_{j=1}^k O_{kj}$	$t_{k+} = \frac{S_{k+} - O_{kk}}{S_{k+}} \times 100$
Tổng cột	$S_{+1} = \sum_{j=1}^k O_{j1}$	$\dots$	$S_{+k} = \sum_{j=1}^k O_{jk}$	$n = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k O_{ij}$	
Sai số bỏ sót (%)	$t_{+1} = \frac{S_{+1} - O_{11}}{S_{+1}} \times 100$	$\dots$	$t_{+k} = \frac{S_{+k} - O_{kk}}{S_{+k}} \times 100$		

5.3. Mô phỏng lưu lượng dòng chảy trên lưu vực bằng mô hình SWAT

Phương pháp mô phỏng lưu lượng dòng chảy lưu vực sông Bé bằng mô hình SWAT được thể hiện như Hình 5.5. Theo đó, tiến trình thực hiện bao gồm các bước chính là phân định lưu vực, phân tích đơn vị thủy văn, ghi chép dữ liệu đầu vào, chạy mô hình và đánh giá mô hình.



Hình 5.5. Lược đồ mô phỏng lưu lượng dòng chảy

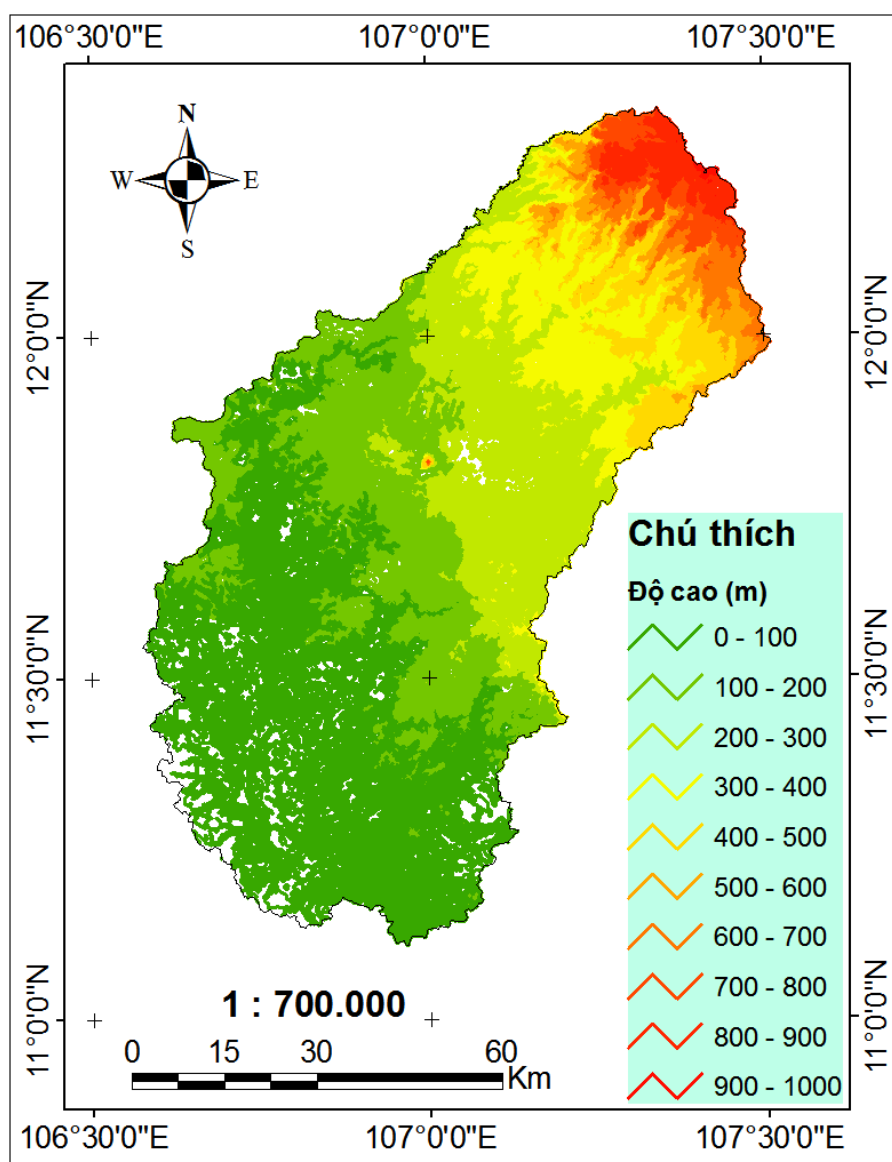
5.3.1. Thu thập, xử lý dữ liệu

SWAT là mô hình tổng quát đòi hỏi một số lượng lớn thông tin để chạy mô hình. Đối với nghiên cứu này, dữ liệu đầu vào cho quá trình mô phỏng lưu lượng dòng chảy trong SWAT được sử dụng bao gồm địa hình, sử dụng đất, thổ nhưỡng, thời tiết và lưu

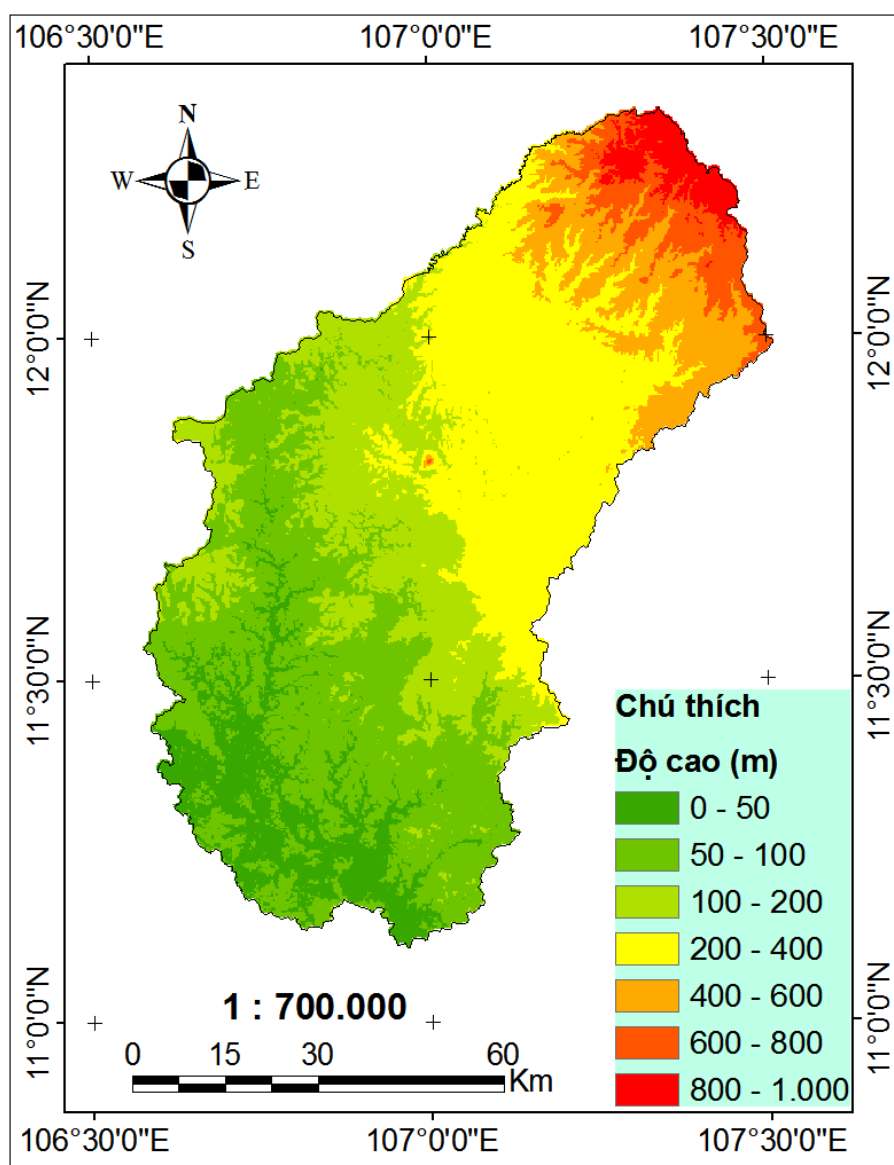
lượng dòng chảy thực đo. Trước khi chạy mô hình, tất cả những dữ liệu trên đều đã được xử lý theo đúng định dạng yêu cầu của mô hình SWAT.

5.3.1.1. 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 (Hình 5.6). 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 như Hình 5.7. Độ cao của lưu vực sông Bé thay đổi từ 0 đến 987 m, giá trị trung bình khoảng 478 m.



Hình 5.6. Bản đồ địa hình lưu vực sông Bé (dưới dạng đường đồng mức)



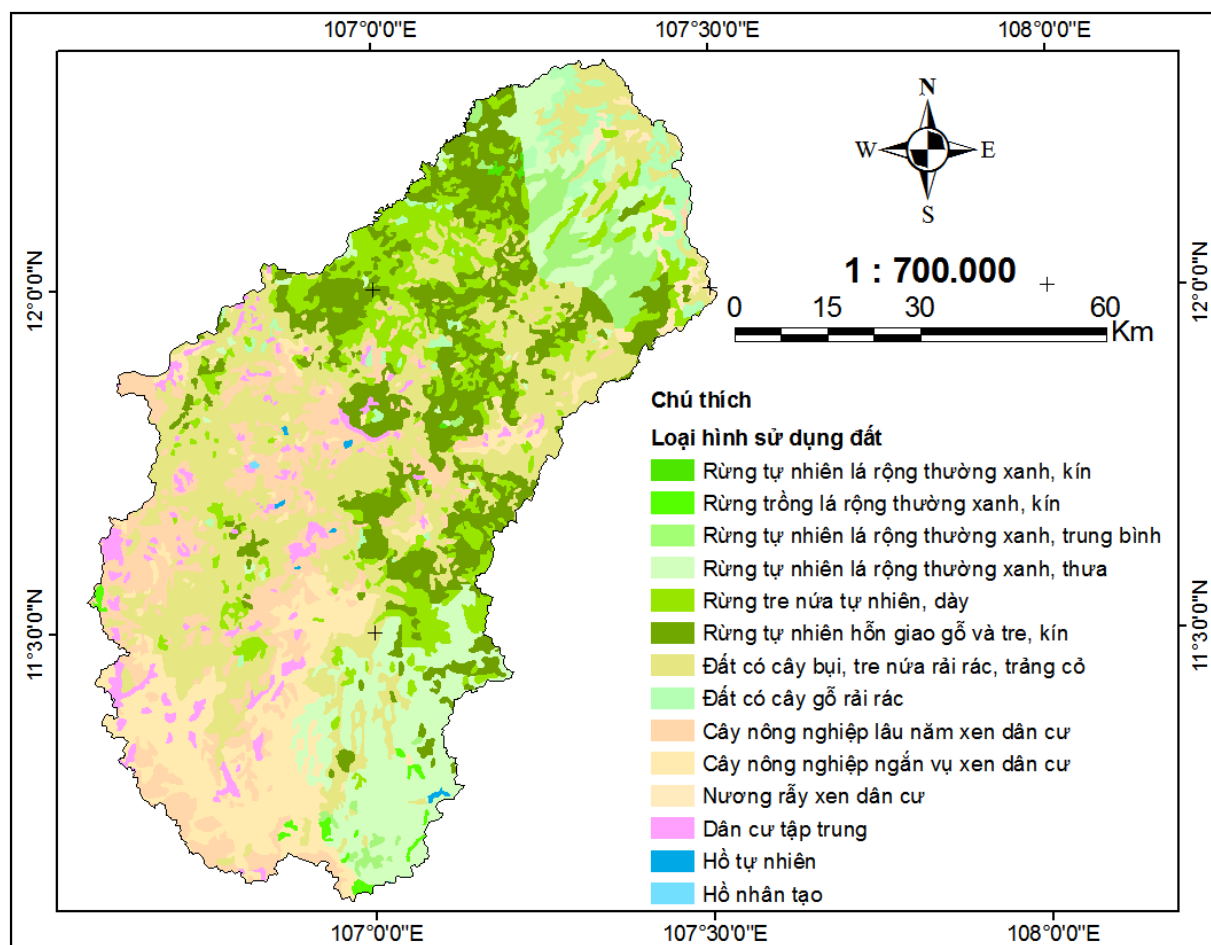
Hình 5.7. Bản đồ DEM lưu vực sông Bé

5.3.1.2. Dữ liệu sử dụng đất

Bản đồ sử dụng đất năm 1993 của lưu vực sông Bé với 14 loại hình sử dụng đất khác nhau (Nguồn: VQHTLMN), được phân loại lại theo bảng mã sử dụng đất trong SWAT. Bảng mã này quy định mã số của các loại cây trồng, các loại hình che phủ chung, đất đô thị cùng với thuộc tính của chúng, làm cơ sở cho quá trình mô phỏng sự phát triển cây trồng, mô phỏng khu vực đô thị (S.L. Neitsch *et al.*, 2005). Chi tiết các loại hình sử dụng đất, mã số tương ứng trong SWAT và phạm vi phân bố của chúng xem trong Bảng 5.5 và Hình 5.8.

Bảng 5.5. Các loại hình sử dụng đất năm 1993 trong lưu vực sông Bé

STT	Tên Việt Nam	Tên theo SWAT	Kí hiệu	Diện tích (ha)	Diện tích (%)
1	Rừng tự nhiên lá rộng thường xanh, kín	Forest-evergreen	FRSE	680,08	0,09
2	Rừng trồng lá rộng thường xanh, kín	Forest-evergreen	FRSE	3.185,19	0,44
3	Rừng tự nhiên lá rộng thường xanh, trung bình	Forest-evergreen	FRSE	21.565,56	2,96
4	Rừng tự nhiên lá rộng thường xanh, thưa	Forest-evergreen	FRSE	87.458,12	12,01
5	Rừng tre nửa tự nhiên, dày	Forest-deciduous	FRSD	81.572,28	11,20
6	Rừng tự nhiên hỗn giao gỗ và tre, kín	Forest-mixed	FRST	110.425,05	15,16
7	Đất có cây bụi, tre nửa rải rác, trảng cỏ	Range-grasses	RNGE	205.263,47	28,18
8	Đất có cây gỗ rải rác	Range-brush	RNGB	19.522,12	2,68
9	Cây nông nghiệp lâu năm xen dân cư	Rubber Trees	RUBR	88.680,64	12,17
10	Cây nông nghiệp ngắn vụ xen dân cư	Corn	CORN	83.160,31	11,42
11	Nương rẫy xen dân cư	Agricultural Land-Generic	AGRL	4.557,29	0,63
12	Dân cư tập trung	Residential	URBN	21.335,99	2,93
13	Hồ tự nhiên	Water	WATR	864,57	0,12
14	Hồ nhân tạo	Water	WATR	143,90	0,02
Tổng số				728.414,57	100,00



Hình 5.8. Bản đồ sử dụng đất lưu vực sông Bé năm 1993

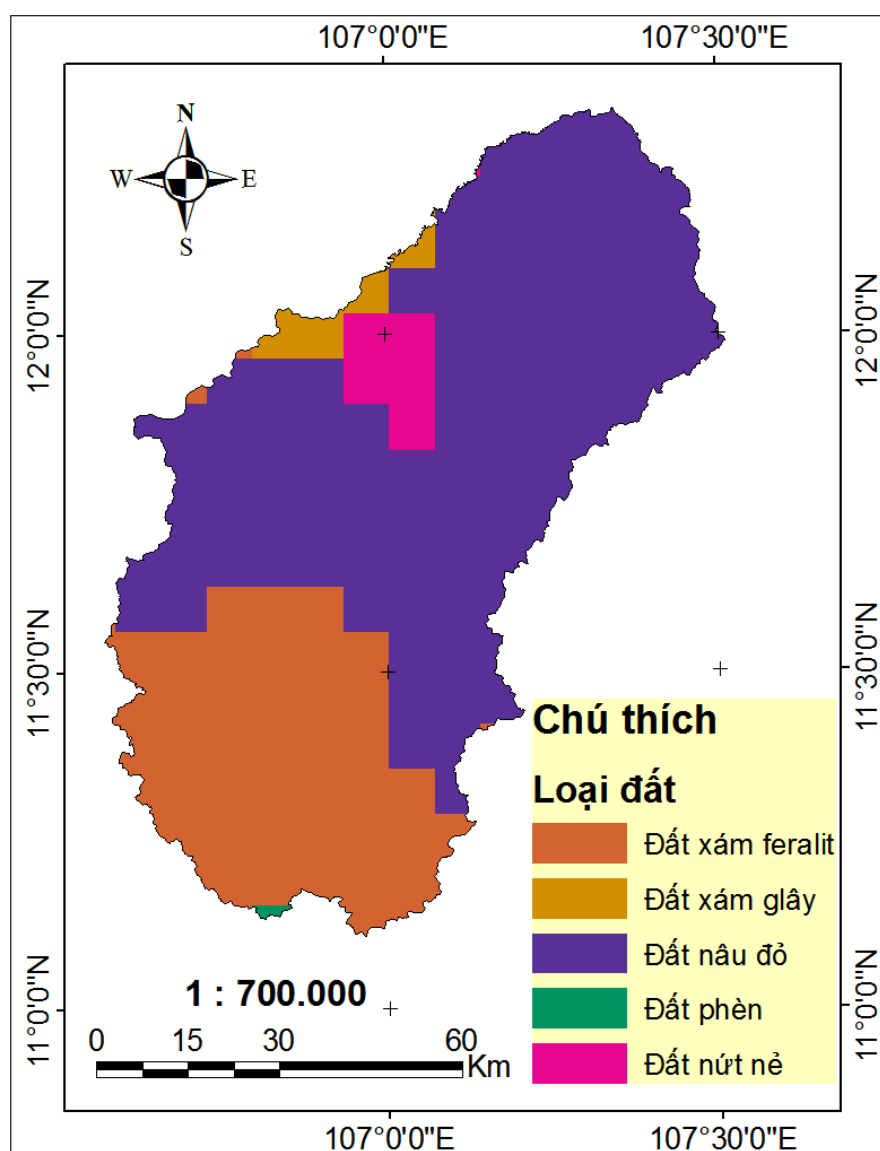
5.3.1.3. Dữ liệu thổ nhưỡng

Các thông số thổ nhưỡng cần thiết cho quá trình mô phỏng thủy văn trong SWAT được chia thành 2 nhóm, tính chất vật lý và tính chất hóa học của đất. Tính chất vật lý của đất (bao gồm nhóm thủy văn đất, thể tích lớn nhất của đất khi bị nén, thành phần cơ giới đất, dung trọng đất, khả năng giữ nước của đất, tốc độ dẫn nước bão hòa, suất phản chiếu đất ẩm, hệ số xói mòn đất) có ảnh hưởng đến sự di chuyển của nước và không khí trong đất cũng như tác động đáng kể đến chu trình nước trong đơn vị thủy văn. Trong khi đó, tính chất hóa học của đất như hàm lượng carbon hữu cơ được dùng để thiết lập điều kiện ban đầu về mặt hóa học của đất (S.L. Neitsch *et al.*, 2005).

