

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO      BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC THỦY LỢI**

**LÊ NGỌC SƠN**

**NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC KẾT HỢP MÔ HÌNH MÔ  
PHỎNG – TỐI ƯU – TRÍ TUỆ NHÂN TẠO TRONG VẬN  
HÀNH HỆ THỐNG HỒ CHỨA ĐA MỤC TIÊU, ÁP DỤNG CHO  
LƯU VỰC SÔNG BA**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**HÀ NỘI, NĂM 2017**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO      BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC THỦY LỢI**

**LÊ NGỌC SƠN**

**NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC KẾT HỢP MÔ HÌNH MÔ  
PHỎNG – TỐI ƯU – TRÍ TUỆ NHÂN TẠO TRONG VẬN  
HÀNH HỆ THỐNG HỒ CHỨA ĐA MỤC TIÊU, ÁP DỤNG CHO  
LƯU VỰC SÔNG BA**

Chuyên ngành: Xây dựng Công trình thủy

Mã số: 62 58 40 01

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

1. PGS.TS. Hồ Sỹ Dự

2. GS.TS. Lê Đình Thành

HÀ NỘI, NĂM 2017

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tác giả xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của bản thân tác giả. Các kết quả nghiên cứu và các kết luận trong luận văn là trung thực, không sao chép từ bất kỳ một nguồn nào và dưới bất kỳ hình thức nào. Việc tham khảo các nguồn tài liệu đã được thực hiện trích dẫn và ghi nguồn tài liệu tham khảo đúng quy định.

**Tác giả luận án**

**Lê Ngọc Sơn**

## LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới PGS.TS. Hồ Sỹ Dự và GS.TS. Lê Đình Thành đã tận tình chỉ bảo, hướng dẫn và giúp đỡ tác giả trong suốt thời gian thực hiện và hoàn thành luận án.

Tác giả xin chân thành cảm ơn đến các cấp lãnh đạo của Trường Đại học Thủy lợi, Phòng Đào tạo Đại học và Sau đại học, Khoa Năng lượng, Khoa Công trình, Bộ môn Thủy điện và Năng lượng tái tạo, các thầy, cô giáo và các bạn đồng nghiệp đã tạo điều kiện thuận lợi, chia sẻ, tư vấn cho tác giả trong suốt quá trình học tập và thực hiện Luận án.

Tác giả xin trân trọng cảm ơn các nhà khoa học, các cơ quan đã tạo điều kiện cung cấp các thông tin và tài liệu cần thiết, giúp đỡ tác giả trong quá trình nghiên cứu, thực hiện Luận án.

Cuối cùng tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành tới gia đình, bạn bè, người thân đã luôn là chỗ dựa vững chắc cả về vật chất và tinh thần trong suốt quá trình nghiên cứu đến khi hoàn thành bản Luận án này.

## MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH.....	vi
DANH MỤC BẢNG BIỂU.....	vii
DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT.....	viii
MỞ ĐẦU .....	1
1.    Tính cấp thiết của đề tài nghiên cứu.....	1
2.    Mục tiêu nghiên cứu của đề tài luận án.....	2
3.    Đối tượng và phạm vi nghiên cứu .....	3
4.    Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu.....	3
5.    Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án.....	4
6.    Những đóng góp mới của luận án .....	5
7.    Cấu trúc của luận án .....	5
CHƯƠNG 1  TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU VỀ VẬN HÀNH HỆ THỐNG HỒ CHỨA.....	6
1.1    Hồ chứa và phương pháp VHHTHC .....	6
1.1.1  Khái quát về hồ chứa.....	6
1.1.2  Phương pháp VHHTHC .....	7
1.2    Tổng quan về tình hình nghiên cứu VHHC trên thế giới .....	9
1.2.1  Các mô hình mô phỏng và ứng dụng trên thế giới .....	9
1.2.2  Các mô hình tối ưu và ứng dụng trên thế giới.....	11
1.2.3  Phương pháp kết hợp mô hình mô phỏng - tối ưu và ứng dụng trên thế giới.....	23
1.3    Nghiên cứu ứng dụng các mô hình vận hành hồ chứa ở Việt Nam .....	24
1.4    Lưu vực sông Ba và tình hình nghiên cứu VHHTHC trên lưu vực .....	27
1.4.1  Lưu vực sông Ba.....	27
1.4.2  Tình hình nghiên cứu VHHTHC trên sông Ba.....	28
1.5    Những tồn tại, hạn chế trong VHHTHC .....	33
1.6    Hướng tiếp cận và phương pháp giải quyết bài toán VHHTHC của Luận án .....	34
CHƯƠNG 2  NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC VỀ NÂNG CAO HIỆU QUẢ VẬN HÀNH HỆ THỐNG HỒ CHỨA .....	39
2.1    Mô hình mô phỏng hệ thống hồ chứa HEC-ResSim.....	39

2.1.1	Tính năng của chương trình.....	40
2.1.2	Cấu trúc mô hình .....	40
2.1.3	Quy tắc vận hành và các Bối cảnh vận hành.....	43
2.1.4	Các chỉ tiêu đánh giá khả năng phát điện, cấp nước .....	44
2.1.5	Kết quả đầu ra của mô hình HEC-ResSim và kết nối với DP .....	45
2.2	Mô hình tối ưu DP .....	45
2.2.1	Các khái niệm cơ bản .....	45
2.2.2	Thuật toán DDDP .....	46
2.2.3	Lập trình bài toán quy hoạch động cho HTHC thủy điện .....	50
2.2.4	Kết quả từ mô hình DP và kết nối với ANN .....	57
2.3	Mô hình ANN.....	59
2.3.1	Cấu trúc của mạng ANN .....	59
2.3.2	Quá trình quét xuôi.....	59
2.3.3	Phương pháp lan truyền ngược.....	64
2.3.4	Phần mềm tính toán ANN .....	64
2.3.5	Các bước xác lập mạng ANN và áp dụng vào vận hành thực.....	65
2.4	Kết luận Chương 2.....	66
<b>CHƯƠNG 3 ÁP DỤNG MÔ HÌNH NÂNG CAO HIỆU QUẢ VẬN HÀNH HỆ THỐNG HỒ CHỨA THỦY ĐIỆN TRÊN SÔNG BA .....</b>		<b>69</b>
3.1	Tình hình số liệu quan trắc khí tượng thủy văn.....	69
3.2	Số liệu HTHC và các yêu cầu dùng nước trên lưu vực sông Ba.....	73
3.2.1	Hệ thống các hồ chứa thủy điện trên lưu vực sông Ba.....	73
3.2.2	Số liệu về tình hình sử dụng nước trên lưu vực .....	73
3.3	Thiết lập hệ thống vật lý lưu vực sông Ba.....	79
3.4	Sử dụng mô hình HEC-ResSim để định lượng tình hình VHHTHC lưu vực .....	81
3.4.1	Định lượng và ảnh hưởng của các ràng buộc nhu cầu sử dụng nước hạ lưu .....	81
3.4.2	Định lượng và ảnh hưởng của các ràng buộc dòng chảy môi trường tối thiểu hạ lưu .....	87
3.4.3	Kết quả tính toán từ mô hình HEC-ResSim sử dụng cho DP .....	97
3.5	Thiết lập và chạy mô hình DP cho HTHC sông Ba .....	98

3.5.1	Hàm mục tiêu và ràng buộc.....	98
3.5.2	Điều kiện biên và ràng buộc.....	99
3.5.3	Chuỗi tính toán ANN-DP cho HTHC sông Ba .....	101
3.6	Thiết lập mạng ANN-DP và đánh giá .....	102
3.7	Kết luận Chương 3.....	105
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....		106
1.	Kết quả đạt được của luận án .....	106
2.	Những đóng góp mới của luận án. ....	107
3.	Những tồn tại và kiến nghị nghiên cứu tiếp theo của luận án.....	107
DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ .....		109
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....		110
PHỤ LỤC .....		117

## DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH

Hình 1.1 Bản đồ vị trí lưu vực và HTHC trên sông Ba.....	31
Hình 1.3 Sơ đồ khối mô tả kết hợp các mô hình cho VHHTHC.....	36
Hình 1.2 Đường vận hành dự kiến cận tối ưu sau khi dùng kết hợp ANN-DP.....	37
Hình 2.1 Các mô-đun của phần mềm HEC-ResSim .....	43
Hình 2.2 Quá trình ra quyết định theo trình tự của DP .....	47
Hình 2.3 Lưới chia các giai đoạn và trạng thái của bài toán DP theo phương pháp DDDP .....	52
Hình 2.6 Phạm vi biến đổi của mực nước hồ sử dụng DDDP .....	52
Hình 2.5 Giới hạn vùng làm việc của tua bin và đường đặc tính vận hành công suất $N = f(Q, H)$ .....	55
Hình 2.6 Các bước tính toán Mô hình Quy hoạch động –DDDP.....	60
Hình 2.7 Xử lý ràng buộc trong mô hình DP .....	61
Hình 2.8 Cấu trúc mạng ANN.....	62
Hình 2.9 Các bước phát triển mạng ANN.....	63
Hình 2.10 Sơ đồ khối thuật toán lan truyền ngược (BP).....	67
Hình 3.1 Sơ họa cắt dọc HTHC trên sông Ba .....	75
Hình 3.2 Sơ họa mặt bằng HTHC trên sông Ba .....	76
Hình 3.3 Sơ đồ tính toán cho hệ thống Sông Ba .....	77
Hình 3.4 Đồ thị tổng điện lượng trung bình năm các phương án.....	82
Hình 3.5 Đồ thị điện lượng trung bình năm từng hồ thủy điện.....	82
Hình 3.6 Đồ thị thể hiện tổng điện lượng trung bình mùa kiệt các phương án.....	85
Hình 3.7 Đồ thị thể hiện tổng lượng nước cấp trung bình năm các phương án. ....	85
Hình 3.8 Đồ thị thể hiện lượng nước cấp trung bình năm từng khu tưới.....	86
Hình 3.9 Tổng điện lượng trung bình mùa kiệt các phương án .....	93
Hình 3.10 Điện lượng trung bình mùa kiệt các hồ thủy điện .....	93
Hình 3.11 Tổng lượng nước cấp trung bình mùa kiệt các phương án.....	95
Hình 3.12 Lượng nước cấp trung bình mùa kiệt các khu tưới .....	95
Hình 3.13 Lượng nước cấp trung bình mùa kiệt cho các tuyến .....	95
Hình 3.14 Phạm vi biến đổi mực nước các hồ chứa.....	97
Hình 3.15 So sánh dung tích hồ Sông Hinh trong các trường hợp tính khác nhau (2001-2005) .....	104
Hình 3.16 So sánh kết quả dung tích hồ chứa qua kiểm định ANN với dung tích tối ưu DP .....	104



## DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1 Mô tả các bước liên kết các mô hình giải quyết bài toán VHHTHC.....	41
Bảng 3.1 Các trạm thủy văn trên lưu vực Sông Ba.....	70
Bảng 3.2 Thống kê chuỗi số liệu thủy văn.....	70
Bảng 3.3 Các trạm đo bốc hơi trên lưu vực.....	71
Bảng 3.4 Các trạm đo mưa trên lưu vực.....	71
Bảng 3.5 Diện tích lưu vực tính đến các vị trí công trình.....	72
Bảng 3.6 Thông số kỹ thuật chính của hồ chứa thủy điện.....	74
Bảng 3.7 Tổng hợp diện tích tưới.....	78
Bảng 3.8 Nhu cầu tưới hàng tháng.....	78
Bảng 3.9 Nhu cầu nước hàng năm cho sinh hoạt, công nghiệp và cấp nước đô thị.....	78
Bảng 3.10 Các bước thiết lập mô hình và giải quyết bài toán VHHTHC.....	79
Bảng 3.11 Các hồ chứa chính trên hệ thống Sông Ba.....	80
Bảng 3.12 Các khu tưới trên hệ thống.....	80
Bảng 3.13 Các nút cấp nước sinh hoạt, công nghiệp, đô thị.....	80
Bảng 3.14 Nút chuyển nước hệ thống.....	81
Bảng 3.15 Nút kiểm tra dòng chảy môi trường.....	81
Bảng 3.16 Các phương án tính toán cho hệ thống.....	81
Bảng 3.17 Tổng hợp đánh giá các yêu cầu về điện lượng năm.....	83
Bảng 3.18 Tổng hợp đánh giá các chỉ tiêu yêu cầu khu tưới.....	84
Bảng 3.19 Đặc trưng dòng chảy trung bình thời kỳ.....	88
Bảng 3.20 Dòng chảy môi trường tuyến 1.....	89
Bảng 3.21 Dòng chảy môi trường tuyến 2.....	89
Bảng 3.22 Dòng chảy môi trường tuyến 3.....	89
Bảng 3.23 Dòng chảy môi trường tuyến 4.....	90
Bảng 3.24 Dòng chảy môi trường tuyến 5.....	90
Bảng 3.25 Một số giá trị dòng chảy môi trường đề xuất.....	91
Bảng 3.26 Các phương án tính toán cho hệ thống đánh giá dòng chảy môi trường.....	91
Bảng 3.27 Kết quả tính toán về điện lượng trong mùa kiệt.....	92
Bảng 3.28 Kết quả tính toán về cấp nước tưới trong mùa kiệt.....	94
Bảng 3.29 Kết quả tính toán về dòng chảy môi trường qua tuyến trong mùa kiệt.....	96
Bảng 3.30 Phạm vi biến đổi mực nước hồ chứa từ HEC-ResSim.....	98
Bảng 3.31 Yêu cầu về cấp nước hạ lưu tối thiểu trong mùa kiệt.....	100
Bảng 3.32 Giá trị điện lượng trung bình năm theo DP.....	101
Bảng 3.33 Lưu lượng đến đập Đồng Cam và cấp nước tưới cho Ayun Hạ.....	101
Bảng 3.34 So sánh giá trị hàm mục tiêu - điện năng trung bình năm giữa: (i) Vận hành thực tế; (ii) DP; (iii) ANN-DP (đ.vị: triệu kWh).....	103
Bảng 3.35 Chênh lệch dung tích cuối thời đoạn giữa mô hình DP và ANN.....	103

## DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

ANN	Mạng nơ-ron nhân tạo (Artificial Neural Network)
BĐKH	Biến đổi khí hậu
BP	Thuật toán truyền ngược sai số (Backward Propagation)
DCMT	Dòng chảy môi trường
DCTT	Dòng chảy tối thiểu
DDDP	DP vi phân rời rạc (Discrete Differential DP)
DP	Quy hoạch động (Dynamic Programming)
DSS	Hệ thống trợ giúp quyết định (Decision Support System)
GA	Thuật toán di truyền (Genetic Algorithm)
GIS	Hệ thống tin địa lý (Geographic Information System)
HEC-ResSim	Phần mềm mô phỏng vận hành hồ chứa do Hiệp hội các kỹ sư quân đội Mỹ lập ra
HTHC	Hệ thống hồ chứa
HTNN	Hệ thống nguồn nước
KTTV	Khí tượng thủy văn
LP	Quy hoạch tuyến tính (Linear Programming)
MCDM	Quyết định đa mục tiêu (Multiple Criteria Decision Making)
NLP	Quy hoạch phi tuyến (Non Linear Programming)
QLTHTNN	Quản lý tổng hợp tài nguyên nước
RS	Viễn thám (Remote Sensing)
VBA	Ngôn ngữ lập trình Visual Basic for Applications
VHHTHC	Vận hành hệ thống hồ chứa

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài nghiên cứu

Hồ chứa đóng vai trò quan trọng trong cung cấp nước cho các ngành kinh tế, đóng góp vào phát triển kinh tế của nhiều quốc gia. Với dân số và nhu cầu nước, năng lượng tăng nhanh như hiện nay thì phát triển, quản lý hồ chứa đứng trước những thách thức và cần có cách tiếp cận mới. Phát triển bền vững đòi hỏi quản lý nguồn nước nói chung và hồ chứa nói riêng theo hướng lợi dụng tổng hợp, đa mục tiêu, hiệu quả nguồn nước (IAHS, 1998) [1]. Sự tác động của các yếu tố ngẫu nhiên, biến đổi khí hậu, con người cần được xét đến trong phát triển và quản lý hồ chứa và hệ thống nguồn nước. Các thách thức và cơ hội trong bối cảnh một thế giới đang chuyển đổi đòi hỏi một cách tiếp cận mới. Mặc dù nước cần cho mọi nhu cầu dân sinh, kinh tế nhưng qua thống kê của Ủy ban quốc tế về đập (WDC) thì hầu như các hồ chứa đã xây dựng chưa bảo đảm khai thác, sử dụng nước có hiệu quả nhất. Hiện nay, do nhu cầu phát triển nên ở các nước đang phát triển chỉ chú trọng phát triển về số lượng hồ chứa thủy lợi - thủy điện mà thiếu quan tâm đúng mức đến vận hành sao cho có hiệu quả, đem lại lợi ích lớn nhất. Các nhà khoa học vẫn tiếp tục nghiên cứu cụ thể hơn nữa vấn đề này, phù hợp với điều kiện cụ thể từng quốc gia, từng vùng và hệ thống nguồn nước. Nhiều công trình nghiên cứu về vận hành hồ chứa được công bố trong thời gian gần đây trên các tạp chí quốc tế như Water Resources Research, Water Resources Planning and Management, Water Management và các hội thảo quốc tế như International Conference On Water Resources And Hydropower Development In Asia 2016 và trong nước như ICOLD Congress - Hanoi 2010 v.v... cho thấy mối quan tâm của thế giới về vấn đề này và đòi hỏi cần có các nghiên cứu chuyên sâu để kiểm nghiệm, cải tiến và ứng dụng vào Việt Nam.

Đối với Việt Nam, trong những năm gần đây, thủy điện đóng vai trò chủ yếu trong cung cấp điện cho hệ thống với nhu cầu điện tăng rất nhanh và dự báo vẫn duy trì mức trên 10% trong những năm tới. Điều này đòi hỏi cần xây dựng nhiều công trình hồ chứa thủy điện đáp ứng nhu cầu phát điện và cấp nước cho các ngành kinh tế. Với nguồn nước hạn hẹp và nhu cầu nước từ các ngành đang tăng lên nhanh chóng dẫn đến sự gia tăng về xung đột giữa các ngành tham gia sử dụng nước thì vấn đề đặt ra là cần

phải khai thác hiệu quả nguồn nước nói chung và các hồ chứa thủy lợi - thủy điện nói riêng. Nhiều hồ chứa được xây dựng tuy nhiên công tác quản lý vận hành chưa được đầu tư thích đáng. Hiện nay chúng ta chỉ có một số chương trình nghiên cứu quản lý vận hành cấp nước và chống lũ cho các hồ chứa và lưu vực lớn như sông Hồng-Thái Bình, Đồng Nai, sông Ba... Vận hành hệ thống trong mùa kiệt gần như đang dừng ở mức độ đảm bảo nhu cầu hạ lưu và cân bằng nước tổng thể. Tính ngẫu nhiên của các yếu tố thủy văn cũng như ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đòi hỏi cần có một cách tiếp cận mới trong phát triển – quản lý vận hành hệ thống nguồn nước. Nước ta hiện có nhiều hồ chứa phát điện đã và đang xây dựng để đáp ứng nhu cầu của nền kinh tế thì việc nâng cao hiệu quả sử dụng hồ chứa sẽ mang lại lợi ích tích lũy lớn và bền vững. Do đó việc nghiên cứu nâng cao hiệu quả sử dụng nguồn nước trong quá trình vận hành các hồ chứa này là rất cần thiết, mang tính thực tiễn cao, làm cho hồ chứa đóng vai trò tích cực hơn nữa trong việc phát triển tổng hợp và bền vững hệ thống nguồn nước. Khi nhu cầu nước tăng nhanh và yêu cầu sử dụng tổng hợp nhiều hơn thì sự thiếu hụt nước cung cấp và xung đột về sử dụng nước cũng gia tăng nhất là trong mùa kiệt. Hiện nay, Chính phủ đã ban hành quy trình vận hành liên hồ cho tất cả các hệ thống hồ chứa trên lưu vực lớn của Việt Nam bao gồm cả lưu vực sông Ba, tuy nhiên vận hành hệ thống hồ chứa (VHHTHC), nhất là trong mùa kiệt như thế nào cho hợp lý trên cơ sở các yêu cầu cấp nước đã xác định trong quy trình vận hành là vấn đề cần nghiên cứu. Với các đòi hỏi thực tiễn nêu trên thì đề tài **“Nghiên cứu cơ sở khoa học kết hợp mô hình mô phỏng – tối ưu – trí tuệ nhân tạo trong vận hành hệ thống hồ chứa đa mục tiêu, áp dụng cho lưu vực sông Ba”** là hết sức cần thiết nhằm đáp ứng các yêu cầu thực tiễn hiện nay ở Việt Nam.

## **2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài luận án**

- (1) Xác định được cơ sở khoa học và thực tiễn để VHHTHC nhằm nâng cao hiệu quả khai thác trong bối cảnh nước đến và nhu cầu dùng nước luôn thay đổi.
- (2) Lập chương trình máy tính VHHTHC tối ưu theo thuật toán Quy hoạch động (DP), các mô-đun xử lý số liệu vào ra, kết nối các mô hình: (i) Mô phỏng sử dụng HEC-ResSim; (ii) Tối ưu sử dụng thuật toán Quy hoạch động (Dynamic

Programming - DP); và (iii) Trí tuệ nhân tạo sử dụng thuật toán mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) nhằm giải quyết bài toán;

- (3) Áp dụng việc liên kết các mô hình đã đề xuất trên nhằm kiểm định khả năng ứng dụng cho hệ thống hồ chứa trên lưu vực sông Ba.

### **3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

(1) Đối tượng nghiên cứu của đề tài là hệ thống hồ chứa thủy điện - thủy lợi lợi dụng tổng hợp với mục tiêu phát điện là chính;

(2) Phạm vi nghiên cứu ứng dụng là nâng cao hiệu quả vận hành hệ thống hồ chứa với mục tiêu chính là phát điện, có xét đến tình hình tài nguyên nước, yêu cầu cấp nước cho các ngành và duy trì dòng chảy tối thiểu hạ du.

### **4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu**

*1) Phương pháp kế thừa:* Trên cơ sở việc nghiên cứu tổng quan cập nhật tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước thông qua nhiều nguồn như hội thảo, các bài báo và công trình nghiên cứu khoa học, tác giả kế thừa có chọn lọc các tài liệu và kết quả của các công trình nghiên cứu liên quan đến vận hành hệ thống hồ chứa như các mô hình mô phỏng, mô hình tối ưu, mô hình mạng nơ-ron nhân tạo để nghiên cứu cơ sở khoa học, đề xuất liên kết các mô hình, áp dụng cho hệ thống hồ chứa (HTHC) lưu vực sông Ba.

*2) Phương pháp thu thập, thống kê, tổng hợp thông tin số liệu:* sử dụng để thu thập thông tin, số liệu, từ đó thống kê, phân tích, xử lý dữ liệu đầu vào để thực hiện các nội dung nghiên cứu, tính toán trong luận án. Các mô hình thống kê, đánh giá được sử dụng để tạo ra bộ số liệu cho đề tài.

*3) Phương pháp sử dụng mô hình mô phỏng và tối ưu hệ thống, nơ-ron nhân tạo dùng cho VHHTHC:* Các thuật toán và mô hình được nghiên cứu sử dụng một cách thích hợp nhằm phát huy ưu điểm của mô hình, kết hợp với nhau cho từng bước giải quyết bài toán VHHTHC. Các mô hình mô phỏng, tối ưu và mạng nơ-ron nhân tạo được sử dụng kết hợp, kết quả ra của mô hình này là dữ liệu đầu vào của mô hình kia nhằm đưa ra kết quả mục tiêu cuối cùng là nâng cao hiệu quả VHHTHC.

## **5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án**

### **5.1. Ý nghĩa khoa học**

- Luận án xác lập được các cơ sở khoa học để tìm ra chế độ vận hành cận tối ưu, nâng cao hiệu quả vận hành hệ thống hồ chứa thủy điện có xét đến ràng buộc lợi dụng tổng hợp. Luận án đã kết hợp giữa các mô hình: (i) Mô phỏng; (ii) Tối ưu sử dụng thuật toán Quy hoạch động (Dynamic Programming - DP); và (iii) Trí tuệ nhân tạo sử dụng thuật toán mạng nơ-ron nhân tạo (ANN), đưa ra cách thức vận hành hợp lý và cập nhật liên tục, hỗ trợ công tác vận hành nhằm đạt hiệu quả vận hành thực tế tốt nhất trong bối cảnh nguồn nước và nhu cầu dùng nước liên tục biến đổi ngẫu nhiên.

- Luận án xây dựng được chương trình tính toán mô hình tối ưu DP với thuật toán vi phân rời rạc (DDDP) cho HTHC, các mô-đun phần mềm hỗ trợ trong việc liên kết các mô hình cũng như tính toán, đánh giá các chỉ tiêu VHHTHC.

- Luận án áp dụng mô hình đề xuất này cho HTHC cụ thể trên sông Ba, từ đó tạo ra tiền đề có thể áp dụng phương pháp luận khoa học của luận án để giải quyết vấn đề tương tự của các HTHC khác ở nước ta.

### **5.2. Ý nghĩa thực tiễn**

- Với sự phát triển nhanh các hệ thống hồ chứa thủy điện và sự tham gia các ngành dùng nước trên lưu vực ngày càng đa dạng, đồng thời đi theo đúng chiến lược tài nguyên nước theo hướng nâng cao hiệu quả và quản lý bền vững tài nguyên nước nói chung và quy trình VHHTHC trên các lưu vực lớn bao gồm HTHC trên sông Ba đã được Chính phủ phê duyệt nói riêng thì việc Luận án đi vào giải quyết vấn đề VHHTHC gắn với tối ưu là hết sức cần thiết và mang tính thời sự

- Phương pháp luận; phương pháp tính toán; phương pháp đánh giá; thông tin và số liệu thực tiễn, các giải pháp khả thi để nâng cao hiệu quả VHHTHC của Luận án có giá trị hữu ích cho các công ty vận hành hồ chứa, cơ quan quản lý nhà nước về tài nguyên nước trung ương và địa phương tham khảo khi VHHTHC.

- Nội dung của Luận án là tài liệu tham khảo tốt cho nghiên cứu giải quyết các vấn đề tương tự của HTHC trên các lưu vực sông khác, cho việc biên soạn tài liệu giảng dạy, góp phần phát triển bền vững thủy điện và hệ thống nguồn nước.

## **6. Những đóng góp mới của luận án**

(1) Xác lập cơ sở khoa học kết hợp mô hình mô phỏng – tối ưu – trí tuệ nhân tạo, xây dựng được chương trình mô hình tối ưu Quy hoạch động (DP) để đề xuất phương án vận hành cận tối ưu cho hệ thống hồ chứa có kể đến biến đổi thực tế của nguồn nước và nhu cầu sử dụng nước nhằm nâng cao hiệu quả phát điện, đáp ứng các yêu cầu cấp nước hạ lưu;

(2) Áp dụng mô hình kết hợp được đề xuất để vận hành hệ thống hồ chứa trên lưu vực sông Ba nâng cao hiệu quả phát điện trong mùa cạn.

## **7. Cấu trúc của luận án**

Ngoài phần mở đầu và kết luận, các kết quả nghiên cứu của luận án được trình bày trong ba chương sau:

Chương 1. Tổng quan tình hình nghiên cứu vận hành hệ thống hồ chứa. Nội dung chính của chương này là phân tích, đánh giá tổng hợp các kết quả nghiên cứu về mô phỏng, vận hành tối ưu hệ thống hồ chứa đa mục tiêu nhằm đưa ra vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu ở Việt Nam. Trên cơ sở đó, hướng tiếp cận và phương pháp giải quyết bài toán VHHTHC được đề xuất.

Chương 2. Nghiên cứu cơ sở khoa học nhằm nâng cao hiệu quả vận hành hệ thống hồ chứa. Các phương pháp vận hành cùng các mô hình toán và thuật toán liên quan đã được nghiên cứu, phân tích để lựa chọn cách tiếp cận và đề xuất phương pháp kết hợp mô hình mô phỏng – tối ưu – trí tuệ nhân tạo, lập trình tối ưu và kết nối các mô hình để giải quyết bài toán vận hành hệ thống hồ chứa đa mục tiêu.

Chương 3. Áp dụng mô hình nâng cao hiệu quả vận hành hệ thống hồ chứa thủy điện trên sông Ba. Trên cơ sở khoa học đã được xác lập, mô hình kết hợp đã được áp dụng thành công cho hệ thống hồ chứa đa mục tiêu trên lưu vực sông Ba với những kết quả đáng tin cậy, cho thấy hiệu quả VHHTHC được nâng cao.

# CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU VỀ VẬN HÀNH HỆ THỐNG HỒ CHỨA

## 1.1 Hồ chứa và phương pháp VHHTHC

### 1.1.1 *Khái quát về hồ chứa*

Do sự phân bố không đều của lượng mưa và dòng chảy trong năm, hồ chứa được xây dựng phục vụ cho các nhu cầu như phát điện, cấp nước tưới cho nông nghiệp, cấp nước cho sinh hoạt và công nghiệp, phòng lũ và các nhu cầu sử dụng tổng hợp khác. Bất kể là hồ chứa kích cỡ nào hay mục đích sử dụng nước nào, nhiệm vụ chính của hồ chứa chính vẫn là điều hòa dòng chảy tự nhiên để thỏa mãn nhu cầu dùng nước biến đổi của các hộ dùng. Hồ chứa đóng vai trò quan trọng trong việc điều tiết và phân phối nước cho hệ thống.

Hồ chứa có thể được phân loại theo mục đích điều tiết như: (1) phòng lũ; (2) phát điện; (3) tưới; (4) lợi dụng tổng hợp, hoặc theo chu kỳ điều tiết như: ngắn hạn (ngày, tuần); dài hạn (năm, nhiều năm). Đối với công trình thủy điện, thì tùy vào phương thức tập trung cột nước và lưu lượng phát điện có thể phân ra thành: nhà máy thủy điện sau đập, lòng sông, đường dẫn, đặc biệt.

Ngày nay, để đáp ứng nhu cầu phát triển thì có nhiều hồ chứa trên lưu vực sông đã và đang được xây dựng, hình thành nên các HTHC. Các hồ chứa trong HTHC có thể có các mối quan hệ thủy văn, thủy lực, thủy lợi với nhau. Theo cấu trúc thì HTHC có thể phân ra là: (1) HTHC song song: là các hồ chứa nằm trên các sông nhánh của sông chính. Trong hệ thống này có thể tồn tại mối quan hệ thủy văn, thủy lợi, nhưng không có các quan hệ thủy lực; (2) HTHC bậc thang: là các hồ chứa nằm nối tiếp nhau trên cùng sông chính hoặc trên cùng một sông nhánh. Trong hệ thống này có thể tồn tại mối quan hệ thủy văn, thủy lợi, thủy lực; (3) HTHC hỗn hợp: là HTHC có cả hai cấu trúc trên, trong đó hệ thống bậc thang này có thể tạo thành hồ chứa song song với các hồ chứa khác và ngược lại. Phân biệt HTHC và các mối quan hệ giữa các hồ chứa là đặc điểm cần quan trọng khi tính toán điều tiết dòng chảy và vận hành cho HTHC.



### ***1.1.2 Phương pháp VHHTHC***

Các mô hình cho nghiên cứu hồ chứa có thể chia thành: (1) nghiên cứu mô phỏng và điều khiển trên mô hình vật lý; (2) sử dụng mô hình toán mô phỏng và tối ưu; (3) thực nghiệm và đánh giá bằng cách điều khiển thực tế trực tiếp tại công trình. Trong quản lý hệ thống nguồn nước nói chung và VHHTHC nói riêng thì sử dụng mô hình toán hay thường là chuỗi mô hình toán để đi đến các quyết định quản lý, được đánh giá kiểm định trước khi áp dụng vào thực tế là khoa học và kinh tế hơn cả. Mô hình toán được chia làm hai loại: (i) *mô hình mô phỏng (simulation models)*; (ii) *mô hình tối ưu (optimization models)*.

Mô hình mô phỏng diễn tả các quá trình diễn ra bên trong hệ thống, các mối liên hệ giữa các quá trình và phản hồi của hệ thống đối với một điều khiển áp đặt vào nó. Một cách tổng quát, mô hình mô phỏng phải trả lời được câu hỏi là: điều gì sẽ xảy ra trong hệ thống nếu như một quy tắc vận hành cụ thể nào đó được áp dụng hoặc nếu một thành phần của hệ thống đó hoặc là một vài thông số, đặc tính nào đó của hệ thống đó thay đổi? Mô hình toán mô phỏng cơ bản là khác với mô hình tối ưu. Các mô hình mô phỏng không đưa ra tường minh cho việc vận hành tốt nhất bởi vì nó không đưa ra, được tiêu chí đánh giá các quyết định vận hành. Tuy nhiên, bằng việc sử dụng các phương pháp mô phỏng, quyết định vận hành được đề xuất trên cơ sở thử dần và đánh giá trên các phương án, bối cảnh đang cân nhắc. Mô hình mô phỏng là một công cụ hữu dụng, không thể thay thế được cho quy hoạch vận hành các hệ thống nguồn nước (HTNN) và HTHC lớn.

Quyết định vận hành hợp lý nhất có thể xác định một cách tường minh từ tiếp cận tối ưu. Mô hình tối ưu đưa các tiêu chí và ràng buộc nhất định vào bài toán xem xét. Khác với mô hình mô phỏng, mô hình tối ưu phải phân tích chọn hàm tối ưu và hàm này phải xác định rõ ràng tiêu chí chọn quyết định vận hành. Khi có hai tiêu chí trở lên thì cần giải quyết bài toán bằng các phương pháp đa mục tiêu. Các mô hình toán đa mục tiêu (MCDM) cũng được ứng dụng trong việc tìm ra một giải pháp cân bằng mâu thuẫn giữa các mục tiêu nhu cầu khác nhau.

Hiện nay, việc vận hành hồ chứa được thực hiện bằng các phương pháp như: (1) biểu đồ điều phối: Biểu đồ điều phối gồm các đường phân chia dung tích hồ thành các vùng khác nhau như cấp nước hạn chế, cấp nước gia tăng, phòng xả thừa, phòng lũ v.v... Các đường này được xây dựng từ mô hình mô phỏng trên cơ sở tài liệu thủy văn trong quá khứ. Phương thức đang được sử dụng phổ biến và người vận hành căn cứ vào mực nước hồ và tình hình nước đến trong thời đoạn để quyết định đưa mực nước về đường nào; (2) vận hành tối ưu: Cách thức vận hành được tính toán từ mô hình tối ưu theo mục tiêu đã xác định. Vận hành theo cách này yêu cầu toàn bộ số liệu đầu vào như nước đến, yêu cầu dùng nước của các thời đoạn trong tương lai phải được biết trước hoặc dự báo phải chính xác. Điều này có hạn chế lớn khi mà dự báo dài hạn hiện nay chưa chính xác. Mặc dù từ mô hình tối ưu có thể xây dựng ra các đường cong tham chiếu theo tần suất nước đến, nhưng người điều hành vẫn khó khăn khi chọn đường nào sẽ đi theo khi mà nước đến là rất biến động trong năm.

Về khả năng điều tiết thì hồ chứa có thể được chia thành hồ chứa nước dài hạn (năm, mùa) và hồ chứa nước ngắn hạn (tuần, ngày). Do vậy nghiên cứu vận hành hồ chứa được tính toán với các bước thời gian khác nhau theo thời đoạn như năm, tháng, ngày. Đối với hồ chứa điều tiết dài hạn và trong mùa kiệt, khi mà lưu lượng đến không thay đổi lớn đột ngột, thì việc tính toán thời đoạn tháng cho cả liệt năm thường được sử dụng.