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, hóa học của đất. Chi tiết dữ liệu đất của lưu vực được mô tả trong Bảng 5.6 và Hình 5.9.

Bảng 5.6. Các loại đất trong lưu vực sông Bé

STT	Tên Việt Nam	Tên theo FAO74	Kí hiệu	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 số				728.806,45	100,00



Hình 5.9. Bản đồ đất lưu vực sông Bé

5.3.1.4. Dữ liệu thời tiết

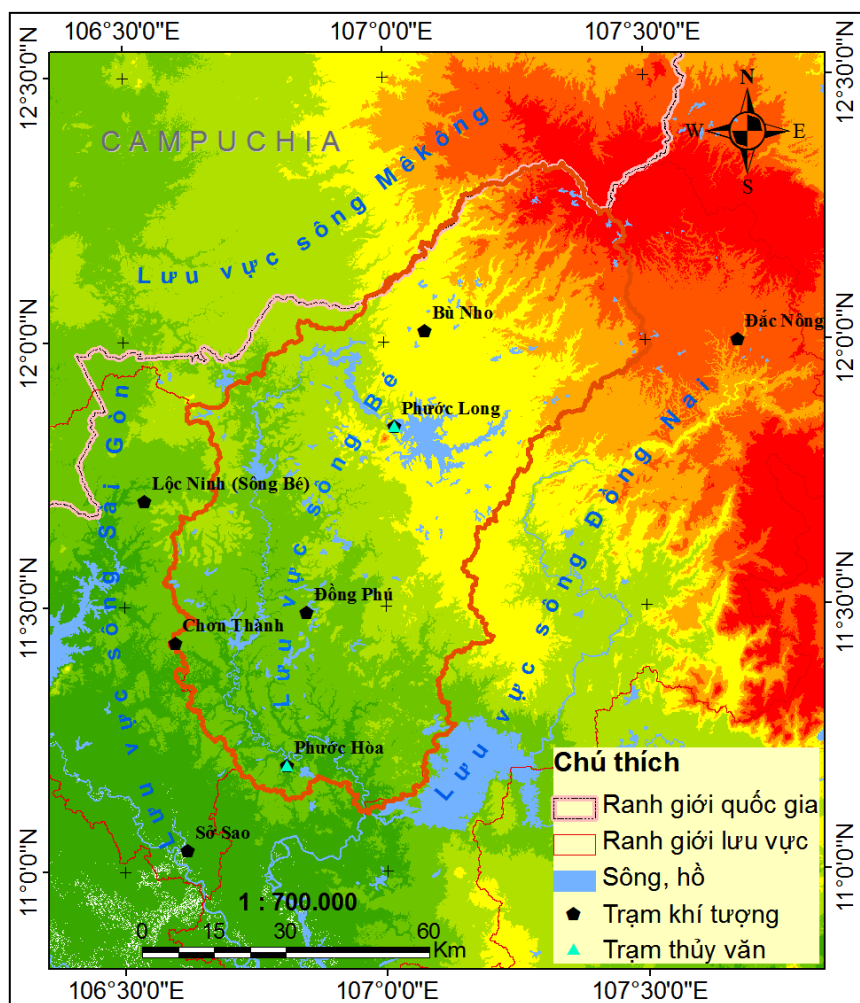
Khí hậu của lưu vực cung cấp năng lượng, độ ẩm cho quá trình cân bằng nước và xác định tầm quan trọng tương đối của các thành phần trong chu trình thủy văn. Dữ liệu thời tiết cần thiết cho SWAT bao gồm lượng mưa ngày, nhiệt độ không khí trong ngày lớn nhất, nhỏ nhất, bức xạ Mặt Trời, tốc độ gió và độ ẩm tương đối. Giá trị của những thông số trên có thể được ghi nhận từ dữ liệu quan trắc hoặc được tạo ra từ quá trình mô phỏng trong SWAT (S.L. Neitsch *et al.*, 2005).

Dựa trên đặc điểm phân bố, thời gian đo đạc và chất lượng dữ liệu của các trạm quan trắc khí tượng trên lưu vực sông Bé và phụ cận, nghiên cứu đã lựa chọn và sử dụng dữ liệu do VQHTLMN cung cấp, tại 8 trạm đo là Bù Nho, Chơn Thành, Đắc Nông, Đồng Phú, Lộc Ninh (Sông Bé), Phước Hòa, Phước Long và Sở Sao trong khoảng thời gian từ năm 1979 – 2007 (Bảng 5.7), phân bố tại những vị trí như Hình 5.10.

Bảng 5.7. Đặc trưng địa lý của các trạm quan trắc khí tượng

STT	Trạm đo	Vĩ độ Bắc (°)	Kinh độ Đông (°)	Cao độ (m)	Yếu tố đo đạc
1	Bù Nho	12,02	107,08	0	P, T, S, W, H, E
2	Chơn Thành	11,43	106,60	0	P, T, S, W, H, E
3	Đắc Nông	12,00	107,68	0	P, T, S, W, H, E
4	Đồng Phú	11,49	106,85	120	P, T, S, W, H, E
5	Lộc Ninh (Sông Bé)	11,70	106,54	760	P, T, S, W, H, E
6	Phước Hòa	11,20	106,81	50	P, T, S, W, H, E
7	Phước Long	11,84	107,02	230	P, T, S, W, H, E
8	Sở Sao	11,04	106,62	4	P, T, S, W, H, E

Ghi chú: P (Lượng mưa), T (Nhiệt độ), S (Nhật chiếu), W (Gió), H (Độ ẩm), E (Bốc hơi)



Hình 5.10. Vị trí các trạm khí tượng, thủy văn được sử dụng trong nghiên cứu

5.3.1.5. Dữ liệu lưu lượng dòng chảy thực đo

Dữ liệu lưu lượng dòng chảy cung cấp bởi VQHTLMN tại 2 trạm quan trắc thủy văn là Phước Long và Phước Hòa nằm trên dòng sông chính của lưu vực sông Bé (Hình 5.10) được sử dụng để đánh giá kết quả mô phỏng dòng chảy của mô hình SWAT. Khoảng thời gian được lựa chọn xem xét là 1979 – 1994, vì đây là thời kì mà dòng chảy trên lưu vực sông Bé còn mang tính tự nhiên và chưa chịu tác động sâu sắc từ các công trình thủy lợi.

Bảng 5.8. Mạng lưới 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
1	Phước Hòa	11,20	106,81	50	Mực nước, lưu lượng dòng chảy
2	Phước Long	11,84	107,02	230	Mực nước, lưu lượng dòng chảy

5.3.2. Tiến trình thực hiện trong SWAT

Tiến trình mô phỏng lưu lượng dòng chảy trong SWAT được thực hiện dưới sự hỗ trợ của phần mở rộng ArcSWAT trong phần mềm ArcGIS 9.3.

5.3.2.1. Phân định lưu vực

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

Dựa trên DEM, mô hình tiến hành lấp đầy những vùng thấp trũng, xác định hướng dòng chảy, dòng chảy tích lũy, mô phỏng mạng lưới dòng chảy, tạo cửa xả. Mức độ chi tiết của mạng lưới dòng chảy, kích thước và số lượng tiểu lưu vực được xác định dựa trên ngưỡng diện tích tối thiểu thiết lập cho tiểu lưu vực. Giá trị ngưỡng càng nhỏ thì mạng lưới dòng chảy càng được mô phỏng càng chi tiết nhưng thời gian xử lý sẽ chậm hơn và cần bộ nhớ nhiều hơn. Trong nghiên cứu này, giá trị ngưỡng được chọn là 3.332 ha.

Tiếp theo, dựa trên mạng lưới dòng chảy, điểm xả nước của lưu vực được xác định tại tọa độ 11,11° vĩ độ Bắc; 106,97° kinh độ Đông, thuộc ranh giới hai tỉnh Bình Dương và Đồng Nai.

Cuối cùng, các thông số địa mạo của từng tiểu lưu vực và dòng chảy liên quan được tính toán. Kết quả phân định trên diện tích 666.360,69 ha của lưu vực nghiên cứu, có 113 tiểu lưu vực, được thể hiện như Hình 5.11.

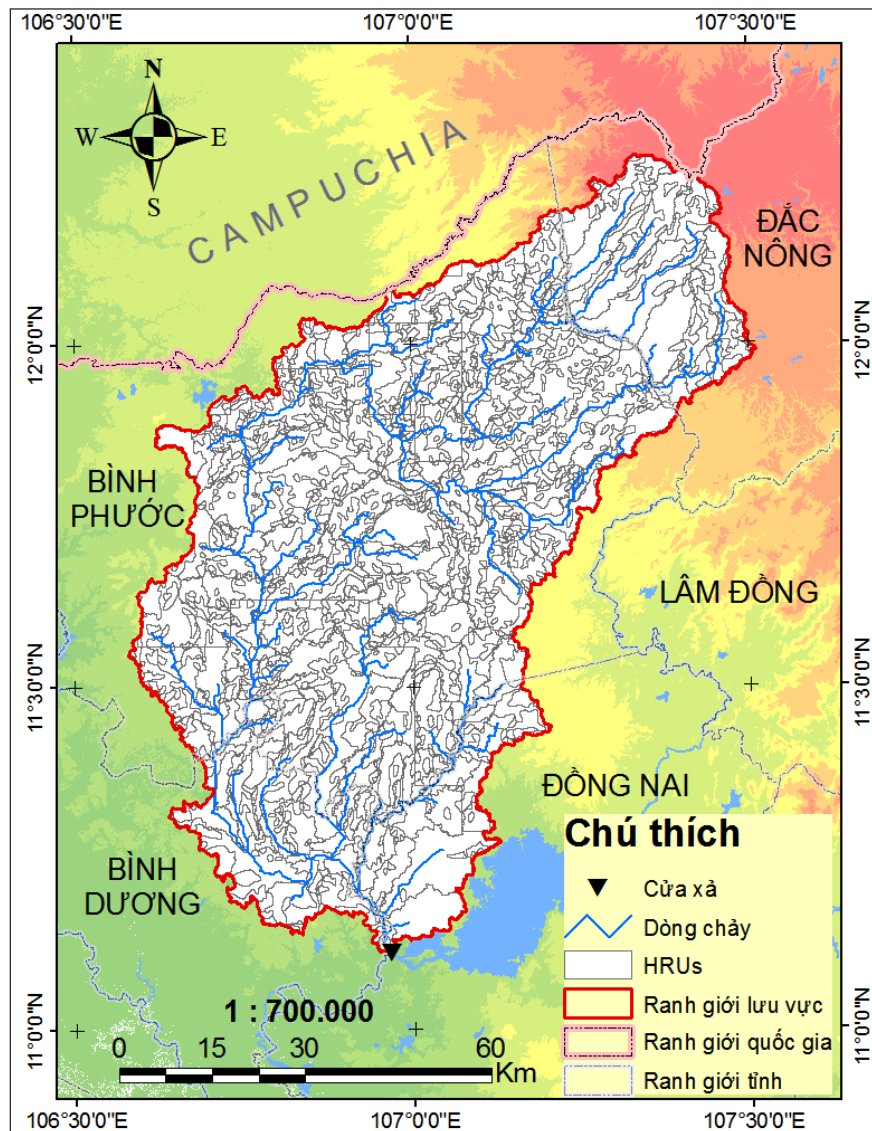
5.3.2.2. Phân tích đơn vị thủy văn

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. Do lưu vực sông Bé có độ dốc nhỏ và tương đối đồng nhất ở các nơi nên nghiên cứu không phân chia nhỏ lớp độ dốc mà chỉ giữ một giá trị độ dốc chung cho toàn lưu vực. Tiếp theo, bản đồ sử dụng đất, đất và phân chia độ dốc được chồng lớp, cho ra kết quả là sự phân bố sử dụng đất, đất, độ dốc trong từng tiểu lưu vực.

Bước cuối cùng trong phân tích HRU là định nghĩa HRUs. Có hai cách xác định HRUs: hoặc là gán chỉ một HRU cho mỗi tiểu lưu vực quan tâm đến sự kết hợp sử dụng đất/đất/độ dốc vượt trội, hoặc là 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 thứ hai 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. 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 637 (Hình 5.12).



Hình 5.11. Kết quả phân định lưu vực sông Bé



Hình 5.12. Kết quả tạo đơn vị thủy văn lưu vực sông Bé

5.3.2.3. 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, hoặc (2) từ dữ liệu thống kê thời tiết hàng tháng mà sau đó SWAT sẽ mô phỏng dữ liệu theo ngày. Do khả năng dữ liệu hạn chế nên cách tiếp cận kết hợp hai phương pháp trên đã được sử dụng trong nghiên cứu này. Theo đó, dữ liệu mưa, nhiệt độ hàng ngày trong thời kì từ năm 1979 – 2007 tại 8 trạm đo là Bù Nho, Chơn Thành, Đắk Nông, Đồng Phú, Lộc Ninh (Sông Bé), Phước Hòa, Phước Long và Sở Sao được đưa vào mô hình SWAT, trong khi những dữ liệu

còn lại được SWAT mô phỏng dựa trên dữ liệu thống kê thời tiết hàng tháng tại 5 trạm đo là Đắc Nông, Đồng Phú, Lộc Ninh (Sông Bé), Phước Long và Sở Sao.

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.

5.3.2.4. Chạy mô hình

Quá trình chạy mô hình SWAT được thiết lập từ năm 1979 – 2007, mưa tuân theo phân bố lệch chuẩn (skewed normal).

5.3.2.5. Đánh giá mô hình

Giá trị trung bình, độ lệch chuẩn, hệ số xác định (R^2) (P. Krause *et al.*, 2005) và chỉ số Nash – Sutcliffe (NSI) (Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe, 1970) được sử dụng để đánh giá độ tin cậy của mô hình SWAT. Công thức tính R^2 và NSI được thể hiện lần lượt trong công thức 5.3 và 5.4.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (5.3)$$

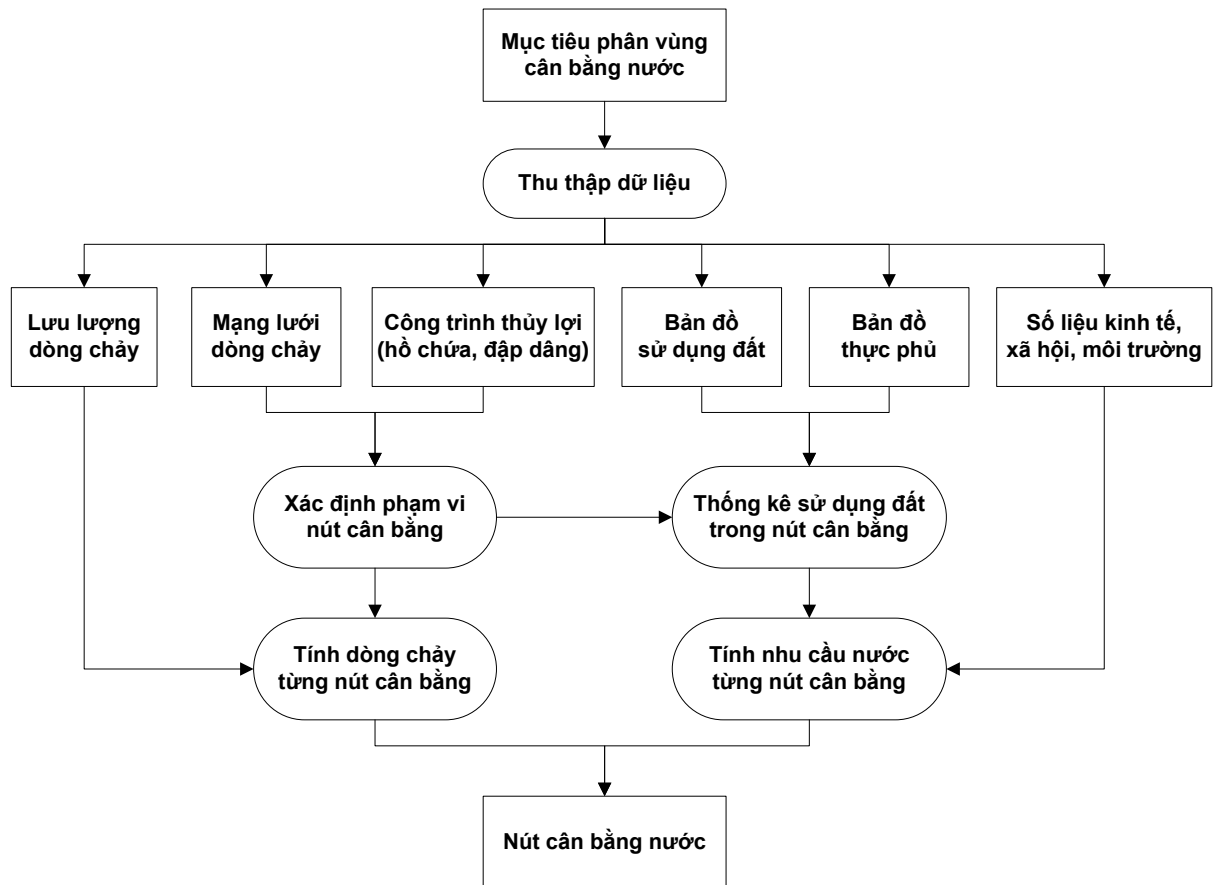
$$NSI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5.4)$$

Với O là giá trị thực đo, $\bar{O}$ là giá trị thực đo trung bình, P là giá trị mô phỏng, $\bar{P}$ là giá trị mô phỏng trung bình, n là số lượng giá trị tính toán.

Giá trị R^2 nằm trong khoảng từ 0 đến 1, thể hiện mối tương quan giữa giá trị thực đo và giá trị mô phỏng. Trong khi đó, 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. Tuy nhiên, không có những tiêu chuẩn rõ ràng nào được xác định trong việc đánh giá kết quả mô phỏng từ các thông số thống kê này (C. Santhi *et al.*, 2001).

5.4. Phân vùng cân bằng nước trên lưu vực trong GIS

Nhìn tổng thể, lưu vực sông Bé là một hệ thống phức tạp, không đồng nhất giữa các vị trí về điều kiện tự nhiên, kinh tế, xã hội và môi trường cũng như tiềm năng và nhu cầu nước. Do vậy, trước khi tính toán cân bằng nước, nghiên cứu đã tiến hành đơn giản hóa hệ thống nguồn nước của lưu vực sông vẫn đảm bảo thể hiện được bản chất, tính chính xác của vấn đề tính toán cân bằng nước. Quy trình phân vùng cân bằng nước bao gồm các bước là thu thập dữ liệu, xác định phạm vi nút cân bằng, tính toán diện tích các loại hình sử dụng đất, nhu cầu nước và lưu lượng dòng chảy tại các nút cân bằng (Hình 5.13).

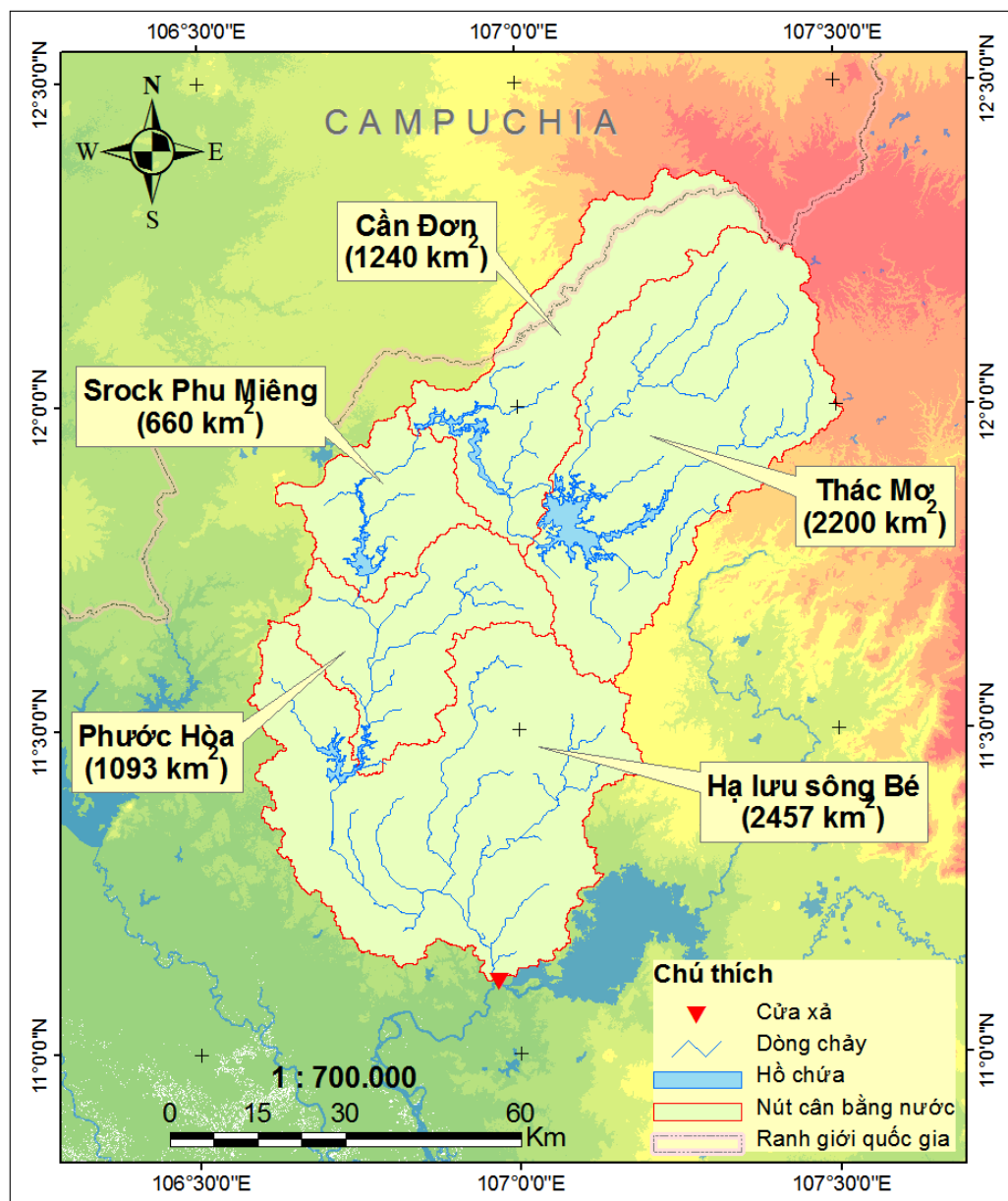


Hình 5.13. Lược đồ phân vùng cân bằng nước

5.4.1. Phạm vi nút cân bằng

Dựa trên kết quả mô phỏng mạng lưới dòng chảy từ SWAT (113 tiểu lưu vực), kết hợp với xem xét vị trí phân bố, mức độ ảnh hưởng đến dòng chảy chính sông Bé của các công trình thủy lợi, đề tài đã phân chia lưu vực sông Bé thành 5 nút cân bằng bao gồm Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng, Phước Hòa và hạ lưu sông Bé. Điểm cuối của

các nút cân bằng tương ứng với vị trí của hồ Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng, Phước Hòa và cửa xả lưu vực sông Bé. Ranh giới và diện tích của từng nút cân bằng được thể hiện như Hình 5.14.



Hình 5.14. Các nút cân bằng nước trên lưu vực sông Bé

5.4.2. Các loại hình sử dụng đất trong từng nút cân bằng

Sau khi phân vùng cân bằng nước, tiến hành thống kê từng loại hình sử dụng đất trong năm 2002 và 2010 dựa trên bản đồ thực phủ năm 2002 và bản đồ sử dụng đất năm 2010 (Bảng 5.9). Trong quá trình này, phép phân tích chồng lớp không gian trong GIS

được sử dụng. Kết quả tính toán diện tích các loại hình sử dụng đất làm tiền đề cho việc tính toán nhu cầu nước ở bước tiếp theo.

Bảng 5.9. Thống kê loại hình sử dụng đất năm 2010 trong các nút cân bằng (ha)

Nút cân bằng Lớp sử dụng đất	Thác Mơ	Cần Đơn	Srock Phu Miêng	Phước Hòa	Hạ lưu sông Bé	Tổng số
Đất lúa 2-3 vụ	-	-	-	-	8.128,94	8.128,94
Đất 1 lúa-1 màu	-	-	-	-	2.007,13	2.007,13
Đất lúa+màu 2-3 vụ	-	-	-	236,02	2.609,35	2.845,37
Đất chuyên màu, cây công nghiệp hàng năm	13,58	1.146,43	2.217,17	2.921,16	14.355,62	20.653,96
Đất cây hàng năm khác	5.477,19	-	7.791,60	5.006,57	1.027,43	19.302,79
Đất cây ăn quả	120,79	-	-	796,75	6.557,06	7.474,60
Đất cao su	3.405,54	4.447,83	13.857,41	25.865,11	68.638,63	116.214,52
Đất cây lâu năm khác	60.160,64	29.234,75	24.606,40	48.241,19	52.780,08	215.023,06
Đất dân cư nông thôn	1.047,76	-	2.920,68	587,69	9.269,70	13.825,83
Đất an ninh quốc phòng	-	-	-	404,73	1.765,42	2.170,15
Đất rừng tự nhiên	134.582,68	61.672,06	2.914,95	6.245,14	89.303,07	294.717,90
Mặt nước thủy sản	-	2.264,77	3.417,61	710,21	2.157,90	8.550,49
Sông suối, ao hồ	13.037,22	3.227,78	1.008,68	115,92	-	17.389,60
Tổng số	217.845,40	101.993,62	58.734,50	91.130,49	258.600,33	728.304,34

5.4.3. Nhu cầu nước từng nút cân bằng

Tại mỗi nút cân bằng, định lượng nhu cầu nước tương ứng, bao gồm nhu cầu nước cho nông nghiệp, công nghiệp, dân sinh và dòng chảy môi trường. Đối với nhu cầu sản xuất thủy điện, do không có tài liệu mô tả về yêu cầu lượng điện sản xuất tại các nhà máy thủy điện trên lưu vực sông Bé nên nhu cầu này không được đánh giá. Chi tiết cách xác định từng loại nhu cầu nước được mô tả như sau:

5.4.3.1. Nhu cầu tưới trong nông nghiệp

Trên cơ sở các tài liệu cơ bản về khí hậu, thổ nhưỡng, đất đai và cơ cấu thời vụ, nghiên cứu tính toán chế độ tưới cho các loại cây trồng trên lưu vực bao gồm: lúa, bắp, đậu, rau, mía và cà phê theo các khu tưới đặc trưng là Tân Uyên – Bến Cát, Đồng Phú – Phú Giáo, Lộc Ninh – Bình Long, Phước Long – Bù Đăng – Đắc R’lấp. Nhu cầu nước tưới tại mặt ruộng được biểu thị bằng chỉ tiêu mức tưới (m^3/ha) nhân với diện tích (ha) từng loại cây trồng.

5.4.3.2. Nhu cầu nước trong chăn nuôi

Nhu cầu nước cho chăn nuôi được tính cho đầu các loại gia súc, gia cầm chăn nuôi. Giá trị bình quân được tính cho đại gia súc, lợn và gia cầm lần lượt là 135; 50 và 11 lít/ngày/con.

5.4.3.3. Nhu cầu nước cho công nghiệp

Tiêu chuẩn dùng nước cho công nghiệp được tính theo định mức 40 – 50 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{ngày}$ cho giai đoạn 2002 – 2010. Có khoảng 17 khu công nghiệp, cụm công nghiệp trên lưu vực sông Bé bao gồm Tây Nam Bù Đăng, Đức Liễu 1 và 2, Thác Mơ, Đakia, Hiệp Thành, Thanh Hòa, Chơn Thành, Tân Khai, Bắc Chơn Thành, Minh Lập, Nam Đồng Phú, Nam Thị xã Đồng Xoài, Tây Thị xã Đồng Xoài, Tân Phước, Lai Uyên, Phước Vĩnh phân bố tại các huyện Bù Đăng, Phước Long, Lộc Ninh, Bình Long, Đồng Phú, Tân Uyên, Bến Cát và Phú Giáo.

5.4.3.4. Nhu cầu nước cho sinh hoạt

Nhu cầu nước cho sinh hoạt thường được tính dựa trên mức sử dụng nước bình quân, đơn vị tính thường là lít/người/ngày. Đối với lưu vực sông Bé, tiêu chuẩn nước dùng cho đô thị được tính theo Bảng 5.10 với tỉ lệ dân được cấp nước trong năm 2002 và 2010 lần lượt là 60 – 80 % và 90 – 95 %.

5.4.3.5. Nhu cầu nước môi trường

Nhu cầu nước môi trường được xác định bằng giá trị lưu lượng dòng chảy tối thiểu cần xả xuống hạ lưu trong thời kì mùa kiệt ứng với tần suất 90 % tại các vị trí phía sau hồ Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng.

Bảng 5.10. Tiêu chuẩn cấp nước sinh hoạt đô thị (lít/người/ngày)

Khu dân cư	Năm 2002	Năm 2010
Đô thị loại I (thành phố đặc biệt)	150 - 180	200 - 250
Đô thị loại II (thành phố)	120	180
Đô thị loại III (thị xã)	100	150
Đô thị loại IV (thị trấn)	80	120
Đô thị loại V (thị tứ)	60	100

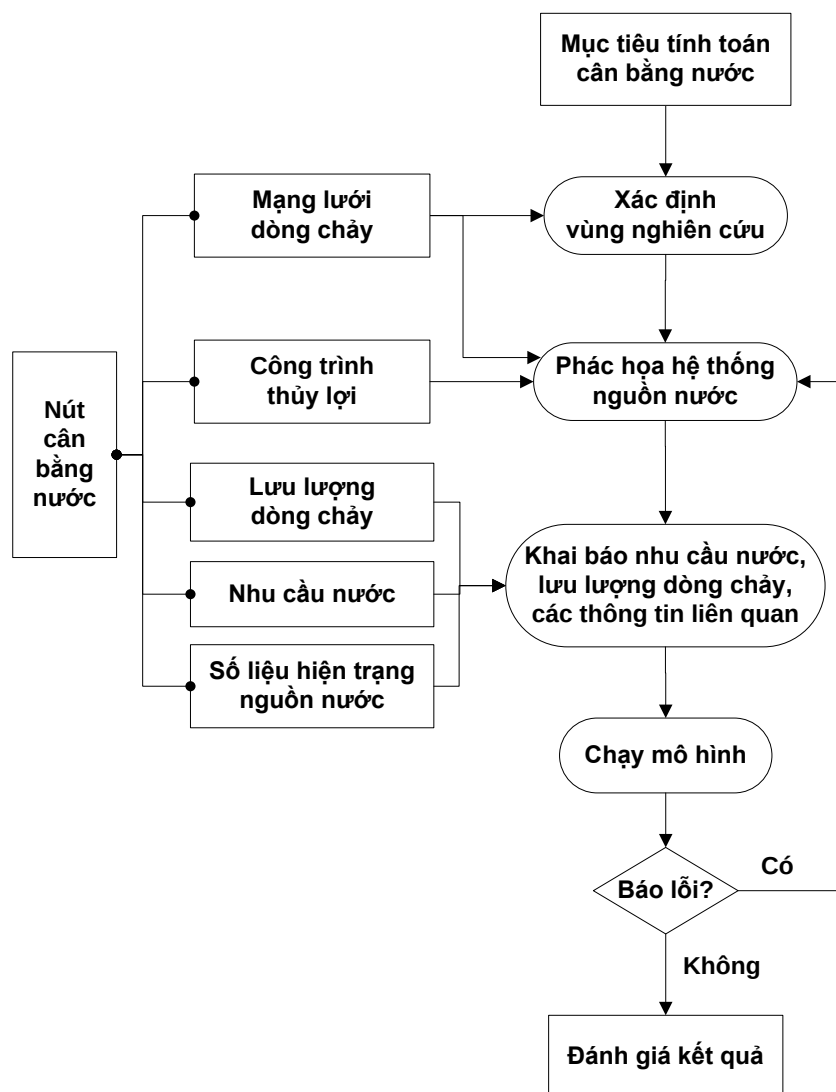
(VQHTLMN, 2002)

5.4.4. Dòng chảy tại các nút cân bằng

Từ kết quả mô phỏng lưu vực dòng chảy trong SWAT, xác định lưu lượng dòng chảy trung bình tháng đổ vào dòng chảy chính sông Bé ứng với mỗi nút cân bằng. Sau đó, giá trị lưu lượng dòng chảy được tổng hợp cùng với nhu cầu nước phân theo từng nút cân bằng, làm dữ liệu đầu vào cho quá trình tính toán cân bằng nước trong mô hình WEAP.

5.5. Tính toán cân bằng nước trên lưu vực trong mô hình WEAP

Phương pháp tính toán cân bằng nước trong mô hình WEAP được thực hiện trên từng nút cân bằng. Các bước chính của quá trình này được thể hiện như Hình 5.15, bao gồm xác định vùng nghiên cứu, phác họa hệ thống nguồn nước, khai báo nhu cầu nước và lưu lượng dòng chảy tại các nút cân bằng, chạy mô hình và đánh giá kết quả.