Trong lĩnh vực khí tượng, thủy văn, môi trường, phòng chống giảm nhẹ thiên tai nói chung và vận hành hồ chứa nói riêng thì việc sử dụng mô hình toán học và mô hình bản đồ có sự trợ giúp của máy tính, viễn thám (RS) và hệ thống thông tin địa lý (GIS) là công cụ rất sắc bén, đang đòi hỏi ngày một cao cả về số lượng và chất lượng. Nhờ có kỹ thuật mô hình đã cho phép đi sâu vào bản chất của hiện tượng và quá trình mô phỏng rất sát với thực tế hệ thống nghiên cứu, nên rất đặc dụng cho công tác dự báo và tính toán ra quyết định. Việc xây dựng được một mô hình mô phỏng, tối ưu tốt cho quá trình VHHTHC đã và đang đem lại hiệu quả kinh tế kỹ thuật vì ta chỉ cần có giải pháp điều khiển hợp lý nhất cho biến số chính là lưu lượng phát điện hay lưu lượng cấp từ hồ xuống hạ lưu, tác động đến quá trình vận hành của cả hệ thống, đem lại hiệu quả kinh tế - xã hội - môi trường lớn, góp phần phát triển bền vững nguồn nước. Bên cạnh

đó là các mô hình thích ứng sử dụng tài liệu dự báo nhằm trợ giúp, tăng độ chính xác của kết quả phương án điều hành quản lý có lợi nhất.

Trên thế giới và Việt Nam đã có nhiều các nghiên cứu về mô hình cả về mô phỏng, tối ưu cùng các hệ thống trợ giúp ra quyết định (DSS). Trong phần này sẽ tập trung vào tổng hợp các mô hình toán mô phỏng và tối ưu phổ biến hiện có trong VHHTHC và ứng dụng của chúng ở Việt Nam.

## **1.2 Tổng quan về tình hình nghiên cứu VHHC trên thế giới**

### ***1.2.1 Các mô hình mô phỏng và ứng dụng trên thế giới***

Các mô hình mô phỏng đã được Hiệp hội các kỹ sư quân đội Mỹ sử dụng nghiên cứu vận hành của hệ thống sáu hồ chứa ở sông Missouri vào năm 1953 (Hall and Dracup, 1970) [2]. Kể từ đó thì mô phỏng đã trở thành công cụ hiệu quả để phân tích các hệ thống nguồn nước. Nhiều ứng dụng mô phỏng được đề cập đến trong các nguồn tư liệu. Các mô hình và phần mềm nổi tiếng có thể nêu tên là; HEC-3 (1971); HEC-5 (1979) được Trung tâm Kỹ thuật Thủy văn (HEC) phát triển, mô hình (SIM I và II) cho hệ thống nguồn nước ở Texas (Evanson and Mosely, 1970) [3]; mô hình MODSIM do Colorado State University phát triển (Labdie và nnk 1984) [4]; BRASS (Colon và McMahon, 1987) [5]; HEC-PRM (Wurbs, 1993) [6]; các phần mềm trong bộ MIKE (DHI water & environment, 2003) [7].

Trong số các phần mềm nổi tiếng nhất là phần mềm phân tích hệ thống hồ chứa HEC-3 (1971) và phần mềm mô phỏng hệ thống lũ và hồ chứa HEC-5 (1979). HEC-ResSim (2003) [8] là chương trình thế hệ tiếp theo của mô phỏng hồ chứa HEC-5. Phần mềm HEC-ResSim bao gồm các chương trình tính toán mô phỏng vận hành hồ chứa, quản lý lưu trữ số liệu, chức năng hiển thị và báo cáo. HEC-DSS (HEC, 1995 and HEC, 2003b) là hệ thống dữ liệu dùng lưu trữ và truy xuất số liệu vào-ra dạng chuỗi thời gian cho bộ HEC.

Colon và McMahon (1987) [5] đã phát triển mô hình dòng chảy lưu vực và trong sông BRASS để cải tiến việc xác định dòng chảy tức thời và dự báo quá trình dòng chảy lũ. Mô hình đã được áp dụng ở ba hồ chứa lớn ở hệ thống sông Savannah nhằm trợ giúp quản lý lũ. Việc kết hợp mô hình mô phỏng và tối ưu được sử dụng trong mô hình bán

mô phỏng. Hầu hết các ứng dụng phân tích hệ thống hồ chứa theo chương trình dòng mạng đều liên quan đến bài toán chi phí dòng mạng là nhỏ nhất với hàm mục tiêu tuyến tính. Trong thuật toán tối ưu dòng mạng thì một hệ thống có thể được diễn đạt bằng mạng lưới với các nút và đường nối (hoặc cung). Ford và Fulkerson (1962) [9] sử dụng các mô hình Quy hoạch tuyến tính (LP) hiệu quả như thuật toán sai lệch để tìm ra lời giải tối ưu.

Phát triển của chuỗi các mô hình mô phỏng dòng chảy mặt bắt đầu từ Ban Phát triển nguồn nước Texas (Texas Water Development Board - TWDB) như là một phần của nghiên cứu quy hoạch nước ở Texas. Đầu tiên, mô hình SIM-I và tiếp đó là SIM-II đã được lập (Evanson và Mosely, 1970) [3]. Sau đó thì mô hình phân phối nước mặt (AL-V) và mô hình mô phỏng và tối ưu HTHC (SIM-V) là các mô hình thủy văn tổng quát cho hệ thống nguồn nước (Martin; 1981, 1982, 1983) [10] [11] [12]. Các mô hình này được thiết kế để mô phỏng và tối ưu vận hành của một hợp phần gồm nhiều phần kết nối với nhau như các hồ chứa, nhà máy thủy điện, bơm và kênh trọng lực, đường ống, nhánh sông trên cơ sở dòng chảy mùa hoặc tháng ổn định. SIM-V được sử dụng cho vận hành hồ chứa ngắn hạn trong khi AL-V cho vận hành dài hạn. Tuy nhiên, phần mềm nổi tiếng nhất là SIMYLD-II (TWDB, 1972). Mô hình này mô phỏng vận hành hệ thống hàng tháng. Với mô tả hệ thống ban đầu hàng tháng (cấu hình và chức năng, đặc điểm trữ và không trữ), bộ số liệu thủy văn, cấu trúc ưu tiên của các yêu cầu sử dụng được chuyển thành mạng lưới kín, đặt chức năng tự chọn và được giải bằng bài toán LP. Lời giải và số liệu cần thiết được sử dụng để xác định các điều kiện ban đầu cho tháng kế tiếp và tiếp tục được giải bằng bài toán LP. Bằng cách này thì một lần chạy SIMYLD-II là một chuỗi các tối ưu hàng tháng kế tiếp nhau. Do bài toán vận hành hệ thống nhiều năm ban đầu được phân tách thành các bài toán hàng tháng riêng rẽ nên mô hình này thường coi là mô hình mô phỏng - tối ưu hỗn hợp.

Nói tiếp mô hình SIMYLD-II là mô hình MODSIM được Colorado State University phát triển bằng cách chỉnh sửa SIMYLD-II trong giữa thập kỷ 1980 (Labadie, 1995) [4]. Nhiều chỉnh sửa và cải tiến mô hình được tiến hành tiếp. Faux và *nnk* (1986) [13], Labdie và *nnk* (1986) [14] tiếp tục nâng cấp mô hình thành mô hình có tên tương ứng là MODSIM2 và MODSIM3. Dai và Labadie (2001) [15] cải tiến MODSIM thành

MODSIMQ để giải quyết vấn đề số lượng và chất lượng nước dạng tổ hợp trong hệ thống sông - tầng nước ngầm của lưu vực sông phức tạp. MODSIMQ được liên kết với mô hình EPA QUAL2E cho chảy truyền nước mặt cùng với mô hình nước ngầm. Để duy trì kết cấu mạng thuần túy hiệu quả cao cho bài toán, các ràng buộc chất lượng nước được cộng thêm vào hàm mục tiêu tuyến tính sử dụng các hàm phạt. Sau đó, bài toán tối ưu được giải bằng liên kết giữa thuật giải hệ thống linh hoạt Lagrangian và thuật toán quy hoạch phi tuyến (NLP) Frank-Wolfe.

Ứng dụng rộng rãi của viễn thám (RS) và thông tin địa lý (GIS) trong những năm gần đây đã tạo ra một xu thế kết hợp giữa mô phỏng và GIS. Để giải quyết vấn đề phân bổ nước, sử dụng nước kết hợp, vận hành hồ chứa hoặc các vấn đề chất lượng nước, MIKE-BASIN (trong bộ phần mềm MIKE của DHI water & environment) liên kết tính năng mạnh của ArcView GIS với mô hình thủy văn tổng hợp để giải quyết vấn đề quy hoạch và quản lý nguồn nước trên quy mô lưu vực.

Ở mô hình MIKE BASIN thì tập trung vào hiển thị kết quả mô phỏng dạng không gian và thời gian, làm cho nó có công cụ mạnh để xây dựng, hiểu và đồng thuận. HEC cũng phát triển các phần mềm để liên kết GIS vào mô hình mô phỏng để nâng cao hiển thị cấu trúc hệ thống sông. HEC-GeoRAS là một tập hợp các quy trình, công cụ và các chức năng xử lý dữ liệu địa lý trong ArcView GIS (hoặc ArcInfo) sử dụng giao diện hình ảnh (GUI). Hiển thị cho phép chuẩn bị số liệu hình học để nhập vào trong HEC-RAS, được thiết kế để thực hiện các tính toán thủy lực một chiều cho toàn bộ hệ thống gồm các sông tự nhiên và sông đào, xử lý các kết quả xuất ra từ mô hình HEC-RAS.

Gần đây mô phỏng và DSS vẫn tiếp tục được nghiên cứu ví dụ như Jianjian Shen and Chuntian Cheng (2015) [16]; Divas Karimanzira và nnk (2016) [17].

## ***1.2.2 Các mô hình tối ưu và ứng dụng trên thế giới***

### ***1.2.2.1 Bài toán tổng quát***

#### **a) Hàm mục tiêu:**

Một cách tổng quát thì hàm mục tiêu cho bài toán vận hành tối ưu HTHC liên kết thủy văn, thủy lợi với nhau được nêu dưới dạng sau:

$$Max (Min)_Q \sum_{t=1}^T f_t(V_t, Q_t) + \phi_{T+1}(V_{T+1}) \quad (1-1)$$

trong đó:

- $Q_t$ : véc tơ n chiều của biến điều khiển trong thời đoạn t (ví dụ là lưu lượng phát điện hay cấp nước từ n hồ liên thông với nhau);
- T: tổng thời đoạn tính toán;
- $V_t$ : véc tơ trạng thái hồ chứa n chiều của mỗi hồ đầu thời đoạn t;
- $f_t(V_t, Q_t)$ : hàm mục tiêu cần cực đại (hay cực tiểu);
- $\phi_{T+1}(V_{T+1})$ : giá trị của tương lai sau thời điểm cuối cùng T.

Hàm mục tiêu trong VHHTHC là hàm phi tuyến, ví dụ như tối ưu hóa điện lượng (E) phát ra khi mà thông số này phụ thuộc cả vào lưu lượng (Q) và cột nước (H).

b) Các ràng buộc:

Các biến trạng thái và biến quyết định bị giới hạn bởi các ràng buộc sau:

$$V_{t+1} = V_t + (C.Q_{đ,t} + Q_{kg,t} - Q_{tt,t} - Q_{pđ,t} - Q_{yc,t}). \Delta t \quad (1-2)$$

$$V_{min,t} \leq V_t \leq V_{max,t} \quad (1-3)$$

$$Q_{min,t} \leq Q_{pđ,t} \leq Q_{max,t} \quad (1-4)$$

$$N_{min,t} \leq N_{pđ,t} \leq N_{max,t} \quad (1-5)$$

(với  $t=1, \dots, T$ )

trong đó:

- $V_t$  = dung tích hồ đầu thời đoạn;
- C: ma trận thể hiện sự kết nối dòng chảy trong hệ thống thể hiện độ trễ và chứa nước của dòng chảy trong hệ thống;
- $Q_{đ}$ : lưu lượng thiên nhiên đến hoặc từ hồ chứa thượng lưu;
- $Q_{kg}$ : dòng chảy khu giữa;

- Qtt: tổn thất (xả, bốc hơi, thấm và các tổn thất khác);
- Qpđ: lưu lượng phát điện;
- Qyc: các yêu cầu dùng nước khác hay chuyển nước ra khỏi hệ thống;
- Npđ: công suất phát điện;
- Vmin, Vmax: dung tích hồ nhỏ nhất và lớn nhất cho phép;
- Qmin, Qmax: lưu lượng nhỏ nhất và lớn nhất cho phép;
- Nmin, Nmax: công suất nhỏ nhất và lớn nhất cho phép.

Để giải bài toán tối ưu phi tuyến trên thì có nhiều phương pháp khác nhau. Sau đây sẽ giới thiệu các mô hình cụ thể.

#### 1.2.2.2 Mô hình quy hoạch tuyến tính

##### a) Thuật toán

Mô hình quy hoạch tuyến tính (Linear Programming - LP) được sử dụng rộng rãi trong tính toán trên máy tính từ giữa những năm 1950. Một cách giải hiệu quả là thuật toán đơn hình có thể giải được bài toán cỡ lớn. Để giải được thì LP yêu cầu các hàm của bài toán tối ưu cần được tuyến tính hóa. Các phương trình phi tuyến có thể được tuyến tính hóa từng phần sử dụng lưới đa chiều. Các thuật toán mở rộng của LP như nhị phân, biến nguyên hay hỗn hợp.

Thuận lợi của LP là (1) giải được bài toán quy mô lớn; (2) đạt được cực trị toàn cục; (3) không cần giả định lời giải ban đầu; (4) dễ phân tích nhạy; (5) có phần mềm sẵn có như LINGO, MS-Excel Solver có thể giải được nhiều phương trình trong bài toán quản lý tài nguyên nước.

Tuy vậy, hạn chế của LP là yêu cầu các phương trình phải là tuyến tính mà thực tế với bài toán vận hành hồ chứa là phi tuyến. Do đó nên nó bị coi là công cụ kém hiệu quả trong việc giải các bài toán tối ưu, nhất là tối ưu ẩn.

## b) Ứng dụng

Mô hình LP là một trong những thuật giải phổ biến nhất cho bài toán nguồn nước. Rất nhiều ứng dụng của LP trong quy hoạch và quản lý nguồn nước được giới thiệu trong Hamdan và Meredith (1975) [18], Martin (1983) [19].

Gần đây, Diba and Mahjoub (1993) trình bày ứng dụng LP để xác định lời giải tối ưu cho hệ thống công trình đầu mối. Mục tiêu của nghiên cứu là tối thiểu hóa chi phí bơm và duy trì các yêu cầu tin cậy dưới các ràng buộc vật lý của hệ thống.

Vadula và Kumar (1996) [20] phát triển mô hình tích hợp bao gồm hai thành phần. Thành phần 1 là mô hình phân phối nội hàm trong mùa để tối đa tổng cộng sản lượng thu hoạch của tất cả các cây trồng cho một trạng thái đã cho của hệ thống bằng LP. Thành phần 2 là mô hình phân phối theo mùa để tính toán ra cách vận hành hồ chứa trạng thái tĩnh sử dụng thuật toán quy hoạch động ngẫu nhiên (SDP). Dung tích hồ, dòng chảy mùa, lượng mưa mùa là các biến trạng thái. Mục đích của SDP là tối đa hóa tổng cộng sản lượng thu hoạch của tất cả các cây trồng trong một năm. Mô hình sau đó được áp dụng vào một hồ chứa hiện có ở Ấn Độ.

Hiện có các phần mềm LP tổng quát và chúng có thể giải quyết bài toán trong quản lý nguồn nước với số lượng lớn các phương trình. Ví dụ như Duc (2000) [21] tuyến tính hóa lợi nhuận thủy điện và chi phí đầu tư nước ngầm sử dụng LINGO là phần mềm giải theo LP để đưa ra lời giải cho quy hoạch và quản lý nguồn nước trong lưu vực sông - hồ chứa chịu ảnh hưởng của triều.

Gần đây LP vẫn tiếp tục được nghiên cứu ví dụ như Mahyar Aboutalebi và nnk (2015) [22].

### 1.2.2.3 Mô hình quy hoạch động

#### a) Thuật toán

Tác giả Bellman giới thiệu thuật toán Quy hoạch động (Dynamic Programming - DP) năm 1957 với hàm truy hồi ngược là nền tảng cho thuật giải DP. Ứng dụng DP sau đó trở nên phổ biến trong nhiều lĩnh vực. DP là thuật toán hữu ích cho việc ra quyết định đối với một chuỗi các quyết định theo trình tự có liên quan đến nhau. Thêm nữa, DP



có thể sử dụng cho cả các hàm mục tiêu, ràng buộc tuyến tính và phi tuyến. Do vậy nó được áp dụng tốt và rộng rãi đối với bài toán vận hành hồ chứa. Phương pháp này có khối lượng tính toán lớn tuy nhiên với công cụ máy tính mạnh như hiện nay và cải tiến thuật toán như điều chỉnh dần thì bài toán tối ưu được giải một cách nhanh chóng.

Ưu điểm của DP là: (i) Thích hợp cho bài toán ra quyết định cho từng giai đoạn kế tiếp nhau khi mà dung tích là biến trạng thái và dòng chảy là biến quyết định; (ii) DP cho phép giải quyết bài toán phi tuyến (iii) Hiệu quả khi mà số ràng buộc tăng lên vì số lần lặp sẽ giảm đi. Nhược điểm là khối lượng tính toán cho nhiều tổ hợp lớn. Tuy nhiên với tốc độ máy tính hiện nay thì vấn đề này trở nên dễ khắc phục, với thủ thuật toán hợp lý cải tiến như quy hoạch động vi phân rời rạc (DDDP).

Chi tiết về thuật toán và chương trình DP sẽ được giới thiệu cụ thể ở Chương 2.

### *b) Ứng dụng*

Hall và Buras (1961) [23] tiên phong trong việc ứng dụng DP cho tối ưu hóa HTNN. Một hệ thống phức tạp được phân tách thành các hệ thống con để có thể giải được bằng DP. Sau đó, Meier và Beightler (1967) [24] cải tiến ứng dụng của DP trong phân tích hệ thống lưu vực sông không kế tiếp. Mobasheri và Harboe (1970) [25] giới thiệu mô hình tối ưu hai giai đoạn trong việc xác định vận hành cho một hồ chứa đa mục tiêu. Các giai đoạn bao gồm (1) tính toán vận hành tối ưu để tối đa lợi nhuận cho nghiên cứu khả thi bằng cách sử dụng DP, (2) lựa chọn thiết kế cơ sở tốt nhất trên thông tin có được từ giai đoạn thứ nhất. Mô hình là sự thay thế ý tưởng hóa của hệ thống hồ chứa thực. Loucks và nnk. (1981) [26] viết rằng "ba ứng dụng chung của DP trong quy hoạch nguồn nước là giải quyết phân bổ nước, mở rộng quy mô, vận hành hồ chứa". Mô hình DP ngẫu nhiên (SDP) cho một hồ chứa độc lập được giới thiệu. Lượng nước lấy từ hồ là hàm của dung tích và dòng chảy và các hàm tần suất kết hợp được tạo ra để tìm khả năng trạng thái tĩnh của chuỗi Markov vi phân cấp 1 hai trạng thái. Nghiên cứu chỉ ra là lời giải tối ưu có thể tìm được trực tiếp sử dụng quy trình thuật toán LP hoặc DP.

Butcher (1971) [27] lần đầu tiên trình bày thuật SDP cho tối ưu hóa VHHTHC đa mục tiêu. Tương quan dòng chảy đến được xem xét. Kết quả vận hành tối ưu phụ thuộc vào

dòng chảy đến và dung tích hồ thời đoạn trước. Alarcon và Marks (1979) [28] trình bày mô hình SDP để tìm ra chỉ dẫn vận hành cho đập Aswan cao ở Ai Cập khi mâu thuẫn giữa các mục đích sử dụng nước khác nhau được xem xét. Kết quả từ SDP được kiểm định bằng mô hình mô phỏng và so sánh với phương pháp dò tìm đơn giản.

Bat (1981) [29] giới thiệu phương pháp DP vi phân rời rạc (Discrete Differential DP) ngẫu nhiên và áp dụng cho một trường hợp nghiên cứu là hệ thống sông Mê Công liên quan đến thủy điện, tưới và kiểm soát lũ. Dòng chảy tháng trong sông của hệ thống được giả thiết là phân bố độc lập và phân bố của nó được mô tả bằng các hàm bình thường và hàm logarit. Phương pháp DP vi phân rời rạc ngẫu nhiên được sử dụng đã kể đến tương quan chuỗi của dòng chảy tháng bằng cách sử dụng ma trận điều kiện và chuyển trạng thái ngẫu nhiên.

Karamouz và Hook (1987) [30] tính toán cho cả hai mô hình DDDP và SDP được thể hiện trên mô hình chuỗi Markov trên một thời đoạn cho mô phỏng VHHTHC cho ba khu vực thủy văn. Kết luận cho thấy vận hành theo mô hình DDDP là hiệu quả hơn cho VHHTHC cỡ vừa đến lớn, còn mô hình SDP thích hợp cho các hồ chứa nhỏ.

Với hệ thống lớn gồm nhiều hồ chứa thì DP có nhược điểm là khối lượng tính toán tăng lên rất lớn khi có nhiều hồ chứa như đề cập ở trên. Hall và nnk (1969) [31] sử dụng thuật toán DP gia tăng (Incremental DP - IDP) cho VHHTHC tối đa sản lượng điện từ một hệ thống hai hồ chứa. Heidari và nnk (1971) [32] khái quát hóa ứng dụng của IDP và gọi nó là DDDP. Nopmongcol và Askew (1976) [33] đề xuất thuật toán DP gia tăng nhiều cấp độ có thể giải quyết được các bài toán tất định nhiều chiều. Sự khác nhau giữa thuật toán IDP và DDDP đã được phân tích và kết luận là DDDP là dạng tổng quát của thuật toán IDP. Murry (1978) [34] minh họa sử dụng DDDP bằng DP vi phân ràng buộc. Trezos (1986) [35] chỉ ra rằng quy mô của HTHC được giới hạn bởi thuật giải bài toán bậc hai và có thể giải được bằng một chuỗi các phép lặp. Điều này dường như không phải là vấn đề thực sự khi số lượng hồ tăng lên đến mười. Nghiên cứu đã phát triển thuật toán DDDP để khắc phục hạn chế bằng cách áp đặt các ràng buộc lên biến trạng thái và điều khiển. Nghiên cứu áp dụng tính toán minh họa cho HTHC độc lập gồm bốn hồ.

Bên cạnh thuật toán IDP và DDDP thì có phương pháp phân tách chia nhỏ bằng trình tự tương tác để khắc phục hạn chế về khối lượng tính toán. Trott và Yeh (1973) [36] giới thiệu phương pháp xác định thiết kế tối ưu HTHC bao gồm các hồ chứa nối kiểu bậc thang và song song. Bài toán tối ưu được phân tách thành chuỗi các bài toán con được giải bằng thuật toán IDP. Sau đó chuỗi các tối ưu của các hệ thống con được quy về lời giải cho bài toán ban đầu.

Tuy nhiên, việc quy đổi từ tối ưu của bài toán con sang tối ưu toàn cục không được chứng minh. Turgeon (1980) [37] đã sử dụng phương pháp tổng hợp/phân tách được Howson and Sancho (1975) [38] phát triển để phân tách bài toán tối ưu ngẫu nhiên  $n$  biến thành  $n$  bài toán tối ưu con, khi mà chỉ một bài toán DP thêm cho 2 biến trạng thái được giải. Phương pháp được xem như đem lại kết quả tốt hơn là phương pháp giải lần lượt cho từng bài toán một.

Duran và nnk (1985) [39] phát triển phương pháp tổng hợp/phân tách để vận hành 10 hồ chứa trong hệ thống thủy điện-nhiệt điện. Bogadi và nnk (1988) [40] nghiên cứu ảnh hưởng của việc thay đổi số các nhóm dung tích hồ và dòng chảy đến dựa trên các chỉ tiêu vận hành của phương pháp SDP cho cả HTHC đơn và nhiều hồ. Kết quả cho thấy là bằng việc tăng số các nhóm dung tích hồ dựa trên hạn chế nhất định sẽ không cải thiện giá trị hàm mục tiêu được nhiều. Nghiên cứu nên tập trung vào việc hòa hợp giữa số lượng và kích cỡ các nhóm dung tích hồ và dòng chảy đến để kiểm tra xem có cải thiện nào đạt được hay không.

Thuật toán SDP có thể kết hợp với các phương pháp gần đây như là đa mục tiêu và dò tìm ngẫu nhiên. Laabs và Haboe (1988) [41] trình bày ba mô hình dựa trên DP đó là mô hình tất định, mô hình tần suất và mô hình ngẫu nhiên để tìm ra quy trình vận hành tối ưu nhượng bộ Pareto cho hồ chứa độc lập đa mục tiêu. Mô hình ngẫu nhiên bao gồm một số hàm mục tiêu và trọng số cho mỗi mục tiêu để có lời giải nhượng bộ. Việc lựa chọn quy trình vận hành được thực hiện bằng phương pháp ra quyết định đa mục tiêu.

Huang (1989) [42] đã sử dụng SDP vào giai đoạn đầu của mô hình có tên là mô hình chuyển chế độ vận hành, được phát triển cho vận hành hồ chứa đa mục tiêu trên hệ

thống trong vùng ảnh hưởng của bão nhiệt đới. Tiêu chí để quyết định tối đa là hàm mục tiêu tổ hợp nhượng bộ giữa giảm lũ, phát điện và cấp nước. Lý thuyết quyết định Beyes và mô hình mưa - dòng chảy sử dụng tương quan tuyến tính đa biến trong thời kỳ lũ được sử dụng trong mô hình.

Vedula và Mujumdar (1992) [43] đã phát triển một mô hình cho vận hành tối ưu hồ chứa tưới với bối cảnh nhiều cây trồng khác nhau sử dụng quy hoạch động ngẫu nhiên. Dung tích hồ, dòng chảy đến, độ ẩm đất được coi là các biến trạng thái. Vadula và Kumar (1996) [20] cải tiến tiếp mô hình tích hợp bao gồm 2 mô đun. Mô đun 1 sử dụng thuật toán LP như đã nêu. Mô đun 2 là mô hình phân bố nước theo mùa để tìm ra cách vận hành hồ chứa trạng thái tĩnh sử dụng SDP.

Gần đây thì mô hình DP cùng với các thuật toán vẫn tiếp tục nghiên cứu nhằm ứng dụng giải quyết bài toán vận hành hồ chứa cụ thể. Ứng dụng DP có thể được tìm thấy trong nhiều nghiên cứu. Ví dụ như Georgakakos và nnk (1997) [44] giới thiệu một mô hình bao gồm mô đun phân bổ phụ tải tua bin và mô đun điều khiển hồ chứa cho phép biểu đạt chi tiết các thiết bị thủy điện và nhiều yếu tố của quản lý nước. DP được sử dụng trong mô đun 1 để xác định phụ tải điện cho từng tua bin và tối thiểu hóa tổng dòng chảy ra. Nhiều ứng dụng của DP có thể xem ở Druce (1990) [45], Changming Ji và nnk (2015) [46]; Hamed và nnk (2016) [47]; Shima Soleimani và nnk (2016) [48]; Pascal Côté và Robert Leconte (2016) [49].

#### 1.2.2.4 Thuật giải di truyền

##### a) Thuật toán

Thuật giải di truyền (Genetic Algorithm - GA) là thuật toán tìm kiếm cực trị ngẫu nhiên hoặc một bộ các giải pháp. Thuật giải tối ưu này thông qua một quy trình tương tự sinh học gọi là "quá trình chọn lọc di truyền tự nhiên". Thuật toán bao gồm quá trình tái tạo, lai ghép, đột biến ngẫu nhiên cho các biến rời rạc, được mã hóa dưới dạng chuỗi nhị phân. Nhóm hoặc số lượng các lời giải ngày càng tăng độ tương thích, hay nói một cách khác là cải thiện giá trị của hàm mục tiêu.

Mặc dù GA có thể giải trực tiếp bài toán mà không cần phép đơn giản hóa nào nhưng GA khá khó để có thể xem xét được các ràng buộc, nhất là các ràng buộc bất đẳng

thức và duy trì được các lời giải khả thi trong các tổ hợp. Do vậy, giải pháp là đưa ra các điều kiện phạt và kết hợp vào trong hàm mục tiêu.

#### *b) Ứng dụng*

Trong lĩnh vực tài nguyên nước, thuật giải di truyền được ứng dụng trong nhiều bài toán quản lý hệ thống nguồn nước như: các mô hình quản lý nước ngầm (Mckinney và Lin, 1994) [50], các bài toán tối ưu mạng ống (Simpson và nnk, 1994) [51], thử dần cho mô hình mưa-dòng chảy (Wang, 1991) [52].

Olivera và Loucks (1997) [53] bình luận rằng thuật giải di truyền có thể là một cách thực tiễn và chắc chắn để xác định cách vận hành cho HTHC phức tạp.

Wardlaw và Sharif (1999) [54] sử dụng thuật giải di truyền bằng hàm phạt để tính toán vận hành tối ưu nhằm tối đa hóa lợi nhuận phát điện và tưới.

Huang và nnk (2002) [55] trình bày mô hình SDP dựa trên thuật giải di truyền để giải quyết vấn đề khối lượng tính toán lớn cho HTHC. Trường hợp nghiên cứu là vận hành dài hạn kết hợp của hai hồ chứa song song ở Đài Loan. Nghiên cứu kết luận rằng thuật giải di truyền khá hữu dụng hỗ trợ tối ưu hóa, mô hình SDP dựa trên thuật giải di truyền có thể khắc phục được khối lượng tính toán lớn trong việc tìm kiếm lời giải.

Gần đây GA vẫn tiếp tục được nghiên cứu ví dụ như bởi Ali Ahmadi Najl và nnk (2016) [56]; Benxi Liu và nnk (2016) [57]; Omid và nnk (2017) [58].

#### *1.2.2.5 Mô hình quy hoạch phi tuyến*

##### *a) Thuật toán*

Bài toán phi tuyến (Non-linear Programming - NLP) có nhiều dạng và hình thức. Không giống như phương pháp đơn hình trong LP mà không có thuật toán duy nhất nào có thể giải quyết tất cả các dạng bài toán. Thay vào đó thì các thuật toán được xây dựng cho nhiều dạng riêng rẽ (dạng cụ thể) của bài toán NLP. Các dạng này có thể chia thành tối ưu không ràng buộc, tối ưu ràng buộc tuyến tính, quy hoạch bậc hai, quy hoạch lồi, quy hoạch không tách, quy hoạch không lồi, quy hoạch cấp số nhân, quy hoạch phân số, bài toán bù v.v...

Với bài toán vận hành hồ chứa, nhất là hệ thống hồ chứa với nhiều ràng buộc và liên thông về mặt thủy văn-thủy lực, nên rất khó có thể giải bài toán bằng mô hình NLP.

### *b) Ứng dụng*

Saad và nnk (1996) [59] đề xuất thuật toán phân tích phi tuyến cho VHHTHC. Việc phân tích được tiến hành bằng cách luyện mạng nơ-ron, cho các mức trữ tổ hợp và mức trữ của mỗi hồ của HTHC. Hàm phi tuyến là không thứ nguyên và tạo ra bằng mạng nơ-ron. So sánh với cách tiếp cận các thành phần chính cho thấy là thuật toán phân tích kế thừa là hiệu quả hơn, nhất là trong mùa mưa khi mà sự lên xuống trong hồ là lớn và hệ số tương quan không cao lắm.

Georgakakos và nnk (1997) [44] sử dụng phương pháp điều khiển Gaussi bình phương tuyến tính cải tiến cho mô đun điều khiển hàng ngày để tối ưu vận hành tua bin trong hệ thống, áp dụng cho hệ thống có ba hồ chứa.

Sinha và nnk (1999) [60] đã sử dụng thuật toán bình phương liên tiếp khả thi với cách tiếp cận mới gọi là sai phân tự động. Công cụ ADIFOR được sử dụng cho phương pháp để nhằm chi phí hàng năm của HTHC là nhỏ nhất.

Gần đây NLP vẫn tiếp tục nghiên cứu ví dụ như Mahyar Aboutalebi và nnk (2015) [22].

#### *1.2.2.6 Mô hình mạng nơ-ron nhân tạo*

##### *a) Thuật toán*

Mô hình nơ-ron nhân tạo (artificial neural network- ANN) là mô hình toán phi tuyến động có khả năng mô tả cho quá trình phi tuyến và động phức tạp liên kết giữa các biến vào và biến ra. ANN là công cụ tính toán tạo thành từ nhiều phần tử liên kết với nhau gọi là các nơ-ron với khả năng đặc biệt là ghi nhớ mối liên hệ ràng buộc giữa các biến vào và ra.

ANN được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như vũ trụ, tài chính, tự động hóa, đánh giá tác động môi trường và thủy văn cho các mục đích khác nhau như phân loại, định dạng, mô phỏng và dự báo. Khái niệm mạng ANN lần đầu tiên được giới thiệu từ

năm 1943 tuy nhiên cho đến giữa các năm 1980 thì ứng dụng ANN mới trở nên rộng rãi.

Mặc dù ANN tự nó không phải là công cụ tối ưu hóa mà nó là một mô hình hữu dụng cho việc hồi quy hàm nhiều biến cho dự báo (dòng chảy, mực nước, chất lượng nước v.v...) và xác định quy trình vận hành từ các mô hình tối ưu ẩn. ANN là mô hình thay thế rất hiệu quả cho các mô hình hồi quy hàm nhiều biến như hồi quy tự động lan truyền tuyến tính ARIMAX, được sử dụng trong dự báo (Hsu *et al.*, 1995) [61]. Với việc ứng dụng thuật toán lan truyền ngược (back propagation algorithm - BP) gần đây ANN đã trở nên quen thuộc và được sử dụng nhiều trong ngành tài nguyên nước, đặc biệt là dự báo thủy văn. Thêm vào đó thì sự kết hợp với các thuật toán giải như tập mờ (Fuzzy) và tối ưu di truyền (GA) để tìm mạng tốt nhất đã nâng cao hiệu quả và giảm thời gian chạy mô hình.

Một trong các ứng dụng của ANN là cho dự báo lưu lượng trong sông tại tuyến nào đó dựa trên các quan hệ giữa lưu lượng dự báo với các yếu tố ảnh hưởng như lưu lượng và lượng mưa đo được cho đến thời điểm dự báo của các trạm trong lưu vực. Tuy nhiên, thuật toán của ANN là dựa trên thuật toán tối ưu hàm phi tuyến. Cấu trúc và thuật giải của mô hình ANN sẽ được giới thiệu cụ thể ở phần sau.

#### *b) Ứng dụng*

ANN đã được ứng dụng nhiều trong thủy văn và tài nguyên nước. Can *et al.* (1985) [62] đã chỉ ra rằng có hai vấn đề cần giải quyết với bài toán VHHTHC theo thời gian thực đó là dự báo dòng chảy thường kém chính xác và các mô hình chảy truyền. Bởi vậy nên có nhiều phương pháp đã được đề xuất nhằm dự báo dòng chảy và ANN là một trong số đó. Cho tới nay thì trên thế giới có rất nhiều ứng dụng ANN trong các mô hình mưa-dòng chảy. Thuật giải GA được dùng như là một công cụ tìm kiếm nhằm tối ưu hóa hàm mục tiêu trong ANN và tăng độ chính xác của dòng chảy đến (Jain và Srinivasulu, 2004) [63].

Hsu *et al.* (1995) [61] giới thiệu ứng dụng của ANN trong mô hình mưa- dòng chảy. Nghiên cứu này cũng giới thiệu một thuật giải mới là đơn hình bình phương nhỏ nhất tuyến tính (LLSSIM) để xác định cấu trúc và các thông số của mô hình ANN có ba

lốp, tính xuôi. Phien and Chen (1996) [64] sử dụng mạng BP để dự báo dòng chảy tháng sử dụng các tiếp cận các chuỗi thời gian là biến đơn và giá trị dự báo chỉ dựa trên các thông số của quá khứ. Các nghiên cứu về ứng dụng ANN cho bài toán mưa-dòng chảy khác có thể tham khảo thêm ở Fernando và Jayawardena (1998) [65]; Birikindavyi *et al.* (2002) [66].

ANN còn được áp dụng trong quản lý chất lượng nước. Maier and Dandy (1996) [67] đã sử dụng ANN để dự báo các thông số chất lượng nước. Thirumalaiah and Deo (1998) [68] giới thiệu ứng dụng của ANN trong dự báo thời gian thực cho mực nước tại vị trí đã định dựa trên các mực nước của trạm đo bên trên và/hoặc tài liệu lịch sử đo đạc trong quá khứ tại vị trí đó. Một số ứng dụng ANN gần đây có thể tìm tham khảo ở các nghiên cứu như Neelakantan, T.R.và nnk (2002) [69];

ANN đã được sử dụng như là một hàm tương quan đa biến để tìm ra cách thức vận hành cho VHHTHC (Sadd *et al.* (1994) [70]; Naresh và Sharma (2000) [71]), sẽ được nêu chi tiết ở mục kết hợp mô phỏng - tối ưu ở mục sau.

ANN được sử dụng trong một số nghiên cứu cho mô hình dự báo mưa – dòng chảy. Nam *et al.* (1998) [72] áp dụng ANN cho dự báo dòng chảy tháng ở sông Đà. Trong đó, ba trạm thủy văn trên sông Đà được chọn và số liệu đầu vào là mưa, dòng chảy trong quá khứ. Kết quả cho thấy thuật toán BP cho kết quả dự báo mức trung bình trong việc bổ sung số liệu và dự báo chuỗi dòng chảy.

Lê Văn Nghinh và nnk (2006) [73] đã sử dụng phần mềm thống kê SPSS Version 11.5 để phân tích hồi quy nhiều biến, WinNN và Neuro Solution phiên bản 4.2 để xây dựng mạng thần kinh nhân tạo tối ưu dùng cho dự báo phục vụ một số phương án dự báo mực nước trước 6h với mức đảm bảo cho các phương án là khá tốt (>80%) cho một số trạm đo mực nước trên các sông như sông Thạch Hãn, sông Bến Hải, sông Kôn, sông Hà Thanh. Kết quả đạt được của nghiên cứu này cho thấy khả năng ứng dụng tốt của mô hình mạng nơ-ron nhân tạo ANN với thuật toán lan truyền ngược (BP) vào dự báo thủy văn.

Hoàng Thanh Tùng (2011) [74] nghiên cứu dự báo lũ trung hạn cho VHHTHC phòng lũ trên sông Cả. Trong đó, ANN với thuật toán BP và GA được sử dụng để tìm cấu



trúc tối ưu. Mô hình ARIMAX được sử dụng để hiệu chỉnh thông số. Sau đó nghiên cứu đã tích hợp mô hình này vào VHHTHC trong mùa lũ và khuyến nghị áp dụng mô hình ANN vào dự báo cho VHHTHC.

### ***1.2.3 Phương pháp kết hợp mô hình mô phỏng - tối ưu và ứng dụng trên thế giới***

Mô phỏng và tối ưu có những ưu nhược điểm và phạm vi ứng dụng riêng như đã đề cập ở trên. Tuy nhiên, trên thế giới đã có những cách thức kết hợp hai mô hình này để giải quyết bài toán. Các mô hình mô phỏng và tối ưu cho VHHTHC trên một số lưu vực lớn trên thế giới được đặt trong hệ thống trợ giúp ra quyết định (DSS).

Có nhiều nghiên cứu sử dụng các mô hình thống kê như ARIMA, ANN làm công cụ mô phỏng, dự báo dòng chảy đến các hồ chứa, sau đó kết hợp với sử dụng mô hình mô phỏng hoặc tối ưu cho vận hành HTHC để tính toán các phương án vận hành.

Thông thường trong mô hình mô phỏng có lồng ghép một số mô-đun tối ưu. Ví dụ như trong ANN có thể lồng ghép GA nhằm tăng tốc độ hội tụ khi luyện mạng tìm các trọng số. Trong các phần mềm như bộ MIKE hay HEC đều có các mô-đun thử lặp và tối ưu sai số.

MODSIM cũng được phát triển bằng kết hợp mô phỏng và tối ưu. Dai và Labadie (2001) [15] tạo ra mô hình MODSIMQ được liên kết với mô hình EPA QUAL2E cho chảy truyền nước mặt cùng với mô hình nước ngầm. Các ràng buộc chất lượng nước được cộng thêm vào hàm mục tiêu tuyến tính sử dụng các hàm phạt. Sau đó, bài toán tối ưu được giải bằng liên kết giữa thuật giải Lagrangian và thuật toán quy hoạch phi tuyến (NLP) Frank-Wolfe.

ANN đã được sử dụng như là một hàm tương quan đa biến để tìm ra cách thức vận hành cho VHHTHC. Sadd *et al.* (1994) [70] sử dụng SDP cho bài toán tối ưu, sau đó ANN với thuật giải BP được luyện trên cơ sở các mực nước hồ được hợp nhất với nhau và mực nước của mỗi hồ trong hệ thống. Naresh và Sharma (2000) [71] giới thiệu cách tiếp cận dùng mạng ANN chia thành hai giai đoạn để tìm ra lịch trình vận hành tối ưu cho các nhà máy thủy điện liên kết với nhau. Hàm mục tiêu được sử dụng là tối đa điện lượng phát ra và thỏa mãn yêu cầu tưới càng nhiều càng tốt.

Có thể nói là việc kết hợp mô phỏng - tối ưu trong VHHTHC có nhiều. Trong những năm gần đây, việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo như GA, ANN, tập mờ (Fuzzy) trở nên mạnh mẽ, hiệu quả, rộng rãi trong công nghiệp và điều khiển. Các thuật toán này rất thích hợp với bài toán VHHTHC khi mà các yếu tố đầu vào biến đổi ngẫu nhiên, đòi hỏi cách tiếp cận “động” và “cận tối ưu”. Tuy nhiên việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo như ANN kết hợp mô phỏng - tối ưu cho VHHTHC là chưa có nhiều. Điều này tạo ra triển vọng tiếp tục nghiên cứu các mô hình này cho VHHTHC.

### **1.3 Nghiên cứu ứng dụng các mô hình vận hành hồ chứa ở Việt Nam**

Nguyễn Thượng Bằng (2002) [75] thành lập mô hình tổng quát cho bài toán tối ưu hệ thống thủy lợi, khai thác tổng hợp nguồn nước. Nghiên cứu đề xuất cách lượng hóa mối quan hệ giữa hệ thống thủy lợi với phát triển kinh tế - xã hội và bảo vệ môi trường. Luận án xác lập bài toán tối ưu và hàm số hóa các hàm mục tiêu là điện năng mùa cấp, quan hệ hồ chứa, mực nước hạ lưu...Nghiên cứu áp dụng mô hình cho hệ thống gồm 08 hồ thủy điện (có 01 hồ đã xây dựng, còn lại là đang quy hoạch) trên lưu vực Lô – Gâm - Chảy với hai mục tiêu: (1) điện năng mùa kiệt lớn nhất; (2) diện tích mặt hồ tối thiểu. Thuật giải sử dụng Excel và lập trình Pascal có tham khảo chương trình mẫu. Kết quả cho ra dung tích hợp lý của các hồ chứa, sử dụng cho giai đoạn quy hoạch HTHC.

Nguyễn Tuấn Anh và nnk ( 2007) [76] thực hiện đề tài VHHTHC trên lưu vực sông Hồng. Các nhà khoa học nghiên cứu về vấn đề này nêu yêu cầu xây dựng quy trình điều hành liên hồ nhằm đa mục tiêu: *an toàn chống lũ, an toàn phát điện và an toàn cấp nước mùa khô cho hạ du*. Phương pháp mô phỏng là phương pháp được lựa chọn để xây dựng qui trình với lý do chính là phương pháp mô phỏng là phương pháp mà thế giới đang áp dụng phổ biến. Đề tài sử dụng mô hình MIKE 11 GIS cho toàn hệ thống. Đề tài ứng dụng dự báo thủy văn trung hạn. Mực nước tại Hà Nội là một trong những tham số chính của qui trình vận hành. Nghiên cứu chọn phương pháp mô phỏng là phù hợp cho HTHC lớn và phức tạp, tuy nhiên việc áp dụng mô hình tối ưu chưa được đề cập nhiều nhằm nâng cao hiệu quả khai thác, nhất là trong mùa kiệt.

Lê Kim Truyền (2008) [77] nghiên cứu điều hành cấp nước cho mùa cạn đồng bằng sông Hồng. Đề tài sử dụng phần mềm MIKE 11 và một số phần mềm tự lập như: (1) tính điều tiết hồ chứa cấp nước, phát điện hồ chứa độc lập-TN1; (2) tính điều tiết cấp nước, phát điện hệ thống hồ chứa bậc thang-TN2; (3) tính toán xây dựng biểu đồ điều phối hồ chứa cấp nước, phát điện-DIEUPHOI. Các đóng góp của đề tài gồm có: Xây dựng hệ thống các phương án điều hành 4 hồ chứa (Hòa Bình, Thác Bà, Sơn La, Tuyên Quang) và các công trình cấp nước chủ yếu ở hạ du đồng bằng sông Hồng theo các kịch bản cấp nước mùa kiệt theo mô hình của các năm 2004, 2005, năm có tần suất dòng chảy đến  $P=85\%$ . Đánh giá hiện trạng phương pháp và công nghệ dự báo dòng chảy kiệt các thời đoạn 10 ngày, 1 tháng, 3 tháng và mùa kiệt ở nước ta. Nghiên cứu lựa chọn phương pháp, công nghệ dự báo dòng chảy kiệt lưu vực sông Hồng. Xây dựng phương án và dự báo thử nghiệm cho mùa kiệt 2005-2006. Tính toán thủy lực hệ thống sông Hồng, đánh giá ảnh hưởng điều tiết các hồ chứa thượng nguồn đến chế độ dòng chảy và xâm nhập mặn vùng hạ du sông Hồng. Nghiên cứu chọn phương pháp mô phỏng là phù hợp cho HTHC lớn và phức tạp. Đề tài cũng tập trung vào các công nghệ dự báo dòng chảy kiệt, tuy nhiên việc áp dụng mô hình tối ưu kết hợp dự báo chưa được nghiên cứu nhằm nâng cao hiệu quả khai thác.

Trung tâm Thủy văn ứng dụng và Kỹ thuật Môi trường – Đại học Thủy lợi (2007) [78] đã tiến hành cân bằng nước hệ thống sông Ba ứng dụng phần mềm MIKE-BASIN cho các bối cảnh khai thác sử dụng khác nhau xét đến sự xây dựng và đưa vào vận hành các hồ chứa trên lưu vực. Kết quả lượng nước phân chia cho mỗi bối cảnh sẽ rất quan trọng trong việc lựa chọn phương án tốt nhất cho quy hoạch, thiết kế, vận hành hệ thống nguồn nước lưu vực trong tương lai. MIKE-BASIN là phần mềm mô phỏng nên hạn chế trong việc xem xét tối ưu VHHTHC.

Ringler và Huy (2004) [79] nghiên cứu cân bằng nước tối ưu hệ thống sông Đồng Nai ứng dụng phần mềm GAMS. Có nhiều mâu thuẫn giữa các ngành trong sử dụng và khai thác tài nguyên nước ở lưu vực sông Đồng Nai. Các tác giả đã tiến hành mô hình hóa bài toán phân phối chia sẻ nguồn nước có kể đến sự điều tiết của các hồ chứa với hàm mục tiêu là lợi nhuận kinh tế mang lại toàn cục lớn nhất. Bài toán sử dụng thuật giải GAMS để tính toán và cho kết quả lượng nước dùng cho từng ngành. Tuy nhiên,

GAMS thích hợp cho bài toán phân bổ nguồn nước theo thủy văn – kinh tế, nhưng không phù hợp với bài toán VHHTHC theo thời gian thực.

Lê Hùng (2012) [80] nghiên cứu áp dụng phương pháp DP và thuật toán di truyền cho bài toán tối ưu vận hành điều tiết hồ chứa đơn đa mục đích, xây dựng thuật toán và chương trình tính cho hai phương pháp này. Bước đầu ứng dụng cho một số hồ chứa có nhiệm vụ phát điện và cấp nước, xây dựng biểu đồ điều phối ngẫu nhiên cho hồ chứa đơn có nhiệm vụ phát điện là chính. Luận án cũng đưa ra các trường hợp tính toán với mục tiêu và thuật toán khác nhau. Nghiên cứu sử dụng trọng số cho tối ưu tưới và phát điện và gộp lại thành hàm mục tiêu chung. Kết quả cho thấy phương pháp DP truyền thống có ưu điểm hơn và có nghiêm tối ưu toàn cục, thích hợp với bài toán vận hành hồ chứa hơn là thuật GA. Nghiên cứu khuyến nghị cần nghiên cứu vận hành thực.

Nguyễn Thị Thu Nga (2017) [81] áp dụng mô hình GAMS cho lưu vực sông Ba, với các thông số đầu vào, giá cả đã được đánh giá và nhập vào cho mô hình, từ đó tìm ra phân bổ nước cho các ngành nhằm trợ giúp cho quản lý lưu vực. Nghiên cứu cũng đưa ra các bối cảnh để xem xét, tuy nhiên việc biến động của các thông số ngẫu nhiên như giá trị nước cho phát điện, cho tưới, các quan hệ của HTHC v.v...sẽ là các khó khăn khi áp dụng kết quả mô hình vào vận hành thực của HTHC.

Vũ Ngọc Dương (2017) [82] tính toán vận hành hồ chứa Cửa Đạt bằng cách tạo ra chuỗi số liệu dòng chảy đến từ mô hình thống kê, sau đó tính toán đưa ra các đường tham chiếu vận hành với các tần suất khác nhau cho hồ đơn. Tuy nhiên, người vận hành sẽ phải liên tục chọn đường tham chiếu vận hành khi mà dòng chảy đến trong năm là biến động và tần suất có thể khác nhiều với tần suất của đường tham chiếu. Nghiên cứu chỉ tính toán cho hồ đơn chứ chưa phải là HTHC.

Các nghiên cứu gần đây có thể kể thêm như: Ứng dụng mô hình MIKE 11 mô phỏng vận hành hệ thống liên hồ cắt giảm lũ cho hạ du - Lưu vực sông Srepok (Ngô Lê Long, 2011) [83]; Mô hình toán vận hành điều tiết tối ưu hệ thống hồ chứa thủy điện - áp dụng cho Sông Bung 2 và Sông Bung 4 (Lê Hùng, 2011) [84]; Ứng dụng phần mềm Crystal Ball xác định chế độ vận hành tối ưu phát điện cho hồ chứa Thác Bà, Tuyên

Quang và bậc thang hồ chứa Sơn La, Hòa Bình có tính đến yêu cầu cấp nước hạ du (Hoàng Thanh Tùng và nnk, 2013) [85]. Nghiên cứu vận hành tối ưu sử dụng thuật toán Quy hoạch động cho hai hồ Sơn La – Hòa Bình trong mùa cạn (Hồ Ngọc Dung, 2017) [86].

## **1.4 Lưu vực sông Ba và tình hình nghiên cứu VHHTHC trên lưu vực**

### **1.4.1 Lưu vực sông Ba**

#### *1.4.1.1 Vị trí địa lý*

Sông Ba là một trong những hệ thống sông lớn thuộc Tây Nguyên và ven biển miền Trung. Lưu vực nằm trong tọa độ địa lý từ 12<sup>0</sup>35' đến 14<sup>0</sup>38' vĩ độ Bắc và từ 108<sup>0</sup>00' đến 109<sup>0</sup>55' kinh độ Đông, phía Bắc giáp lưu vực sông Trà Khúc, phía Nam giáp lưu vực sông Cái và sông Serepok, phía Đông giáp lưu vực sông Kôn, sông Kỳ Lộ, phía Tây giáp với lưu vực sông Sê San và Serepok. Bản đồ lưu vực sông Ba như Hình 1.1.

Vùng hạ lưu sông Ba có liên quan nguồn nước với sông Bàn Thạch là một sông nhỏ gần cửa có diện tích 592 km<sup>2</sup> nên trong quy hoạch sử dụng nước thường kể thêm phần diện tích này vào diện tích sông Ba.

Lưu vực sông Ba tính từ nguồn đến cửa sông nếu tính cả sông Bàn Thạch có diện tích 14.100 km<sup>2</sup> nằm trong cả vùng núi thuộc khu vực Tây Trường Sơn và Đông Trường Sơn, chiếm 4,3 % diện tích cả nước. Lưu vực có hình gần như chữ L, độ rộng bình quân lưu vực là 48,6 km. Hình dạng lưu vực dài và hẹp nhưng phình to ở giữa, nơi rộng nhất tới 85 km. Trên lưu vực sông Ba có 434.269 ha đất nông nghiệp và dân số 1.419.491 người trong đó phần lớn sống bằng nông nghiệp.

Lưu vực sông Ba thuộc địa giới hành chính của 4 tỉnh Gia Lai, Đắk Lắk, Phú Yên và Kon Tum, trong đó phần lớn diện tích thuộc 3 tỉnh Gia Lai, Đắk Lắk, Phú Yên, còn tỉnh Kon Tum chỉ có một phần rất nhỏ thuộc một huyện (Kon Plong).

#### *1.4.1.2 Mạng lưới sông ngòi*

Sông Ba bắt nguồn từ đỉnh núi Ngọc Rô có độ cao 1.549 m của dãy Trường Sơn. Từ thượng nguồn đến An Khê sông chảy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam, sau đó chuyển hướng gần như Bắc- Nam cho đến Cheo Reo. Từ đây sông Ba nhận thêm nhánh Ayun

và lại chảy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam cho tới Củng Sơn, sau đó chảy theo hướng Tây-Đông ra tới biển. Tổng chiều dài sông chính là 374 km.

Từ nguồn đến cửa sông có nhiều sông nhánh và suối nhỏ đổ vào, bao gồm 36 phụ lưu cấp I, 54 phụ lưu cấp II, hàng trăm phụ lưu cấp III. Các sông nhánh có diện tích lưu vực lớn hơn 500 km<sup>2</sup> có 5 sông, bao gồm sông Ia Pi Hao (552 km<sup>2</sup>, nhập lưu vào bờ phải), sông Đắc Pô Kô (762 km<sup>2</sup>, nhập lưu vào bờ trái), Ayun (2950 km<sup>2</sup>, nhập lưu vào bờ phải), Krông H' năng (1840 km<sup>2</sup>, nhập lưu vào bờ phải), sông Hinh (1040 km<sup>2</sup>, nhập lưu vào bờ phải). Các sông nhánh lớn nếu lấy diện tích lưu vực từ 1000 km<sup>2</sup> trở lên thì chỉ có 3 sông, đó là các sông Ayun, sông Krông H' năng và sông Hinh. Cả 3 sông nhánh này đều nằm ở hữu ngạn của sông Ba.

#### **1.4.2 Tình hình nghiên cứu VHHTHC trên sông Ba**

Do đặc điểm sông ngòi như trên, HTHC trên sông Ba được hình thành là hỗn hợp (bao gồm cả nối tiếp và song song). Trên hệ thống sông Ba, có nhiều hồ chứa có khả năng tưới và phát điện, trong đó có một số hồ chứa quan trọng trong hệ thống là:

- Hồ chứa thủy điện An Khê – Ka Nak : công trình thủy điện gồm hai cụm đầu mối hồ chứa An Khê – Ka Nak được bố trí ở địa phận huyện Kbang, An Khê tỉnh Gia Lai và huyện Tây Sơn tỉnh Bình Định, được khởi công xây dựng 2005 và hoàn thành vào 2011-2012 với công suất lắp máy 173MW (trong đó An Khê là 160MW, Ka Nak là 13MW). Cụm công trình ngoài đảm bảo nhu cầu tưới và yêu cầu khác ở hạ lưu đập An Khê thì phần lớn lưu lượng phát điện được chuyển sang bổ sung cho lưu vực sông Kôn thuộc tỉnh Bình Định.
- Hồ Ayun Hạ được khởi công năm 1989 và vận hành 2001, có diện tích lưu vực 1670 km<sup>2</sup>, năng lực tưới thiết kế 13500 ha, công suất lắp máy là 3 MW.
- Nhà máy thủy điện Krông H' năng, có diện tích lưu vực 1168 km<sup>2</sup>, được khởi công năm 2005 và đi vào vận hành 2010, với công suất lắp máy 64 MW.
- Hồ Sông Hinh có lưu vực 772 km<sup>2</sup>, công suất lắp máy 70MW, được khởi công 1993 và hoàn thành 2001.

- Hồ Sông Ba Hạ có diện tích lưu vực 11115 km<sup>2</sup>, công suất lắp máy 220MW, đi vào hoạt động năm 2009.
- Đập dâng Đồng Cam được xây dựng 1934, năng lực tưới thiết kế 19800 ha.

Số liệu đo đạc trong quá trình vận hành của các hồ chứa từ năm 2000 trở lại đây cho thấy hiệu quả sử dụng tổng hợp nguồn nước của các công trình thủy điện, thủy lợi lớn như hồ Ayun Hạ, hồ sông Hinh, đập Đồng Cam cũng còn bị hạn chế do các công trình được khai thác sử dụng riêng rẽ theo ngành, chưa có sự phối hợp chặt chẽ với nhau trong quản lý vận hành, hiệu quả phòng lũ cho hạ du của cả hệ thống còn bị hạn chế. Trong khai thác sử dụng nguồn nước trên lưu vực hiện nay, nhất là trong quy hoạch, thiết kế và vận hành các hồ chứa nước, các ngành dùng nước nói chung chưa quan tâm đến đảm bảo nước cho hệ sinh thái và cho môi trường. Việc khai thác sử dụng nguồn nước không hợp lý cùng với sự suy thoái vùng đầu nguồn trong nhiều năm qua khiến cho một số đoạn trên dòng chính dòng chảy của sông không được đảm bảo, dẫn đến cạn kiệt nguồn nước. Có nhiều thời kỳ dòng sông bị cạn sau đập Đồng Cam. Do các ngành chưa phối hợp đồng bộ với nhau nên VHHTHC còn nhiều bất cập, nhiều trường hợp mâu thuẫn đã xảy ra khi hạn hán, cạn kiệt nguồn nước ngay trong điều kiện bình thường khi mà trạm thủy điện tăng, giảm lưu lượng xuống hạ lưu chỉ theo yêu cầu đơn ngành là phát điện. Trong mùa lũ, sự cố vận hành khi mà dòng chảy hạ lưu đang dâng cao nhanh nhưng hồ chứa lại kết hợp xả lũ được công luận đề cập và tranh luận nhiều trong những năm gần đây.

Tất cả các hồ chứa trước đây đều có các quy trình vận hành (QTVH) được ban hành riêng rẽ và bổ sung sửa đổi khi các hồ chứa lớn lần lượt được xây dựng trên lưu vực, bao gồm các quy trình sau:

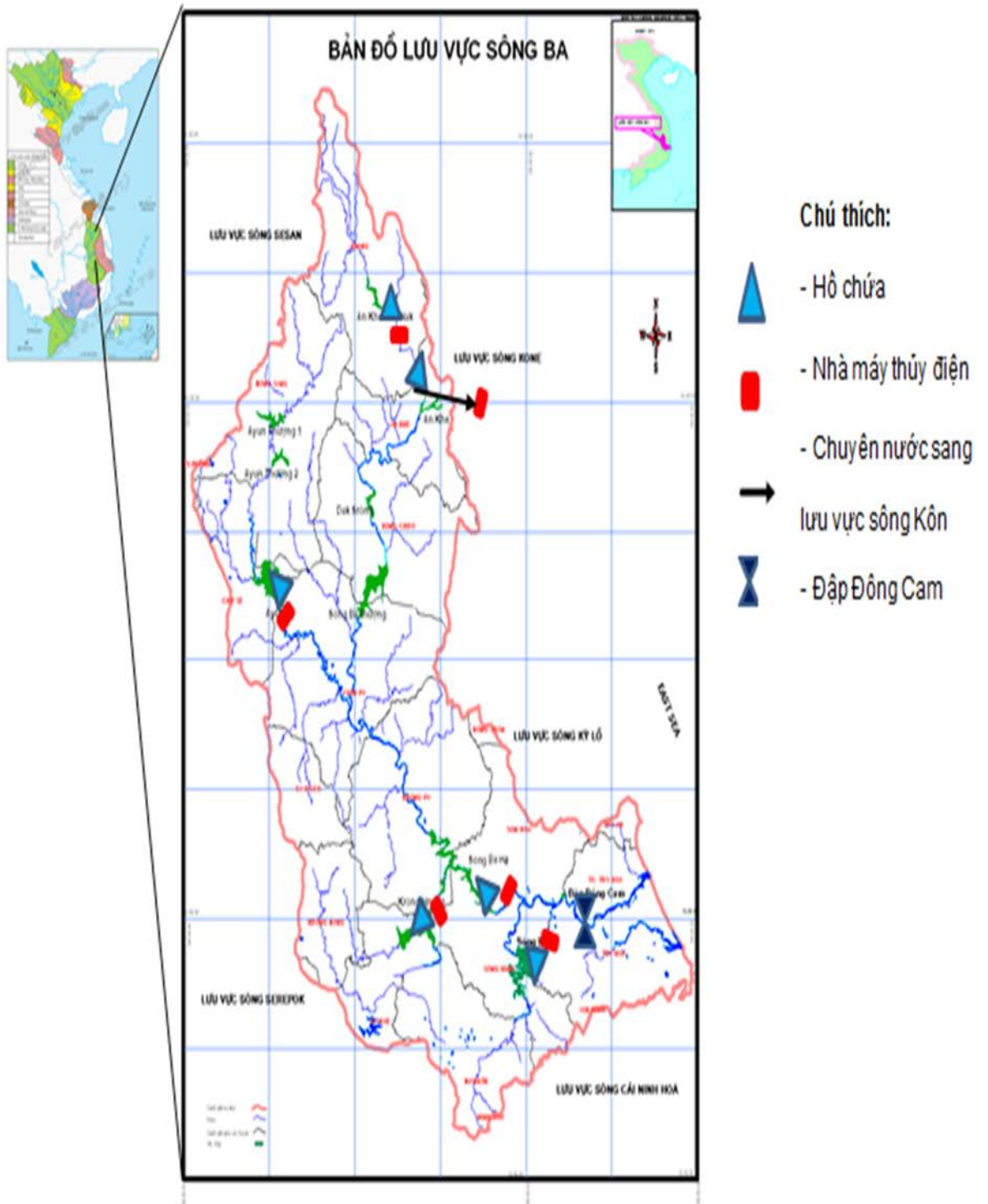
- Quy trình vận hành điều tiết hồ chứa nước Ayun Hạ được ban hành theo Quyết định số 64/2004/QĐ-BNN ngày 11/11/2004 của Bộ NN&PTNT.
- Quy trình xả lũ hồ chứa Sông Hinh được ban hành theo Quyết định số 2775/QĐ-EVN-KTND ngày 23/8/2002 của Tổng Công ty Điện lực Việt Nam (nay là Tập đoàn Điện lực Việt Nam – EVN).

- Quy trình vận hành hồ chứa thủy điện Sông Ba Hạ được ban hành theo Quyết định số 3024/QĐ-BCT tháng 6/2009 của Bộ Công Thương.
- Quy định phối hợp vận hành điều tiết lũ các hồ chứa thủy điện lưu vực sông Ba trên địa bàn tỉnh Phú Yên, được ban hành theo Quyết định số 1936/QĐ-UBND năm 2009 của UBND tỉnh Phú Yên.
- Quy trình vận hành hồ chứa thủy điện Krông H' năng được ban hành theo Quyết định số 4046/QĐ-BCT tháng 7/2010 của Bộ Công Thương.
- Qui trình vận hành liên hồ chứa các hồ: Sông Ba Hạ, Sông Hinh, Krông H' năng, Ayun Hạ, và An Khê- Ka Nak trong mùa lũ hàng năm, được ban hành theo Quyết định số 1757/QĐ-TTg ngày 23/9/2010 của Thủ tướng Chính phủ.

Các quy trình ban hành trên cho thấy chủ yếu là cho các hồ chứa đơn lẻ và ban hành sau khi xây dựng công trình bổ sung vào HTHC, tập trung vào vận hành chống lũ mà chưa có quy trình VHHTHC nhất là trong mùa kiệt.

Hiện nay HTHC trên sông Ba đã tương đối hoàn chỉnh. Năm 2014, Bộ TNMT đã nghiên cứu và trình Chính phủ ban hành Quyết định số 1077/QĐ-TTg [87], ngày 7/7/2014 Ban hành Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Ba, bao gồm các hồ: Sông Ba Hạ, Sông Hinh, Krông H' Năng, Ayun Hạ và An Khê - Ka Nak. Quyết định này ban hành quy trình vận hành chống lũ và vận hành cấp nước mùa kiệt. Trong đó, nêu rõ lưu lượng, mực nước tối thiểu của các hồ chính cần đảm bảo chia theo cụm và thời kỳ cấp nước (gia tăng hoặc bình thường). Tiếp theo đó, Quyết định số 282/QĐ-TTg [88], ngày 1/3/2017 ban hành sửa đổi, bổ sung một số điều trong Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Ba theo Quyết định của TTCP số 1077/QĐ-TTg. Chủ yếu quyết định 282/QĐ-TTg là nhằm quy định bổ sung cho lưu lượng cần cấp cho hạ lưu sau đập An Khê. Trên đây là các quy trình mới nhất sẽ áp dụng cho VHHTHC trên sông Ba. Với mùa kiệt, các quy trình này đã đưa ra quy định về phối hợp chống lũ trong mùa lũ, cấp nước tối thiểu cho từng hồ chứa, đảm bảo cấp nước hạ du tại vị trí An Khê và Đồng Cam trong mùa kiệt. Tuy nhiên, các quy định đó chỉ mới dừng lại ở việc đảm bảo an toàn chống lũ và ràng buộc cấp nước hạ lưu. Vận hành các hồ chứa trong hệ thống vẫn lấy theo các quy trình vận hành cũ kế thừa từ các quy trình





Hình 1.1 Bản đồ vị trí lưu vực và HTHC trên sông Ba

đơn lẻ đã lập trước đây. Vấn đề nâng cao hiệu quả VHHTHC cần được nghiên cứu và giải quyết. Chính vì vậy nên Luận án chọn HTHC sông Ba làm trường hợp tính toán cụ thể cho bài toán này.

Các nghiên cứu liên quan đến quản lý lưu vực hay VHHTHC sông Ba có các đề tài sau:

- Năm 2010, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội [89] tiến hành nghiên cứu Xây dựng công nghệ điều hành liên hồ sông Ba nhằm đảm bảo ngăn lũ, chậm lũ, an toàn hồ chứa và sử dụng hợp lý tài nguyên nước mùa kiệt lưu vực sông Ba. Đề tài sử dụng mô hình HEC-RESIM cho điều hành hồ mùa lũ. Xây dựng cơ sở dữ liệu phục vụ điều hành hồ chứa liên hồ quản lý trên cơ sở công nghệ thông tin địa lý GIS. Đề tài kết hợp nhiều mô hình dự báo dòng chảy (3-5 ngày), truyền lũ MIKE (MIKE11-MIKE21-MIKEFlood), nhu cầu nước. Đề tài chủ yếu tập trung vào VHHTHC trong mùa lũ.
- Lê Đức Thường (2015) [90] có nghiên cứu quản lý bền vững tài nguyên nước lưu vực sông Ba trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Trong nghiên cứu tập trung vào đánh giá TNN, tính toán cân bằng nước và tác động của BĐKH và các giải pháp thích ứng. Đề tài kết hợp 3 mô hình là NAM – MIKE 11 – MIKE BASIN để đánh giá TNN và cân bằng nước cho các nhu cầu khác nhau trên lưu vực. Nghiên cứu này không đi vào nghiên cứu tối ưu, nâng cao hiệu quả VHHTHC.
- Nguyễn Thị Thu Nga (2017) [81] nghiên cứu áp dụng mô hình GAMS cho lưu vực sông Ba. Kết quả của nghiên cứu cho ra việc phân bổ tối ưu nước cho các ngành khác nhau. Tuy nhiên việc thay đổi thông số đầu vào nhất là giá cả (ví dụ giá điện năng biến động theo thị trường), cũng như việc VHHTHC cần cập nhật liên tục và theo dõi gian thực nên mô hình GAMS chỉ thích hợp trong quản lý cân bằng, phân bổ tổng thể cho lưu vực hoặc giai đoạn quy hoạch.

Các nghiên cứu trên, liên quan đến quy hoạch sử dụng tổng hợp TNN lưu vực sông Ba có các báo cáo sau:

- Viện Quy hoạch Thủy lợi. Báo cáo quy hoạch tài nguyên nước lưu vực sông Ba. (1995) [91];

- Công ty CP Tư vấn Xây dựng Điện 1. Quy hoạch thủy điện trên sông Ba (2002) [92];
- Quyết định số 2994/QĐ-BNN-KH tháng 10/2007 của Bộ NN&PTNT phê duyệt “Quy hoạch sử dụng tổng hợp và bảo vệ nguồn nước lưu vực sông Ba” [93].

Các nghiên cứu về tác động biến đổi khí hậu đến TNN lưu vực sông Ba có:

- Viện KH Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Bộ Tài nguyên Môi trường. Báo cáo "Tác động của biến đổi khí hậu lên tài nguyên nước và các biện pháp thích ứng - Lưu vực sông Ba" (2010).
- Viện KH Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Bộ Tài nguyên Môi trường. Báo cáo “Đánh giá tổng hợp tài nguyên nước và qui hoạch thủy lợi – thủy điện lưu vực sông Kôn, sông Ba đến năm 2010-2020” (2010).
- Các báo cáo cập nhật về Biến đổi khí hậu của Bộ TNMT năm 2012 và 2016.

Các quy trình, nghiên cứu, báo cáo ở trên là trên là cơ sở để Luận án có thể rút ra các hạn chế, khoảng trống giữa lý thuyết và thực tiễn, từ đó đặt ra bài toán và nhiệm vụ cần giải quyết trong Chương 2. Đồng thời đây là tiền đề để Luận án kế thừa các số liệu cho tính toán áp dụng sẽ trình bày trong Chương 3.

### 1.5 Những tồn tại, hạn chế trong VHHTHC

Trên thế giới đã sử dụng nhiều mô hình toán cho VHHTHC. Tuy nhiên VHHTHC vẫn còn là thách thức do đặc điểm phức tạp của vấn đề nghiên cứu, đó là: (1) bài toán nhiều chiều, đa ngành và mang tính đặc thù của từng hệ thống; (2) tính ngẫu nhiên của VHHTHC do các yếu tố tự nhiên (dòng chảy đến, các yếu tố khí tượng thủy văn khác) và các hoạt động của con người (nhu cầu sử dụng nước, chủ định của người ra quyết định). Tính chính xác của dự báo là rất quan trọng cho bất kỳ mô hình nào, tuy nhiên tính chính xác của việc dự báo nhất là dự báo dài hạn vẫn còn chưa cao. Sự phức tạp và tính ngẫu nhiên là hai thách thức cho VHHTHC nên *không có thuật toán hay mô hình đơn lẻ nào là tổng quát* giải quyết toàn diện cho bài toán VHHTHC.