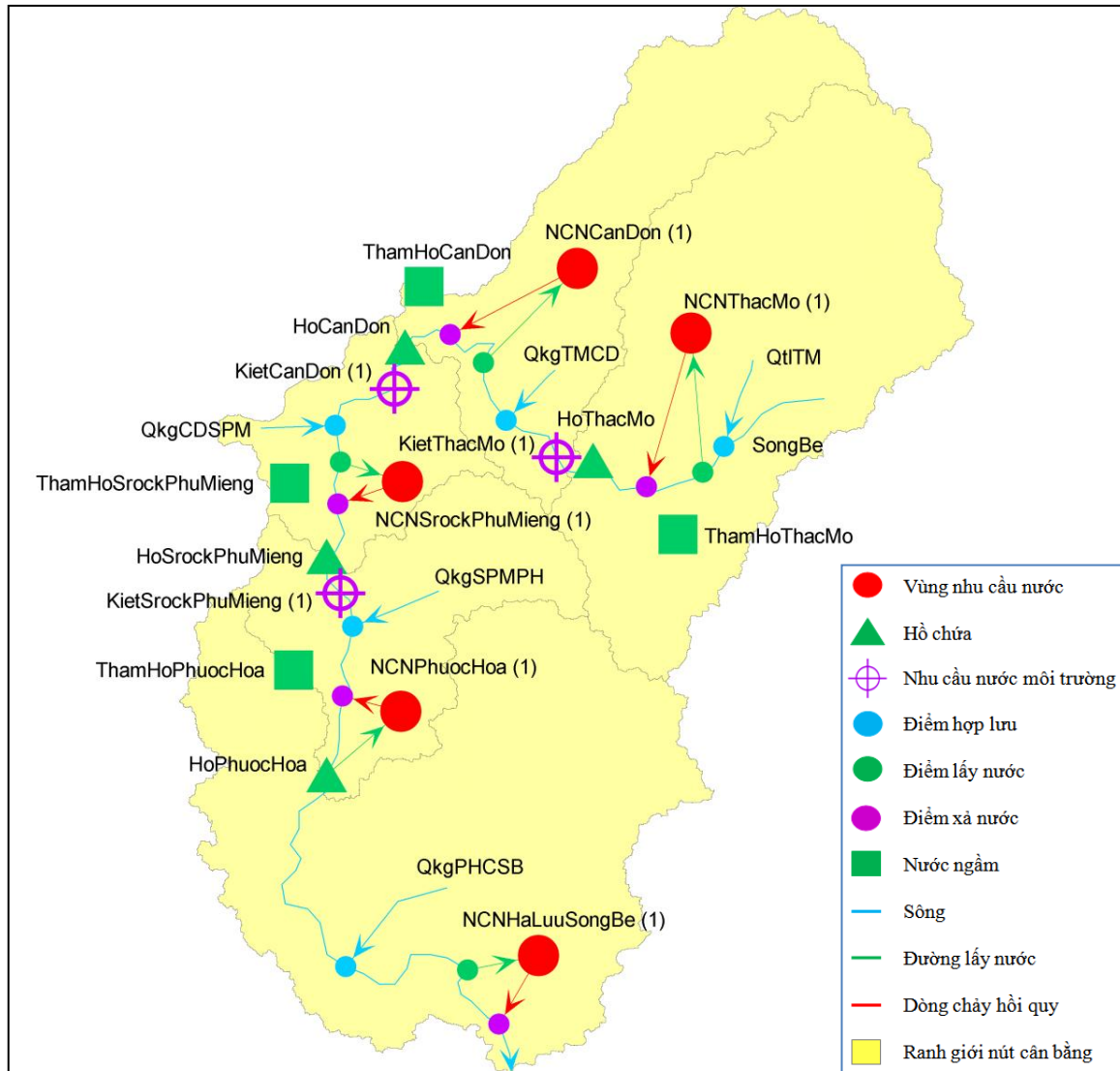
Hình 5.15. Lược đồ tính toán cân bằng nước

5.5.1. Xác định vùng nghiên cứu

Mạng lưới dòng chảy mô phỏng trong SWAT được sử dụng để xác định vị trí lưu vực sông Bé mô hình WEAP. Đây là bước đầu tiên trong quá trình tính toán cân bằng nước lưu vực sông Bé.

5.5.2. Phác họa hệ thống nguồn nước

Trong mô hình WEAP, hệ thống nguồn nước của lưu vực sông Bé được xây dựng dưới dạng các đối tượng nút và nhánh. Các đối tượng dạng nút bao gồm vùng nhu cầu nước (Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng, Phước Hòa và hạ lưu sông Bé), hồ chứa (hồ Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng và Phước Hòa), dòng chảy môi trường (hạ lưu hồ Thác Mơ, Cần Đơn và Srock Phu Miêng). Các nút được liên kết với nhau nhờ các nhánh bao gồm sông ngòi, đường lấy nước, dòng chảy hồi quy.



Hình 5.16. Sơ đồ hệ thống nguồn nước lưu vực sông Bé trong WEAP

Ý nghĩa của các chữ viết tắt trên sơ đồ được giải thích như sau:

- NCNThacMo, NCNCanDon, NCNSrockPhuMieng, NCNPhuocHoa, CNHaLuuSongBe tương ứng với 5 vùng nhu cầu nước là Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng, Phước Hòa và hạ lưu sông Bé
- HoThacMo, HoCanDon, HoSrockPhuMieng, HoPhuocHoa tương ứng với hồ Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng và Phước Hòa.
- KietThacMo, KietCanDon, KietSrockPhuMieng tương ứng với nhu cầu nước môi trường hạ lưu hồ Thác Mơ, Cần Đơn và Srock Phu Miêng.

- ThamHoThacMo, ThamHoCanDon, ThamHoSrockPhuMieng, ThamHoPhuocHoa tương ứng với nguồn nước ngầm tại hồ Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng, Phước Hòa.

- SongBe, QtlTM, QkgTMCD, QkgCDSPM, QkgSPMPH, QkgPHCSB tương ứng với dòng chảy chính sông Bé, dòng chảy phụ lưu trước hồ Thác Mơ, giữa hồ Thác Mơ - Cần Đơn, giữa hồ Cần Đơn - Srock Phu Miêng, giữa hồ Srock Phu Miêng – Phước Hòa và giữa Phước Hòa – cửa sông Bé.

5.5.3. Khai báo thông tin

Sau khi phác họa hệ thống nguồn nước sông Bé, bước tiếp theo là khai báo nhu cầu nước, lưu lượng dòng chảy và các thông tin liên quan cho từng đối tượng. Đối với thông tin về nhu cầu nước, lưu lượng dòng chảy, sử dụng kết quả tính toán trong phần phân vùng cân bằng nước (xem mục 6.3). Các thông tin khác được lấy từ số liệu hiện trạng nguồn nước do VQHTLMN cung cấp. Chi tiết thông tin cần khai báo như sau:

- Đối với nhu cầu nước nông nghiệp, công nghiệp, dân sinh: lượng nhu cầu nước theo từng tháng, tỉ lệ nước tiêu thụ (90 %), tỉ lệ nước tổn thất (0 %), mức ưu tiên cấp nước (cao nhất).

- Đối với nhu cầu nước môi trường: dòng chảy tối thiểu, mức ưu tiên cấp nước (cao nhất).

- Đối với hồ chứa, các thông tin cần cung cấp bao gồm:

+ Vật lý: dung tích toàn bộ, đường cong dung tích - độ cao, lượng bốc hơi nước thuần mặt hồ, lượng thấm vào nước ngầm.

+ Vận hành: dung tích tối đa, dung tích chết.

+ Thủy điện: dòng chảy lớn nhất qua tua-bin, mực nước trước tua-bin, tần suất phát điện, hiệu suất phát điện.

+ Mức ưu tiên cấp nước: thấp nhất.

5.5.4. Chạy mô hình

Sau khi nhập đầy đủ các số liệu đầu vào, tiến hành chạy mô hình trong thời kì 2002 - 2010. Nếu mô hình báo lỗi, khi đó cần xem xét lại các dữ liệu đầu vào về đơn vị, tỷ lệ, giá trị,... của các biến mà mô hình báo lỗi đã thỏa mãn chưa. Tiếp theo, phải hiệu chỉnh lại dữ liệu cho phù hợp. Nếu thành công, kết quả tính toán cân bằng nước sẽ hiển thị trong khung nhìn kết quả dưới dạng đồ thị, bảng biểu, hoặc bản đồ. Qua đó, đánh giá kết quả tính toán cân bằng nước.

Thuật toán tính toán cân bằng nước trong WEAP được mô tả như sau:

- WEAP tính toán cân bằng nước cho mỗi nhánh và nút trong hệ thống theo khoảng thời gian hàng tháng. Nước được phân phối để đáp ứng nhu cầu môi trường, nhu cầu tiêu hao nước, nhu cầu phát điện, tùy thuộc vào mức ưu tiên cấp nước, các ràng buộc hệ thống.

- WEAP hoạt động trên khoảng thời gian hàng tháng. Mỗi tháng là độc lập với tháng trước nó, ngoại trừ khả năng trữ nước ở tầng ngầm nước ngầm và hồ chứa. Như vậy, tất cả lượng nước vào hệ thống trong một tháng (ví dụ, dòng chảy thượng lưu, dòng chảy vào sông chính) hoặc là (1) lưu trữ trong hồ chứa, tầng nước ngầm, lưu vực, hoặc là (2) rời khỏi hệ thống vào cuối tháng này (ví dụ, dòng chảy cửa sông, nhu cầu tiêu hao nước, lượng bốc hơi trên sông hoặc hồ chứa nước, đường lấy nước, dòng chảy hồi quy). Bởi vì khoảng thời gian tính toán tương đối dài (hàng tháng) nên tất cả các dòng chảy được giả định là xuất hiện ngay lập tức. Do đó, một nút nhu cầu có thể lấy nước từ sông, tiêu thụ một phần, trả lại phần còn lại cho một nhà máy xử lý nước thải và chảy về sông. Dòng chảy hồi quy này có thể được sử dụng trong cùng một tháng bởi nhu cầu hạ lưu.

- Trong mỗi tháng, WEAP thực hiện các tính toán theo thứ tự:

1. Yêu cầu nước hàng năm, hàng tháng cho mỗi nút nhu cầu và dòng chảy môi trường; lượng bốc thoát hơi nước tiềm năng trên lưu vực, dòng chảy và thấm xuống nước ngầm, giả sử không có dòng chảy tưới tiêu.

2. Dòng chảy vào, dòng chảy ra cho mỗi nút và nhánh trong hệ thống. Quy trình này tính toán lượng nước lấy từ các nguồn cung cấp để đáp ứng nhu cầu, điều tiết hồ chứa bằng phương pháp quy hoạch tuyến tính với mục tiêu là tối ưu hóa khả năng thỏa mãn nhu cầu nước của các nút và nhu cầu nước môi trường, tùy thuộc vào mức ưu tiên cấp nước, cân bằng hệ thống và các hạn chế khác.

3. Sản xuất thủy điện được tính từ dòng chảy đi qua tua-bin, dựa trên việc xả nước từ hồ chứa hoặc dòng chảy trên sông và bị hạn chế bởi dòng chảy tối đa qua tua-bin.

CHƯƠNG 6

KẾT QUẢ, THẢO LUẬN

6.1. Kết quả phân loại thực phủ

6.1.1. Bản đồ phân loại thực phủ

Kết quả phân loại thực phủ thể hiện sự phân bố không gian của các loại thực phủ. Thống kê diện tích từng lớp thực phủ được thể hiện trong Bảng 6.1. Để thành lập bản đồ thực phủ trên lưu vực sông Bé, từ kết quả phân loại, tiến hành xây dựng hệ thống chú giải các lớp thực phủ và các yếu tố bản đồ khác (lưới tọa độ, thanh tỉ lệ, thanh chỉ hướng...), sản phẩm cuối cùng như Hình 6.1.

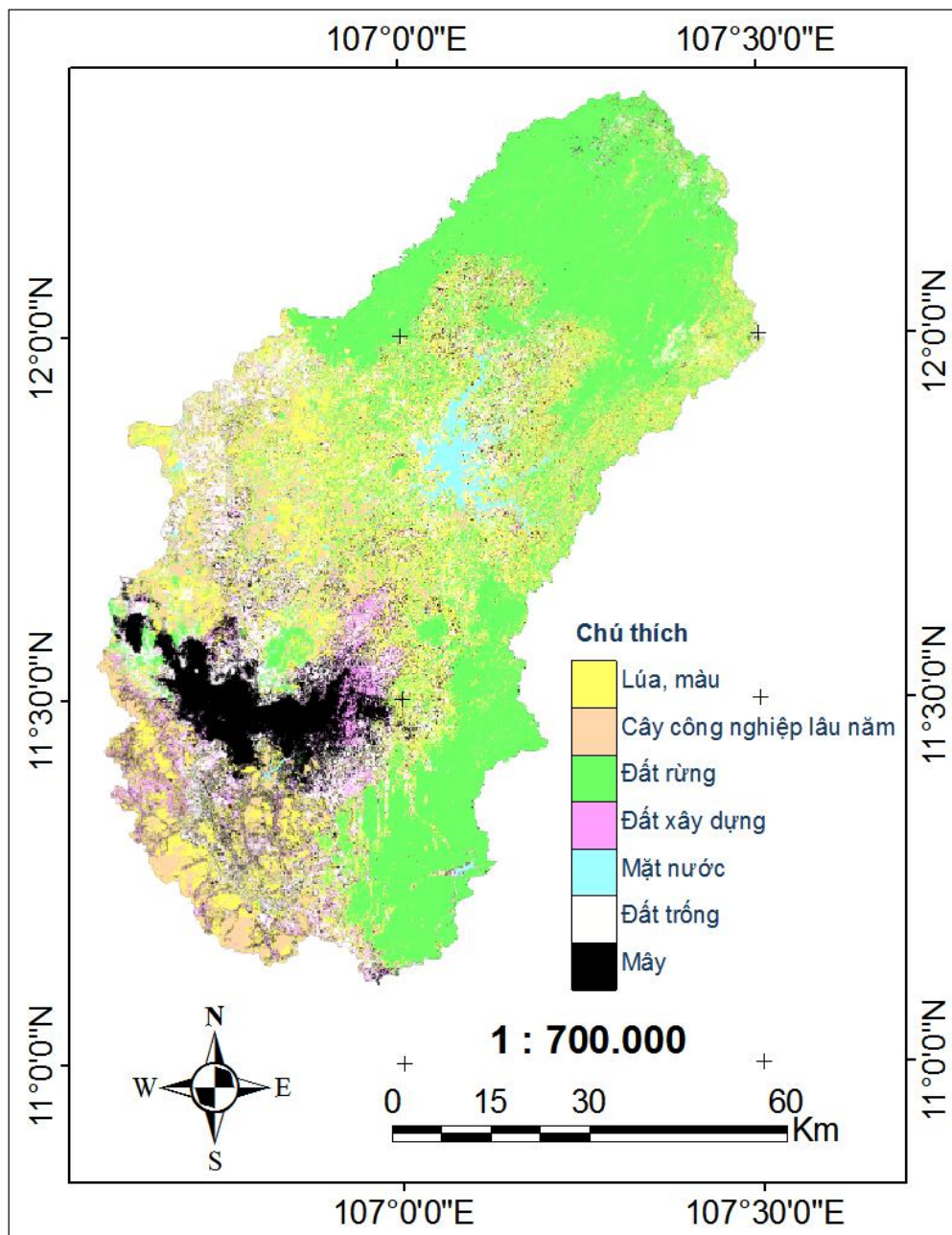
Bảng 6.1. Thống kê diện tích các lớp thực phủ năm 2002

Mã số	Lớp thực phủ	Diện tích	
		ha	%
1	Lúa, màu	181.548,84	24,91
2	Cây công nghiệp lâu năm	40.471,25	5,55
3	Đất rừng	279.360,55	38,33
4	Đất xây dựng	41.815,04	5,74
5	Mặt nước	11.692,42	1,60
6	Đất trống	100.329,36	13,77
-	Mây	73.625,26	10,10
Tổng cộng		728.842,73	100,00

Dựa vào Bảng 6.1 và Hình 6.1, rút ra một số nhận xét sau:

- Diện tích lớp thực phủ chiếm nhiều nhất là đất rừng, lúa – màu và đất trống, chiếm ít nhất là đất xây dựng, cây công nghiệp lâu năm và mặt nước.
- Độ che phủ rừng trên lưu vực khá lớn (gần 40 %), tập trung chủ yếu ở thượng nguồn, phía trên hồ Thác Mơ và phía Đông Nam, giáp với lưu vực sông Đồng Nai.

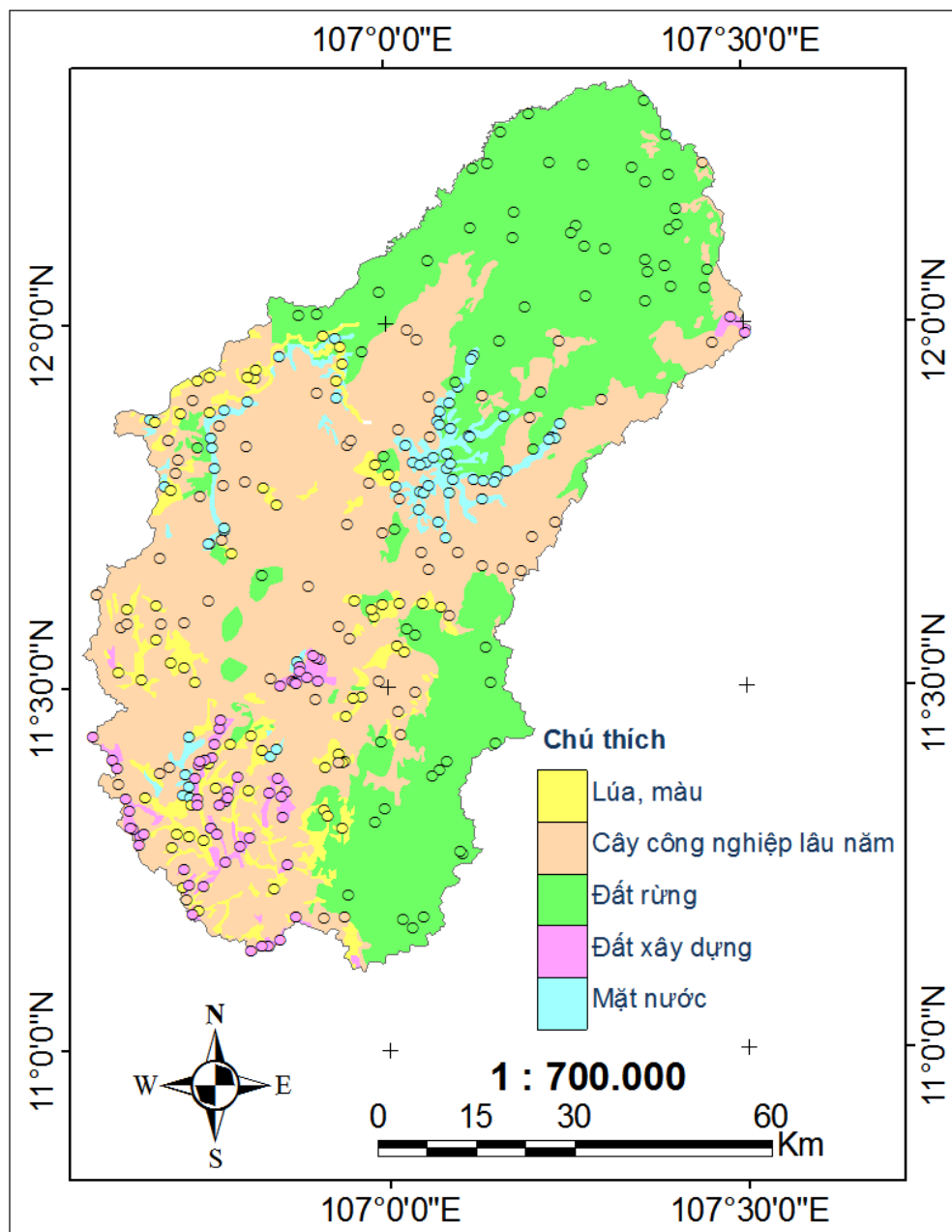
- Các loại hình đất nông nghiệp bao gồm lúa – màu, cây công nghiệp lâu năm phân bố rải rác trên lưu vực, xen lẫn với các loại thực phủ khác.
- Đất xây dựng chiếm tỉ lệ nhỏ, nằm xen kẽ với đất lúa – màu, cây công nghiệp lâu năm, tập trung thành vùng lớn ở phần trung và hạ lưu.
- Mặt nước trên lưu vực bao gồm hồ chứa, sông suối, trong đó lớn nhất là hồ Thác Mơ.
- Sự xuất hiện của mây trên ảnh năm 2002 đã ảnh hưởng không nhỏ đến kết quả phân loại, làm cho diện tích thực phủ tại khu vực mây che phủ không thể nhận diện.