Các hạn chế về VHHTHC hiện nay ở nước ta và sông Ba được nhận thấy như sau:

- Điều hành dựa trên kinh nghiệm và quy trình vận hành được lập kế từ khi thiết kế và ***không được cập nhật*** thường xuyên khi mà tài liệu thủy văn đến được kéo dài và cấu trúc hệ thống cũng như nhu cầu nước thay đổi. Ví dụ như quy trình vận hành cho HTHC sông Ba (số 1077/QĐ-TTg [87], ngày 7/7/2014) chỉ quy định phối hợp đảm bảo dòng chảy tối thiểu hạ lưu. Tuy nhiên, chưa lập lại các biểu đồ điều phối cũ từ giai đoạn thiết kế các hồ chứa nhiều năm trước đây, chưa có chỉ dẫn vận hành hiệu quả như thế nào.

- Điều hành theo hồ chứa về cơ bản vẫn đơn lẻ, ***chưa có sự phối hợp của hệ thống trong việc nâng cao hiệu quả VHHTHC.***

- Hiện nay vẫn có ***khoảng trống giữa ứng dụng lời giải lý thuyết từ các mô hình tối ưu trong VHHTHC đến áp dụng thực tế điều hành hồ chứa.*** Việc giải quyết mô hình tối ưu cho hệ thống hồ chứa là nhiều khó khăn do khối lượng tính toán lớn. Thêm nữa, dự báo thủy văn dài hạn có độ chính xác hạn chế, cũng như các yếu tố tự nhiên và kinh tế - xã hội, nhu cầu nước từ các ngành biến đổi ngẫu nhiên gây khó khăn cho VHHTHC. Do vậy, việc áp dụng tối ưu vào vận hành thực cần phải có cách tiếp cận phù hợp.

## **1.6 Hướng tiếp cận và phương pháp giải quyết bài toán VHHTHC của Luận án**

Từ việc nghiên cứu tổng quan ở trên, tác giả đưa ra các điểm then chốt về hướng tiếp cận, giải quyết bài toán VHHTHC như sau:

- Quan điểm nghiên cứu VHHTHC phải đứng trên quan điểm mang tính hệ thống, quản lý tổng hợp;
- Bài toán VHHTHC phải được coi là bài toán động theo thời gian và không gian, trong đó có rất nhiều biến ngẫu nhiên do tác động của tự nhiên và con người (như điều kiện khí tượng thủy văn bao gồm lượng nước tự nhiên đến hồ, nhu cầu nước các ngành, yêu cầu phát điện của hệ thống, các giá trị nước v.v...);
- Không có một mô hình đơn lẻ nào có thể giải quyết trọn vẹn bài toán VHHTHC do tính phức tạp của bài toán này, nên cần phải liên kết các thuật giải để tìm ra cách vận hành hiệu quả. Sự kết hợp giữa mô phỏng và tối ưu thường được sử dụng. Mô

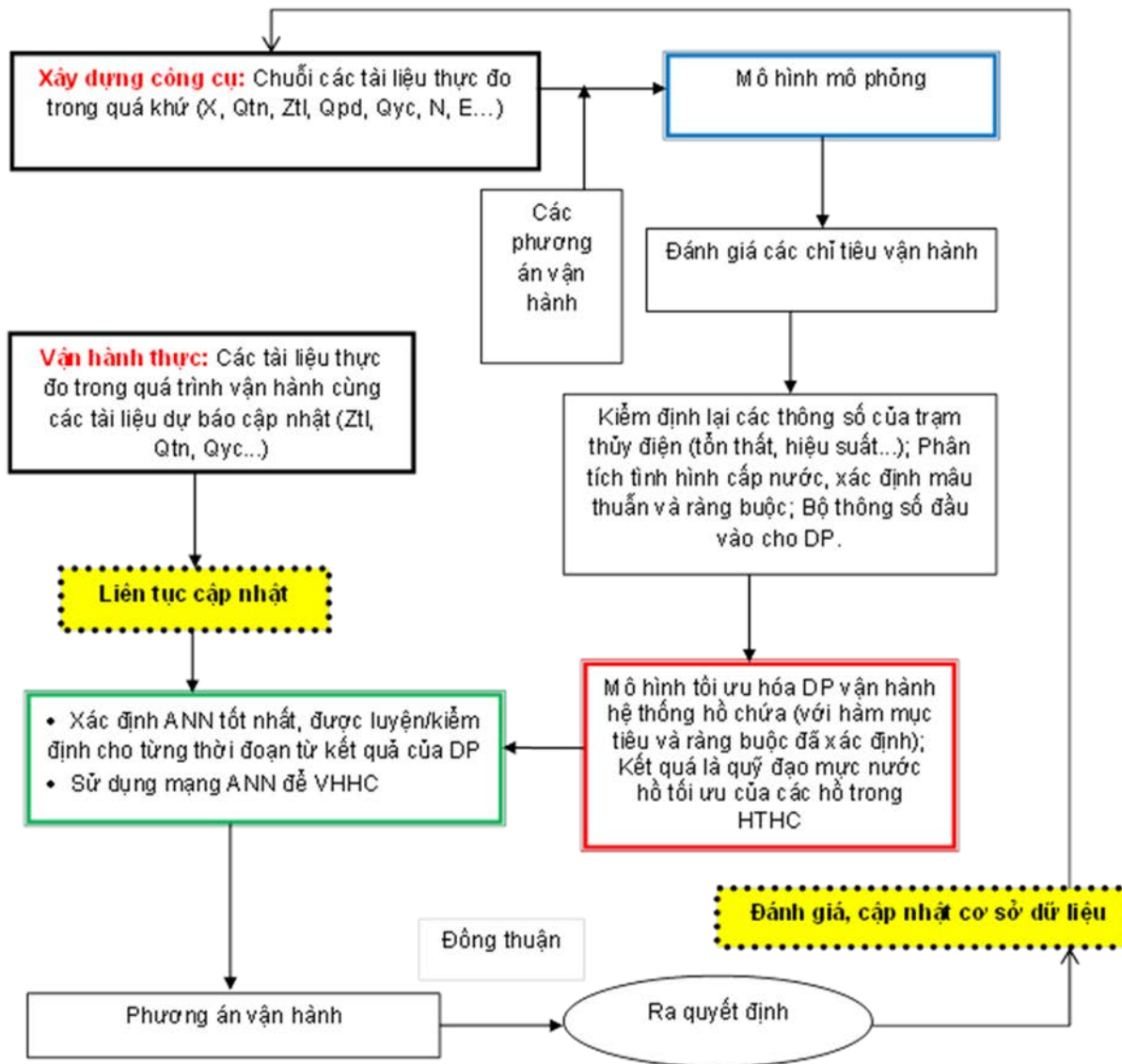
hình mô phỏng hướng đối tượng và tích hợp với phân tích không gian kết hợp mô hình tối ưu là các công cụ hữu hiệu để giải quyết mâu thuẫn nguồn nước. Mô hình quy hoạch động có thể phù hợp với bài toán vận hành hồ chứa dài hạn. Khi các biến đầu vào biến đổi ngẫu nhiên thì cần có mô hình linh hoạt và thích ứng hơn để vận hành. Do vậy, mô hình tối ưu kết hợp với nơ-ron nhân tạo ANN là công cụ hữu hiệu để giải quyết bài toán VHHTHC khi mà ANN như là một trí tuệ nhân tạo, có khả năng “nhớ - tích lũy - cập nhật” rất tốt lời giải tối ưu. Việc ứng dụng ANN trong điều khiển học hiện đại có thể được áp dụng để tạo ra giải pháp vận hành gần nhất với lời giải tối ưu được tính ra từ mô hình tối ưu.

- Với quy trình đã được ban hành của HTHC lưu vực Ba, nhu cầu nước hạ lưu và các ràng buộc vận hành đã là một cơ sở pháp lý để Luận án sử dụng phương pháp kết hợp giữa mô phỏng, tối ưu và ANN nhằm thể hiện hiệu quả nâng cao sản lượng phát điện, đồng thời thỏa mãn các nhu cầu nước hạ lưu đã được xác định trong quy trình vận hành.

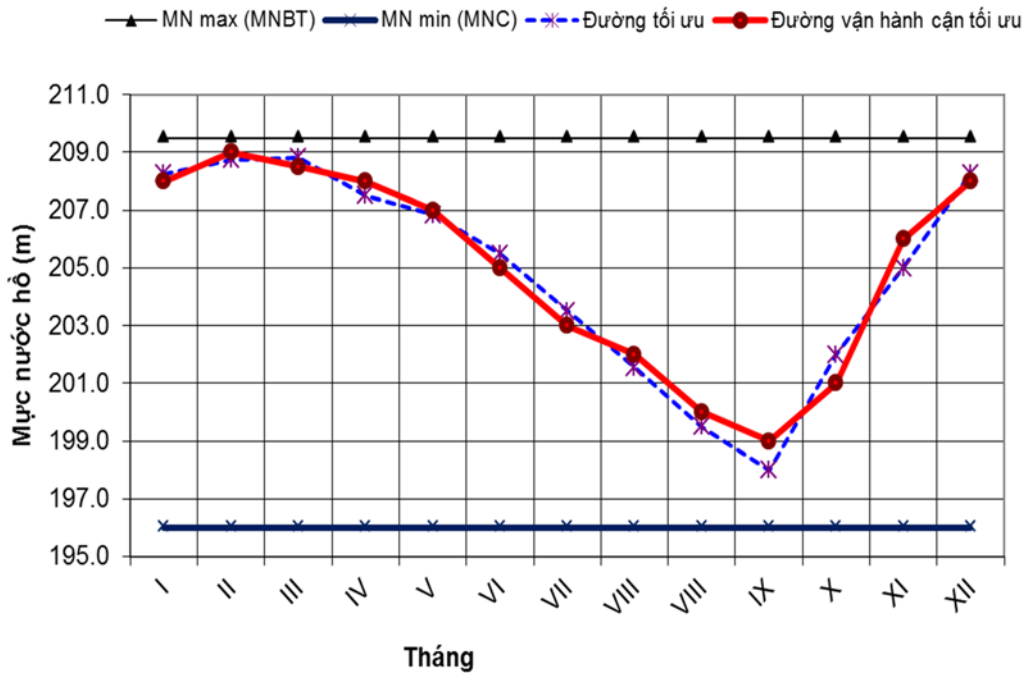
Trên cơ sở các nguyên tắc này, tác giả đề xuất phương pháp giải quyết bài toán vận hành hồ chứa theo hướng tiệm cận với tối ưu bằng việc **kết hợp các mô hình mô phỏng, DP và ANN** là công cụ hữu hiệu để đưa ra các giải pháp vận hành hợp lý.

Phương pháp luận trên được thể hiện qua sự liên kết các mô hình ở sơ đồ khối ở Hình 1.2. Trong đó việc kết hợp các mô hình: (i) mô phỏng, (ii) tối ưu DP; và (iii) ANN nhằm trợ giúp người vận hành. Với HTHC thì có hai vấn đề lớn nhất cần giải quyết đó là: (1) giải bài toán tối ưu vận hành với nhiều biến số và ràng buộc; (2) áp dụng lời giải đó vào vận hành thực tế khi mà các biến là động, biến đổi ngẫu nhiên theo thời gian. Luận án đưa ra cách tiếp cận "thích ứng" và "cận tối ưu" trong vận hành kết hợp giữa lời giải tối ưu dựa trên tài liệu trong quá khứ và ANN như là một công cụ hỗ trợ tìm trị số trạng thái mực nước hồ "tham chiếu" cuối thời đoạn trong quá trình vận hành hồ chứa hiện tại và tương lai. Mô phỏng sẽ giúp đánh giá HTHC và các yêu cầu sử dụng nước, xác định bài toán tối ưu (mục tiêu, các ràng buộc) cũng như các thông số đầu vào cho DP. Với tài liệu thủy văn và kinh nghiệm vận hành ngày càng được cập nhật và lũy tích và lưu trữ bằng công cụ toán học là mạng ANN, sẽ trợ giúp người vận hành đưa mực nước hồ đi kỳ vọng sẽ tiệm cận với con đường tối ưu được tạo ra từ DP (như

sơ họa ở Hình 1.3). Đây chính là khái niệm *phương pháp VHHTHC “cận tối ưu”* sử dụng trong Luận án.



Hình 1.2 Sơ đồ khối mô tả kết hợp các mô hình cho VHHTHC



Hình 1.3 Đường vận hành dự kiến cận tối ưu sau khi dùng kết hợp ANN-DP

## 1.6 Kết luận Chương 1

Trên thế giới đã sử dụng nhiều mô hình toán cho VHHTHC. Tuy nhiên VHHTHC vẫn còn là thách thức do đặc điểm phức tạp của vấn đề nghiên cứu nhất là tính ngẫu nhiên của VHHTHC do các yếu tố tự nhiên (dòng chảy đến, các yếu tố khí tượng thủy văn khác) và các hoạt động của con người (như cầu sử dụng nước, chủ định của người ra quyết định). Thêm nữa là VHHTHC phụ thuộc rất nhiều vào đặc tính cụ thể của HTHC và TNN lưu vực, nên không có thuật toán đơn lẻ nào là tổng quát giải quyết cho bài toán VHHTHC.

Việt Nam đã áp dụng các mô hình toán khác nhau trong VHHTHC trên các lưu vực sông, tuy nhiên vẫn còn tồn tại khoảng cách giữa tính toán trên lý thuyết và thực tế vận hành, công tác dự báo thủy văn dài hạn còn có độ chính xác thấp, xử lý số liệu và tính toán các phương án để cho ra các quyết định điều hành hợp lý không kịp thời.

Hiện nay trên lưu vực sông Ba, quy trình vận hành liên hồ trên toàn bộ các lưu vực chính đã được phê duyệt, đưa ra các quy tắc vận hành và biểu đồ điều phối. Tuy nhiên

việc vận hành mới chỉ dừng lại ở việc đưa ra các ràng buộc mực nước hoặc lưu lượng, nhằm đảm bảo an toàn công trình và cấp nước tối thiểu, mà chưa là tối ưu. Hơn nữa, cách vận hành là ở trạng thái “tĩnh”, tức là các đường chỉ dẫn vận hành trên biểu đồ điều phối vẫn cố định từ trước, thậm chí lấy từ giai đoạn thiết kế, trong khi đó các yếu tố tự nhiên và kinh tế - xã hội luôn biến đổi. Chính vì vậy cần phải có cách thức vận hành hợp lý hơn cho HTHC, nhằm nâng cao hiệu quả khai thác sử dụng nước và khắc phục những hạn chế trong VHHTHC.

Những vấn đề được trình bày trong Chương 1 chính là cơ sở và tiền đề cho nội dung của Luận án này. Vấn đề đặt ra, hướng tiếp cận và phương pháp giải quyết bài toán VHHTHC sẽ được giải quyết ở các Chương tiếp theo, trong đó chủ yếu là nghiên cứu cơ sở khoa học và thực tiễn nhằm liên kết các mô hình mô phỏng - tối ưu – trí tuệ nhân tạo cho VHHTHC, nâng cao hiệu quả vận hành, áp dụng cho HTHC trên sông Ba.



## CHƯƠNG 2      NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC VỀ NÂNG CAO HIỆU QUẢ VẬN HÀNH HỆ THỐNG HỒ CHỨA

Như cách tiếp cận và phương pháp giải quyết bài toán VHHTHC đã nêu ra ở Chương 1, việc liên kết ba mô hình: (i) *Mô phỏng sử dụng HEC-ResSim*; (ii) *Tối ưu sử dụng thuật toán Quy hoạch động (Dynamic Programming - DP)*; và (iii) *Trí tuệ nhân tạo sử dụng thuật toán mạng nơ-ron nhân tạo (ANN)* sẽ là công cụ giải quyết bài toán. Kết quả ra của mô hình này là số liệu nhập vào mô hình sau. Sau đây là giới thiệu về ba mô hình chủ đạo được liên kết nhằm giải quyết bài toán. Tác giả đã lập trình DP cùng các mô-đun phân tích số liệu, kết nối kết quả giữa các mô hình (xem Bảng 2.1).

Việc mô tả tính năng, ưu điểm của các mô hình HEC-ResSim, DP, ANN ở các phần sau đây cũng thể hiện lý do mà tác giả đã chọn các mô hình này làm mô hình tính toán cho phương án VHHTHC cận tối ưu. Đây cũng là các chương trình và thuật toán đã được ***ứng dụng rộng rãi, được kiểm chứng*** được đề cập trong nhiều nghiên cứu trên thế giới và Việt Nam đã nêu trong Chương 1. Thêm nữa, việc liên kết các phần mềm này hoàn toàn khả thi và thuận tiện với người sử dụng khi mà ***kết quả nhập vào, truy xuất ra hoàn toàn liên thông được với nhau*** trên nền tảng MS-Excel. Đây là một tiêu chí quan trọng vì người vận hành luôn cần một công cụ thân thiện với người dùng, vào ra số liệu đơn giản thuận tiện, có thể hiển thị trực quan hiệu quả của phương án vận hành, từ đó đánh giá và ra quyết định kịp thời trong thực tế vận hành.

### 2.1      **Mô hình mô phỏng hệ thống hồ chứa HEC-ResSim**

Trung tâm Kỹ thuật thủy văn (CEIWR-HEC) được thành lập vào năm 1964 với chuyên môn là kỹ thuật thủy văn. Các kỹ sư của HEC đã cùng nhau xây dựng và phát triển bộ phần mềm nổi tiếng CEIWR-HEC. Những phiên bản đầu tiên của bộ phần mềm này là HEC-1 (thủy văn lưu vực sông), HEC-2 (thủy lực sông), HEC-3 (phân tích hồ chứa để bảo tồn), HEC-4 (chương trình tạo dòng chảy ngẫu nhiên). Trong suốt những năm sau đó, bộ phần mềm liên tục được cập nhật và bổ xung thêm các tính năng mới.

Trong những năm qua, CEIWR-HEC đã phát triển và xuất bản một số mô hình kỹ thuật số giải quyết đầy đủ các kỹ thuật thủy lực và công nghệ phân tích hệ thống. Bộ

phần mềm đã phát triển đến hơn hai mươi phần mềm được hỗ trợ bởi một thư viện phần mềm tiện ích, bổ sung gần đây bao gồm hỗ trợ GIS. CEIWR-HEC được biết đến nhiều nhất cho các chương trình kỹ thuật thủy văn nổi tiếng trong nước và quốc tế.

Phần mềm HEC-ResSim được phát triển bởi từ năm 1996 đến nay đã nâng cấp nhiều phiên bản cải tiến hơn. Mô hình gồm giao diện sử dụng, chương trình mô phỏng máy tính, quản lý dữ liệu, truy xuất kết quả ra bảng và đồ thị. Nhiều lựa chọn cho việc truyền lũ và kể đến các quy trình vận hành. Mô hình mô phỏng cho hệ thống hồ đa mục tiêu đặc biệt là cho vận hành chống lũ. Đây là phần mềm uy tín, linh hoạt và tin cậy, liên tục được nâng cấp, có thể ứng dụng trong việc nghiên cứu học thuật và ứng dụng vào thực tế.

### ***2.1.1 Tính năng của chương trình***

Chương trình được xây dựng để đánh giá vai trò của hồ chứa trong hệ thống nhằm trợ giúp nghiên cứu quy hoạch nguồn nước, đặc biệt trong vai trò kiểm soát lũ và xác định dung tích hiệu dụng trong bài toán đa mục tiêu của hệ thống.

Chương trình có hệ thống giao diện đồ họa tiện ích, dễ sử dụng và rất thích hợp cho nghiên cứu mô phỏng hệ thống điều hành và kiểm soát lũ bằng hồ chứa đơn và hệ thống hồ chứa nối tiếp hoặc song song.

### ***2.1.2 Cấu trúc mô hình***

HEC-ResSim giới thiệu một chương trình tính toán mô phỏng điều hành hệ thống hồ chứa. Bao gồm các công cụ: mô phỏng, tính toán, lưu trữ số liệu, quản lý, đồ họa và báo cáo hệ thống nguồn nước. HEC dùng phần mềm hỗ trợ HEC-DSS (Data Storage System) để lưu trữ và sửa đổi các hệ thống số liệu vào ra. HEC-ResSim là phần kế tiếp của HEC-5 (mô phỏng các hệ thống ngăn chặn và kiểm soát lũ) bao gồm 3 mô-đun: thiết lập lưu vực (Watershed setup), mạng lưới hồ (Reservoir Network) và mô phỏng (Simulation). Mỗi một mô-đun có một mục đích riêng và tập hợp các công việc thực hiện qua bảng chọn (menu, toolbar) và biểu đồ.

Bảng 2.1 Mô tả các bước liên kết các mô hình giải quyết bài toán VHHTHC

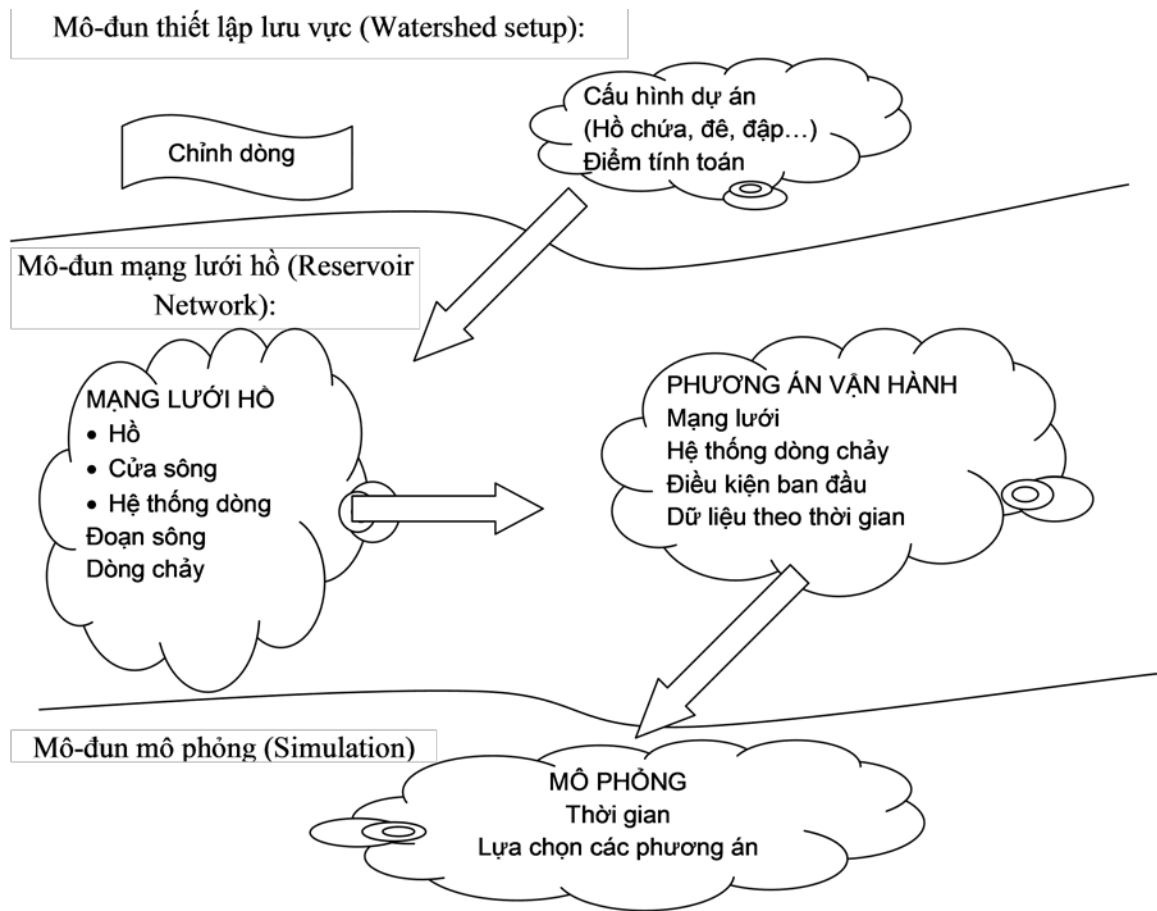
TT	Bước tính toán	Mô hình sử dụng	Kết quả mô hình	Phần mềm liên kết tác giả tự lập trình bằng ngôn ngữ VBA
1	Kiểm định lại các thông số của trạm thủy điện (tổn thất lưu lượng, cột nước, hiệu suất...); Phân tích tình hình cấp nước, ảnh hưởng của các ràng buộc dòng chảy tối thiểu hạ lưu, biến đổi khí hậu đến tình hình sử dụng nước lưu vực. Xác định mâu thuẫn, mục tiêu và ràng buộc	Mô phỏng VHHTHC có sẵn: HEC-ResSim,	Các thông số hệ thống (lưu lượng đến các hồ, mực nước hồ); Các chỉ tiêu vận hành của HTHC; Xác định mục tiêu và ràng buộc chính của VHHTHC	Mô đun 1 (ROP-AN1): Xử lý số liệu từ HEC-ResSim. Đánh giá các chỉ tiêu cấp nước của hệ thống
2	Thiết lập bài toán tối ưu cho hệ thống hồ chứa	Lập trình tối ưu DP cho HTHC	Lời giải tối ưu là các trạng thái - biến quyết định - giá trị hàm mục tiêu (như mực nước, lưu lượng, sản lượng phát điện) của tất cả các thành phần HTHC	Phần mềm ROP (Reservoir Operation Policy), dùng thuật toán DDDP Mô đun 2 (ROP-AN2): xử lý kết quả từ DP và đưa vào ANN
3	3a) Thiết lập mạng ANN từ lời giải tối ưu ANN-DP. Luyện (training) và kiểm định (verification) cho các mạng ANN. 3b) Kết quả chọn được mạng ANN phù hợp và đề xuất áp dụng cho VHHTHC trong thực tế.	Liên kết ANN-DP	Mạng ANN được luyện và kiểm định trên kết quả từ DP Chọn ra mạng ANN tốt nhất để áp dụng cho vận hành thực tế	Mô đun tích hợp trong ROP để xử lý kết quả từ ANN, đánh giá và sử dụng.

+ **Mô-đun thiết lập lưu vực (Watershed setup)**: Cung cấp một khung cơ sở chung để thiết lập và định nghĩa lưu vực nghiên cứu cho các ứng dụng khác nhau. Một lưu vực bao gồm hệ thống sông suối, các công trình thủy lợi (hồ chứa, đập chắn, dẫn dòng), vùng ảnh hưởng ngập lụt, v.v.. và hệ thống các trạm quan trắc đo đạc thủy văn, khí tượng. Trong mô-đun này khi tổng hợp các hạng mục thì phải mô tả được tính chất vật lý của lưu vực. Ta có thể nhập các bản đồ từ ngoài vào để thiết lập một lưu vực mới. Xác định đơn vị, các lớp bao gồm các thông tin chung về lưu vực, liên kết giữa các sông và các thành phần định hình.

+ **Mô-đun mạng lưới hồ (Reservoir Network)**: Xây dựng sơ đồ mạng lưới sông, mô tả các thành phần vật lý, điều hành của hồ chứa và các phương án lựa chọn cần phân tích trong mô-đun này. Dựa vào các định hình mô tả ở mô-đun trên để tạo cơ sở cho một hệ thống hồ chứa hoàn chỉnh. Các tuyến sông và các mạng lưới hệ thống công trình có thể được đưa thêm vào và hoàn thành các mối liên hệ trong mạng lưới đang tính toán. Khi hoàn thành xác định mạng lưới, các số liệu mô tả vật lý hệ thống công trình và phương án điều hành thì các lựa chọn phương án chạy cho bài toán bao gồm: định hình hệ thống, xác định mạng lưới hồ, tập hợp các phương án điều hành, điều kiện ban đầu và số liệu đầu vào của bài toán.

+ **Mô-đun mô phỏng (Simulation)**: Phần tính toán và hiển thị kết quả được thực hiện trong mô-đun này. Trước hết phải tạo ra một cửa sổ thời gian mô phỏng, thời đoạn tính toán và sau đó các thành phần lựa chọn sẽ được phân tích. Ta cũng có thể lựa chọn các phương án, nhập và sửa số liệu, các đặc tính của các thành phần tham gia trong hệ thống. Khi mô phỏng được thực hiện qua việc tính toán và phân tích kết quả sử dụng đồ họa và bảng biểu.

Thuật toán của HEC-ResSim dựa trên các phương trình cân bằng nước, phương trình thủy lực chảy truyền trên các đoạn sông, các lựa chọn của người dùng, từ đó dùng các phép lặp thử dần để tính ra các thông số thể hiện trạng thái của hệ thống tại các nút tính toán cho từng thời đoạn. Việc phối hợp phân bổ cấp nước cho hạ lưu từ hai hồ chứa có thể là tự động (ẩn), hoặc tùy chọn theo tỷ lệ dung tích (hiện). Chi tiết thuật toán và công thức ở Hướng dẫn sử dụng của phần mềm (User's manual). Cấu trúc mô hình xem Hình 2.1.



Hình 2.1 Các mô-đun của phần mềm HEC-ResSim

### 2.1.3 Quy tắc vận hành và các Bối cảnh vận hành

- Chương trình cho phép tạo ra các Quy tắc vận hành (rule) cho các vùng khác nhau của Biểu đồ điều phối. Các quy tắc này có thể thay đổi theo thứ tự ưu tiên (priority) bằng cách thay đổi thứ tự xếp các quy tắc vận hành trên biểu đồ điều phối. Chức năng này rất có tác dụng khi tạo ra các tổ hợp ưu tiên cho các ngành dùng nước trong lưu vực với nguồn nước thường sử dụng đa mục tiêu.
- Chương trình cho phép tạo ra những phương án vận hành khác nhau. Một phương án (Alternative) bao gồm một tập hợp mạng lưới hồ chứa, một bộ quy tắc vận hành được thiết lập cho từng hồ chứa trong hệ thống,
- Chương trình cho phép mô phỏng cho bất kỳ khoảng và bước thời gian nào cho tất cả các phương án vận hành được thiết lập cho từng hồ chứa trong hệ thống.

#### **2.1.4 Các chỉ tiêu đánh giá khả năng phát điện, cấp nước**

Khả năng phát điện hay cấp nước được thể hiện ở các chỉ tiêu đáp ứng (hoặc thiếu hụt) so với nhu cầu và được đề cập đến trong nhiều giáo trình hay nghiên cứu như Larry và Tung (1992) [94]; Ray và nnk (1992) [95]; Labadie (2004) [96]. Các chỉ tiêu đó được sử dụng đánh giá tổng cộng cho toàn bộ HTHC và các hồ chứa, đi kèm cấp nước thành phần, được lựa chọn như sau:

##### **Chỉ tiêu tuyệt đối.**

- Thủy điện: Điện lượng thu được so với lượng điện lượng đảm bảo yêu cầu. Sai khác (tuyệt đối và tỷ lệ).
- Cấp nước tưới, sinh hoạt, môi trường: Lượng nước cấp so với lượng nước yêu cầu. Sai khác (tuyệt đối và tỷ lệ).

##### **Chỉ tiêu tương đối.**

a) Độ tin cậy ( $\alpha$ ) đại diện cho các biến xác suất trong bộ đạt yêu cầu, độ tin cậy của nguồn cung cấp nước cho các mục đích như tưới và sinh hoạt được tính bằng:

$$\alpha = \frac{T_1}{T} \cdot 100\% \quad (2-1)$$

Trong đó:  $T_1$ : Số thời gian (ngày) cấp nước đáp ứng nhu cầu,  $T$  tổng số thời đoạn tính toán (ngày).

Với các yêu cầu cấp nước, mức bảo đảm có thể chưa thể hiện đầy đủ mức độ thiếu nước. Ví dụ: thiếu liên tiếp có thể nguy hiểm hơn thiếu xen kẽ; hoặc thiếu rất lớn tại thời điểm nào đó cũng bất lợi. Do vậy, ngoài ra, còn có thể đưa ra thêm các chỉ tiêu sau:

b) Thời gian thiếu hụt lớn nhất ( $\beta$ )

$$\beta = \frac{DT}{T}$$

Trong đó:  $DT$  là số thời gian dài nhất liên tiếp mà lượng nước cấp không đủ đáp ứng yêu cầu,  $T$  là tổng số thời gian tính toán

Thời gian trung bình của độ thiếu hụt liên tiếp (DT<sub>i</sub>) được chia cho tổng số thiếu hụt liên tiếp (T<sub>cd</sub>), tức là:

$$\beta = \frac{1}{T_{cd}} \sum_{i=1}^{T_{cd}} DT_i \quad (2-2)$$

c) Độ thiếu hụt lớn nhất ( $\gamma$ )

Chỉ số này xem xét mức độ thiếu hụt trung bình tương đối (DW) so với yêu cầu cấp nước (TW) trên tổng thời gian thiếu hụt (T<sub>d</sub>)

$$\gamma = \frac{1}{T_d} \sum_{i=1}^{T_d} \frac{DW_i}{TW_i} DT_i \quad (2-3)$$

### **2.1.5 Kết quả đầu ra của mô hình HEC-ResSim và kết nối với DP**

Sau khi đưa ra các phương án và bối cảnh vận hành thì chương trình sẽ đưa ra kết quả là các thông số hệ thống như lưu lượng đến, mực nước hồ chứa, lưu lượng qua nhà máy và công trình xả, công suất và điện lượng tại tất cả các thành phần HTHC và các nút tính toán của hệ thống. Các kết quả này được xuất ra Excel từ phần mềm hỗ trợ HEC-DSSVue;

Trên cơ sở đó, tác giả lập trình VBA cho phần mềm Mô đun 1 (ROP-AN1) nhằm:

- Đánh giá các chỉ tiêu hệ thống, thể hiện xung đột giữa các nhu cầu nước của HTHC, từ đó xác định mục tiêu chính của VHHTHC.
- Đồng thời cũng tạo ra bộ số liệu thông số hệ thống chuẩn (các điều kiện biên như lưu lượng hạ lưu các hồ, lưu lượng khu giữa, tổn thất nước trên các hồ chứa và khu tưới). Kết quả mực nước hồ chứa đầu ra của mô hình HEC-ResSim là các vùng khả nghiệm phục vụ cho việc xác định chọn lựa phạm vi biến đổi mực nước hồ chứa ban đầu cho bài toán tối ưu DP.

Mã code của phần mềm được nêu ở phần Phụ lục 1.

## **2.2 Mô hình tối ưu DP**

### **2.2.1 Các khái niệm cơ bản**

Như đã đề cập ở trên, bài toán VHHTHC có thể chia thành các quá trình quyết định liên hệ nối tiếp nhau (Hình 2.2). Các khái niệm cơ bản gồm:

1. **Giai đoạn (t):** là các thời đoạn mà các quyết định phải được đưa ra. Như vậy nếu bài toán ra quyết định có thể phân chia thành N bài toán con, thì sẽ là bài toán DP cho N thời đoạn. Trong bài toán VHHTHC thì giai đoạn đây là các thời đoạn như tháng, 10 ngày, tuần, ngày.
2. **Biến quyết định ( $Q_t$ ):** là tập hợp các hành động thực hiện trong mỗi thời đoạn. Số biến quyết định trong mỗi thời đoạn không nhất thiết là chỉ có một. Với VHHTHC thì biến quyết định được chọn là lưu lượng Q (có thể là lưu lượng phát điện qua tua bin, lưu lượng cấp cho khu tưới...);
3. **Biến trạng thái ( $V_t$ ):** là biến mô tả trạng thái của hệ thống tại mỗi thời đoạn n. Biến này có thể là rời rạc hoặc liên tục, hữu hạn hay vô hạn. Các biến trạng thái này trong chương trình DP sẽ là hàm số liên quan đến các trạng thái sau. Do đó, khi mà mỗi giai đoạn được tối ưu riêng rẽ thì quyết định đưa ra sẽ tự động là khả thi cho toàn bộ bài toán. Thêm nữa, nó cho phép đưa ra quyết định tối ưu cho các thời đoạn còn lại mà không phải kiểm tra lại ảnh hưởng của các quyết định sau này lên các quyết định trước đây đã làm. Với VHHTHC thì biến trạng thái được chọn là mực nước (hay dung tích) hồ sẽ cho kết quả tính toán hội tụ nhanh và là thông số đặc trưng, trực quan của hồ chứa.
4. **Hàm giá (fn):** là thước đo hiệu quả của việc ra quyết định ở mỗi thời đoạn. Hàm này sẽ phụ thuộc vào các biến như trạng thái đầu, trạng thái cuối, biến quyết định trong một thời đoạn cụ thể. Nghĩa là:  $f_t = f(V_t, V_{t+1}, Q_t)$ . Hàm giá này có thể là lợi ích lớn nhất, hoặc chi phí hay thiếu hụt nước là nhỏ nhất.
5. **Hàm chuyển trạng thái (St):** là hàm biến đổi giá trị biểu thị mối quan hệ giữa trạng thái đầu, trạng thái cuối, biến quyết định. Trạng thái cuối có thể được biểu thị là hàm của trạng thái đầu và biến quyết định, tức là:  $V_{t+1} = S_t(V_t, Q_t)$ .

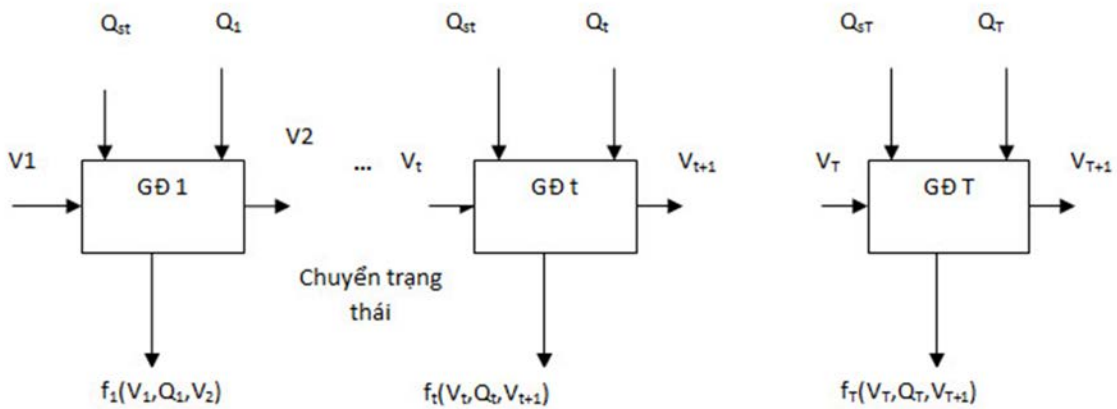
### 2.2.2 Thuật toán DDDP

Đặc điểm của bài toán DP là:

1. Bài toán được chia thành nhiều thời đoạn với các biến quyết định tại mỗi thời đoạn;



2. Mỗi thời đoạn có một số trạng thái mực nước hồ;



$Q_{st}$  = lưu lượng đến;  $Q_t$  = lưu lượng phát điện;  $f_t$  = hàm giá cho mỗi giai đoạn

Hình 2.2 Quá trình ra quyết định theo trình tự của DP

3. Hệ quả của quyết định tại mỗi thời đoạn là tạo ra một giá trị, trên cơ sở hàm giá và chuyển từ trạng thái hiện tại sang trạng thái kế tiếp thông qua hàm chuyển trạng thái;
4. Với mỗi trạng thái hiện tại, thì lời giải tối ưu cho các giai đoạn kế tiếp sẽ là độc lập với lời giải đạt được ở giai đoạn trước. Đây là nguyên lý cơ bản của tối ưu Bellman;
5. Lời giải bắt đầu bằng việc tìm các biến quyết định cho mỗi trạng thái có thể ở thời đoạn cuối cùng (quét ngược, từ thời đoạn  $t=N$  về đến 1) hoặc ở thời đoạn ban đầu (quét xuôi, từ thời đoạn  $t=1$  đến  $N$ )

Phương trình quét xuôi là:

$$F_{t+1}^*(V_{t+1}) = \text{Max (hoặc Min)}_{Q_t} \{F_t^*(V_t) + f_t(V_t, Q_t)\} \quad (2-4)$$

Trong đó  $F_{t+1}^*$  sẽ là giá trị lớn nhất (nhỏ nhất) lũy tích của chuỗi giá trị tại trạng thái  $V$  tương ứng tính đến thời điểm  $t+1$ .

Như vậy cách giải tổng quát của DP chính là chia nhỏ ra nhiều thời đoạn, nhiều trạng thái rời rạc. Từ đó tìm ra chuỗi các quyết định tối ưu sao cho đạt được giá trị lũy tích lớn nhất. Việc chia càng nhỏ thì lời giải càng chính xác với giá trị tối ưu toàn cục.

Ưu điểm của DP rất thích hợp cho bài toán VHHTHC do: (1) Bài toán VHHTHC ra quyết định cho từng giai đoạn kế tiếp nhau khi mà dung tích là biến trạng thái và dòng chảy là biến quyết định; (2) DP cho phép giải quyết bài toán phi tuyến (3) Hiệu quả khi mà số ràng buộc tăng lên vì số lần lặp sẽ giảm đi.

Mặc dù DP là thuật toán hữu dụng cho các quyết định có thể chia tách thành từng giai đoạn theo trình tự nhưng nó lại có khối lượng tính toán lớn để tìm ra kết quả tối ưu trong nhiều phương án tổ hợp. Đặc biệt là khi tính toán cho hệ thống hồ chứa thì đòi hỏi tính toán nhiều cho tổ hợp các biến quyết định và trạng thái khác nhau. Do vậy, có nhiều cải tiến và thủ thuật toán để khắc phục khó khăn này, giảm khối lượng tính toán tìm cực trị nhanh chóng. Các thuật toán này nhằm chia nhỏ hệ thống hoặc sử dụng phương pháp tính lặp dần. Các phương pháp này gồm có: DP mở rộng dần hay DP trong các miền khả thi (Discrete Differential DP - DDDP), DP vi phân từng đoạn, DP mở rộng xấp xỉ dần, DP ràng buộc ngẫu nhiên, hoặc cách tiếp cận DP phân tách và tổ hợp.

Phương pháp DDDP chỉ tính toán kiểm tra cho một phần vùng trạng thái - thời đoạn, tùy vào các ràng buộc giới hạn các biến trạng thái và biến quyết định chỉ thuộc một vùng khả nghiệm nào đó. Các bước tính như sau:

- Xác định vùng khả nghiệm có thể chấp nhận được;
- Chia vùng khả nghiệm ra làm K trạng thái với bước là  $\Delta V$  (hoặc  $\Delta Z$ );
- Giả thiết một đường tính thử bất kỳ trong vùng đó. Như vậy hai đường liền kề trên và dưới của đường thử này tạo nên “hành lang” (Hình 2.3). Các đường thử sẽ tạo nên các mạng lưới. Các biến quyết định sẽ được tính gián tiếp khi mà trạng thái các nút mạng đã biết;

- Tiến hành quá trình lặp là: (i) hình thành hàng lang khả biến tối ưu; (2) tối ưu với các trạng thái trong hàng lang; (3) so sánh và cải tiến hàng lang để sao cho hàm mục tiêu tốt hơn nữa, từ đó tìm ra cực trị cho toàn vùng.
- Để tăng độ chính xác thì sau mỗi lần tìm được cực trị trong vùng đó, thì lại tiến hành chia nhỏ biến trạng thái đến khi nào mà hàm mục tiêu của lần lặp sau hội tụ. Công thức kiểm tra việc dừng tính lặp là:

$$\frac{|F_k^* - F_{k-1}^*|}{F_{k-1}^*} \leq c_k \quad (2-5)$$

Trong đó: F là giá trị hàm mục tiêu của phép lặp;  $c_k$ : điều kiện hội tụ bằng sai số nào đó sau phép lặp; k: thứ tự vòng lặp.

Các yếu tố chính ảnh hưởng đến lời giải của bài toán DDDP là:

- Số các mắt lưới;
- Lựa chọn mức chia trạng thái ban đầu  $\Delta V_{bđ}$ , theo đó tạo ra số điểm lưới, quyết định nên chiều rộng hàng lang;
- Chọn đường đi ban đầu để tạo nên hàng lang tìm kiếm thử ban đầu;
- Mức độ giảm của độ chia biến trạng thái  $\Delta V$  quyết định chiều rộng hàng lang tìm kiếm trong các giai đoạn lặp sau này;

Việc chọn đường đi ban đầu và hàng lang ban đầu là phụ thuộc kết nối với nhau. Kích cỡ mắt lưới có thể ảnh hưởng đến việc lâu hội tụ, hoặc hội tụ vào cực trị địa phương. Do vậy nên chọn mức chia lớn trước, rồi tăng tốc độ giảm khoảng chia đi có thể là làm giảm được khối lượng tính toán. Tuy nhiên việc các khoảng chia ban đầu quá lớn thì sẽ làm lãng phí cho tính toán ở miền xa điểm cực trị.

Ưu điểm nổi trội của DDDP đó là việc giảm đáng kể khối lượng tính toán và tăng độ hội tụ, tăng độ chính xác do:

- Nếu ta có M hồ chứa, mỗi thời đoạn có K trạng thái, tính toán cho tổng số là N thời đoạn. Thì theo truyền thống sẽ phải chia lưới nhỏ ra để tìm cực trị cho toàn miền từ MNDBT đến MNC. Số lượng phép thử (số đoạn đường đi) sẽ phải là tổ

hợp lũy thừa của ba chỉ số trên. Việc này rất lãng phí khi mà nghiệm lớn nhất cho điện lượng lớn nhất thường có quy luật là hồ luôn duy trì mực nước cao đầu mùa cấp tận dụng cột nước (H) và xuống mực nước thấp trước lũ để tăng dung tích trữ (Vtrữ) từ đó tăng H và tuân thủ những ràng buộc nhất định. Như vậy nếu xác định được vùng dự kiến vận hành thì khối lượng tìm kiếm tối ưu, cũng như độ chính xác bằng DP sẽ được cải thiện tuyệt vời (xem Hình 2.4).

- Theo DDDP thì việc chia lưới thưa trước và khoảng chia chỉ giảm nhỏ đi sang lần lặp kế tiếp khi mà hàm mục tiêu được cải thiện tốt hơn. Điều này cho phép hành lang tiếp tục di động để tìm kiếm điểm cực trị trong lần lặp đó. Như vậy là hành lang sẽ tự động ưu tiên đi kiếm cực trị cho các hồ chứa mà biến quyết định ảnh hưởng lớn hơn các hồ có tỷ trọng nhỏ trong hệ thống.
- Đối với bài toán kỹ thuật, khi mà các ràng buộc vật lý của hệ thống là không thể vi phạm được, kèm theo đó là các ràng buộc khác về nhu cầu dùng nước, mực nước tối thiểu đảm bảo lưu lượng cần xả xuống hạ lưu trong mùa cạn, nhu cầu phát điện tối thiểu (tối đa) thì việc định trước hành lang chứa nghiệm cực trị toàn cục (trong vùng nghiệm đã thỏa mãn các ràng buộc trên) là khả thi và thực tế. Điều này có được từ việc kế thừa kết quả tính toán từ mô hình mô phỏng, hoặc kinh nghiệm vận hành. Bên cạnh đó thì VHHTHC cần thỏa mãn nhiều ràng buộc liên quan đến an toàn hồ chứa, khả năng qua nước của tua bin, của công trình, công suất yêu cầu của hệ thống v.v... Do vậy, chọn phương pháp DDDP tính cho HTHC là phù hợp.

Thuật toán DDDP này được đề cập và công bố trong các sách của các học giả nổi tiếng như Larry W. May và Yeou-Koung Tung (1992) [94]; Ray K Linsley và nnk (1992) [95]; Branislav Djordjevic (1993) [97]; Labadie, J.W. (2004) [96].

### **2.2.3 Lập trình bài toán quy hoạch động cho HTHC thủy điện**

Mô hình và việc tính toán được tác giả thực hiện trên lập trình ngôn ngữ VBA, tác giả đặt tên chương trình là ROP (Reservoir Operation Policy), số liệu vào và kết quả được truy xuất dưới dạng bảng trong MS-Excel. Thuật toán sử dụng là Quy hoạch động với biến trạng thái (biến quyết định) là mực nước hồ chứa và sử dụng thuật toán DDDP.

Với vùng có khả năng có nghiệm tối ưu được xác định từ trước, kế thừa từ mô hình HEC-ResSim.

### **Hàm mục tiêu:**

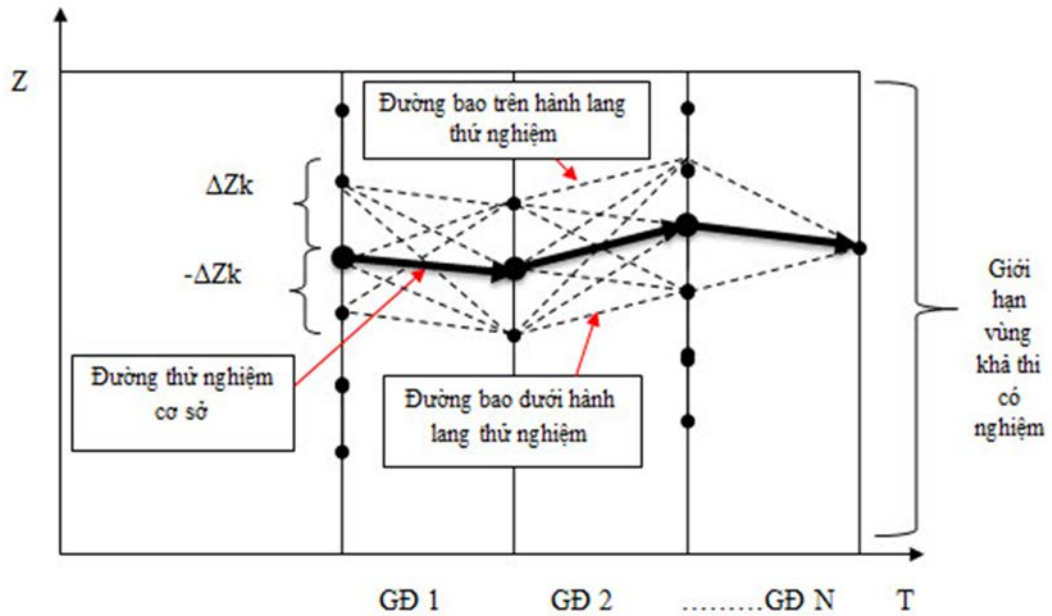
Đối với VHHTHC thì các hàm mục tiêu sau có thể được sử dụng:

- Điện lượng phát ra (điện lượng năm hoặc mùa kiệt) của HTHC là lớn nhất;
- Doanh thu (phát điện, cấp nước...) là lớn nhất;
- Chi phí nhiên liệu của hệ thống điện nhỏ nhất;
- Thiếu hụt nước cấp so với nhu cầu (hoặc phát điện so với yêu cầu phụ tải) là ít nhất;

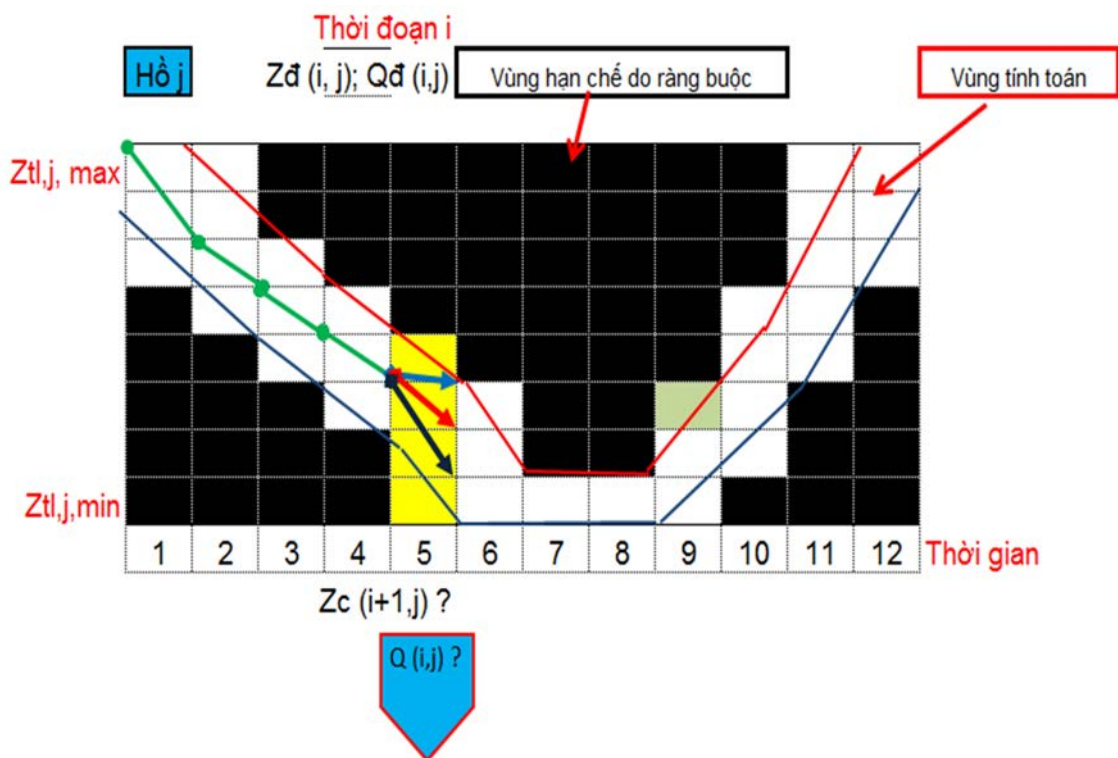
Đứng trên quan điểm hệ thống điện thì mục tiêu điện lượng lớn nhất, hoặc doanh thu lớn nhất, hoặc chi phí nhiên liệu nhỏ nhất là khác nhau do đơn giá điện hay chi phí nhiên liệu phụ thuộc vào cân bằng hệ thống và sự tham gia của các nhà máy điện trong hệ thống tại các thời điểm là khác nhau. Ví dụ, hiện nay quy định giá điện cao điểm, thấp điểm, trung bình điểm là rất khác nhau, Đặc biệt là trong thị trường điện cạnh tranh thì giá điện (hay giá trị của nước cho phát điện) luôn thay đổi theo thị trường. Phân tích sau đây sẽ nêu lý do vì sao Luận án chọn mục tiêu điện lượng lớn nhất làm hàm mục tiêu cho bài toán tối ưu VHHTHC.

Thủy điện là có thể coi là nguồn điện rẻ, tái tạo và sạch do không tiêu tốn nhiên liệu hóa thạch. Do vậy, các quốc gia nhất là các nước đang phát triển như ở Việt Nam đều ưu tiên tối đa phát triển thủy điện. Do vậy, hàm mục tiêu của VHHTHC hệ thống hồ chứa thủy điện là tận dụng tối đa nguồn nước để phát điện, đem lại hiệu quả kinh tế cao nhất trên cơ sở đáp ứng các yêu cầu dùng nước tối thiểu khác.

Với hệ thống điện hiện nay thì tỷ trọng thủy điện chỉ còn 38% trong tổng số gần 40.000MW công suất lắp đặt. Theo Quy hoạch điện 7 sửa đổi (Quyết định 428/QĐ-TTg ngày 18/6/2016), thì trong tương lai chỉ còn 21,1% (2025) và 16,9% (2030). Thêm nữa là từ 2015, do nhu cầu điện vẫn tăng cao nên Việt Nam cần nhập khẩu than và sau 2020 phải nhập khí kể cả khí hóa lỏng (LNG) để đáp ứng công suất lắp máy là



Hình 2.3 Lưới chia các giai đoạn và trạng thái của bài toán DP theo phương pháp DDDP



Hình 2.4 Phạm vi biến đổi của mực nước hồ sử dụng DDDP

96.500MW (49% than, 15,6% khí năm 2025); và công suất lắp 129.500MW (42,6% than, 19,1% khí năm 2030). Để đáp ứng được công suất đó thì Việt Nam phải nhập con số khổng lồ khoảng 80 triệu tấn than năm 2025 và 135 triệu tấn năm 2030. Việc phát triển năng lượng tái tạo khó khăn do quy mô công suất nhỏ và giá thành vẫn cao. Giá khí và LNG còn cao hơn nữa. Như vậy, trong tương lai gần, Việt Nam sẽ phụ thuộc vào nhiên liệu nhập khẩu, làm cho giá điện sẽ tăng cao. Hiện nay, năm 2016 Việt Nam đã nhập trên 10 triệu tấn than và mới trong 5 tháng đầu năm 2017, Việt Nam đã phải nhập khẩu gần 6 triệu tấn than, nhưng giá đã tăng gần 58% so với trước.

Theo lộ trình thực hiện thị trường điện cạnh tranh thì các nhà máy điện có công suất lớn hơn 30MW phải tham gia thị trường điện. Hiện nay đang là thị trường bán buôn thí điểm, đến 2021 thì dự kiến sẽ là thị trường bản lẻ cạnh tranh và năm 2023 sẽ có thị trường hoàn chỉnh. Như vậy nhà máy điện nào có giá phát điện rẻ sẽ được huy động nhiều nhất. Với việc phụ thuộc vào nhiên liệu nhập khẩu thì chắc chắn rằng giá điện sẽ có biến động theo thị trường thế giới và xu thế tăng cao do nhiên liệu ngày càng cạn kiệt và các quốc gia xuất khẩu thì hạn chế. Theo khung giá phát điện cho năm 2017 (Ban hành kèm theo Quyết định số 5107/QĐ-BCT ngày 29 tháng 12 năm 2016) thì giá trần nhiệt điện than là 1568 đồng/kWh (khoảng 7,1 cent) cao hơn nhiều so với giá thủy điện là 1070 đồng/kWh (khoảng 4,8 cent). Đối với năng lượng tái tạo (sinh khối, mặt trời) thì cao hơn nhiều. Năng lượng mặt trời hiện nay là 9.35 cent/kWh (Theo Quyết định số 11/2017/QĐ-TTg về cơ chế khuyến khích phát triển dự án điện mặt trời của Thủ tướng Chính phủ ngày 11/4/2017).

Đối với HTHC trên sông Ba mà Luận án dự kiến khảo sát, tính thử nghiệm có tổng công suất là 530MW, có tỷ trọng rất nhỏ (1,3% so với tổng công suất hệ thống hiện nay là 40.000MW và đến năm 2025 chỉ còn 0,5% so với 96.500MW năm 2025). Khả năng tham gia phủ đỉnh hệ thống thấp. Nên việc phát điện tối đa nguồn thủy năng rẻ này là hợp lý bằng cách chọn mục tiêu điện năng lớn nhất.

Do vậy, trong Luận án này giới hạn ở việc đi sâu vào tính toán thuật toán và liên kết các mô hình toán VHHTHC, chưa đủ thời gian xét đến vận hành cả hệ thống điện nên với việc phân tích trên thì chọn hàm mục tiêu điện năng lớn nhất sẽ phù hợp. Trong

tương lai, khi mà thị trường ổn định thì việc đưa các ràng buộc hệ thống (nếu có) hoặc hàm giá điện vào bài toán tối ưu Luận án đang xác lập vẫn hoàn toàn thực hiện được.

Vậy hàm mục tiêu của HTHC theo tiêu chuẩn điện lượng tổng cộng HTHC lớn nhất được chọn (với mỗi bước thời đoạn không đổi  $\Delta T = \text{const}$ ) sẽ là:

$$\sum E_{t+1}^* (V_{t+1}) = \text{Max}_{Q_t} \{ \sum E_t^* (V_t) + E_t(V_t, Q_t) \} \quad (2-6)$$

Đối với hệ thống hồ chứa thì  $V_t$  và  $Q_t$  phải hiểu là tập hợp các biến trạng thái  $V(i,j)$  và biến quyết định  $Q(i,j)$ ;  $i=1$  đến  $N$  là số thời đoạn;  $j=1$  đến  $M$  là số hồ.

Với mục đích lập bài toán và áp dụng cụ thể cho HTHC thủy điện là chính nên mục tiêu cấp nước hạ lưu, lợi dụng tổng hợp (tưới, sinh hoạt và công nghiệp, môi trường v.v...) được chuyển thành các ràng buộc. Mặc dù vậy, Luận án cũng đưa ra các chỉ tiêu đánh giá VHHTHC cho các yêu cầu cấp nước này để có thể đánh giá được hiệu quả phát điện và cấp nước cho mỗi quyết định vận hành. Bản thân các ràng buộc nhu cầu nước hạ lưu được xem xét trong bài toán tối ưu cũng đã phản ánh tính đáp ứng yêu cầu lợi dụng tổng hợp của bài toán.

### **Thời đoạn tính toán:**

Phần mềm ROP được lập cho thời đoạn là tháng và áp dụng cho hồ chứa dài hạn. Việc áp dụng cho thời đoạn này giới hạn phạm vi tính toán của Luận án chỉ xem xét đến đáp ứng các yêu cầu cấp nước hạ lưu vào mùa cạn. Với mùa lũ thì Luận án chỉ đưa vào các mực nước giới hạn trong mùa lũ từ quy trình điều hành các hồ chứa. Để xem xét được mâu thuẫn giữa vận hành phát điện và chông lũ trong mùa lũ cần có tính toán với bước thời gian ngắn hơn (ngày, giờ) khi kể đến thời gian chảy truyền trong lưu vực và giữa các hồ chứa. Đây là hạn chế trong Luận án chưa tính cho bước thời gian này.

### **Hàm giá:**

Hàm giá ở đây chính là điện lượng. Điện lượng thành phần của hồ  $i$ , phát trong thời đoạn  $j$  được tính bằng công thức:

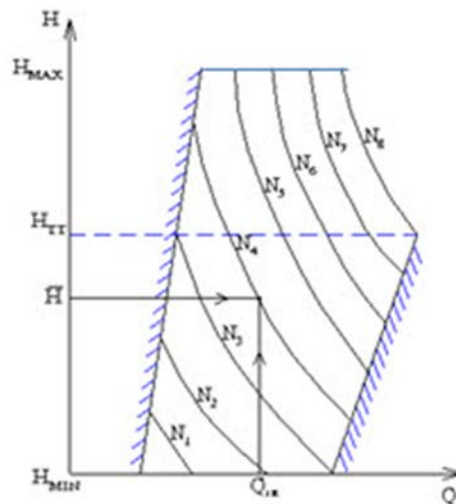
$$E_{(i,j)} = 9,81 \cdot \eta_{(i,j)} Q_{pd(i,j)} \cdot H_{(i,j)} \cdot \Delta T \quad (2-7)$$

trong đó:



- $E_t$ : điện lượng phát trong thời đoạn  $\Delta T$ ;
- $\eta$  là hiệu suất nhà máy;
- $Q$  và  $H$  lần lượt là lưu lượng và cột nước phát điện sau khi đã trừ tổn thất.

Lưu ý:  $\eta$ ,  $Q_t$ ,  $H_t$  phụ thuộc vào đặc tính tua bin. Khi lập trình tính thì đường đặc tính được số hóa dưới dạng bảng tra nội suy hai chiều (đặc tính vận hành công suất  $N = f(Q, H)$ ) (hoặc hiệu suất  $\eta = f(Q, H)$ ) (Hình 2.5)



Hình 2.5 Giới hạn vùng làm việc của tua bin và đường đặc tính vận hành công suất  $N = f(Q, H)$

### Hàm chuyển trạng thái:

$$V_{i,j+1} = V_{i,j} + (C_{(i,j)} \cdot Q_{đ(i,j)} + Q_{kg(i,j)} - Q_{tt(i,j)} - Q_{yc(i,j)} - Q_{pd(i,j)}) \cdot \Delta T \quad (2-8)$$

trong đó:

- $V_{i,j}$ : dung tích hồ đầu thời đoạn;
- $V_{i+1,j}$ : dung tích hồ cuối thời đoạn;
- $C$ : ma trận thể hiện sự kết nối dòng chảy trong hệ thống thể hiện độ trễ và chứa nước của dòng chảy trong hệ thống. Với lưu vực nhỏ và thời đoạn tính toán là tháng thì  $C = 1$  (tức là không có trễ);
- $Q_{đ}$ : lưu lượng thiên nhiên đến hoặc từ hồ chứa thượng lưu;

- $Q_{kg}$ : dòng chảy khu giữa;
- $Q_{tt}$ : tổn thất (xả, bốc hơi, thấm và các tổn thất khác);
- $Q_{yc}$ : lưu lượng chuyển ra từ hồ do yêu cầu dùng nước thượng lưu;
- $Q_{pd}$ : phát điện.

**Các ràng buộc** (với  $t=1, \dots, T$ ):

$$V_{\min(i,j)} \leq V_{(i,j)} \leq V_{\max(i,j)} \quad (2-9)$$

$$Q_{pd\min(i,j)} \leq Q_{pd(i,j)} \leq Q_{pd\max(i,j)} \quad (2-10)$$

$$N_{\min(i,j)} \leq N_{(i,j)} \leq N_{\max(i,j)} \quad (2-11)$$

Trong đó:

- $V_{\min}$  và  $V_{\max}$ : dung tích (hoặc không chế qua mực nước) nhỏ nhất và lớn nhất cho phép;
- $Q_{\min}$  và  $Q_{\max}$ : lưu lượng nhỏ nhất và lớn nhất cho phép qua tua bin;  $N_{\min}$  và  $N_{\max}$ : công suất nhỏ nhất và lớn nhất (khả dụng) cho phép lấy từ đặc tính thiết bị (hoặc theo yêu cầu hệ thống điện);

Khi lưu lượng xuống hạ lưu  $Q_{hl}$  gồm tổng lưu lượng phát điện và lưu lượng xả xuống hạ lưu bị không chế thì:

$$Q_{hl-\min(i,j)} \leq Q_{hl(i,j)} \leq Q_{hl-\max(i,j)} \quad (2-12)$$

Trong đó:  $Q_{hl-\min}$  và  $Q_{hl-\max}$ : lưu lượng nhỏ nhất và lớn nhất yêu cầu xuống hạ lưu do lợi dụng tổng hợp.

Với HTHC thì ngoài ra có các điểm không chế lưu lượng (hoặc mực nước) nhằm đảm bảo nhu cầu nước cho các ngành khác (tưới, môi trường), thì lưu lượng đến tổng cộng cho từng thời đoạn tại nút đó phải thỏa mãn ràng buộc này. Do đó, nếu điểm không chế là hạ lưu của cả bậc thang thì các hồ phía trên phải cùng nhau phối hợp.

Sơ đồ thuật toán và các bước tính để lập trình thể hiện trên sơ đồ Hình 2.6. Trong đó có 03 vòng lặp (thời đoạn, số hồ, trạng thái mực nước hồ) để tìm được giá trị hàm mục tiêu cuối cùng lớn nhất.

Đối với HTHC, tính phối hợp vận hành toàn hệ thống trong bước tối ưu DP được thể hiện trong quá trình tính toán cho một thời đoạn nào đó, có thể chia làm hai giai đoạn như sau:

- Giai đoạn tính xuôi: khi biết được mực nước đầu và cuối của hồ chứa, thì các thông số như lưu lượng phát điện, công suất, lưu lượng hạ lưu được gián tiếp tính ra. Giai đoạn này thì quan hệ của HTHC (thủy văn) sẽ được tính toán;
- Giai đoạn kiểm tra ràng buộc và tính ngược: các thông số đầu ra được kiểm tra với ràng buộc (min và max), các ràng buộc của HTHC (thủy lực, thủy lợi). Nếu không thỏa mãn thì mực nước cuối thời đoạn sẽ phải được hiệu chỉnh từ các thông số được chọn là thông số giới hạn (min hoặc max).

Trong giai đoạn kiểm tra ràng buộc, nếu ràng buộc cấp nước tổng cộng nào đó của hệ thống thì phần vi phạm ràng buộc sẽ được phân bổ theo tỷ trọng của nước sẵn có trong các hồ trong hệ thống. Ví dụ lưu lượng tối thiểu trên dòng chính hạ du của M hồ chứa cần đảm bảo là  $Q_{tt}$ , tuy nhiên tại thời đoạn tính toán nào đó bị thiếu hụt lượng là  $\Delta Q_{tt}$ . Như vậy, lượng nước cần cung cấp bổ sung từ hồ j sẽ được phân bổ theo tỷ lệ lượng nước trữ khả dụng của các hồ trong hệ thống, tức là:

$$\Delta Q_{tt}(j) = \frac{V_{kd}(j)}{\sum_{j=1}^M V_{kd}(j)} * \Delta Q_{tt} \quad (2-13)$$

Trong đó:  $V_{kd}(j)$  là dung tích khả dụng của hồ j tham gia vào cấp cho điểm cấp nước tối thiểu.

$V_{kd}(j) = V_{đ}(j) + V_{đến}(j)$ . Trong đó:  $V_{đ}(j)$  là lượng nước trữ trong hồ đầu thời đoạn có thể sử dụng được;  $V_{đến}(j)$ : lượng nước đến hồ trong thời đoạn.

Sơ đồ khối chi tiết xử lý ràng buộc xem Hình 2.7.

Mã code của một số modul chính của phần mềm được nêu ở phần Phụ lục.

#### **2.2.4 Kết quả từ mô hình DP và kết nối với ANN**

Kết quả chương trình sẽ đưa ra kết quả là giá trị hàm mục tiêu, các thông số hệ thống như lưu lượng đến, mực nước hồ chứa, lưu lượng qua nhà máy và công trình xả, công

suất và điện lượng trung bình thời đoạn tại tất cả các thành phần HTHC và các nút tính toán của hệ thống.

Mô hình ANN có thể viết như sau: Biến trạng thái cuối thời đoạn phụ thuộc vào biến trạng thái đầu các thời đoạn trước và các biến vào và ra làm thay đổi trạng thái trong và trước thời đoạn đó. Cụ thể cho bài toán VHHTHC thì biến chọn như sau:

Dung tích cuối thời đoạn là biến ra (với mục tiêu đã xác định là cần gần nhất với dung tích tối ưu theo lời giải DP);

- Biến đầu vào gồm: Dung tích đầu các thời đoạn trước đó; Lượng đến hồ trong các thời đoạn trong và trước đó; Lưu lượng phát điện (hay lưu lượng yêu cầu) trong các thời đoạn trong và trước đó. Đối với HTHC thì các biến đầu vào phải hiểu là véc tơ biến vào của tất cả các hồ chứa trong hệ thống.

Như vậy với HTHC thì việc lựa chọn các thông số đầu vào nào ảnh hưởng lớn nhất đến thông số đầu ra phải được tiến hành trước bằng phân tích tương quan.

Trên cơ sở đó, tác giả lập trình bằng ngôn ngữ VBA (Visual Basic for Applications) cho phần mềm Mô đun 2 (ROP-AN2) nhằm xử lý số liệu, chuẩn bị các chuỗi số liệu cho từng thời đoạn cho ANN bao gồm:

- Mục nước, dung tích hồ chứa;
- Dùng hàm thống kê trong MS- Excel, đánh giá tương quan giữa các biến đầu vào gồm: dung tích đầu, lưu lượng dòng chảy đến, lưu lượng phát điện, yêu cầu dùng nước với biến đầu ra là trạng thái dung tích hồ chứa cuối thời đoạn;
- Chọn các hàm và biến để đưa vào ANN. Mục tiêu của giá trị hàm ra của ANN là gần sát nhất với trạng thái hồ từ lời giải tối ưu DP.