Hình 6.1. Bản đồ bản đồ thực phủ lưu vực sông Bé năm 2002

6.1.2. Đánh giá độ chính xác

Để đánh giá độ chính xác phân loại thực phủ, 5 mẫu đánh giá (mỗi mẫu chứa 60 pixel) được lựa chọn ứng với 5 lớp thực phủ là lúa – màu, cây công nghiệp lâu năm, đất rừng, đất xây dựng và mặt nước dựa trên bản đồ sử dụng đất năm 2000 (xem Hình 6.2) theo phương pháp lấy mẫu phân tầng ngẫu nhiên. Do trên khu vực sông Bé, không tồn tại lớp đất trống nên đề tài không đánh giá độ chính xác của lớp thực phủ này.



Hình 6.2. Vị trí các điểm lấy mẫu trên bản đồ sử dụng đất lưu vực sông Bé năm 2000 (kí hiệu bằng chấm tròn)

Độ chính xác của bản đồ phân loại thực phủ năm 2002 được thể hiện trong Bảng 6.2. Theo đó, rút ra một số nhận xét sau:

- Độ chính xác toàn cục và chỉ số Kappa của kết quả phân loại thực phủ ở mức thấp (dưới 50 % đối với độ chính xác toàn cục; dưới 0,3 đối với chỉ số Kappa). Đó là vì có sự khác biệt về bản chất và khoảng thời gian của nguồn dữ liệu đánh giá sai số (bản đồ sử dụng đất) với các lớp thực phủ trên bản đồ phân loại: trong bản đồ sử dụng đất (năm 2000), loại thông tin được quan tâm là loại hình sử dụng đất, nghĩa là đất được con người sử dụng như thế nào, hơn sự che phủ về mặt vật lý (sinh học), có thể quan sát được trên bề mặt Trái Đất của lớp thực phủ (năm 2002).
- Mức độ bỏ sót thấp nhất đối với đất rừng, lúa – màu cho thấy mức độ phân loại chính xác tương đối cao. Trong khi đó mức độ bỏ sót ở các lớp còn lại là khá cao (trên 75 %).
- Có sự phân loại nhầm lẫn lớn giữa các lớp lúa – màu, cây công nghiệp lâu năm và đất rừng do mức độ tương đồng về giá trị phổ của chúng.

Bảng 6.2. Ma trận sai số của bản đồ phân loại thực phủ năm 2002

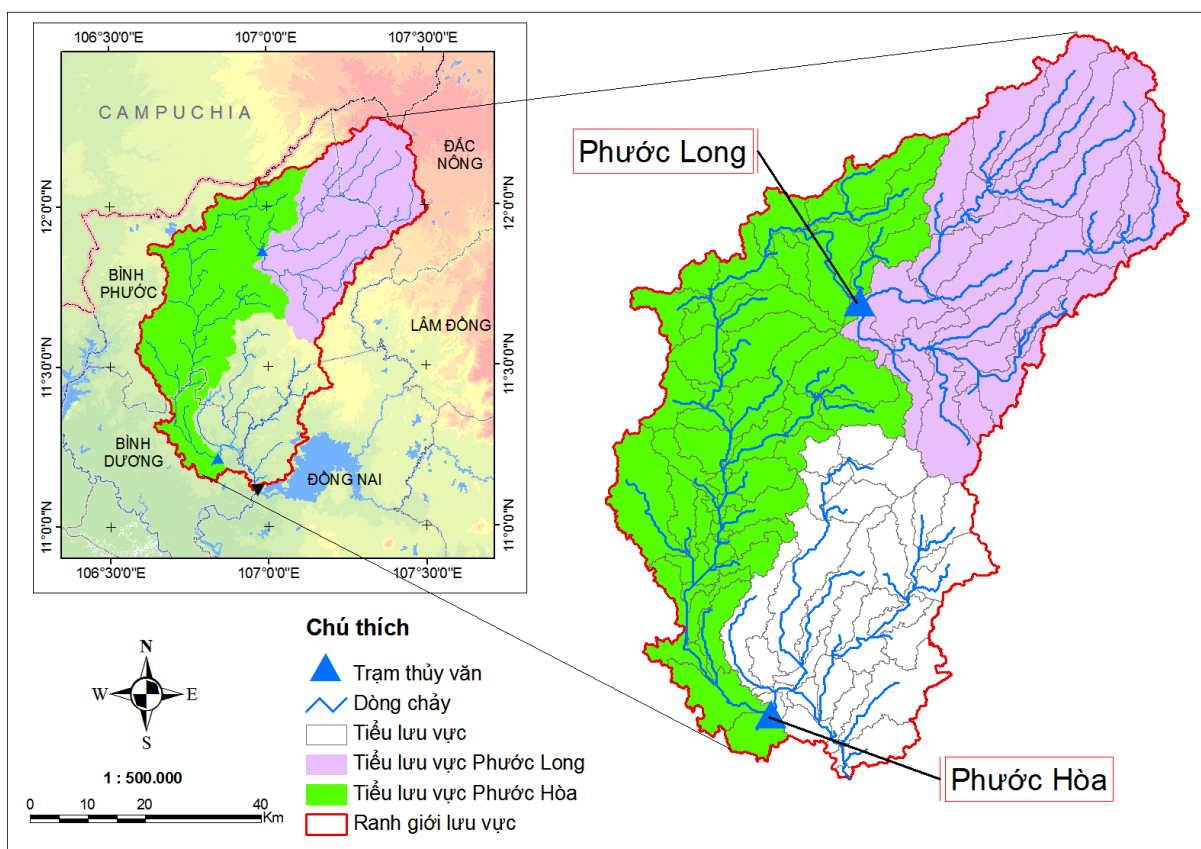
Loại thực Loại giải đoán	Lúa, màu	Cây công nghiệp lâu năm	Đất rừng	Đất xây dựng	Mặt nước	Tổng hàng	Sai số thêm vào (%)
Lúa, màu	20	19	6	21	21	87	77,01
Cây công nghiệp lâu năm	4	4	2	4	7	21	80,95
Đất rừng	8	12	46	0	7	73	36,99
Đất xây dựng	6	6	2	9	2	25	64,00
Mặt nước	0	1	1	0	8	10	20,00
Tổng cột	38	42	57	34	45	216	-
Sai số bỏ sót (%)	47,37	90,48	19,30	73,53	82,22	-	Độ chính xác toàn cục: 40,28 % Chỉ số Kappa: 0,25

6.2. Kết quả mô phỏng dòng chảy lưu vực

6.2.1. Đánh giá mô hình

Để đánh giá kết quả mô phỏng lưu lượng dòng chảy 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 xét như là cửa xả của một tiểu lưu vực tương ứng. Theo đó, tiểu lưu vực Phước Long nằm ở vùng thượng lưu sông Bé, chiếm diện tích 224.894,74 ha; tiểu lưu vực Phước Hòa nằm ở vùng trung và hạ lưu sông Bé, nhận nước từ tiểu lưu vực Phước Long đổ vào, có diện tích là 271.478,38 ha. Như vậy, tổng diện tích chung của hai tiểu lưu vực này xấp xỉ 496.373,12 ha, chiếm 74,49 % diện tích lưu vực sông Bé (Hình 6.3).

Khoảng thời gian được lựa chọn đánh giá kéo dài từ năm 1979 – 1994, vì đây là thời kì mà dòng chảy trên lưu vực sông Bé còn mang tính tự nhiên và chưa chịu tác động từ hồ Thác Mơ (hoàn thành vào năm 1995).



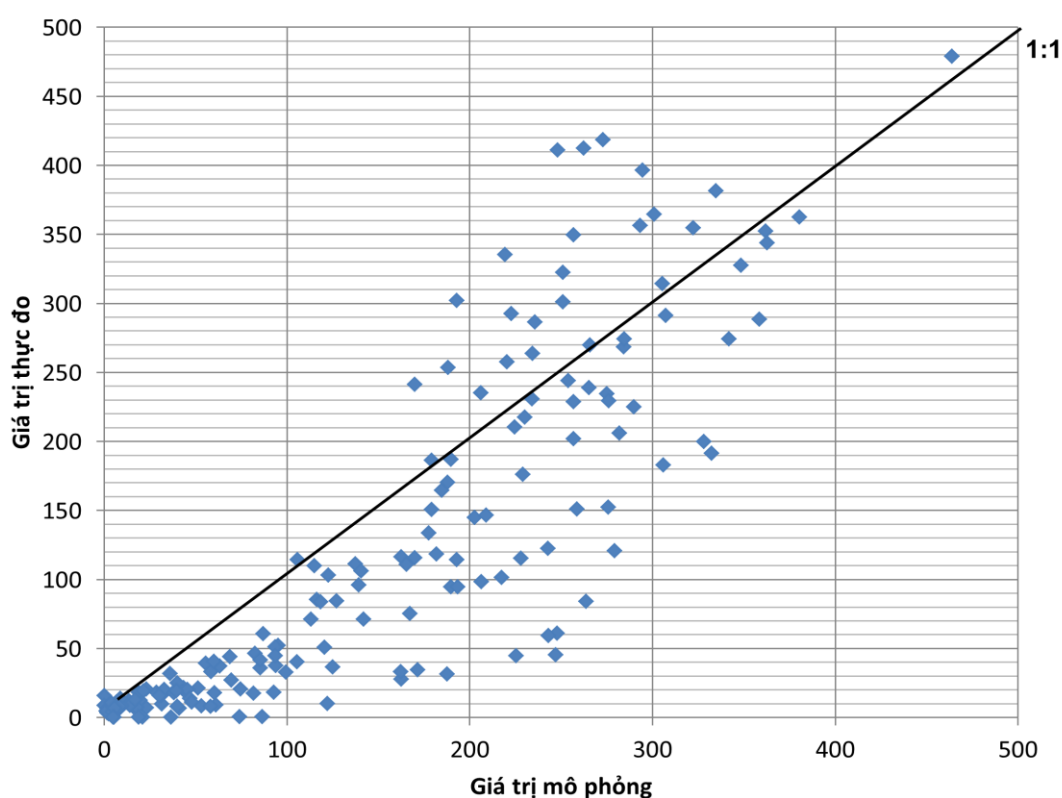
Hình 6.3. Vị trí hai tiểu lưu vực Phước Long và Phước Hòa

So sánh giá trị dòng chảy thực đo và mô phỏng tại hai tiểu lưu vực Phước Long, Phước Hòa (Bảng 6.3) cho thấy kết quả mô phỏng tương đối tốt với giá trị R^2 và NSI đều trên 0,7; giá trị mô phỏng nhìn chung cao hơn giá trị thực đo.

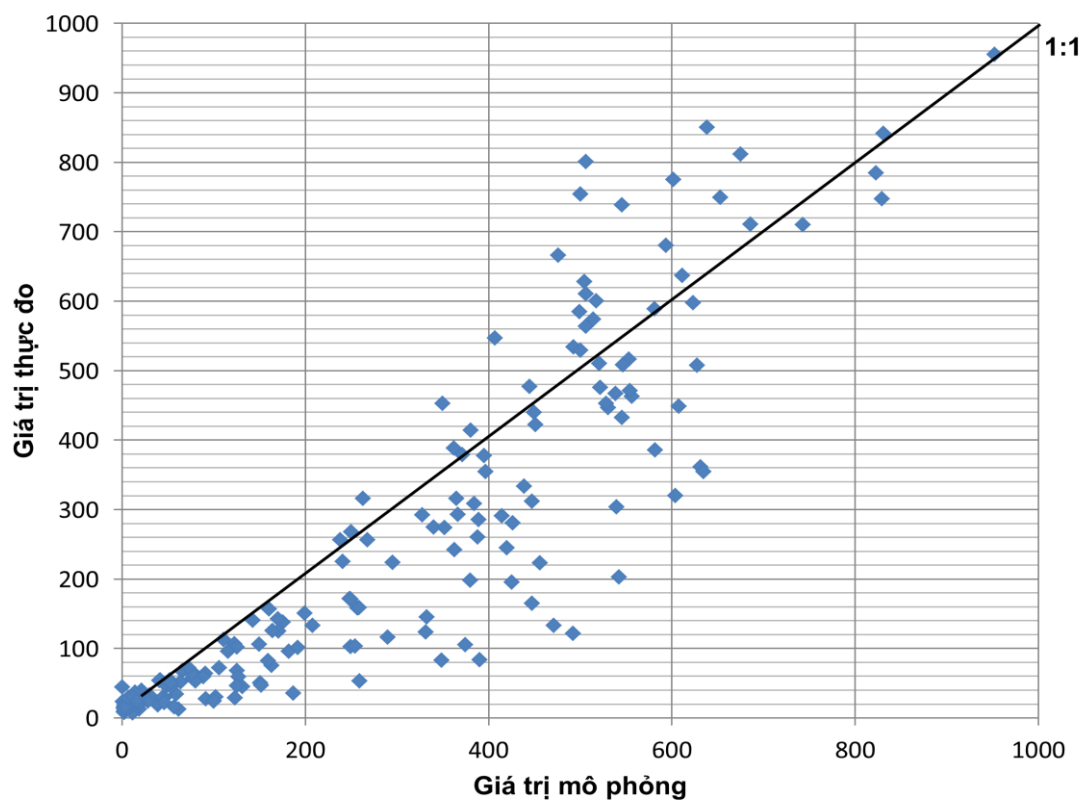
Bảng 6.3. Thống kê so sánh lưu lượng dòng chảy tháng tại Phước Long, Phước Hòa (thời kì 1979 – 1994)

Tiểu lưu vực	Phước Long	Phước Hòa
Giá trị thực đo trung bình	102,584	222,892
Giá trị mô phỏng trung bình	127,715	259,548
Hệ số xác định (R^2)	0,769	0,822
Chỉ số Nash – Sutcliffe (NSI)	0,720	0,794

Biểu đồ phân bố giá trị lưu lượng dòng chảy mô phỏng và thực đo tại hai trạm như Hình 6.4 và Hình 6.5 thể hiện giá trị mô phỏng có thể chấp nhận được khi khá phù hợp với giá trị thực đo trên đường 1:1.