Chỉ tiêu đánh giá chuỗi kết quả quỹ đạo vận hành từ ANN so với DP là: (1) hệ số tương quan; (2)  $R^2$ ; (3) sai số so với hàm mục tiêu ở đây là tối đa điện lượng.

Mã code của phần mềm ROP-AN2 được nêu ở phần Phụ lục 1.

## 2.3 Mô hình ANN

### 2.3.1 Cấu trúc của mạng ANN

Như đã giới thiệu ở trên thì mô hình mạng nơ-ron nhân tạo ANN và ứng dụng thuật toán lan truyền ngược (Back Propagation-BP) để giải đã trở nên phổ biến và được sử dụng nhiều trong ngành tài nguyên nước, đặc biệt là dự báo thủy văn với những ưu điểm kế thừa và suy đoán bất chước quá trình học và suy luận của con người dựa trên các kiến thức tích lũy và liên tục cập nhật.

Mạng ANN dựa vào đặc điểm của não bộ động vật bao gồm các hệ thống song song bao gồm nhiều phần tử (processing element –PE) được liên kết với nhau bằng các trọng số của các biến. Những PE này được xếp trong các lớp (xem Hình 2.8): một lớp đầu vào (input), một lớp đầu ra (output), một đến nhiều lớp nằm giữa gọi là các lớp ẩn (hidden layer). Ở lớp đầu ra có thể gồm nhiều nút hoặc là chỉ là một nút (ví dụ như biến lưu lượng dự báo cho một thời đoạn tương lai). Các PE trong các lớp khác nhau này hoặc là được liên kết tuyệt đối hoặc là được liên kết bán tuyệt đối. Những liên kết giữa các PE này đều có trọng số. Độ chặt của mỗi liên kết này có thể được hiệu chỉnh bằng các trọng số. Trọng số nhỏ hoặc bằng không cho thấy liên kết giữa hai PE này có quan hệ rất lỏng lẻo.

Hình 2.9 cho thấy các bước xây dựng của mô hình. (Lê Văn Nghinh và nnk, 2006) [73]

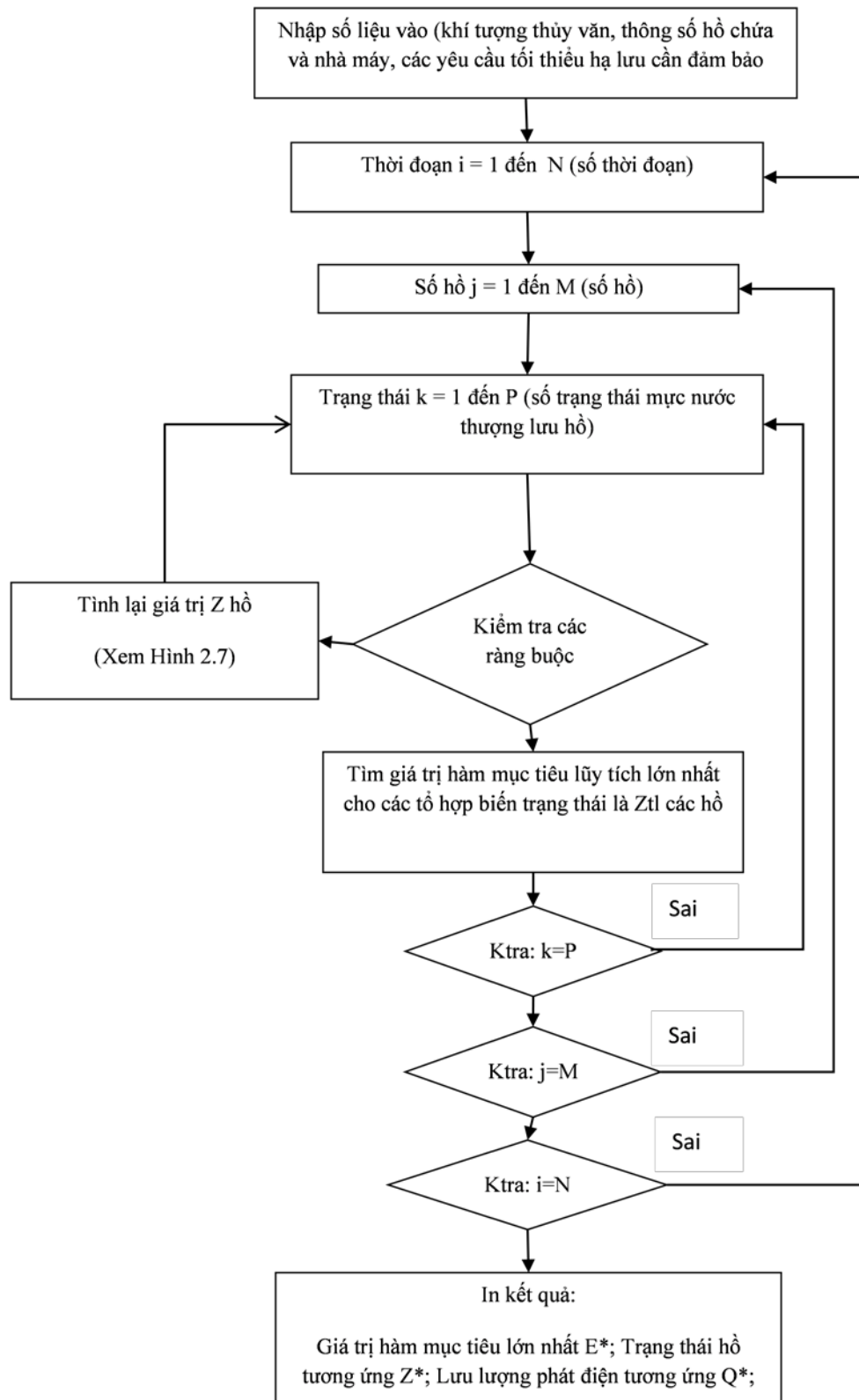
### 2.3.2 Quá trình quét xuôi

Khối cơ bản của một mạng ANN như vẽ trong Hình 2.9 gọi là một nơ-ron nhân tạo. Trong nơ-ron này các giá trị đầu vào lần lượt được nhân với các trọng số, sau đó được cộng vào với nhau. Tổng được tạo ra gọi là NET N và nó được tính toán cho tất cả các nơ-ron thần kinh của mạng. Sau khi NET N được tính toán thì nó được chuyển thành tín hiệu đầu ra  $Y_m$  bằng việc áp dụng một hàm kích hoạt  $f$ .

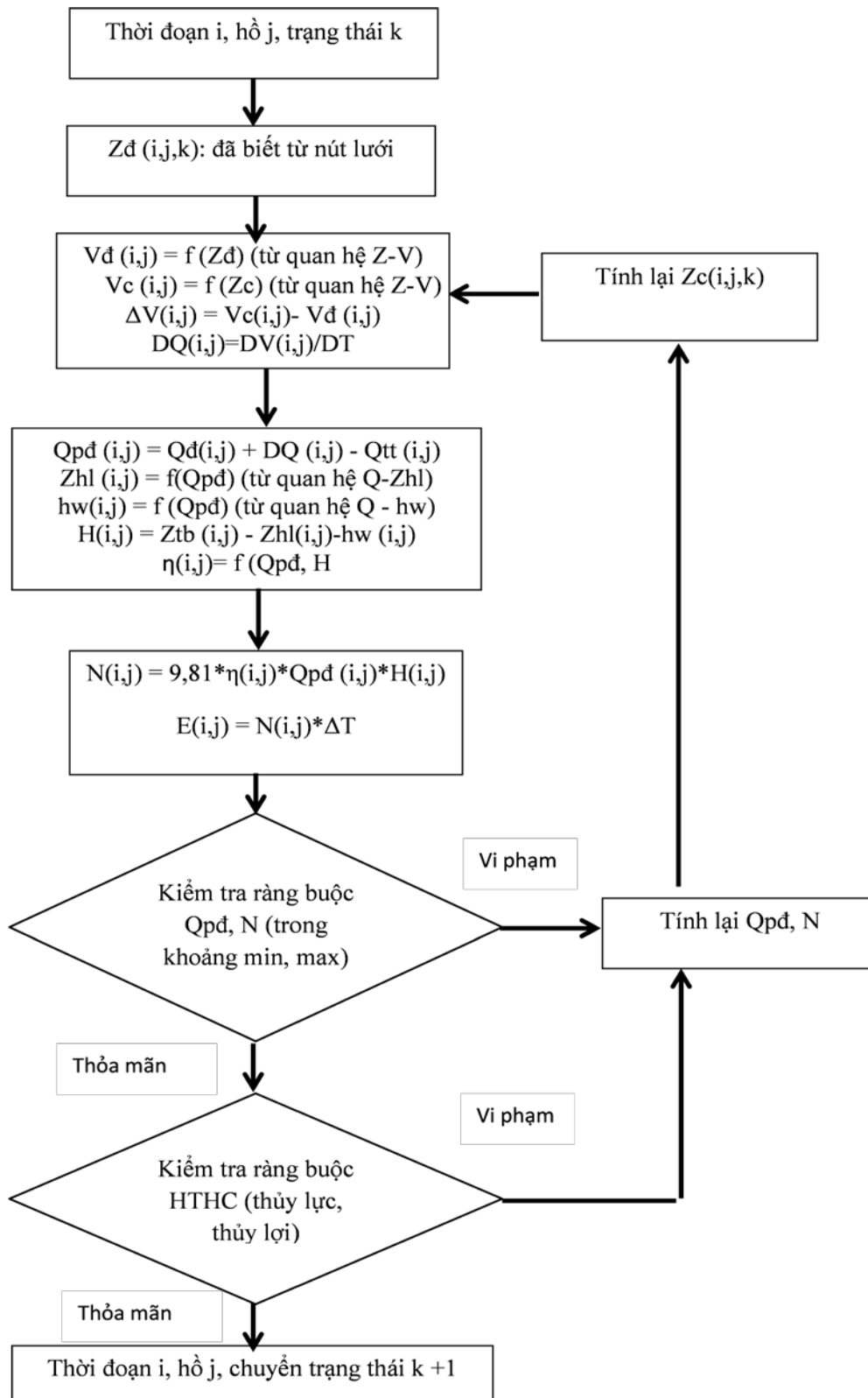
Công thức chung chuyển đổi giữa hai lớp trong một mạng thần kinh là:

$$N_m = \sum_{i=1}^I W_{i,m} \cdot I_i + \theta_m \quad (2-14)$$

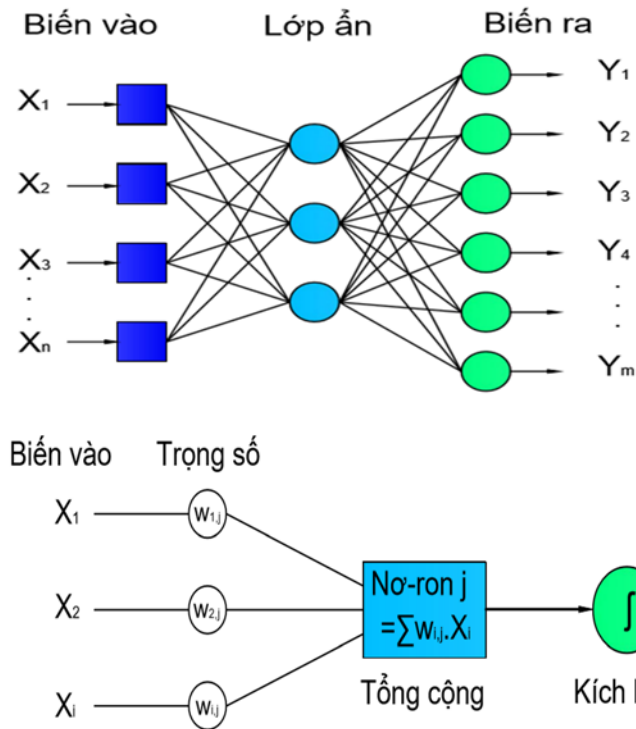
Với  $\theta_m$  là độ dốc.  $\theta_m = f(N_m)$



Hình 2.6 Các bước tính toán Mô hình Quy hoạch động –DDDP



Hình 2.7 Xử lý ràng buộc trong mô hình DP



Hình 2.8 Cấu trúc mạng ANN

Trong đó:  $I$  là input từ lớp  $M$  và  $N$  là output từ lớp  $M$  ( $i$  và  $m$  là phần tử thứ  $i$  và  $m$  tương ứng của lớp thứ  $I$  và lớp thứ  $M$ )

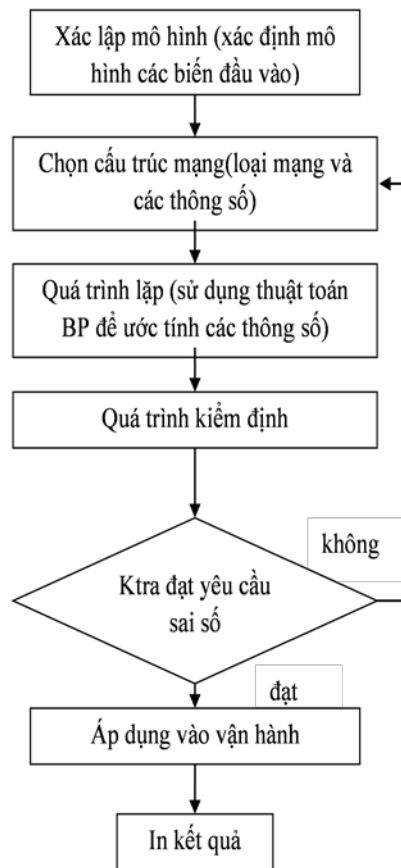
*Hàm kích hoạt:* Trong phần quét xuôi, các hàm phi tuyến tính kích hoạt gọi là hàm bán tuyến được sử dụng. Hầu hết các mạng thần kinh đều sử dụng các hàm kích hoạt Logistic:

$$\theta_m = f(N_m) = \frac{1}{1+e^{-N_m}} \quad (2-15)$$

Giá trị đầu ra của hàm kích hoạt Logistic nằm trong khoảng  $[0, 1]$ . Khoảng  $[0.05, 0.95]$  được lựa chọn thay vì khoảng  $[0, 1]$  vì hàm kích hoạt Logistic là một hàm tiệm cận. Vì vậy các phần mềm ANN thường đòi hỏi dữ liệu gốc phải được chuyển đổi tuyến tính về khoảng  $[0.05, 0.95]$  trước khi tham gia vào mạng thần kinh.

*Chuẩn hóa (Normalization):* Trong hầu hết các trường hợp đầu vào thường bao gồm rất nhiều loại biến với các giá trị khác nhau do đó mỗi một giá trị đầu vào và đầu ra cần được chuẩn hóa với các đặc trưng chuẩn hóa cụ thể của chúng..





Hình 2.9 Các bước phát triển mạng ANN

*Tiền xử lý (Pre-processing):* Giả sử  $a$  và  $A$  là các giá trị cực tiểu và cực đại của một chuỗi dữ liệu, thì giá trị thực  $X_t$  sẽ được chuyển đổi để nằm trong khoảng  $[0.05, 0.95]$  theo công thức sau :

$$X'_t = \frac{0.9(X_t - a)}{A - a} + 0.05 \quad (2-16)$$

Trong đó:  $X_t$ : là giá trị thực;  $a$ : là giá trị cực tiểu của  $X_t$ ;  $A$ : là giá trị cực đại của  $X_t$ ;  $X'_t$ : là giá trị được chuyển đổi

*Hậu xử lý (Post-processing):* Khi đã tìm được một mạng thần kinh tốt nhất thì tất cả các giá trị đã được chuyển đổi trước đây sẽ được trả lại những giá trị ban đầu của chúng bằng các phương trình :

$$X_t = \frac{(A - a)(X'_t - 0.05)}{0.9} + a \quad (2-16a)$$

### 2.3.3 Phương pháp lan truyền ngược

Phương pháp lan truyền ngược sử dụng một tập hợp các giá trị đầu vào và đầu ra để tìm ra mạng nơ-ron thần kinh mong muốn. Một tập hợp đầu vào được đưa vào một hệ thống giả định trước nào đó để tính giá trị đầu ra  $Y$ , sau đó giá trị đầu ra tính toán ( $Y_{tt}$ ) này được so sánh với giá trị thực đo ( $Y_{td}$ ). Nếu không có sự khác biệt nào, thì không cần thực hiện một quá trình kiểm tra nào, ngược lại các trọng số sẽ được thay đổi trong quá trình lan truyền ngược trong các mạng thần kinh để làm giảm sự khác biệt đó.

Sau khi vượt qua lớp cuối cùng, giá trị đầu ra thực của mạng được so sánh với giá trị mong muốn (giá trị đo đạc). Mục tiêu là phải tối thiểu hoá giá trị sai số tổng của mạng cho tất cả các tập hợp theo thời gian của các giá trị đầu vào (input parterm). Sai số của parterm  $p$  của một mạng chỉ có một biến đầu ra và được tính theo công thức:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum (Y_{td} - Y_{tt})^2 \quad (2-17)$$

Trong đó: sai số tổng của mạng phải được tính cho tất cả các partern.

Phương pháp lan truyền ngược cố gắng tối thiểu hóa sai số này bằng cách điều chỉnh các trọng số trong mỗi quá trình tính toán với các thông số như  $\eta$  là đại diện cho tốc độ học (lerning rate) và hệ số momen  $\alpha$ . Trong đó,  $\eta$  điều khiển tốc độ mà quá trình lan truyền ngược điều khiển các trọng số trong mỗi lần tính toán. Nếu thay đổi trọng số càng nhanh thì càng chóng đạt được trọng số như mong muốn. Nhưng nếu  $\eta$  quá lớn, nó có thể gây ra những dao động và bất ổn định của đầu ra. Để giải quyết vấn đề này, một hệ số khác gọi là hệ số momen  $\alpha$  được đưa vào. Hệ số này có tác dụng làm tăng tốc độ học mà không gây ra sự dao động. Về cơ bản mà nói thì  $\alpha$  là một hằng số xác định sự ảnh hưởng của các trọng số của bước thời gian trước đến sự thay đổi của trọng số ở bước thời gian này. Sơ đồ khối của thuật toán lan truyền ngược và quá trình tính toán được minh họa ở Hình 2.10.

### 2.3.4 Phần mềm tính toán ANN

Hiện nay có các phần mềm phổ biến là mô-đun được tích hợp trong MS Excel như Neuro Solutions hay các mô-đun Add-in khác. Với phần mềm có sẵn trong MS-Excel này thì việc sử dụng thuật toán tối ưu di truyền (GA) để hỗ trợ cho việc tìm ra mạng

tốt nhất và vì vậy rút ngắn được thời gian chạy chương trình rất nhiều. Thêm vào đó với phần mềm được tích hợp trong MS Excel sẽ rất thuận tiện cho người dùng trong việc xử lý dữ liệu và liên thông với ROP trước khi vào tính toán. Chính vì các lý do như vậy mà tác giả sẽ chọn phần mềm này để sử dụng cho tính toán thực nghiệm.

### **2.3.5 Các bước xác lập mạng ANN và áp dụng vào vận hành thực**

Sau khi ta đã có kết quả chuỗi trạng thái và biến tối ưu từ mô hình DP, ANN sẽ đóng vai trò như bộ não ghi lại được kinh nghiệm tốt trong quá khứ và áp dụng vào vận hành thực. Các bước xác lập ANN và ứng dụng được trình bày như sau:

**Bước 1:** Phân tích xác định các biến vào, ra cho mạng ANN.

Như đã đề cập ở trên, cụ thể cho bài toán VHHTHC thì biến dùng để luyện mạng (training hay còn gọi là learning) ANN được chọn là các kết quả tính từ DP:

- Biến vào là chuỗi các giá trị gồm: Dung tích đầu các thời đoạn trước đó; Lượng đến hồ trong các thời đoạn trong và trước đó; Lưu lượng yêu cầu trong các thời đoạn trong và trước đó.
- Dung tích cuối thời đoạn là biến ra (với mục tiêu đã xác định cần gần nhất tối ưu theo lời giải DP);

Như vậy với HTHC thì việc lựa chọn các thông số đầu vào nào ảnh hưởng lớn nhất đến thông số đầu ra phải được tiến hành trước bằng phân tích mối liên hệ vật lý giữa các thông số và các chỉ tiêu tương quan thống kê giữa chúng.

**Bước 2:** Luyện mạng ANN. Đây là quá trình xác định các biến vào, ra và kết cấu mạng phù hợp. Quá trình luyện được thực hiện bằng tính thử bằng phần mềm sẵn có trong MS-Excel với các lựa chọn về số lần lặp, số lớp ẩn, thuật toán cực tiểu sai số. Để đánh giá mạng tốt nhất thì các chỉ tiêu thống kê như hệ số tương quan hay  $R^2$  sẽ được đánh giá sau các phép thử.

**Bước 3:** Quá trình kiểm định. Là quá trình dùng ANN để thử nghiệm vận hành cho một khoảng thời gian đã định, sau đó so sánh với lời giải DP cho cùng một bộ thông số biến đầu vào đã biết. Kết quả tính toán sẽ được so sánh với DP để đánh giá xem là

việc vận hành như vậy có gần tối ưu hay không. Các chỉ tiêu thống kê sẽ được áp dụng cho chuỗi kết quả của gần tối ưu ANN và mục tiêu DP.

Phần mềm ANN sẽ cho kết quả là chuỗi các giá trị trạng thái cuối thời đoạn (mức nước hoặc dung tích) cho từng hồ chứa. Trên cơ sở đó, tác giả lập trình VBA cho phần mềm hỗ trợ tích hợp trong chương trình DP (ROP) tính gián tiếp ra các thông số khác như: lưu lượng phát điện, lưu lượng xuống hạ lưu, cột nước, công suất và điện lượng với các mức nước hồ từ ANN. (Mã code của mô-đun ROP-SIM được nêu ở phần Phụ lục 1)

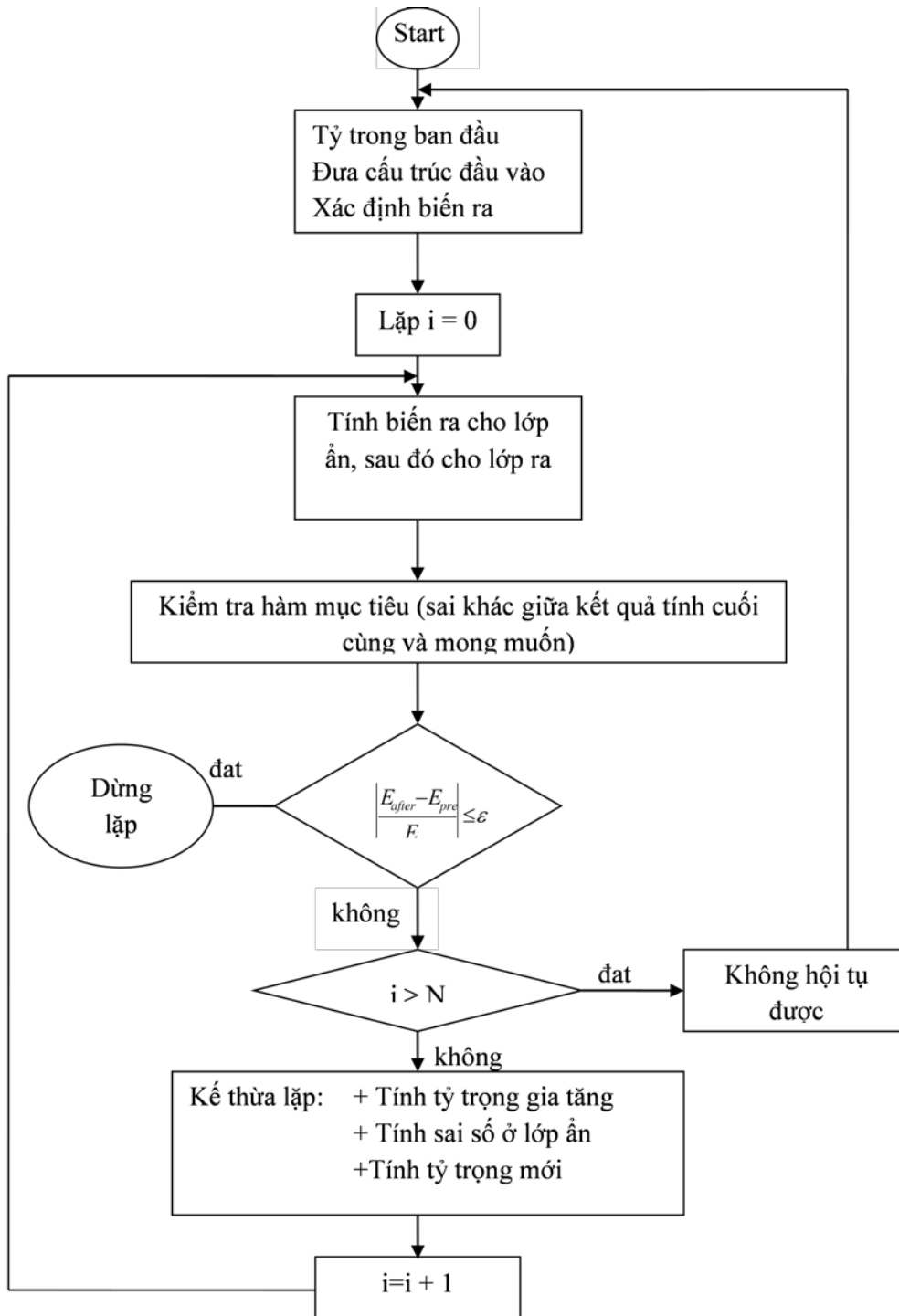
Chỉ tiêu đánh giá ANN so với DP là: (1) hệ số tương quan; (2) R-squared; (3) sai số so với hàm mục tiêu. Từ đó ta chọn được mạng ANN tốt nhất với véc tơ các biến đầu vào cho chỉ tiêu đánh giá là gần nhất với kết quả từ DP.

**Bước 4:** Với mạng ANN đã chọn và kiểm định cho từng thời đoạn ở các bước trên, tiến hành áp dụng vào vận hành thực khi mà thông số  $X_1, X_2...$  đã biết và liên tục cập nhật. Ví dụ như ta đang ở đầu tháng VI, cần tìm mức nước hồ cuối tháng VI thì ta cần nhập vào: các dung tích hồ đầu các hồ, lưu lượng phát điện trước đó, lưu lượng đến dự báo các hồ trong tháng VI. Mạng ANN đã chọn sẽ tự tìm ra mức nước hồ cuối tháng VI và ta sẽ tính gián tiếp ra các thông số như lưu lượng phát điện, lưu lượng xuống hạ lưu, cột nước, công suất và điện lượng dự kiến cho tháng VI và trợ giúp người điều hành ra quyết định.

## 2.4 Kết luận Chương 2

Các kết quả nghiên cứu của chương này cho thấy sự liên kết giữa các mô hình đề xuất nhằm tìm ra được quyết định VHHTHC cận tối ưu. Việc kết hợp các mô hình là sự tận dụng ưu điểm và phạm vi ứng dụng của từng mô hình, đưa ra lời giải tốt nhất. Phương pháp luận cho thấy:

- Các mô hình là đáng tin cậy, có thuật toán đã được kiểm định, mỗi mô hình sẽ giải quyết được từng bước của bài toán VHHTHC. Do vậy, kết hợp các mô hình sẽ là công cụ hữu hiệu giải quyết bài toán. Tác giả đã lập trình bằng ngôn ngữ VBA trong Excel nhằm xử lý số liệu, đánh giá kết quả, liên kết số liệu vào ra của các mô hình;



Hình 2.10 Sơ đồ khối thuật toán lan truyền ngược (BP)

- Việc áp dụng DP sử dụng sáng tạo thuật toán DDDP cho bài toán VHHTHC đã giảm khối lượng tính toán rất đáng kể, mang tính đột phá, mở ra khả năng tính toán tìm nghiệm nhanh, chính xác cho hệ thống nhiều hồ chứa. Tác giả đã lập chương trình tính toán tối ưu DDDP cho HTHC;
- Việc tìm ra lời giải cận tối ưu là một hướng giải quyết mới và có đủ cơ sở khoa học để thực hiện. Lời giải cuối cùng hoàn toàn có thể đánh giá được và chắc chắn sẽ đưa ra kết quả cận tối ưu, nâng cao được giá trị hàm mục tiêu.
- Các mô hình đều có khả năng phát triển trong điều kiện mở cho việc liên tục cập nhật số liệu (tự nhiên và nhu cầu dùng nước) sẽ là tiếp cận VHHTHC theo hướng "thích ứng". Hay nói cách khác là điều hành hồ chứa theo phương thức "động" khác với phương thức "tĩnh" truyền thống đang được sử dụng hiện nay.
- Những kết quả nghiên cứu của chương này sẽ là cơ sở khoa học vững chắc cho việc áp dụng mô hình liên kết ba mô hình là HEC-ResSim – DP - ANN để nghiên cứu nâng cao hiệu quả VHHTHC trên lưu vực sông Ba.

## **CHƯƠNG 3      ÁP DỤNG MÔ HÌNH NÂNG CAO HIỆU QUẢ VẬN HÀNH HỆ THỐNG HỒ CHỨA THỦY ĐIỆN TRÊN SÔNG BA**

### **3.1    Tình hình số liệu quan trắc khí tượng thủy văn**

Các sông nhánh thuộc lưu vực sông Ba nằm trong các vùng khí hậu khác nhau và cùng chảy vào sông chính nên đã tổ hợp lại và tạo ra cho dòng chính sông Ba một chế độ thủy văn tương đối phức tạp, biến đổi rất rõ rệt từ thượng lưu tới hạ lưu. Điều này cũng tạo ra các đặc điểm riêng về nguồn nước cho vùng trung và hạ lưu sông, thí dụ như tại thượng lưu và trung lưu trong các tháng V, VI đã bắt đầu có mưa nhưng tại hạ lưu vẫn là mùa khô nhưng trên sông đã có dòng chảy do mưa từ thượng nguồn chảy về làm giảm bớt tình trạng khô hạn ở khu vực hạ lưu.

Do dòng chảy trên sông có quan hệ chặt chẽ với khí hậu nên xét trên từng nhánh sông có thể thấy mùa lũ đến chậm hơn mùa mưa từ 1 đến 2 tháng. Tuy nhiên, trên chế độ thủy văn trên dòng chính sông Ba là tổ hợp của nhiều nhánh sông có chế độ khí hậu biến đổi không giống nhau nên mùa lũ trên dòng chính sông Ba không theo quy luật chậm 1 hoặc 2 tháng như trên.

Phân tích tài liệu các trạm có tài liệu quan trắc thủy văn trên lưu vực sông Ba theo tiêu chuẩn vượt trung bình có thể thấy rất rõ rằng mùa lũ không có sự đồng nhất trên toàn bộ lưu vực giữa các khu vực thượng lưu, trung lưu và hạ lưu.

- Khu vực thượng nguồn sông Ba và các sông nhánh phía bắc lưu vực thuộc Tây Trường Sơn như sông Ayun có mùa lũ bắt đầu từ tháng VII và kéo dài tới tháng XI, tức là đến trễ hơn mùa mưa khoảng 2 tháng do tổn thất dòng chảy các tháng đầu mùa mưa trong vùng này lớn sau một thời kỳ khô hạn kéo dài.
- Khu vực thượng nguồn các sông nhánh ở phía nam như thượng nguồn sông Krong Hnăng do còn chịu ảnh hưởng của mưa ở Đông Trường Sơn nên mùa lũ bắt đầu và kết thúc chậm hơn so với khu vực phía bắc khoảng 1 tháng, tức là từ tháng VIII đến hết tháng XII.

- Các sông nhánh ở khu vực hạ lưu nằm trong khu vực Đông Trường Sơn như lưu vực Sông Hinh có mùa lũ 3 tháng (X-XII), mùa kiệt dài 9 tháng, trong đó có hai thời kỳ cạn nước nhất là tháng IV và tháng VIII.
- Trên dòng chính sông Ba khu vực trung lưu như tại An Khê mùa lũ bắt đầu từ tháng VIII hoặc tháng IX và kết thúc tháng XI hoặc XII .
- Trên dòng chính sông Ba tại khu vực hạ lưu mùa lũ đến muộn hơn khu vực trung lưu khoảng 1 hoặc 2 tháng. Thí dụ như tại Củng Sơn mùa lũ bắt đầu từ tháng IX hoặc tháng X và kết thúc vào tháng XII.

Trên lưu vực Sông Ba có 7 trạm quan trắc thủy văn, trong đó có 5 trạm đo lưu lượng. Trong các Bảng 3.1 đến 3.4 thể hiện số liệu các trạm và thời gian quan trắc khí tượng thủy văn.

*Bảng 3.1 Các trạm thủy văn trên lưu vực Sông Ba*

STT	Trạm	Sông	Tọa độ		Diện tích (km <sup>2</sup> )	Lưu lượng ngày	Mức nước ngày
			Kinh độ	Vĩ Độ			
1	An Khê	Ba	108°39'	13°57'	1350	1978-2005	
2	Tuy Hòa (Phú Lâm)	Ba	109°17'	13°05'			1977-nay
3	Ayun Pa	Ba	108°28'	13°28'			1977-nay
4	Pơ Mơ Rê	Ia Ayun	108°21'	14°02'	310,8	1977-nay	1979-nay
5	Củng Sơn	Ba	108°59'	13°02'	12410	1977-nay	
6	Sông Hinh	Sông Hinh	108°57'	12°55'	752	1979-1991	
7	Krông H'Năng	Krông H'Năng	108°21'	12°57'	235	1977-2002	

*Bảng 3.2 Thống kê chuỗi số liệu thủy văn*

Trạm	Thời kỳ quan trắc	Trung bình (m <sup>3</sup> /s)	Độ lệch chuẩn (m <sup>3</sup> /s)	Cv	Cs
An Khê	1977-2005	34,5	77,7	0,4	0,8
Củng Sơn	1977-2005	280,9	558,5	0,3	0,5
Sông Hinh	1979-1991	46,0	124,2	0,3	0,9



Nhìn chung, dòng chảy năm các trạm thủy văn trên lưu vực sông Ba có hệ số thiên lệch Cs lớn gấp 2 hoặc 3 lần hệ số biến đổi Cv.

*Bảng 3.3 Các trạm đo bốc hơi trên lưu vực*

STT	Tên trạm đo bốc hơi	Tọa độ	
		Kinh độ	Vĩ độ
1	An Khê	108°38'	13°57'
2	Ayun Pa	108°26'	13°25''
3	Sơn Hòa	108°59'	13°03'
4	Tuy Hòa	109°13'	13°05'
5	PleiKu	108°00'	13°59'
6	KonTum	108°01'	13°59'
7	Đak To	107°49'	14°42'
8	M'Drak	108°47'	12°41'
9	Buôn Hồ	108°16'	12°55'
10	Buôn Mê Thuật	108°03'	12°41'
11	Đak Nông	107°41'	12°00'

Số liệu mưa theo ngày được thống kê từ 12 trạm đo trong lưu vực và các trạm lân cận.

*Bảng 3.4 Các trạm đo mưa trên lưu vực*

STT	Trạm đo	Kinh độ	Vĩ độ	Lượng mưa (mm)	SD(mm)	Cv	Cs
1	An Khê	108°63	13°95	1475,0	361,8	0,2	0,0
2	Ayun Pa	108°50	13°38	1305,5	258,7	0,2	0,2
3	Chuse	108°07	13°70	1721,3	444,3	0,3	0,4
4	Madrak	108°78	12°70	2002,3	605,7	0,3	0,8
5	Porome	108°35	14°03	1829,0	304,0	0,2	0,2
6	Sông Hình	108°95	12°92	2261,2	815,5	0,4	2,1
7	Sơn Hòa	108°98	13°05	1707,1	444,5	0,3	1,0
8	Sơn Thành	109°02	12°92	2253,5	664,7	0,3	0,3
9	Tuy Hòa	109°28	13°08	2021,5	543,1	0,3	0,4
10	Kontum	108°02	14°50	1795,6	255,6	0,1	0,0
11	Pleiku	108°00	13°98	2225,2	418,0	0,2	0,2
12	Buôn Hồ	108°27	12°90	1550,0	204,4	0,1	-0,2

Trong tính toán của Chương này, bộ số liệu khí tượng - thủy văn từ 1977 – 2005 sẽ được kế thừa từ các báo cáo quy hoạch sử dụng TNN lưu vực sông Ba và lập Quy trình vận hành (đã nêu ở Chương 1) trước đây. Dòng chảy 24 năm (1977-2000) có thể

coi là dòng chảy hoàn toàn tự nhiên, khi mà chưa có HTHC hoạt động. Từ mô hình DEM lưu vực, sử dụng HEC-Geo HMS xây dựng mạng sông và các lưu vực con. Diện tích lưu vực tính đến các nút tính toán được tìm ra từ mô hình. Dùng phương pháp đa giác Thiessen để tìm ra trọng số của các trạm mưa (Bảng 3.5).

Bảng 3.5 Diện tích lưu vực tính đến các vị trí công trình

TT	Ký hiệu	Đầu nguồn	Cuối nguồn	Diện tích (km <sup>2</sup> )	Lượng mưa hàng năm (mm)
1	SB1	Thượng nguồn hồ Ka Nak	Đập Ka Nak	833	1780
2	SB2	Đập Ka Nak	Đập An Khê	403	1538
3	SB3	Đập An Khê	Hợp lưu sông Ayun-Ba	2657	1518
4	SB4	Thượng nguồn hồ Ayun Hạ	Đập Ayun Hạ	1670	1831
5	SB5	Đập Ayun Hạ	Hợp lưu sông Ayun - Ba	889	1473
6	SB6	Hợp lưu sông Ayun - Ba	Hợp lưu sông Krông H'nh - Ba	2678	1381
7	SB7	Thượng nguồn đập Krông H'nh	Đập Krông H'nh	1168	1804
8	SB8	Đập Krông H'nh	Hợp lưu Krông H'nh-Ba	635	1804
9	SB9	Hợp lưu Krông H'nh-Ba	Đập Sông Ba Hạ	234	1876
10	SB10	Đập Sông Ba Hạ	Hợp lưu sông Hình - Ba	508	1953
11	SB11	Thượng nguồn đập Sông Hình	Đập Sông Hình	772	2132
12	SB12	Đập Sông Hình	Hợp lưu sông Hình - Ba	126	2135
13	SB13	Hợp lưu sông Hình - Ba	Đập dâng Đồng Cam	246	1719
14	SB14	Đập dâng Đồng Cam	Cửa sông	530	2054
15	SB15	Sông Bàn Thạch		616	2098
16	SB16	Vùng ven biển		108	2021
		<b>Tổng</b>		<b>14,071</b>	

## **3.2 Số liệu HTHC và các yêu cầu dùng nước trên lưu vực sông Ba**

### **3.2.1 Hệ thống các hồ chứa thủy điện trên lưu vực sông Ba**

Trên hệ thống sông Ba, có nhiều hồ chứa có khả năng tưới và phát điện, trong đó có một số hồ chứa quan trọng trong hệ thống, với tổng công suất 530MW. Các thông số chủ yếu của các hồ chứa thủy điện quan trọng trong HTHC sông Ba được thống kê ở Bảng 3.6 sau.

Chi tiết số liệu đặc trưng của các Hồ chứa và Nhà máy thủy điện được thống kê ở phần phụ lục.

Sơ đồ các hồ trên được mô tả như Hình 3.1 và 3.2.

### **3.2.2 Số liệu về tình hình sử dụng nước trên lưu vực**

Trên lưu vực có các yêu cầu dùng nước lớn từ các khu tưới và số ít là các yêu cầu dùng nước sinh hoạt- công nghiệp. Các số liệu từ Bảng 3.7 đến 3.9 được tổng hợp từ các Báo cáo tổng quan và nghiên cứu trước đây về tình hình sử dụng và quy hoạch cân bằng nước sông Ba chủ yếu từ các nguồn như sau:

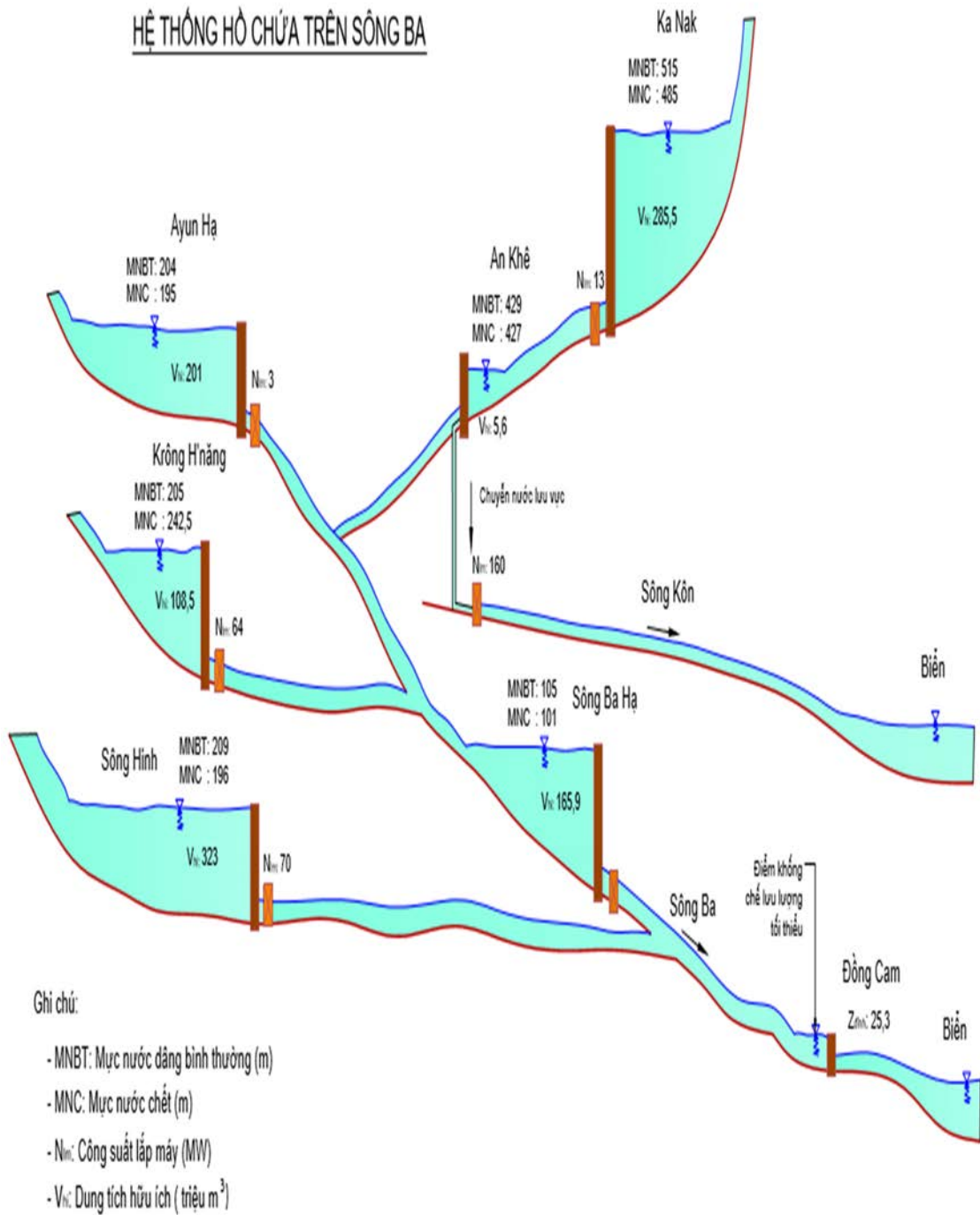
- Viện Quy hoạch Thủy lợi. Báo cáo quy hoạch tài nguyên nước lưu vực sông Ba. (1995) [91];
- Công ty CP Tư vấn Xây dựng Điện 1. *Quy hoạch thủy điện trên sông Ba* (2002) [92];
- Báo cáo của Bộ TNMT nghiên cứu và trình Chính phủ ban hành Quyết định của TTCP số 1077/QĐ-TTg [87], ngày 7/7/2014 về ban hành Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Ba.

Sơ đồ và ký hiệu HTHC và các khu dùng nước được thể hiện ở sơ đồ hệ thống chi tiết Hình 3.3.

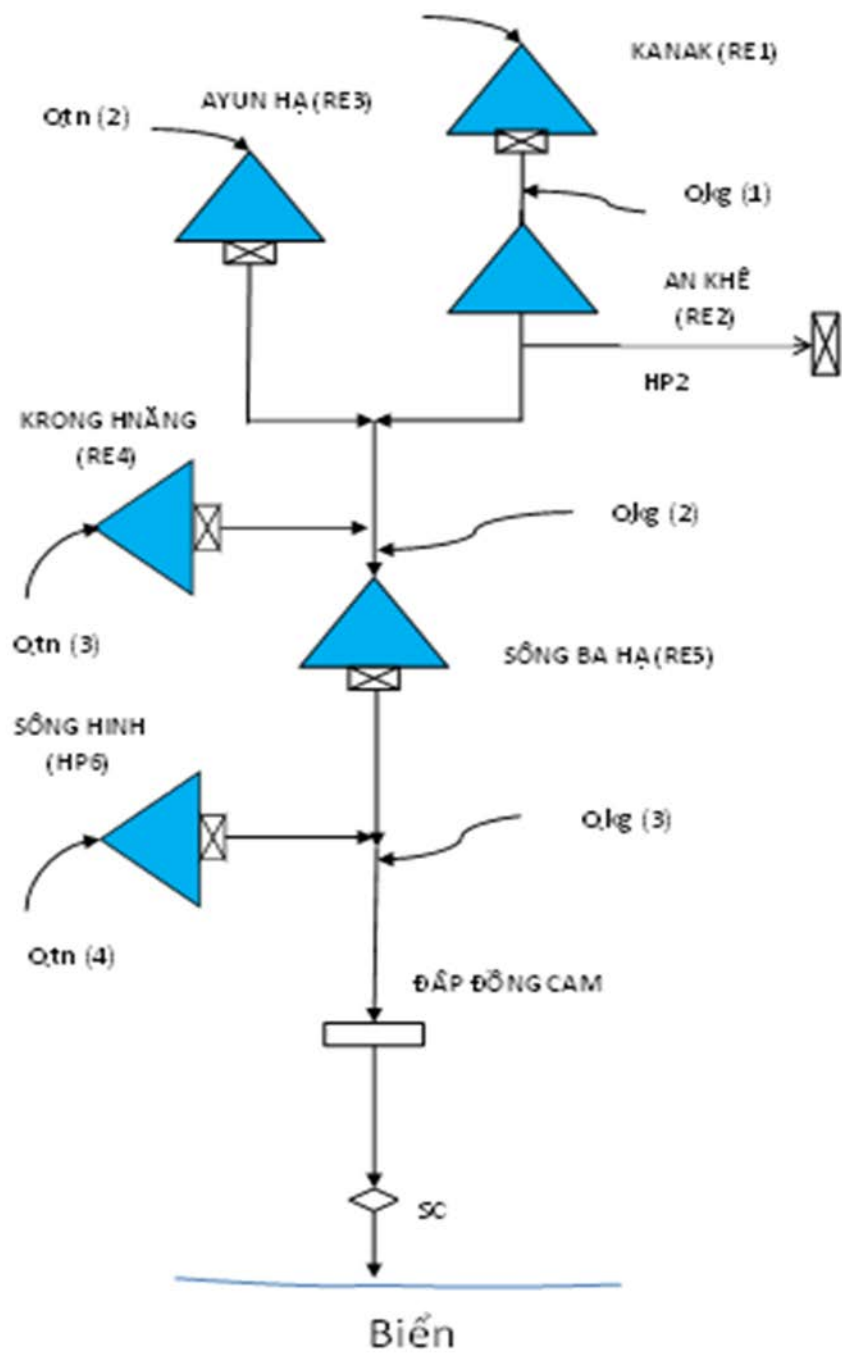
Bảng 3.6 Thông số kỹ thuật chính của hồ chứa thủy điện.

STT	Thông số	Đơn vị	Ka Nak	An Khê	Ayun Hạ	Krông H'Năng	Sông Ba Hạ	Sông Hinh
	<b>Năm vận hành</b>		2011	2011	1999	2010	2009	1999
<b>I</b>	<b>Các đặc trưng lưu vực</b>							
1	Diện tích lưu vực	km <sup>2</sup>	833	1236	1670	1196	11115	772
2	Lượng mưa TB nhiều năm	mm	1821	1726		1780	1776	2154
3	Lưu lượng TB nhiều năm	m <sup>3</sup> /s	18,60	27,80	447	32,5	227,2	40,2
<b>II</b>	<b>Hồ chứa</b>							
1	Cao trình MN phòng lũ	m	515,5	433	209,92	257,4	108,5	211,85
2	MNDBT	m	515	429	204	255	105	209
3	MNC	m	485	427	195	242,50	101	196
4	MN max ứng P=0,5%	m	515,32	429,88		255,85	105,96	211,85
5	MN max ứng P=0,1%	m	516,80	431,45	209,92	258,38	108,05	212,35
6	Dung tích toàn bộ (W <sub>tb</sub> )	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	313,7	15,9	253	165,78	349,7	357
7	Dung tích hữu ích (W <sub>hi</sub> )	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	285,5	5,6	201	108,5	165,9	323
8	Dung tích chết (W <sub>c</sub> )	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	28,2	10,3	52,0	57,28	183,9	34
9	Diện tích mặt hồ ứng với MNDBT	km <sup>2</sup>	17	3,40		13,39	54,66	41
<b>III</b>	<b>Đập và Tràn</b>							
1	Kích thước đập							
-	Cao trình đỉnh đập	m	520,4	433,3	211	258,6	110,9	214
-	Chiều cao đập max	m	68	23,5	37	48,6	50	42
-	Chiều dài đập	m	800	1261	366	1068	1380,5	880
2	Tràn xả lũ							
-	Số khoang tràn		3	4	3	4	12	6
-	Kích thước cửa van	m x m	12x14,7	12x14,7	6x5	12x14,5	15x16,5	12x13,2
-	Qxả max với P=0,1%	m <sup>3</sup> /s	3873	5093	1237	6763	28945	7180
-	Cao trình ngưỡng tràn	m	502	416	199	242,50	89	196
<b>IV</b>	<b>Nhà máy thủy điện</b>							
1	Công suất lắp máy	MW	13,0	160	3,0	64,0	220	70,0
2	Công suất đảm bảo (90%)	MW	6,5	80,0	2	12,1	33,3	22,9
3	Q lớn nhất	m <sup>3</sup> /s	42,0	50,0	23,4	68,0	393	57,3
4	Q đảm bảo (90%)	m <sup>3</sup> /s	11,0	9,60		12,9	56,7	19,0
4	Số tổ máy		2	2	2	2	2	2
5	Hmax	m	59	377	18	120,6	67,1	153
6	Htt	m	36,5	357	14	108	62	141
7	Hmin	m	27,5	356	9	101,6	59	139
8	Loại tua bin		Kaplan	Francis	Kaplan	Francis	Francis	Francis

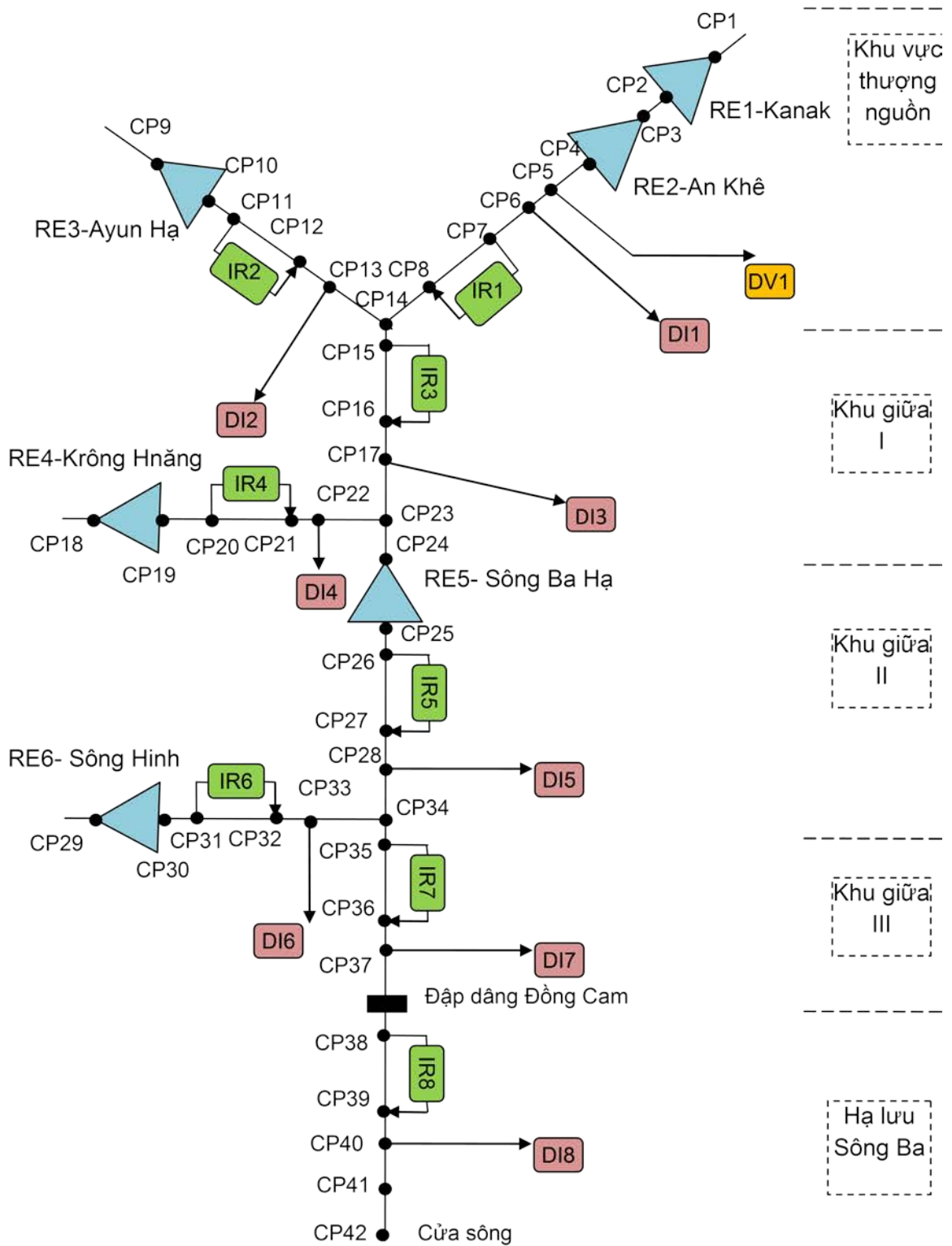
## HỆ THỐNG HỒ CHỨA TRÊN SÔNG BA



Hình 3.1 Sơ họa cắt dọc HTHC trên sông Ba



Hình 3.2 Sơ họa mặt bằng HTHC trên sông Ba



Hình 3.3 Sơ đồ tính toán cho hệ thống Sông Ba

Bảng 3.7 Tổng hợp diện tích tưới

STT	Khu Tưới	Ký hiệu	Diện tích tưới thiết kế (ha)			Diện tích tưới thực (ha)		
			Lúa	Màu	Cà phê	Lúa	Màu	Cà phê
1	Thượng nguồn sông Ba	IR1	1614	0	444	1493	0	175
2	LV bộ phận Ayun Pa	IR2	7587	1660	482	8827	2016	680
3	LV bộ phận khu giữa I	IR3	892	0	30	892	0	30
4	LV bộ phận Krông H'Năng	IR4	1389	0	3589	1199	132	4495
5	LV bộ phận khu giữa II	IR5	259	0	0	157	0	0
6	LV bộ phận Sông Hinh	IR6	310	0	207	293	107	0
7	LV bộ phận khu giữa III- thượng lưu Đồng Cam	IR7	219	0	0	767	0	0
8	LV bộ phận hạ lưu-Đồng Cam	IR8	11251	500	0	18686	500	0

Bảng 3.8 Nhu cầu tưới hàng tháng

STT	Ký hiệu	Tháng (triệu m <sup>3</sup> )											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	IR1	18,4	11,3	10,2	11,1	6,5	21,9	24,9	17,4	4,4	0,2	0,2	7,2
2	IR2	31,7	28,8	25,5	18,4	7,7	29,6	32,8	24,4	8,6	1,6	3,5	24,5
3	IR3	24,6	15,1	13,6	14,8	8,7	29,3	33,3	23,3	5,9	0,3	0,3	9,6
4	IR4	11,0	17,3	20,8	10,7	9,5	15,6	8,0	10,1	0,4	0,4	0,4	9,6
5	IR5	6,3	8,6	5,1	11,7	9,9	10,1	8,8	0,9	0,1	0,0	0,0	3,3
6	IR6	7,7	10,5	6,2	14,3	12,1	12,4	10,8	1,1	0,1	0,0	0,0	4,0
7	IR7	17,0	24,0	16,0	33,5	31,4	33,7	30,4	5,6	0,3	0,0	0,0	7,8
8	IR8	28,4	40,1	26,7	55,9	52,5	56,3	50,8	9,3	0,5	0,0	0,0	13,1

Bảng 3.9 Nhu cầu nước hàng năm cho sinh hoạt, công nghiệp và cấp nước đô thị

Đơn vị: (triệu m<sup>3</sup>)

STT	Nút cấp nước	Ký hiệu	Ký hiệu nút	Sinh hoạt	Chăn nuôi	Công nghiệp	Tổng
1	Thượng nguồn sông Ba	DI1	CP6	6,5	4,2	10,5	21,2
2	Lưu vực bộ phận Ayun Pa	DI2	CP14	7,0	7,1	9,5	23,7
3	Lưu vực bộ phận khu giữa I	DI3	CP17	3,2	2,9	3,7	9,8
4	Lưu vực bộ phận Krông H'Năng	DI4	CP23	6,2	3,1	2,8	12,0
5	Lưu vực bộ phận khu giữa II	DI5	CP28	0,7	0,6	0,2	1,5



<i>STT</i>	<i>Nút cấp nước</i>	<i>Ký hiệu</i>	<i>Ký hiệu nút</i>	<i>Sinh hoạt</i>	<i>Chăn nuôi</i>	<i>Công nghiệp</i>	<i>Tổng</i>
6	Lưu vực bộ phận Sông Hinh	DI6	CP34	1,2	1,3	2,9	5,4
7	Lưu vực bộ phận khu giữa III-thượng lưu Đồng Cam	DI7	CP37	0,5	0,4	1,3	2,2
8	Lưu vực bộ phận hạ lưu-Đồng Cam	DI8	CP40	16,2	2,0	19,9	38,1

Các bước tính toán áp dụng mô hình HEC-ResSim -ANN-DP cho HTHC trên lưu vực sông Ba theo phương pháp luận đã trình bày trong Chương 2, cụ thể cho sông Ba được thống kê ở Bảng 3.10.

*Bảng 3.10 Các bước thiết lập mô hình và giải quyết bài toán VHHTHC*

<i>TT</i>	<i>Bước tính</i>	<i>Mô hình sử dụng</i>
1	Xử lý số liệu đầu vào cho mô hình VHHTHC, thiết lập lưu vực và hệ thống vật lý; Định lượng hóa tình hình phân bố nguồn nước trên lưu vực	- Thu thập số liệu của hệ thống, số liệu thực tế vận hành. Phân tích thống kê, đánh giá. - Phân tích không gian: DEM, HEC- GeoHMS
2	Định lượng và ảnh hưởng của các ràng buộc nhu cầu sử dụng nước hạ lưu	- Mô phỏng VHHTHC: HEC-ResSim, HEC-
3	Định lượng và ảnh hưởng của các ràng buộc dòng chảy tối thiểu hạ lưu	DSSVue (HEC); - Phương pháp Tennant;
5	Áp dụng chạy chương trình DP do tác giả lập trình cho bài toán tối ưu cho HTHC	Mô hình tối ưu VHHTHC: DP
6	Tìm mạng ANN bằng cách luyện từ kết quả của DP Kiểm định áp dụng mô hình ANN cho một số năm vận hành thực tế cho từng hồ	Mô hình cận tối ưu: ANN từ DP

### **3.3 Thiết lập hệ thống vật lý lưu vực sông Ba**

Từ các Báo cáo Tổng hợp Tài nguyên nước, quy hoạch thủy điện và các báo cáo chuyên ngành và hồ sơ thiết kế công trình, quy trình vận hành liên hồ, sơ đồ tính toán cho hệ thống Sông Ba được thiết lập gồm có 6 hồ chứa thủy điện chính, 8 khu tưới và cấp nước, tương đương là các điểm nút tính toán, được thể hiện ở Hình 3.3.

- Các công trình hồ chứa, dùng nước; các điểm nút tính toán...được đưa vào chương trình HEC-ResSim. Giải thích các ký hiệu trong sơ đồ tính toán cho Hình 3.3 được trình bày trong các Bảng 3.11 đến 3.14 sau đây.

*Bảng 3.11 Các hồ chứa chính trên hệ thống Sông Ba*

<i>Ký hiệu hồ chứa</i>	<i>Công trình</i>	<i>Nút số liệu đầu vào hồ chứa</i>	<i>Nút phía sau hồ chứa</i>
RE1-Ka Nak	Hồ thủy điện Ka Nak	CP1	CP2
RE2- An Khê	Hồ thủy điện An Khê	CP3	CP4
RE3-Ayun Hạ	Hồ thủy điện Ayun Hạ	CP9	CP10
RE4-Krông H'Năng	Hồ thủy điện Krông H'Năng	CP18	CP19
RE5-Sông Ba Hạ	Hồ thủy điện Sông Ba Hạ	CP24	CP25
RE6-Sông Hinh	Hồ thủy điện Sông Hinh	CP29	CP30

*Bảng 3.12 Các khu tưới trên hệ thống*

<i>Vị trí Khu tưới</i>	<i>Ký hiệu</i>	<i>Nút đầu vào khu tưới</i>	<i>Nút hồi qui của khu tưới</i>
Thượng nguồn sông Ba	IR1	CP7	CP8
Lưu vực (LV) bộ phận Ayun Pa	IR2	CP11	CP12
LV khu giữa I	IR3	CP15	CP16
LV bộ phận Krông H'Năng	IR4	CP20	CP21
LV bộ phận khu giữa II	IR5	CP26	CP27
LV bộ phận Sông Hinh	IR6	CP31	CP32
LV bộ phận khu giữa III -thượng lưu Đồng Cam	IR7	CP35	CP36
LV bộ phận hạ lưu- Đồng Cam	IR8	CP38	CP39

*Bảng 3.13 Các nút cấp nước sinh hoạt, công nghiệp, đô thị.*

<i>Khu vực cấp nước sinh hoạt</i>	<i>Ký hiệu</i>	<i>Nút</i>
Thượng nguồn sông Ba	DI1	CP6
LV bộ phận Ayun Pa	DI2	CP13
LV khu giữa I	DI3	CP17
LV bộ phận Krông H'Năng	DI4	CP22
LV bộ phận khu giữa II	DI5	CP28
LV bộ phận Sông Hinh	DI6	CP33
LV bộ phận khu giữa III- thượng lưu đập dâng Đồng Cam	DI7	CP37
LV hạ lưu - Đồng Cam	DI8	CP40

*Bảng 3.14 Nút chuyển nước hệ thống*

<i>Chuyển nước lưu vực</i>	<i>Ký hiệu</i>	<i>Nút</i>
Chuyển nước sang lưu vực sông Kôn	DV1	CP5

*Bảng 3.15 Nút kiểm tra dòng chảy môi trường.*

<i>Nơi kiểm tra</i>	<i>Nút</i>
Sau đập An Khê	CP6
Sau đập Ayun Hạ	CP11
Sau đập Krông H'Năng	CP20
Sau đập sông Hinh	CP31
Sau đập Sông Ba Hạ	CP25
Hạ lưu Đồng cam	CP41

### **3.4 Sử dụng mô hình HEC-ResSim để định lượng tình hình VHHTHC lưu vực**

#### **3.4.1 Định lượng và ảnh hưởng của các ràng buộc nhu cầu sử dụng nước hạ lưu**

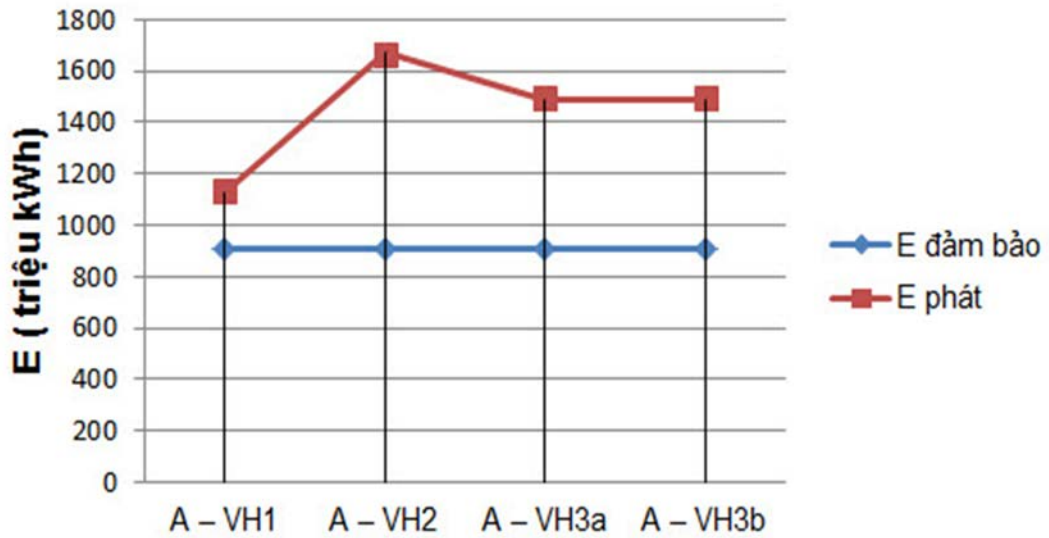
Để đánh giá được ảnh hưởng của các yêu cầu dùng nước cũng như mục tiêu của VHHTHC thì luận án đã tạo ra các bối cảnh và phương án vận hành khác nhau, được liệt kê ở Bảng 3.16.

*Bảng 3.16 Các phương án tính toán cho hệ thống*

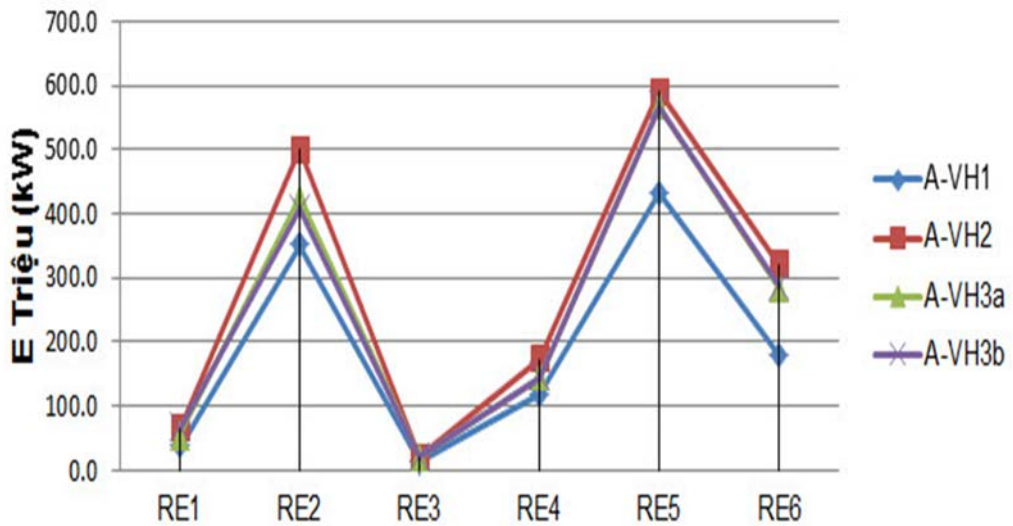
<i>Kịch bản</i>	<i>Cấu hình</i>	<i>Ký hiệu Phương án</i>	<i>Mô tả</i>
Hiện tại	Sáu hồ chứa thủy điện đang vận hành	<b>A-VH 1</b>	Không đưa vào biểu đồ điều phối cùng các qui tắc điều hành hồ chứa
		<b>A-VH 2</b>	Đưa vào biểu đồ điều phối và chỉ có qui tắc điều hành hồ chứa để phát điện.
		<b>A-VH 3a</b>	Đưa vào biểu đồ điều phối và có thêm các qui tắc vận hành với thứ tự ưu tiên: Qsh – Npđ – Q tưới - Qmtr
		<b>A-VH 3b</b>	Đưa vào biểu đồ điều phối và có thêm các qui tắc vận hành với thứ tự ưu tiên: Qsh - Q tưới – Npđ -Qmtr

*Ghi chú: Qsh (sinh hoạt - công nghiệp); Npđ (phát điện); Qtưới (tưới); Qmtr (dòng chảy tối thiểu)*

Kết quả tính toán cho thấy nhu cầu nước sinh hoạt công nghiệp luôn thỏa mãn. Định lượng về phát điện, tưới cho các bối cảnh và phương án nêu ở Bảng 3.17 đến Bảng 3.18 và từ Hình 3.4 đến 3.8.