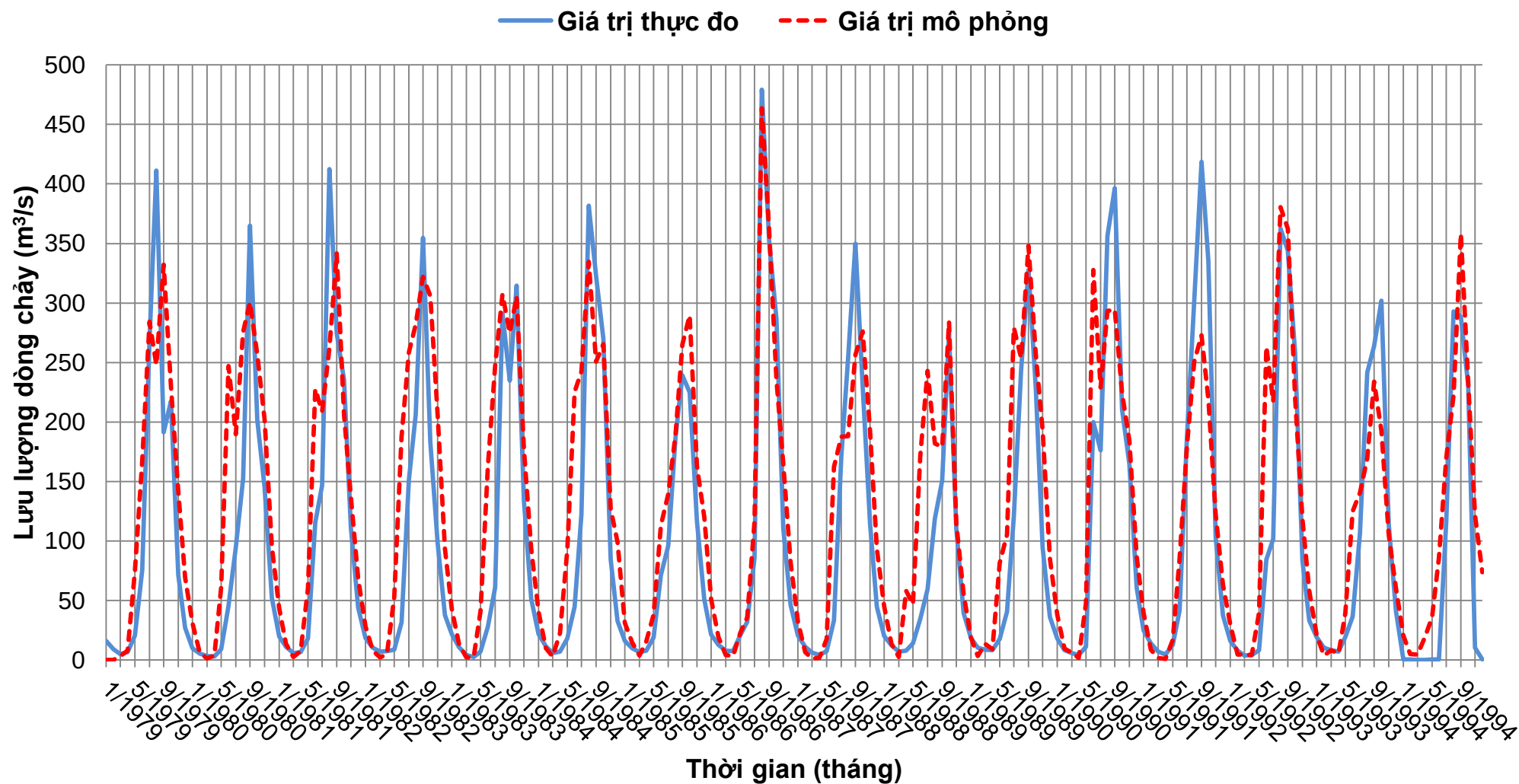


Hình 6.4. Phân bố lưu lượng dòng chảy thực đo và mô phỏng tại Phước Long

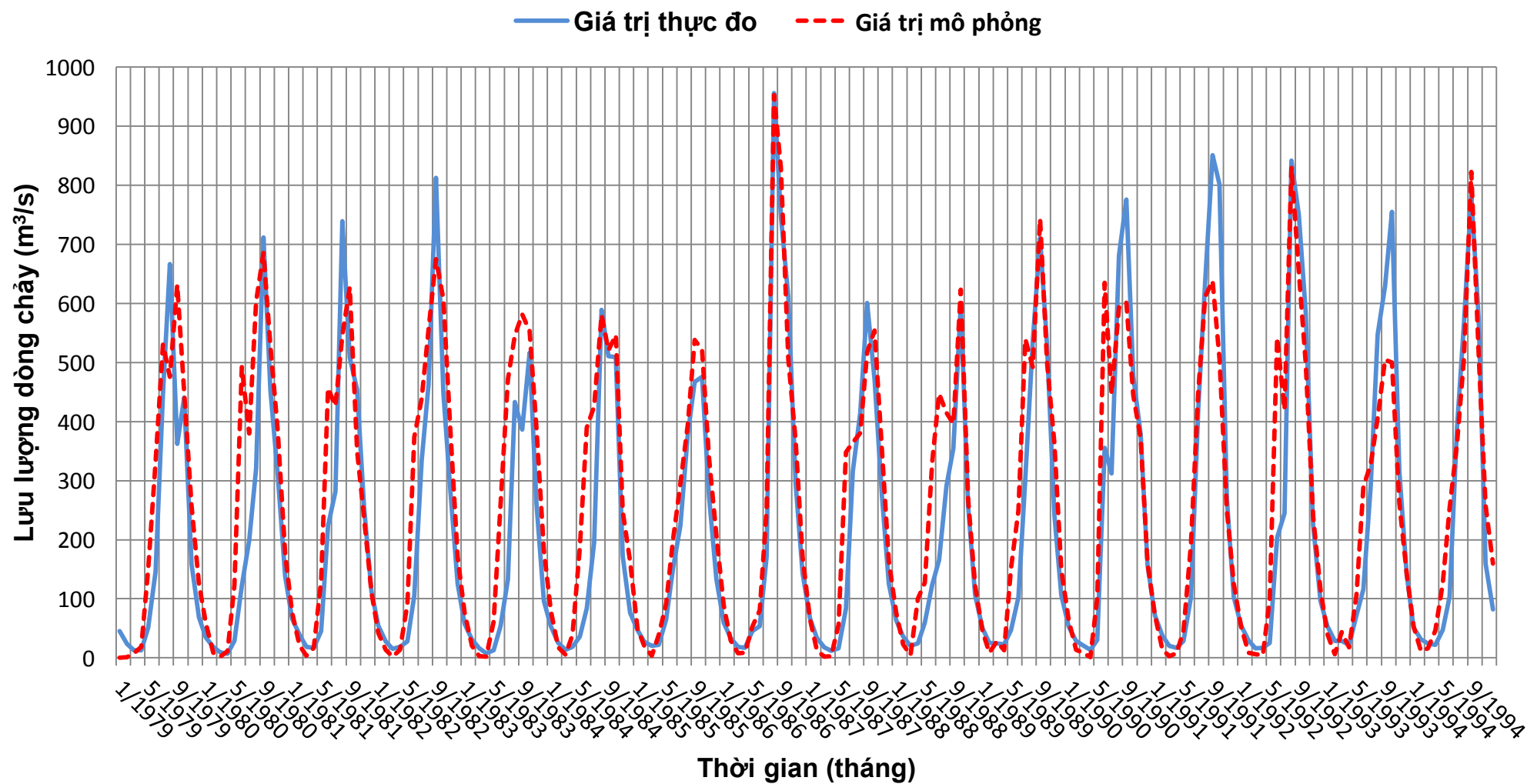


Hình 6.5. Phân bố lưu lượng dòng chảy thực đo và mô phỏng tại Phước Hòa

Về diễn biến lưu lượng dòng chảy, 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 (Hình 6.6 và Hình 6.7).



Hình 6.6. Giá trị lưu lượng dòng chảy mô phỏng và thực đo tại Phước Long

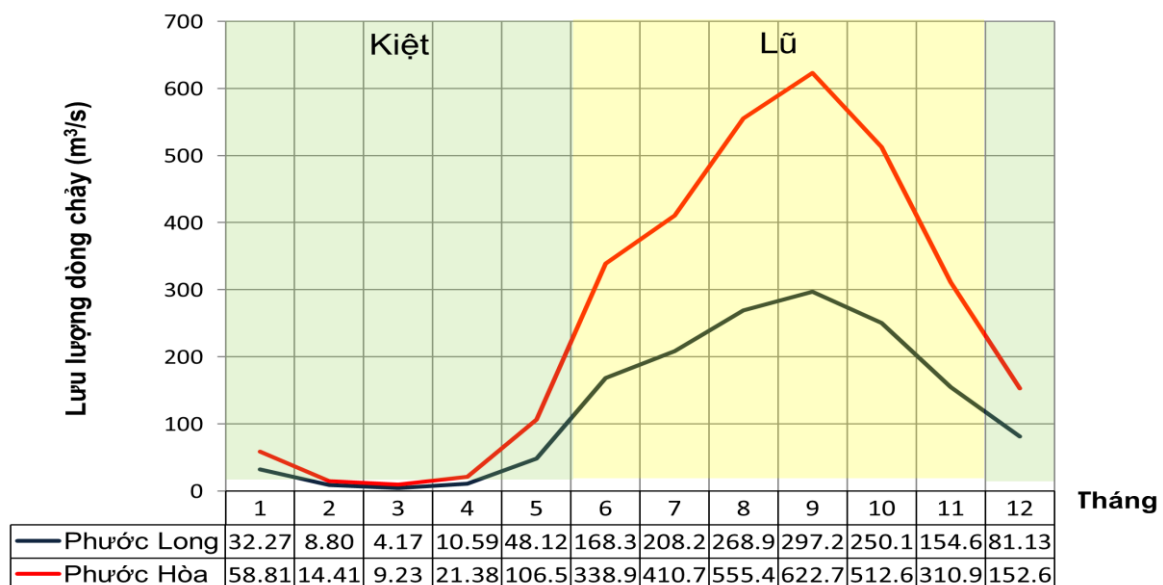


Hình 6.7. Giá trị lưu lượng dòng chảy mô phỏng và thực đo tại Phước Hòa

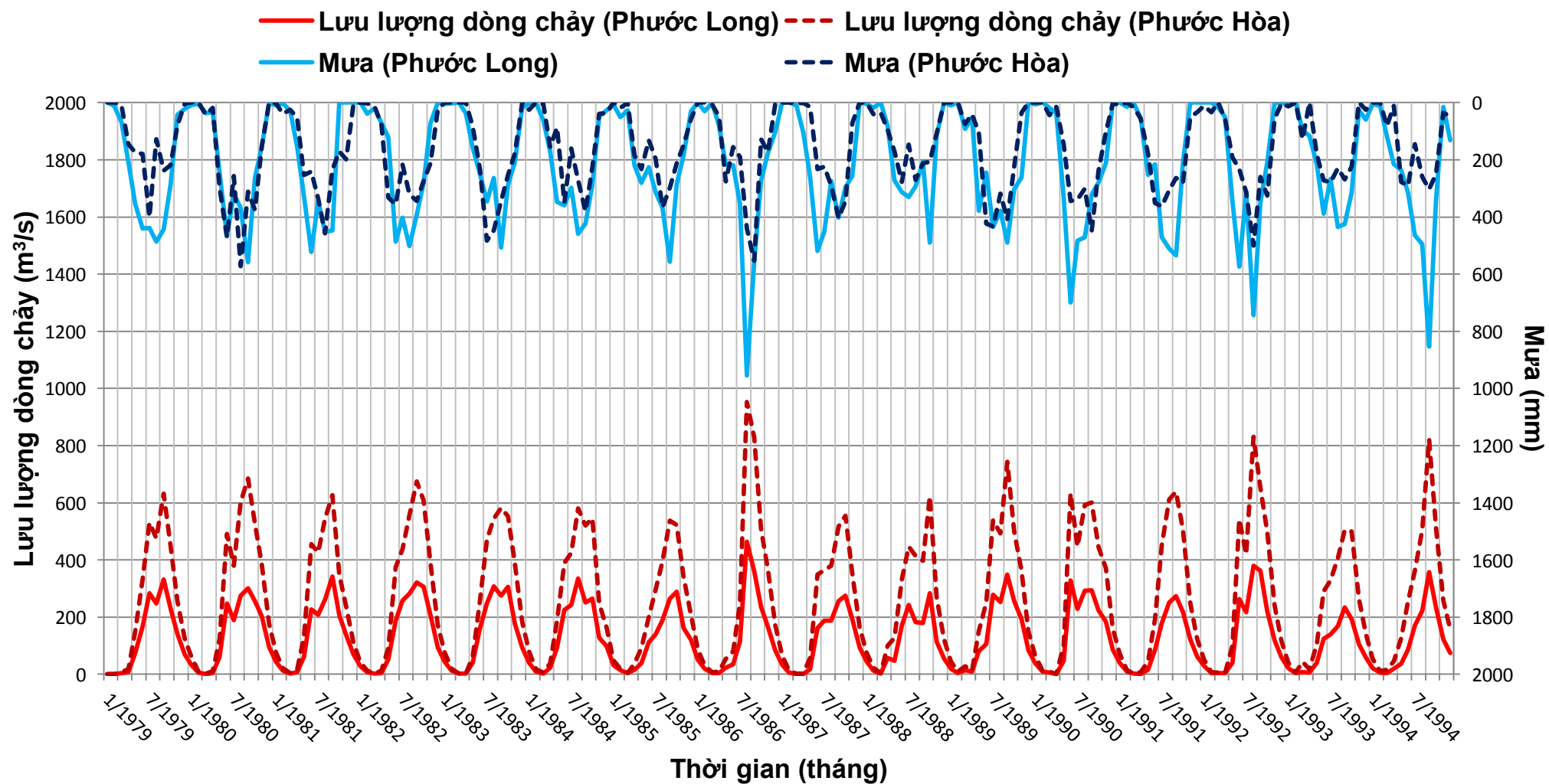
6.2.2. Diễn biến lưu lượng dòng chảy

Dựa trên Hình 6.9, có thể thấy mô hình biến đổi dòng chảy tại Phước Long, Phước Hòa được xác định theo sự biến động của lượng mưa. Trong những tháng mưa nhiều, lưu lượng dòng chảy thường lớn. Lưu lượng dòng chảy tại Phước Long phần lớn nhỏ hơn (khoảng 2 lần) tại Phước Hòa mặc dù về lượng mưa thì lại lớn hơn. Mô hình chung của dòng chảy tại hai tiểu lưu vực này là có 2 lần đạt đỉnh mùa mưa, các tháng còn lại (nhất là trong mùa khô) dòng chảy rất nhỏ. Tuy nhiên, giá trị lưu lượng dòng chảy có sự khác biệt theo từng năm. Đặc biệt, trong thời kì mô phỏng (1979 – 1994), trên cả hai tiểu lưu vực Phước Long, Phước Hòa, có 3 năm giá trị lưu lượng dòng chảy lớn nhất, đó là vào các tháng 8/1986, 8/1992 và 9/1994. Đối với Phước Long, giá trị này lần lượt là 463,8; 380,4; 358,3 m³/s. Trong khi đó, tại Phước Hòa, giá trị này lớn hơn, lần lượt là 951,9; 830,5; 822,6 m³/s.

Nhìn chung, mùa lũ trên cả hai tiểu lưu vực trên thường kéo dài từ tháng 6 – 11, với lưu lượng dòng chảy trung bình là 224,55 m³/s (Phước Long) và 458,53 m³/s (Phước Hòa). Trong mùa kiệt (từ tháng 12 đến tháng 5 năm sau), lưu lượng dòng chảy trung bình xuống thấp, chỉ đạt mức 30,85 m³/s (Phước Long) và 60,49 m³/s (Phước Hòa). Giá trị lưu lượng dòng chảy trung bình tháng trong thời kì 1979 – 1994 được thể hiện như Hình 6.8.



Hình 6.8. Lưu lượng dòng chảy trung bình thời kì 1979 – 1994 tại Phước Long, Phước Hòa



Hình 6.9. Diễn biến lượng mưa và giá trị lưu lượng dòng chảy mô phỏng tại Phước Long và Phước Hòa

6.3. Kết quả phân vùng cân bằng nước

6.3.1. Nhu cầu nước

6.3.1.1. Nhu cầu nước toàn lưu vực

Tổng nhu cầu nước trên lưu vực sông Bé năm 2002 vào khoảng 34,46 triệu m³ và tăng lên 1,78 lần, tương đương với 61,46 triệu m³ trong năm 2010. Diễn biến nhu cầu nước các tháng trong năm có xu hướng lớn hơn vào các tháng mùa khô (chiếm tỉ lệ 70 – 77 % tổng nhu cầu) và nhỏ hơn vào các tháng mùa mưa (chiếm 23 – 30 % tổng nhu cầu). Thời điểm nhu cầu nước lớn cũng trùng với lịch thời vụ sản xuất lúa, mùa Đông Xuân.

Bảng 6.4. Nhu cầu nước trong năm 2002 và 2010 trên lưu vực sông Bé

Năm	Tổng nhu cầu nước		Tháng											
			Mùa khô				Mùa mưa						Mùa khô	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2002	triệu m ³	34,46	4,75	4,76	4,48	2,74	1,68	1,64	1,74	1,94	1,79	1,70	2,67	4,57
	%	100,00	13,77	13,82	13,01	7,94	4,86	4,77	5,05	5,63	5,20	4,93	7,74	13,27
2010	triệu m ³	61,46	9,79	9,88	8,76	4,52	2,10	1,85	2,02	3,78	2,15	2,06	4,84	9,71
	%	100,00	15,93	16,07	14,26	7,36	3,42	3,01	3,28	6,16	3,50	3,34	7,87	15,80

6.3.1.2. Nhu cầu nước từng vùng

Xem xét trên từng vùng nhu cầu nước, hai vùng có nhu cầu lớn nhất là hạ lưu sông Bé và Thác Mơ với tỉ lệ tương ứng là 35,39 %; 20,52 % (2002) và 45,62 %; 15,95 % (2010). Các vùng còn lại, nhu cầu nước chiếm tỉ lệ dưới 20,00 % (2002) và dưới 15,50 % (2010). Diễn biến nhu cầu nước tháng trong năm của từng vùng cũng theo xu hướng lớn hơn vào các tháng mùa khô và nhỏ hơn vào các tháng mùa mưa. Tổng hợp kết quả tính toán nhu cầu nước trong năm 2002 và 2010 tại các nút cân bằng trên lưu vực sông Bé được thể hiện trong Bảng 6.5.

6.3.2. Nhu cầu nước môi trường

Đối với nhu cầu nước môi trường tại các vị trí sau hồ Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng, bao gồm dòng chảy tối thiểu duy trì môi trường sinh thái của sông (dòng chảy nhỏ nhất ứng với tần suất 90 %) và dòng chảy cần thiết để phục vụ cho nhu cầu nước hạ lưu, giá trị được xác định tương ứng là 100; 200 và 250 m³/s. Những giá trị này không thay đổi theo các tháng trong năm 2002 và 2010.

Bảng 6.5. Nhu cầu nước năm 2002 và 2010 tại các nút cân bằng trên lưu vực sông Bé (nghìn m³)

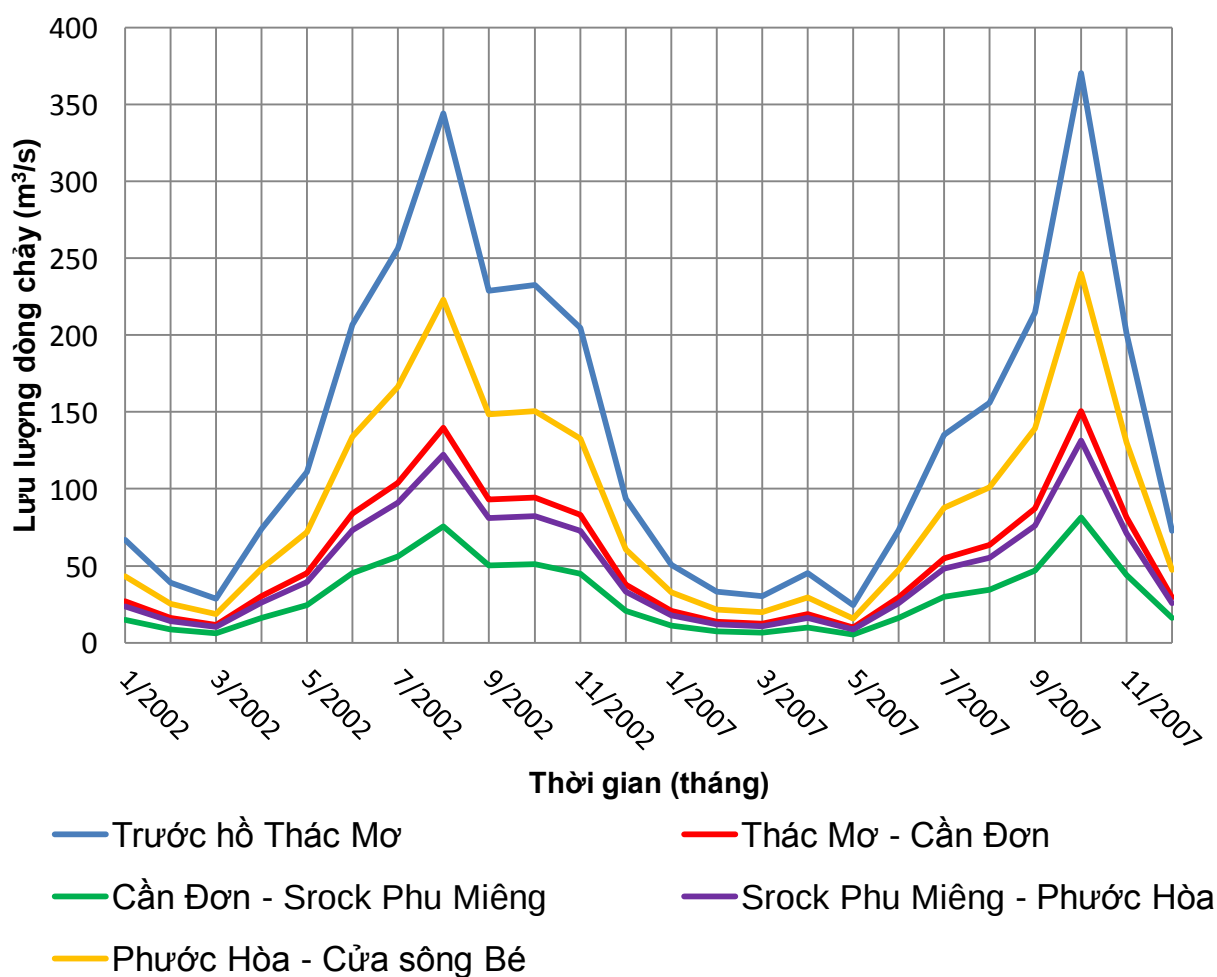
Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Tổng
Năm 2002													
Thác Mơ	1.613,93	1.573,63	1.422,35	448,90	20,50	20,50	121,59	24,04	24,74	29,69	540,80	1.229,35	7.070,03
Cần Đơn	537,23	536,74	529,45	412,28	284,42	282,47	282,47	282,96	322,82	297,06	492,01	602,86	4.862,77
Srock Phu Miêng	752,29	798,07	746,14	533,64	422,95	422,95	422,95	423,63	505,63	435,25	472,83	897,15	6.833,48
Phước Hòa	488,63	524,29	533,02	440,40	137,36	132,47	132,47	132,82	163,23	137,01	176,86	496,67	3.495,24
Hạ lưu sông Bé	1.353,53	1.329,14	1.253,53	902,35	810,90	784,07	781,63	1.076,72	774,31	799,92	984,05	1.344,99	12.195,14
Tổng	4.745,61	4.761,87	4.484,50	2.737,57	1.676,13	1.642,46	1.741,11	1.940,17	1.790,73	1.698,93	2.666,56	4.571,03	34.456,66
Năm 2010													
Thác Mơ	2.128,11	2.082,04	1.872,27	616,57	84,30	80,38	267,61	85,28	87,24	95,08	780,27	1.621,32	9.800,48
Cần Đơn	1.299,70	1.296,01	1.193,62	726,87	291,49	285,03	285,03	286,88	465,83	351,45	1.129,05	1.613,33	9.224,28
Srock Phu Miêng	1.147,30	1.247,29	993,87	635,28	430,13	430,13	430,13	432,72	567,19	451,68	519,78	1.334,35	8.619,84
Phước Hòa	897,88	979,40	1.020,45	867,24	155,53	143,38	143,38	143,96	186,75	150,32	233,00	859,15	5.780,44
Hạ lưu sông Bé	4.321,08	4.270,61	3.681,75	1.676,84	1.141,26	914,13	891,70	2.834,92	841,22	1.006,66	2.173,16	4.284,63	28.037,96
Tổng	9794,08	9.875,35	8.761,96	4.522,81	2.102,70	1.853,05	2.017,85	3.783,75	2.148,22	2.055,19	4.835,26	9.712,78	61.463,00

6.3.3. Lưu lượng dòng chảy

Từ kết quả mô phỏng trong SWAT, lưu lượng dòng chảy trong năm 2002 và 2007 được chọn làm cơ sở cho việc tính lưu lượng dòng chảy năm 2002 và 2010 đổ vào dòng chảy chính sông Bé tại mỗi nút cân bằng. Dựa vào kết quả thống kê trong Bảng 6.6 và Hình 6.10, có thể thấy giá trị lưu lượng dòng chảy trong cả hai năm 2002 và 2007 có xu hướng giảm dần từ thượng lưu đến hạ lưu sông Bé: tại vị trí trước hồ Thác Mơ, dòng chảy đạt giá trị cực đại, sau đó giảm dần tại Thác Mơ – Cần Đơn và đạt cực tiểu tại Cần Đơn – Srock Phu Miêng, sau đó tăng dần tại Srock Phu Miêng – Phước Hòa và đạt cực đại thứ hai ở Phước Hòa – Cửa sông Bé. Sự khác biệt trên phản ánh sự khác nhau về lượng mưa và diện tích của từng vùng.

Bảng 6.6. Lưu lượng dòng chảy trong năm 2002 và 2007 đổ vào dòng chảy chính sông Bé tại các nút cân bằng (m³/s)

Tháng	Trước hồ Thác Mơ		Thác Mơ - Cần Đơn		Cần Đơn - Srock Phu Miêng		Srock Phu Miêng - Phước Hòa		Phước Hòa – Cửa sông Bé	
	2002	2007	2002	2007	2002	2007	2002	2007	2002	2007
1	66,72	50,55	27,10	20,54	14,64	11,10	23,67	17,94	43,27	32,78
2	39,14	33,28	15,90	13,52	8,59	7,31	13,88	11,81	25,38	21,58
3	28,64	30,38	11,63	12,34	6,29	6,67	10,16	10,78	18,57	19,70
4	74,01	45,41	30,06	18,44	16,24	9,97	26,26	16,11	48,00	29,45
5	111,02	24,34	45,10	9,89	24,37	5,34	39,39	8,63	71,99	15,78
6	206,60	72,92	83,92	29,62	45,34	16,00	73,30	25,87	133,98	47,29
7	256,35	135,20	104,13	54,92	56,26	29,67	90,95	47,96	166,24	87,67
8	344,03	156,04	139,74	63,38	75,51	34,25	122,05	55,36	223,10	101,19
9	228,91	214,61	92,98	87,17	50,24	47,10	81,21	76,14	148,45	139,17
10	232,43	370,25	94,41	150,39	51,01	81,26	82,46	131,35	150,73	240,10
11	204,72	200,80	83,16	81,56	44,93	44,07	72,63	71,24	132,75	130,21
12	93,33	72,67	37,91	29,52	20,48	15,95	33,11	25,78	60,52	47,12
Trung bình	157,16	117,20	63,84	47,61	34,49	25,72	55,76	41,58	101,92	76,00
Lớn nhất	344,03	370,25	139,74	150,39	75,51	81,26	122,05	131,35	223,10	240,10
Nhỏ nhất	28,64	24,34	11,63	9,89	6,29	5,34	10,16	8,63	18,57	15,78



Hình 6.10. Diễn biến lưu lượng dòng chảy năm 2002 và 2007 tại các nút cân bằng

6.4. Kết quả tính toán cân bằng nước

6.4.1. Kịch bản cân bằng nước năm 2002

Kết quả tính toán cân bằng nước theo kịch bản năm 2002 (Bảng 6.7) cho thấy nguồn nước trên lưu vực sông Bé hiện còn khá dồi dào, các hồ chứa thủy điện có vai trò quan trọng đối với việc điều tiết nguồn nước giữa mùa mưa và mùa khô. Nhu cầu nước được đáp ứng đầy đủ trong phần lớn các tháng trong năm. Sự thiếu hụt nước chỉ xảy ra tại các nút cân bằng là Thác Mơ, Cần Đơn và Srock Phu Miêng vào hai tháng cuối mùa kiệt (tháng 4 và 5) với tổng lượng nước lần lượt là 681.940 m³ và 203.720 m³. Vùng thiếu hụt nhiều nhất là Srock Phu Miêng (chiếm 42,82 % tổng lượng thiếu hụt), ít nhất là Thác Mơ (chiếm 25,43 % tổng lượng thiếu hụt). Cũng trong hai tháng này, nhu cầu nước môi trường không được đảm bảo ở cả 3 vị trí là sau hồ Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng với lượng thiếu hụt có xu hướng tăng dần về phía hạ lưu.

Bảng 6.7. Lượng nước thiếu hụt trong năm 2002 tại các nút cân bằng

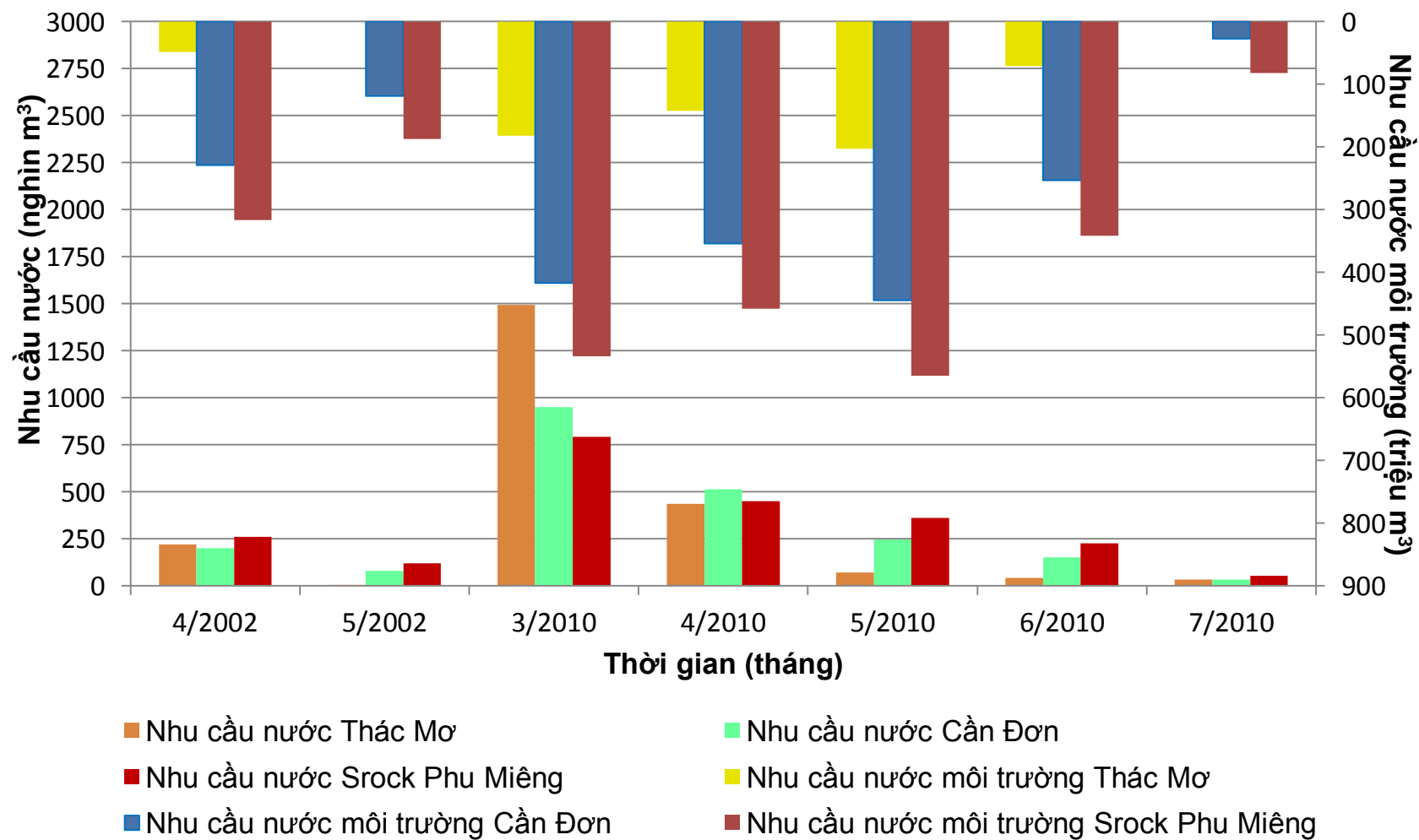
Tháng	Nhu cầu nước (nghìn m³)		Lượng thiếu hụt (nghìn m³)		Tỉ lệ thiếu hụt so với nhu cầu (%)	
	4	5	4	5	4	5
Nhu cầu nước	1.394,82	727,87	681,94	203,72	48,89	27,99
Thác Mơ	448,90	20,50	219,47	5,74	48,89	27,99
Cần Đơn	412,28	284,42	201,57	79,60	48,89	27,99
Srock Phu Miêng	533,64	422,95	260,90	118,38	48,89	27,99
Nhu cầu nước môi trường						
Sau Thác Mơ	259.200	267.840	48.371	0	18,66	0,00
Sau Cần Đơn	518.400	535.680	228.976	118.268	44,17	22,08
Sau Srock Phu Miêng	648.000	669.600	316.877	187.478	48,90	28,00

6.4.2. Kịch bản cân bằng nước năm 2010

Kịch bản năm 2010 có sự gia tăng nhu cầu nước tại các nút cân bằng so với kịch bản năm 2002, trong khi mô hình biến thiên dòng chảy tương tự như kịch bản năm 2002. Sự khác biệt trên đã làm cho kết quả tính toán cân bằng nước có sự thay đổi so với năm 2002. Theo đó, mặc dù tình trạng thiếu nước vẫn xảy ra tại các nút cân bằng là Thác Mơ, Cần Đơn và Srock Phu Miêng nhưng về thời gian, đã có sự mở rộng lên 5 tháng, kéo dài từ tháng 3 – 7, với tổng lượng nước thiếu hụt là 5,86 triệu m³, trong đó các nút Thác Mơ, Cần Đơn và Srock Phu Miêng chiếm tỉ lệ lần lượt là 35,49; 32,42 và 32,08 %. Sự thiếu hụt nước nghiêm trọng nhất diễn ra vào tháng 3 (3,24 triệu m³), tháng kiệt nhất của dòng chảy, sau đó giảm dần cho đến tháng 7 (0,12 triệu m³), tháng khởi đầu mùa lũ trên lưu vực sông Bé. Cũng từ tháng 3 - 7, nhu cầu nước môi trường trên lưu vực không được đảm bảo ở cả 3 vị trí là sau hồ Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng với lượng thiếu hụt lớn hơn so với năm 2002 và có xu hướng tăng dần về phía hạ lưu.

Bảng 6.8. Lượng nước thiếu hụt trong năm 2010 tại các nút cân bằng

	Nhu cầu nước (nghìn m ³)					Lượng thiếu hụt (nghìn m ³)					Tỉ lệ thiếu hụt so với nhu cầu (%)				
Tháng	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7
Nhu cầu nước	4.059,76	1.978,73	805,92	795,54	982,77	3.236,69	1.398,75	679,35	419,38	120,52	79,73	70,69	84,29	52,72	12,26
Thác Mơ	1.872,27	616,57	84,30	80,38	267,61	1.492,69	435,85	71,06	42,37	32,82	79,73	70,69	84,29	52,72	12,26
Cần Đơn	1.193,62	726,87	291,49	285,03	285,03	951,63	513,82	245,71	150,26	34,95	79,73	70,69	84,29	52,72	12,26
Srock Phu Miêng	993,87	635,28	430,13	430,13	430,13	792,37	449,08	362,58	226,75	52,75	79,73	70,69	84,29	52,72	12,26
Nhu cầu nước môi trường															
Sau Thác Mơ	267.840	259.200	267.840	259.200	267.840	182.304	142.051	203.024	70.507	0	68,06	54,80	75,80	27,20	0,00
Sau Cần Đơn	535.680	518.400	535.680	518.400	535.680	417.336	353.780	444.540	253.148	27.245	77,91	68,24	82,99	48,83	5,09
Sau Srock Phu Miêng	669.600	648.000	669.600	648.000	669.600	533.913	458.130	564.506	341.669	82.183	79,74	70,70	84,30	52,73	12,27



Hình 6.11. Diễn biến lượng nước thiếu hụt trong năm 2002 và 2010

6.4.3. Đánh giá kết quả tính toán cân bằng nước

Với việc thiết lập quyền ưu tiên cấp nước cao nhất đối với nhu cầu nước tại các nút cân bằng và nhu cầu nước môi trường, trong khi chưa quan tâm đến nhu cầu phát điện tại các hồ chứa, kết quả tính toán cân bằng nước năm 2002 và 2010 đã phản ánh thực trạng thiếu hụt nguồn nước trên lưu vực sông Bé đang có xu hướng gia tăng với mức độ trầm trọng hơn. Trong khi tiềm năng nước trên lưu vực không có sự thay đổi nhiều với lượng nước tính đến cửa sông khoảng 3,2 tỉ m³ (2002) và 2,4 tỉ m³ (2010) thì nhu cầu nước trên lưu vực lại có sự gia tăng nhanh chóng với lượng nhu cầu ước tính trong năm 2002 là 34,5 triệu m³ đã tăng lên 61,5 triệu m³ trong năm 2010. Chính vì vậy, đã dẫn đến tình trạng thiếu nước tại 3 trong tổng số 5 nút cân bằng là Thác Mơ, Cần Đơn và Srock Phu Miêng trong các tháng kiệt của dòng chảy với tổng lượng thiếu hụt năm 2002 và 2010 tương ứng là 0,89 và 5,85 triệu m³. Thêm vào đó, trong khoảng thời gian trên, lượng nước trên dòng chảy chính sông Bé tại các vị trí sau hồ Thác Mơ, Cần Đơn và Srock Phu Miêng suy giảm xuống dưới mức cho phép, khiến cho tình trạng thiếu nước càng nghiêm trọng, tạo lên tác động cộng hưởng mang tính tiêu cực không chỉ đến kinh tế, xã hội mà còn ảnh hưởng đến môi trường sinh thái của lưu vực.

Để khắc phục tình trạng nói trên, nghiên cứu đề xuất một số giải pháp như sau:

- Đối với nông nghiệp, ngành sử dụng nước nhiều nhất (chiếm tới hơn 90% tổng các nhu cầu nước của lưu vực), cần áp dụng các hình thức tưới tiết kiệm nước như 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 dành 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.
- củng cố, nâng cấp đi đôi với việc điều chỉnh vận hành hợp lý các công trình thủy lợi hiện có và phát triển thêm các công trình thủy lợi mới (chủ yếu là hồ chứa nước và đập dâng).

- Khôi phục và phát triển diện tích rừng, thảm thực vật để điều hòa lượng nước giữa các mùa với nhau. Đồng thời, tiến hành tích trữ nước trong mùa mưa để sử dụng trong mùa khô và phòng tránh lũ lụt.

CHƯƠNG 7

KẾT LUẬN, ĐỀ XUẤT

7.1. Kết luận

Nghiên cứu đã đạt được các kết quả chính như sau:

- Giải đoán, phân loại ảnh vệ tinh Landsat ETM+ năm 2002, thành lập bản đồ thực phủ lưu vực sông Bé. Sáu loại hình thực phủ được quan tâm bao gồm lúa – màu, cây công nghiệp lâu năm, đất rừng, đất xây dựng, mặt nước và đất trống chiếm diện tích lần lượt là 181.548,84; 40.471,25; 279.360,55; 41.815,04; 11.692,42; 100.329,36 và 73.625,26 ha. Kết quả này có sự phù hợp tương đối khi so sánh với các dữ liệu thực tế trên lưu vực.
- Mô phỏng lưu lượng dòng chảy lưu vực sông Bé trong giai đoạn 1979 – 2007 bằng mô hình SWAT với kết quả khá tốt (giá trị R^2 và NSI đều trên 0,7 trong thời kì 1979 – 1994). Từ kết quả tính toán, mùa lũ trên lưu vực được xác định kéo dài từ tháng 6 – 11, với lưu lượng dòng chảy trung bình là 224,55 m³/s (Phước Long) và 458,53 m³/s (Phước Hòa). Trong mùa kiệt (từ tháng 12 đến tháng 5 năm sau), lưu lượng dòng chảy trung bình xuống thấp, chỉ đạt mức 30,85 m³/s (Phước Long) và 60,49 m³/s (Phước Hòa).
- Ứng dụng GIS phân chia lưu vực sông Bé thành 5 nút cân bằng nước Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng, Phước Hòa và hạ lưu sông Bé. Trong mỗi nút cân bằng, đã định lượng mức nhu cầu nước cho nông nghiệp, công nghiệp, dân sinh và dòng chảy môi trường, với tổng nhu cầu nước toàn lưu vực ước tính vào khoảng 34,46 triệu m³ (2002) và 61,46 triệu m³ (2010). Diễn biến nhu cầu nước trên lưu vực có xu hướng lớn hơn vào các tháng mùa khô và nhỏ hơn vào các tháng mùa mưa. Riêng đối với nhu cầu nước môi trường tại các vị trí sau hồ Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng, giá trị không thay đổi, tương ứng là 100; 200 và 250 m³/s. Bên cạnh nhu cầu nước, lưu lượng dòng chảy năm

2002 và 2007 đổ vào dòng chảy chính sông Bé tại mỗi nút cân bằng cũng được tính toán, với kết quả cho thấy giá trị lưu lượng dòng chảy trong cả hai năm có xu hướng giảm dần từ thượng lưu đến hạ lưu sông Bé, phụ thuộc vào lượng mưa và diện tích của từng vùng.

- Ứng dụng mô hình WEAP tính toán cân bằng nước lưu vực sông Bé theo hai kịch bản tương ứng với năm 2002 và 2010. Kết quả cho thấy tình trạng thiếu nước xuất hiện tại 3 nút cân bằng là Thác Mơ, Cần Đơn và Srock Phu Miêng trong các tháng kiệt của dòng chảy với tổng lượng thiếu hụt năm 2002 và 2010 tương ứng là 0,89 và 5,85 triệu m³.

Với những kết quả đạt được nêu trên đã chứng minh cách tiếp cận tích hợp công nghệ viễn thám, GIS, mô hình SWAT và mô hình WEAP là phương pháp có tính hiệu quả cao, phù hợp với đặc điểm lưu vực sông Bé, có thể hỗ trợ hiệu quả cho việc quy hoạch, quản lý nguồn nước trên lưu vực.

7.2. Đề xuất

Kết quả của nghiên cứu cho thấy bức tranh tổng quát về thực trạng cân bằng nước trên toàn lưu vực sông Bé tại 5 nút cân bằng (Thác Mơ, Cần Đơn, Srock Phu Miêng, Phước Hòa và cửa sông Bé), đồng nghĩa với việc bỏ qua sự khác biệt trong từng nút cân bằng. Thêm vào đó, việc tính toán cân bằng nước chỉ quan tâm đến số lượng nước mà chưa đề cập đến chất lượng nước, cũng như bỏ qua yếu tố kinh tế trong phân phối nguồn nước. Do đó, để có thể phản ánh chi tiết hơn vấn đề cân bằng nước trên lưu vực, hướng đến mục tiêu quản lý, khai thác và sử dụng bền vững tài nguyên nước lưu vực sông, nghiên cứu đề xuất một số hướng phát triển tiếp theo như sau:

- 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 tài nguyên nước trong bài toán cân bằng nước.
- Đánh giá ảnh hưởng của các chính sách phát triển kinh tế - xã hội, tác động của biến đổi khí hậu lên tài nguyên nước, nhu cầu sử dụng nước trên lưu vực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

Bùi Thị Ninh và nnk, 2008. *Cân bằng sử dụng nước trên huyện Lạc Dương- tỉnh Lâm Đồng với sự hỗ trợ của mô hình WEAP*. Trường Đại Học Thủy Lợi – Cơ Sở II.

Đài Khí tượng Thủy văn Nam Bộ, 2010. *Quản lý nguồn nước sông Bé mùa khô hạn*.

Địa chỉ: <<http://www.kttv-nb.org.vn/modules.php?name=News&op=viewst&sid=239>>. [Truy cập ngày 11/02/2011].

Hà Văn Khôi và Đoàn Trung Lưu, 1993. Đại cương về sông ngòi và sự hình thành dòng chảy sông ngòi. Trong: Đỗ Cao Đàm và nnk, 1993. *Thủy văn công trình*. TP. Hồ Chí Minh: NXB Nông nghiệp. Chương 2.

Hà Văn Khôi, 2005. *Giáo trình Quy hoạch và quản lý nguồn nước*. NXB Nông Nghiệp, Hà Nội.

Lê Anh Tuấn, 2007. *Thủy văn công trình* (Lưu hành nội bộ). Trường Đại học Cần Thơ.

Lê Văn Trung, 2005. *Viễn thám*. NXB Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, Tp. Hồ Chí Minh.

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, Tp. Hồ Chí Minh.

Nguyễn Kim Lợi và ctv, 2009. *Hệ thống thông tin địa lý nâng cao*. NXB Nông Nghiệp, Tp. Hồ Chí Minh.

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.

Nguyễn Quang Đoàn, 2004. *Thủy văn công trình* (Lưu hành nội bộ). Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng.

- Nguyễn Văn Hùng, 2009. *Ứng dụng mô hình toán nghiên cứu dòng chảy lũ trên lưu vực sông Bé*. Luận văn tốt nghiệp, Trường Đại học Thủy lợi.
- Nguyễn Ý Như và Nguyễn Thanh Sơn, 2009. Ứng dụng mô hình SWAT khảo sát ảnh hưởng của các kịch bản sử dụng đất đối với dòng chảy lưu vực sông Bến Hải. *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* 25, Số 3S (2009), tr. 492-498.
- Tổng cục Thống kê, 2009. Kết quả toàn bộ Tổng điều tra Dân số và Nhà ở Việt Nam năm 2009. Địa chỉ: <http://www.gso.gov.vn/default.aspx?tabid=512&idmid=5&ItemID=10798>. [Truy cập ngày 04/03/2011].
- Tổng Đức Khang và ctv, 2007. *Giáo trình Quy hoạch và Thiết kế Hệ thống Thủy lợi (tập 1)*. NXB Xây dựng, Hà Nội.
- Trần Thống Nhất và Nguyễn Kim Lợi, 2009. *Viễn thám căn bản*. NXB Nông Nghiệp, Tp. Hồ Chí Minh.
- Trịnh Minh Ngọc, 2009. Ứng dụng mô hình SWAT tính toán kéo dài số liệu dòng chảy lưu vực sông Lục Nam. *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* 25, Số 3S (2009), tr. 484-491.
- VQHTLMN, 2002. *Báo cáo tổng hợp “Quy hoạch Thủy lợi Lưu vực sông Bé”*.
- VQHTLMN, 2006. *Cơ sở khoa học mô hình tính toán trong quản lý và khai thác tài nguyên nước tỉnh Đồng Nai*. Dự án nghiên cứu KH-CN “Nghiên cứu đánh giá tổng hợp, hiện trạng khai thác phục vụ quy hoạch và quản lý tài nguyên nước mặt tỉnh Đồng Nai”.
- VQHTLMN, 2007. *Phụ lục Số liệu khí tượng thủy văn*. Dự án Quy hoạch tài nguyên nước lưu vực sông Đồng Nai. Tp. HCM
- VQHTLMN, 2011. Quy hoạch sử dụng tổng hợp nguồn nước lưu vực sông Bé. Địa chỉ: http://www.siwrp.org.vn/?id_pnews=288&lg=vn&start=0. [Truy cập ngày 11/02/2011].

Tiếng Anh

- Anderson *et al.*, 1976. A Land Use And Land Cover Classification System For Use with Remote Sensor Data: Geological Survey Professional Paper 964. Edited by NJDEP, OIRM, BGIA, 1998, 2000, 2001, 2002, 2005. Available at: <<http://www.state.nj.us/dep/gis/digidownload/metadata/lulc02/anderson2002.html>>. [Accessed 20 May 2011].
- Arnold, J. G and J.R. Williams, 1987. Validation of SWRRB: Simulation for water resources in rural basins. *J. Water Resour. Plan. Manage. ASCE* 113 (2): 243-256.
- Arnold, J. G *et al.*, 1995. Continuous-time water and sediment-routing model for large basins. *J. Hydrol. Eng. ASCE* 121 (2): 171-183.
- Bailly, J.S. *et al.*, 2007. Boosting: a Classification Method for Remote Sensing. *International Journal of Remote Sensing* 28 (7): 1687-1710.
- Bao Yansong *et al.*, 2006. Estimation of Soil Water Content and Wheat Coverage with ASAR Image. *Journ. of Remote Sensing* 10 (2): 253-271.
- Basanta Shrestha *et al.*, 2001. *GIS for Beginners, Introductory GIS Concepts and Hands-on Exercises*. International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu, Nepal.
- Bastiaansen, W. G., 1998. *Remote Sensing in Water Resources Management: The State of the Art*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Beven, J. K, 2001. *Rainfall-runoff modelling – The Primer*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Brouwer, C. and Heibloem, M., 1986. *Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs*. FAO, Rome, Italy.

- C. Santhi *et al.*, 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *Journal of the American Water resources Association*, 37 (5): 1169-1188.
- Canada Centre for Remote Sensing, 2007. Fundamentals of Remote Sensing Tutorial. Available at: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf>. [Accessed 20 May 2011].
- Colwell, R. N. 1997. History and place of photographic interpretation. In: W. R. Philipson, ed. 1997. *Manual of Photographic Interpretation*. American Association of Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD.
- Droubi, A *et al.*, 2008. *Development and Application of a Decision Support System (DSS) for Water Resources Management in Zabadani Basin, SYRIA and Berrechid Basin, MOROCCO*. Project “Management, Protection and Sustainable Use of Groundwater and Soil Resources in the Arab Region”.
- FAO, 1995. *The digital soil map of the world and derived soil properties*. CD-ROM Version 3.5, Rome.
- Franklin, J. *et al.*, 2003. Rationale and conceptual framework for classification approaches to assess forest resources and properties. In: Wulder, M., Franklin, S.E. (Eds.), *Methods and Applications for Remote Sensing of Forests: Concepts and Case Studies*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 279–300.
- Gert A. Schultz and Edwin T. Engman, 2000. Present use and future perspectives of remote sensing in hydrology and water management. *Remote Sensing and Hydrology 2000* (Proceedings of a symposium held at Santa Fe, New Mexico, USA, April 2000) . IAHS Publ . no. 267, 2001.
- Green, W.H. and G.A. Ampt. 1911. Studies on soil physics, 1. The flow of air and water through soils. *Journal of Agricultural Sciences* 4:11-24.

- Hoff, H *et al.*, 2007. Water use and demand in the Tana Basin: analysis using the Water Evaluation and Planning tool (WEAP). *Green Water Credits Report 4*, ISRIC – World Soil Information, Wageningen.
- International Centre for Integrated Mountain Development, 1996. *Application of Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing, Training Manual for Managers (Vol 1)*. International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu, Nepal
- Izaurrealde, R.C *et al.*, 2006. Simulating soil C dynamics with EPIC: Model description and testing against long-term data. *Ecol. Model.* 192 (3-4): 362-384.
- Jay Gao, 2009. *Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Jensen, J. R, 2005. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, 3rd ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- John A. Richards and Xiuping Jia, 2006. *Remote Sensing digital image analysis - An introduction (4th Edition)*. Springer, Germany.
- John G. Lyon, 2003. *GIS for Water Resources and Watershed Management*. Taylor & Francis, New York, USA.
- Knisel, W. G, 1980. *CREAMS, a field-scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems*. USDA Conservation Research Report No. 26. USDA, Washington, D.C.
- Le Bao Trung, 2005. *An application of Soil and Water analysis tool (SWAT) for Water Quality of Upper Cong watershed, Vietnam*. MSc thesis, Asian Institute of Technology.
- Legates, D. R. and McCabe Jr., G. J, 1999. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resour. Res.* 35 (1), pp. 233–241.

- Leonard, R.A. *et al.*, 1987. GLEAMS: Groundwater loading effects of agricultural management systems. *Trans. ASAE* 30 (5): 1403-1418.
- Li Daofeng *et al.*, 2005. Runoff Simulation with Physical-based Distributed. *Science Geographical Sinica* 25 (3): 299-304.
- Lillesand, T. M *et al.*, 2008. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 6th ed. Wiley, New York.
- Mohammad Karamouz *et al.*, 2003. *Water resources systems analysis*. Lewis Publishers, USA.
- 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.
- Orzol, L.L. and T.S. McGrath, 1992. Modifications to the U.S. Geological Survey Modular Finite-difference Ground-water Flow Model to Read and Write Geographic Information System Files. (Portland, OR: United States Geological Survey Open File Report No. 92-50).
- P. Krause *et al.*, 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences* 5: 89–97.
- P.H. Swain and S.M. Davis (Eds.), 1978. *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. McGraw-Hill, N.Y.
- Price, K. P., *et al.*, 2002. Optimal Landsat TM band combinations and vegetation indices for discrimination of six grassland types in eastern Kansas. *International Journal of Remote Sensing* 23: 5031–5042.
- Philip W. Gassman *et al.*, 2009. The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. 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.25-93.

- Qihao, W., 2010. *Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications*. McGraw-Hill, United States.
- Quattrochi, D. A, and Goodchild, M. F, 1997. *Scale in Remote Sensing and GIS*. Lewis Publishers, New York.
- R. K. Singh, V. Hari Prasad, 2003. Remote sensing and GIS approach for assessment of the water balance of a watershed. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques* 49 (1): 131-141.
- 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.
- Rao VV and Raju PV, 2010. Water Resources Management. In: P.S. Roy *et al.*, eds. 2010. *Remote Sensing Applications*. National Remote Sensing Centre, Hyderabad, India, Ch. 6.
- Russell G. Congalton and Kass Green, 2009. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data - Principles and Practices (2nd edition)*. Taylor & Francis Group, USA.
- S.K. Jain and V.P. Singh, 2003. *Water resources system planning and management*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- S.L. Neitsch *et al.*, 2005. Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation version 2005. Available at: <http://swatmodel.tamu.edu/media/1292/SWAT_2005theory.pdf>. [Accessed 9 Jun 2011].
- SEI, 2010. WEAP Tutorial. Available at: <http://www.weap21.org/downloads/WEAP_Tutorial.pdf>. [Accessed 1 March 2011]
- Shahab Fazal, 2008. *GIS Basics*. New Age International (P) Ltd, New Delhi.
- Sieber, J *et al.*, 2005. *WEAP, Water Evaluation and Planning System, User Guide*. Stockholm Environment Institute, Tellus Institute, Boston MA, USA.

- Slobodan, P., 2009. *Managing Water Resources: Methods and Tools for a Systems Approach*. UNESCO Publishing, Paris, France.
- Soil Conservation Service. 1972. *National Engineering Handbook Section 4 Hydrology, Chapters 4-10*.
- Sten Bergstrom, 1991. Principles and Confidence in Hydrological Modelling. *Nordic Hydrology* 22: 123-136.
- 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.
- Tashpolat Tiyp *et al.*, 2005. Study on the Means of Groundwater Distribution beneath the Oasis-Desert Ecotone in an Arid Area by Using Thermal Infrared Data. *Arid Land Geography* 28 (2): 252-257.
- W.G. Rees, 2001. *Physical principles of Remote Sensing (2nd edition)*. University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Wang Jianhua *et al.*, 2003. Retrieval of Annual Precipitation in Yellow River by RS. *Resources Science* 25 (6): 8-13.
- Wilson, J.P. *et al.*, 1993. Coupling Geographic Information Systems and Models for Weed Control and Groundwater Protection. *Weed Technology* 6: 255-264.
- Wilson, J.P. *et al.*, 1996. GIS-based Solute Transport Modeling Applications: Scale Effects of Soil and Climate Data Input. *Journal of Environmental Quality* 25: 445-453.
- Zhang Canlong *et al.*, 2006, Review of Monitoring Soil Moisture Based on Remote Sensing. *The Study of Mechanism Agriculture* 6: 58-6.