Hình 3.4 Đồ thị tổng điện lượng trung bình năm các phương án



Hình 3.5 Đồ thị điện lượng trung bình năm từng hồ thủy điện

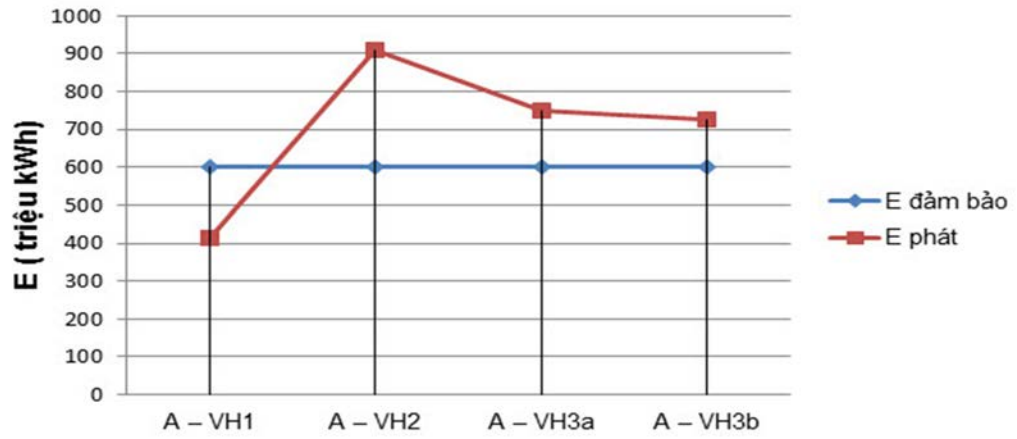
Bảng 3.17 Tổng hợp đánh giá các yêu cầu về điện lượng năm

Hồ thủy điện	Ký hiệu	Điện lượng đảm bảo yêu cầu trung bình năm (triệu kWh)	Điện lượng trung bình năm (triệu kWh)	DET (%)	Mức bảo đảm thời gian ( $\alpha$ ) (%)
<b>A-VH1</b>					
Ka Nak	RE1	25,4	34,9	137,4	50,3
An Khê	RE2	265,4	350,8	132,2	46,5
Ayun Hạ	RE3	17,5	14,7	83,8	45,1
Krông H'nh	RE4	106,0	117,9	111,2	33,4
Sông Ba Hạ	RE5	291,7	431,1	147,8	45,0
Sông Hinh	RE6	200,6	178,4	88,9	30,7
<b>Tổng cộng</b>		<b>906,7</b>	<b>1127,7</b>		
<b>A-VH2</b>					
Ka Nak	RE1	25,4	65,1	256,1	99,1
An Khê	RE2	265,4	500,6	188,6	81,4
Ayun Hạ	RE3	17,5	22,4	127,7	98,0
Krông H'nh	RE4	106,0	171,1	161,4	87,0
Sông Ba Hạ	RE5	291,7	589,7	202,1	78,4
Sông Hinh	RE6	200,6	322,3	160,7	98,6
<b>Tổng cộng</b>		<b>906,7</b>	<b>1671,2</b>		
<b>A-VH3a</b>					
Ka Nak	RE1	25,4	55,3	217,5	88,9
An Khê	RE2	265,4	423,5	159,6	67,0
Ayun Hạ	RE3	17,5	19,2	109,5	75,0
Krông H'nh	RE4	106,0	142,6	134,5	71,6
Sông Ba Hạ	RE5	291,7	566,4	194,2	79,1
Sông Hinh	RE6	200,6	283,9	141,5	89,7
<b>Tổng cộng</b>		<b>906,7</b>	<b>1490,9</b>		
<b>A-VH3b</b>					
Ka Nak	RE1	25,4	65,1	256,1	99,1
An Khê	RE2	265,4	405,4	152,7	61,9
Ayun Hạ	RE3	17,5	19,7	112,6	75,9
Krông H'nh	RE4	106,0	142,9	134,8	71,4
Sông Ba Hạ	RE5	291,7	567,4	194,5	78,4
Sông Hinh	RE6	200,6	288,7	143,9	90,8
<b>Tổng cộng</b>		<b>906,7</b>	<b>1489,2</b>		

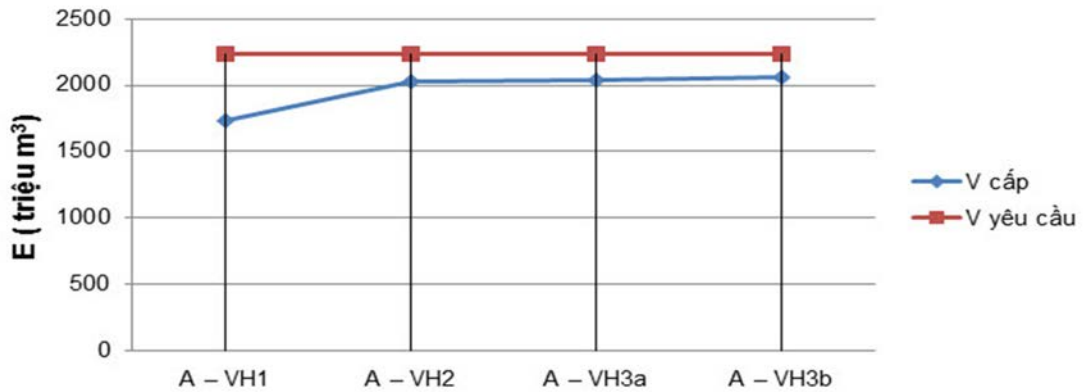
Bảng 3.18 Tổng hợp đánh giá các chỉ tiêu yêu cầu khu tưới

Ký hiệu khu tưới	V cấp (triệu m <sup>3</sup> )	Vy/c (triệu m <sup>3</sup> )	V thiếu (triệu m <sup>3</sup> )	Mức độ thiếu về lượng (%)	DVT (α) (%)
<b>A-VH1</b>					
IR1	126,1	222,8	-96,7	-43,4	44,3
IR2	272,8	395,3	-122,5	-31,0	56,4
IR3	269,6	297,8	-28,2	-9,5	83,7
IR4	143,0	189,8	-46,8	-24,6	65,3
IR5	105,0	108,0	-3,0	-2,8	95,9
IR6	92,0	129,9	-37,8	-29,1	69,4
IR7	300,7	333,1	-32,4	-9,7	89,2
IR8	421,4	556,2	-134,8	-24,2	79,6
<b>Tổng</b>	<b>1730,7</b>	<b>2232,9</b>	<b>-502,3</b>		
<b>A-VH2</b>					
IR1	102,6	222,8	-120,3	-54,0	46,2
IR2	361,8	395,3	-33,5	-8,5	76,5
IR3	286,4	297,8	-11,4	-3,8	93,4
IR4	178,3	189,8	-11,5	-6,0	82,0
IR5	106,8	108,0	-1,2	-1,1	98,7
IR6	129,0	129,9	-0,9	-0,7	99,1
IR7	332,0	333,1	-1,1	-0,3	98,9
IR8	529,9	556,2	-26,4	-4,7	93,1
<b>Tổng</b>	<b>2026,8</b>	<b>2232,9</b>	<b>-206,2</b>		
<b>A-VH3a</b>					
IR1	143,0	222,8	-79,8	-35,8	56,3
IR2	345,2	395,3	-50,1	-12,7	80,9
IR3	282,8	297,8	-15,1	-5,1	94,3
IR4	169,8	189,8	-20,0	-10,6	81,2
IR5	106,3	108,0	-1,7	-1,6	97,9
IR6	128,9	129,9	-1,0	-0,7	99,0
IR7	332,3	333,1	-0,8	-0,2	99,2
IR8	528,6	556,2	-27,6	-5,0	93,8
<b>Tổng</b>	<b>2036,8</b>	<b>2232,9</b>	<b>-196,1</b>		
<b>A-VH3b</b>					
IR1	146,4	222,8	-76,4	-34,3	57,8
IR2	345,2	395,3	-50,1	-12,7	80,9
IR3	282,9	297,8	-14,9	-5,0	94,3
IR4	169,6	189,8	-20,2	-10,6	81,1

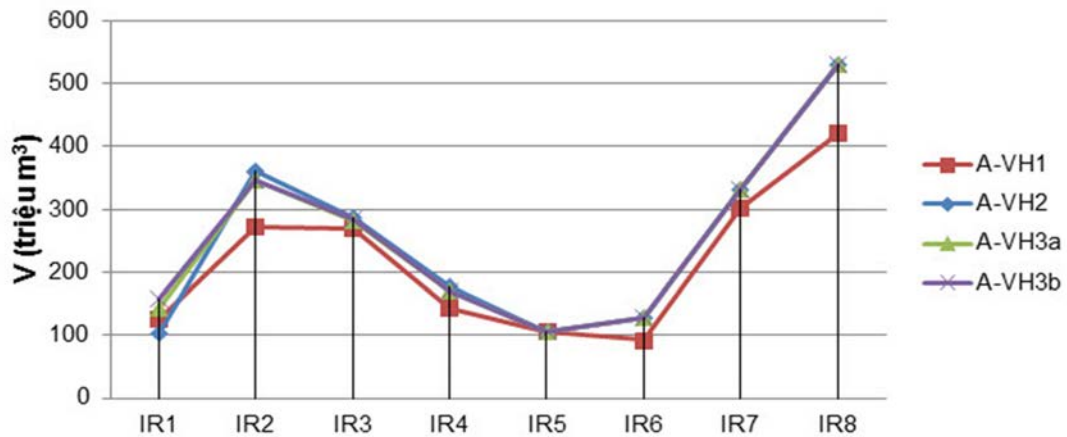
Ký hiệu khu tưới	V cấp (triệu m <sup>3</sup> )	Vy/c (triệu m <sup>3</sup> )	V thiếu (triệu m <sup>3</sup> )	Mức độ thiếu về lượng (%)	DVT (α) (%)
IR5	106,1	108,0	-1,9	-1,8	97,8
IR6	128,9	129,9	-1,0	-0,7	99,0
IR7	332,2	333,1	-0,9	-0,3	99,1
IR8	529,2	556,2	-27,0	-4,9	94,1
<b>Tổng</b>	<b>2040,6</b>	<b>2232,9</b>	<b>-192,4</b>		



Hình 3.6 Đồ thị thể hiện tổng điện lượng trung bình mùa kiệt các phương án



Hình 3.7 Đồ thị thể hiện tổng lượng nước cấp trung bình năm các phương án.



Hình 3.8 Đồ thị thể hiện lượng nước cấp trung bình năm từng khu tưới

### ***Nhận xét đánh giá kết quả:***

Qua tính toán mô phỏng VHHTHC thủy điện trên sông Ba với các tổ hợp phương án vận hành và bồi cảnh khác nhau, ta có các đánh giá như sau:

- Đối với phương án VH1: do không yêu cầu phát điện, dẫn đến chương trình luôn giữ mực nước hồ cao tới MNDBT, kết quả là lượng xả thừa lớn nên các chỉ tiêu điện năng và cấp nước là kém nhất.
- Đối với phương án VH2: có điện lượng cao nhất khi phát điện là đơn mục tiêu.
- Đối với phương án VH3: Điện năng và cấp nước đều cải thiện do nước yêu cầu xuống hạ lưu tăng khi mà lưu lượng tưới yêu cầu lớn hơn lượng nước phát ra công suất bảo đảm. Tuy nhiên, khi tưới được ưu tiên hơn (VH3b) thì điện năng sẽ giảm hơn khi điện được ưu tiên (VH3a). Điều này thể hiện rõ nhất vào mùa kiệt.
- Các phương án vận hành đa mục tiêu cho kết quả đáp ứng nhu cầu dùng nước tốt hơn đơn mục tiêu, mặc dù điện lượng có giảm nhưng không nhiều.
- Các phương án đều cho thấy nhu cầu nước cho công nghiệp và sinh hoạt hầu hết đều đáp ứng với mức bảo đảm cao. Mâu thuẫn về nhu cầu dùng nước thực tế sẽ là giữa phát điện - tưới - dòng chảy môi trường yêu cầu. Ở phần này chỉ nghiên cứu về ưu tiên phát điện và tưới. Dòng chảy môi trường sẽ được tiếp tục nghiên cứu ở mục 3.4.2 tiếp theo.



- Mô phỏng cho thấy nước cho tưới luôn bị thiếu nhất là vùng thượng lưu. Tình hình diễn ra ngày càng trầm trọng trong tương lai khi mà nhu cầu nước tăng lên.
- Phần mềm HEC-ResSim cho phép khảo sát nhanh chóng được nhiều phương án tổ hợp bồi cảnh-phương án vận hành, từ đó có quyết định và cách quản lý phù hợp.

### **3.4.2 Định lượng và ảnh hưởng của các ràng buộc dòng chảy môi trường tối thiểu hạ lưu**

Các tiêu chí để lựa chọn tuyến có ràng buộc dòng chảy tối thiểu như sau:

- + Thuộc các nhánh sông chính, lớn như nhánh sông Ayun, nhánh chính sông Bava sông Hinh.
- + Kiểm soát các nút ngay sau đập.
- + Khai thác bộ số liệu thủy văn sẵn có.

Trong nghiên cứu, tuyến nghiên cứu được lựa chọn là các tuyến sau nhà máy thủy điện, riêng với tuyến An Khê là vị trí nằm sau đập dâng An Khê.

- Tuyến 1: Trên dòng chính sông Ba, sau đập dâng An Khê, cách trạm thủy văn An Khê 7 km về thượng lưu, đây là tuyến có điểm nóng về vấn đề môi trường. Do lưu lượng nước chảy trên dòng sông Ba qua nhà máy thủy điện An Khê chảy sang lưu vực sông Kôn, từ khi việc xây dựng được hoàn thành, đã có nhiều phản ánh tiêu cực về môi trường sau đập An Khê vì tình trạng thiếu nước. Nếu không có biện pháp quản lý điều hành tốt các nhà máy thủy điện, đoạn sông từ sau An Khê đến thị trấn Krong Chro sẽ gặp rất nhiều vấn đề liên quan đến nước. Do tích nước vào hệ thống hồ An Khê-Ka Nak mà dọc chiều dài sông Ba từ chân đập dâng An Khê đến huyện Kông Chro, dài 30 km, dòng sông khô cạn, ô nhiễm nặng nề.
- Tuyến 2: Trên nhánh sông Ayun, sau đập Ayun Hạ. Đập Ayun Hạ nằm cách thị xã Pleiku khoảng 60 km về phía Đông Nam, thuộc huyện Ayun Pa, tỉnh Gia Lai. Công trình được thiết kế với diện tích tưới 13500 ha. Việc duy trì dòng chảy môi trường là một việc làm cần thiết để đáp ứng nhu cầu sinh hoạt, sử dụng nước ở hạ lưu.

- Tuyến 3: Trên nhánh sông Krông H'nh, sau đập chính sông Krông H'nh. Tuyến đập Krông H'nh cách thị trấn Củng Sơn, tỉnh Phú Yên khoảng 30 km về phía Tây – Tây Nam. Vị trí tuyến đánh giá thuộc xã Ea Ly, huyện Sông Hinh, tỉnh Phú Yên.
- Tuyến 4: Trên dòng chính sông Ba, sau đập Sông Ba Hạ. Tuyến đánh giá nằm sau đập Sông Ba Hạ, cách thị trấn Củng Sơn 10 km về thượng lưu.
- Tuyến 5: Trên nhánh sông Hinh, sau nhà máy thủy điện sông Hinh.
- Tuyến 6: Gần cửa sông Ba, gần thành phố Tuy Hòa, với mục tiêu là kiểm soát chống xâm nhập mặn vào sâu. Việc kiểm soát độ mặn hạ lưu của đập Đồng Cam với yêu cầu tối thiểu là 28,7 m<sup>3</sup> / s, hay 893 triệu m<sup>3</sup>/ năm, (JICA, 2003) [98].

Giá trị lưu lượng trung bình ngày (Q<sub>ngày</sub>) tương ứng với các mức đảm bảo P% (Q<sub>ngày</sub>, P%) với P = 75, 85, 90, 95% được xác định từ đường duy trì Q<sub>ngày</sub> trong mùa cạn, tài liệu từ 1977-2005 (Bảng 3.19)

Đánh giá dòng chảy môi trường theo phương pháp Tennant: Trên cơ sở kết quả tính toán dòng chảy trung bình năm toàn thời kỳ cho các tuyến nghiên cứu, ra có được kết quả tính toán dòng chảy môi trường cho các nút trên lưu vực Sông Ba. (Bảng từ 3.20 đến 3.24)

*Bảng 3.19 Đặc trưng dòng chảy trung bình thời kỳ*

Tuyến	Diện tích lưu vực (km <sup>2</sup> )	Thời kỳ quan trắc	Trung bình năm (m <sup>3</sup> /s)	Trung bình mùa kiệt (m <sup>3</sup> /s)	Lưu lượng trung bình ngày mùa kiệt (m <sup>3</sup> /s) tương ứng với mức bảo đảm (%)				
					75	80	85	90	95
1	1236	1977-2005	28,6	15,9	7,7	6,8	5,9	4,8	3,2
2	1670	1977-2005	44,7	30,7	4,9	4,2	3,5	2,8	2,2
3	1196	1977-2005	31,8	11,9	3,7	3,2	2,6	2,1	1,5
4	11115	1977-2005	242,8	115,1	39,3	33,6	28,2	22,6	16,2
5	772	1977-2005	45,7	17,1	7,1	6,2	5,4	4,4	3,2

*Bảng 3.20 Dòng chảy môi trường tuyến 1*

<i>Loại dòng chảy</i>	<i>Dòng chảy môi trường (m<sup>3</sup>/s)</i>	
	<i>Mùa cạn</i>	<i>Mùa mưa</i>
Rất tốt	11,5	17,2
Tốt	8,6	14,3
Tương đối tốt	5,7	11,5
Trung bình	2,9	8,6
Tối thiểu	2,9	2,9
Suy giảm	2,9 – 0	2,9 – 0

*Bảng 3.21 Dòng chảy môi trường tuyến 2*

<i>Loại dòng chảy</i>	<i>Dòng chảy môi trường (m<sup>3</sup>/s)</i>	
	<i>Mùa cạn</i>	<i>Mùa mưa</i>
Rất tốt	17,9	26,8
Tốt	13,4	22,4
Tương đối tốt	8,9	17,9
Trung bình	4,5	13,4
Tối thiểu	4,5	4,5
Suy giảm	4,5 – 0	4,5 – 0

*Bảng 3.22 Dòng chảy môi trường tuyến 3*

<i>Loại dòng chảy</i>	<i>Dòng chảy môi trường (m<sup>3</sup>/s)</i>	
	<i>Mùa cạn</i>	<i>Mùa mưa</i>
Rất tốt	12,7	19,1
Tốt	9,5	15,9
Tương đối tốt	6,4	12,7
Trung bình	3,2	9,5
Tối thiểu	3,2	3,2
Suy giảm	3,2 – 0	3,2 – 0

*Bảng 3.23 Dòng chảy môi trường tuyến 4*

<i>Loại dòng chảy</i>	<i>Dòng chảy môi trường (m<sup>3</sup>/s)</i>	
	<i>Mùa cạn</i>	<i>Mùa mưa</i>
Rất tốt	97,1	145,7
Tốt	72,8	121,4
Tương đối tốt	48,6	97,1
Trung bình	24,3	72,8
Tối thiểu	24,3	24,3
Suy giảm	24,3 – 0	24,3 – 0

*Bảng 3.24 Dòng chảy môi trường tuyến 5*

<i>Loại dòng chảy</i>	<i>Dòng chảy môi trường (m<sup>3</sup>/s)</i>	
	<i>Mùa cạn</i>	<i>Mùa mưa</i>
Rất tốt	18,3	27,4
Tốt	13,7	22,8
Tương đối tốt	9,1	18,3
Trung bình	4,6	13,7
Tối thiểu	4,6	4,6
Suy giảm	4,6 – 0	4,6 – 0

Trong khuôn khổ phương pháp, việc đánh giá dòng chảy môi trường sẽ chỉ được đề xuất trong mùa cạn. Với các mức độ đánh giá dòng chảy môi trường theo phương pháp thủy văn, việc đánh giá dựa vào các phương án khác nhau ứng với các bộ Qmtr khác nhau (Bảng 3.25). Dòng chảy môi trường ở tuyến An Khê được lấy theo qui định hiện hành của Bộ TNMT, tuy nhiên, hiện tại đang có rất nhiều những phản ánh tiêu cực, cho rằng việc xả 4 m<sup>3</sup>/s của An Khê là chưa đáp ứng được những nhu cầu dùng nước ở khu vực hạ lưu, tình trạng ô nhiễm và khô hạn tăng cao.

Những năm gần đây, theo yêu cầu của tỉnh Phú Yên, lượng nước đến đập Đồng Cam trong suốt 9 tháng mùa cạn (cuối tháng 12 đến cuối tháng 8) không dưới 40 m<sup>3</sup>/s. Lý do, việc tưới cho hạ du là luân phiên, nếu đầu nước không đủ các công lấy nước trong nội đồng không lấy được nước tự chảy và về hạ nguồn luôn thiếu nước. Ngoài ra lượng nước này là rất quan trọng cho việc cung cấp sinh hoạt, công nghiệp... trong vùng hạ du. Vì vậy giá trị Q môi trường sau đập Sông Ba Hạ và Sông Hinh sẽ đáp ứng

yêu cầu 40 m<sup>3</sup>/s ở Đồng Cam. Mặt khác, phía sau đập Sông Ba Hạ không có yêu cầu về lượng nước lớn, lượng nước yêu cầu tập trung ở Đồng Cam nên giá trị dòng chảy môi trường tối thiểu Q<sub>mtr-2</sub> tại Sông Ba Hạ vẫn được giữ nguyên là 24,3 m<sup>3</sup>/s, cùng với Sông Hinh đáp ứng nhu cầu nước ở đập Đồng Cam.

*Bảng 3.25 Một số giá trị dòng chảy môi trường đề xuất*

Kịch bản	Tuyến 1	Tuyến 2	Tuyến 3	Tuyến 4	Tuyến 5	Tuyến 6
Q <sub>mtr-1</sub> (m <sup>3</sup> /s)	4	4,5	3,2	24,3	4,6	28,7
Q <sub>mtr-2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	8,6	13,4	9,5	24,3	13,7	28,7

Các giá trị Q môi trường trong các kịch bản sẽ được sử dụng cho tính toán cân bằng nước bằng mô hình ứng dụng HEC-ResSim, với số liệu vào như sau: Kịch bản sử dụng nước hiện tại. Số liệu nguồn nước đến là chuỗi số liệu thủy văn 1977-2005. Ứng với mỗi phương án tính toán, có tập hợp Q<sub>mtr</sub> các tuyến, với việc tham gia kiểm soát của các hồ chứa phía trên. Các phương án xem Bảng 3.26.

*Bảng 3.26 Các phương án tính toán cho hệ thống đánh giá dòng chảy môi trường.*

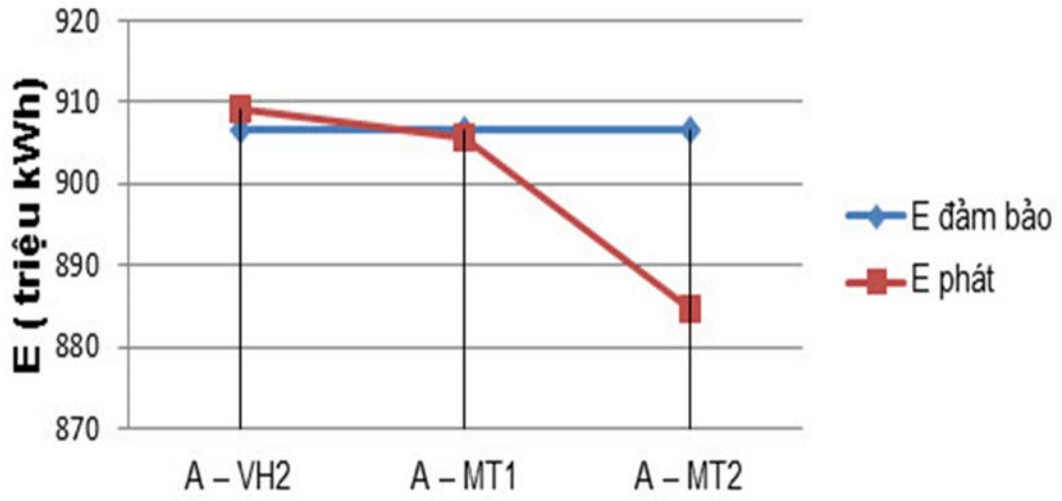
Kịch bản	Cấu hình	Phương án	Mô tả
Hiện tại	Sáu hồ chứa thủy điện	<b>A – VH2</b>	Có biểu đồ điều phối và chỉ có qui tắc điều hành hồ chứa để phát điện.
		<b>A – MT1</b>	Có biểu đồ điều phối và thêm qui tắc vận hành ưu tiên mục đích dòng chảy môi trường: Q <sub>mtr-1</sub> - Npđ
		<b>A – MT 2</b>	Có biểu đồ điều phối và thêm qui tắc vận hành ưu tiên mục đích dòng chảy môi trường: Q <sub>mtr-2</sub> - Npđ

*Ghi chú: Npđ (phát điện); Q<sub>mtr</sub> (dòng chảy tối thiểu)*

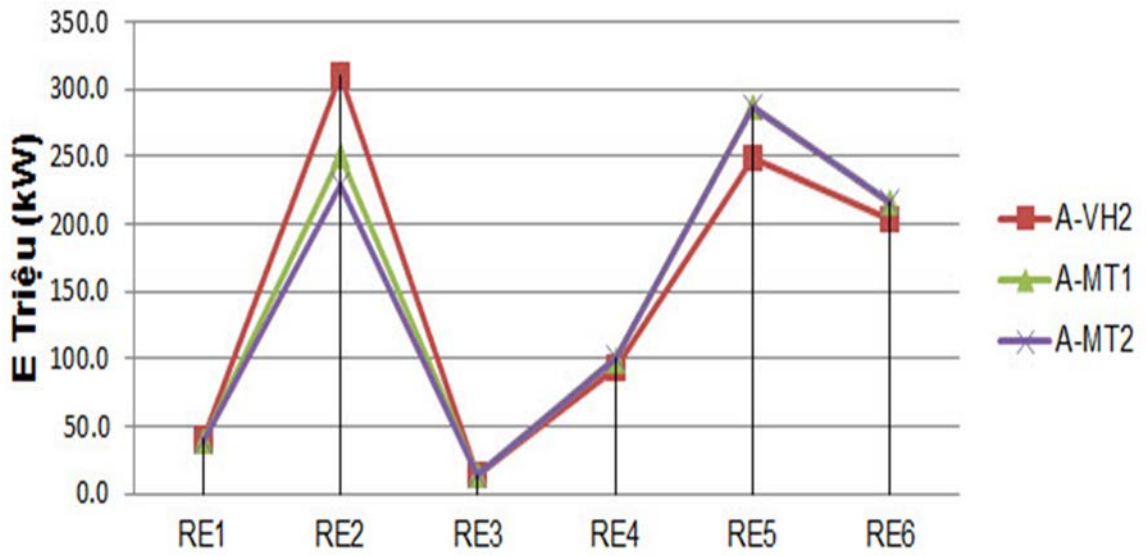
Chi tiết kết quả xem ở Bảng 3.27 đến Bảng 3.29 và từ Hình 3.9 đến 3.13.

Bảng 3.27 Kết quả tính toán về điện lượng trong mùa kiệt

Hồ chứa	Ký hiệu	Điện lượng đảm bảo yêu cầu mùa kiệt	Điện lượng trung bình mùa kiệt	Mức đảm bảo (%)
<b>A – VH2</b>				
Ka Nak	RE1	25.4	40.6	100.0
An Khê	RE2	265.4	309.3	82.5
Ayun Hạ	RE3	17.5	14.2	97.2
Krông H'nh	RE4	106.0	93.6	86.9
Sông Ba Hạ	RE5	291.7	248.2	70.2
Sông Hinh	RE6	200.6	203.2	99.4
<b>Tổng cộng</b>		<b>906.7</b>	<b>909.2</b>	
<b>A – MT1</b>				
Ka Nak	RE1	25.4	39.6	93.7
An Khê	RE2	265.4	249.8	61.9
Ayun Hạ	RE3	17.5	13.7	89.7
Krông H'nh	RE4	106.0	99.5	84.5
Sông Ba Hạ	RE5	291.7	286.9	75.9
Sông Hinh	RE6	200.6	216.3	95.4
<b>Tổng cộng</b>		<b>906.7</b>	<b>905.7</b>	
<b>A – MT2</b>				
Ka Nak	RE1	25.4	39.0	89.8
An Khê	RE2	265.4	229.0	60.1
Ayun Hạ	RE3	17.5	13.7	89.5
Krông H'nh	RE4	106.0	99.6	83.8
Sông Ba Hạ	RE5	291.7	286.5	76.3
Sông Hinh	RE6	200.6	216.9	95.2
<b>Tổng cộng</b>		<b>906.7</b>	<b>884.7</b>	



Hình 3.9 Tổng điện lượng trung bình mùa kiệt các phương án

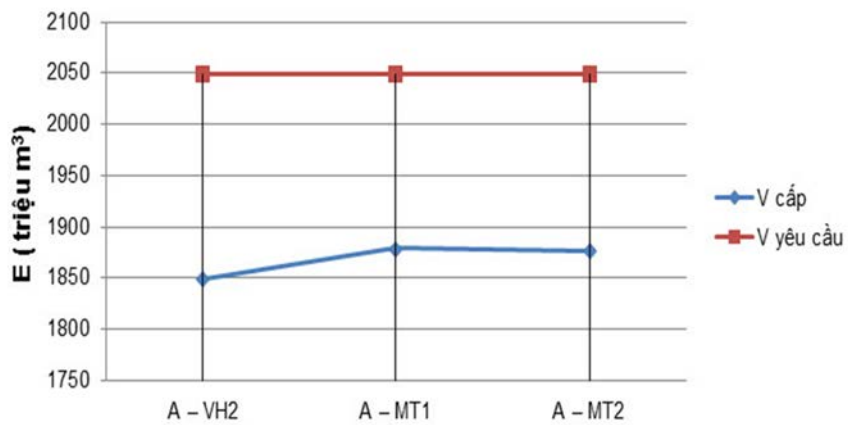


Hình 3.10 Điện lượng trung bình mùa kiệt các hồ thủy điện

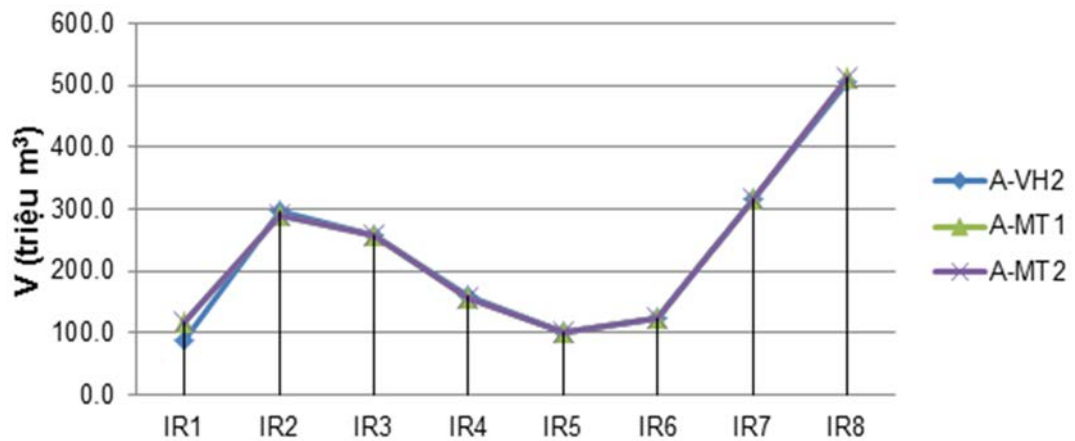
Bảng 3.28 Kết quả tính toán về cấp nước tưới trong mùa kiệt

Ký hiệu khu tưới	V cấp (triệu m <sup>3</sup> )	Vy/c (triệu m <sup>3</sup> )	V thiếu (triệu m <sup>3</sup> )	Mức độ thiếu về lượng (%)	DVT ( $\alpha$ ) (%)
<b>A-VH2</b>					
IR1	86.6	201.9	-115.4	-57.1	52.3
IR2	298.5	330.2	-31.7	-9.6	78.7
IR3	258.5	269.9	-11.4	-4.2	93.3
IR4	159.8	170.8	-11.0	-6.5	83.0
IR5	100.8	102.0	-1.2	-1.2	98.9
IR6	124.1	124.6	-0.6	-0.5	99.6
IR7	317.0	318.1	-1.1	-0.3	98.9
IR8	504.5	531.2	-26.7	-5.0	92.9
<b>Tổng</b>	<b>1849.6</b>	<b>2048.8</b>	<b>-199.1</b>		
<b>A-MT1</b>					
IR1	116.7	201.9	-85.2	-42.2	57.1
IR2	291.0	330.2	-39.1	-11.9	79.0
IR3	258.7	269.9	-11.2	-4.2	94.6
IR4	157.8	170.8	-12.9	-7.6	79.4
IR5	99.8	102.0	-2.2	-2.2	98.0
IR6	124.0	124.6	-0.7	-0.5	99.6
IR7	317.4	318.1	-0.7	-0.2	99.2
IR8	513.3	531.2	-17.9	-3.4	96.2
<b>Tổng</b>	<b>1878.8</b>	<b>2048.8</b>	<b>-169.9</b>		
<b>A-MT2</b>					
IR1	116.5	201.9	-85.4	-42.3	60.5
IR2	291.4	330.2	-38.8	-11.8	79.1
IR3	257.9	269.9	-12.0	-4.4	94.6
IR4	157.5	170.8	-13.3	-7.8	79.3
IR5	99.8	102.0	-2.2	-2.2	98.0
IR6	124.0	124.6	-0.7	-0.5	99.6
IR7	317.4	318.1	-0.8	-0.2	99.2
IR8	512.4	531.2	-18.9	-3.6	96.0
<b>Tổng</b>	<b>1876.8</b>	<b>2048.8</b>	<b>-172.0</b>		

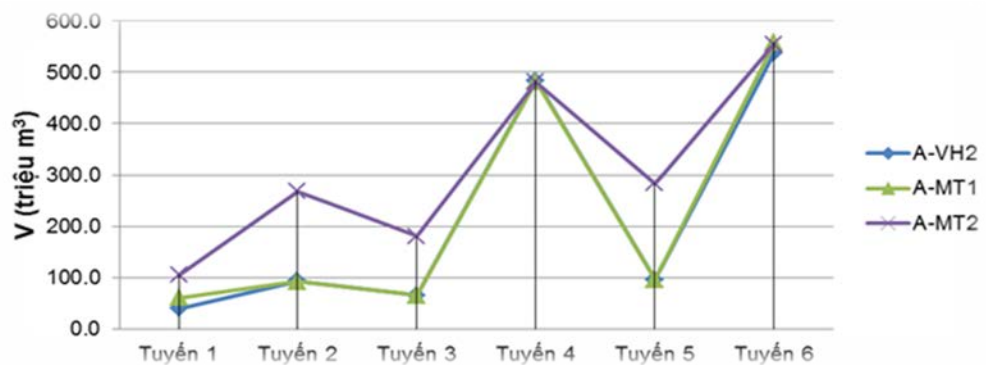




Hình 3.11 Tổng lượng nước cấp trung bình mùa kiệt các phương án



Hình 3.12 Lượng nước cấp trung bình mùa kiệt các khu tưới



Hình 3.13 Lượng nước cấp trung bình mùa kiệt cho các tuyến

Bảng 3.29 Kết quả tính toán về dòng chảy môi trường qua tuyến trong mùa kiệt

Ký hiệu khu tưới	V cấp (triệu m <sup>3</sup> )	Vy/c (triệu m <sup>3</sup> )	V thiếu (triệu m <sup>3</sup> )	Mức độ thiếu về lượng (%)	DVT (α) (%)
<b>A-VH2 (Qmtr-1)</b>					
Tuyến 1	39.5	83.6	-44.1	-52.8	35.5
Tuyến 2	93.1	94.1	-1.0	-1.1	98.3
Tuyến 3	65.0	66.9	-1.9	-2.9	93.7
Tuyến 4	483.7	508.1	-24.4	-4.8	88.6
Tuyến 5	95.6	96.2	-0.5	-0.6	99.4
Tuyến 6	537.9	600.1	-62.2	-10.4	80.8
<b>Tổng</b>	<b>1314.7</b>	<b>1449.0</b>	<b>-134.2</b>		
<b>A-MT1</b>					
Tuyến 1	60.2	83.6	-23.4	-28.0	52.8
Tuyến 2	92.2	94.1	-1.9	-2.0	96.7
Tuyến 3	64.9	66.9	-2.0	-3.0	93.1
Tuyến 4	482.3	508.1	-25.8	-5.1	91.4
Tuyến 5	95.6	96.2	-0.6	-0.6	99.3
Tuyến 6	558.0	600.1	-42.1	-7.0	85.9
<b>Tổng</b>	<b>1353.2</b>	<b>1449.0</b>	<b>-95.8</b>		
<b>A-MT2</b>					
Tuyến 1	104.7	179.8	-75.1	-41.8	33.8
Tuyến 2	267.4	280.2	-12.8	-4.6	90.1
Tuyến 3	180.6	198.6	-18.0	-9.1	84.2
Tuyến 4	481.1	508.1	-26.9	-5.3	91.1
Tuyến 5	283.5	286.5	-2.9	-1.0	96.0
Tuyến 6	555.3	600.1	-44.8	-7.5	85.5
<b>Tổng</b>	<b>1872.6</b>	<b>2053.2</b>	<b>-180.6</b>		

**Nhận xét đánh giá kết quả:**

Kết quả tính toán cho các kịch bản cho thấy:

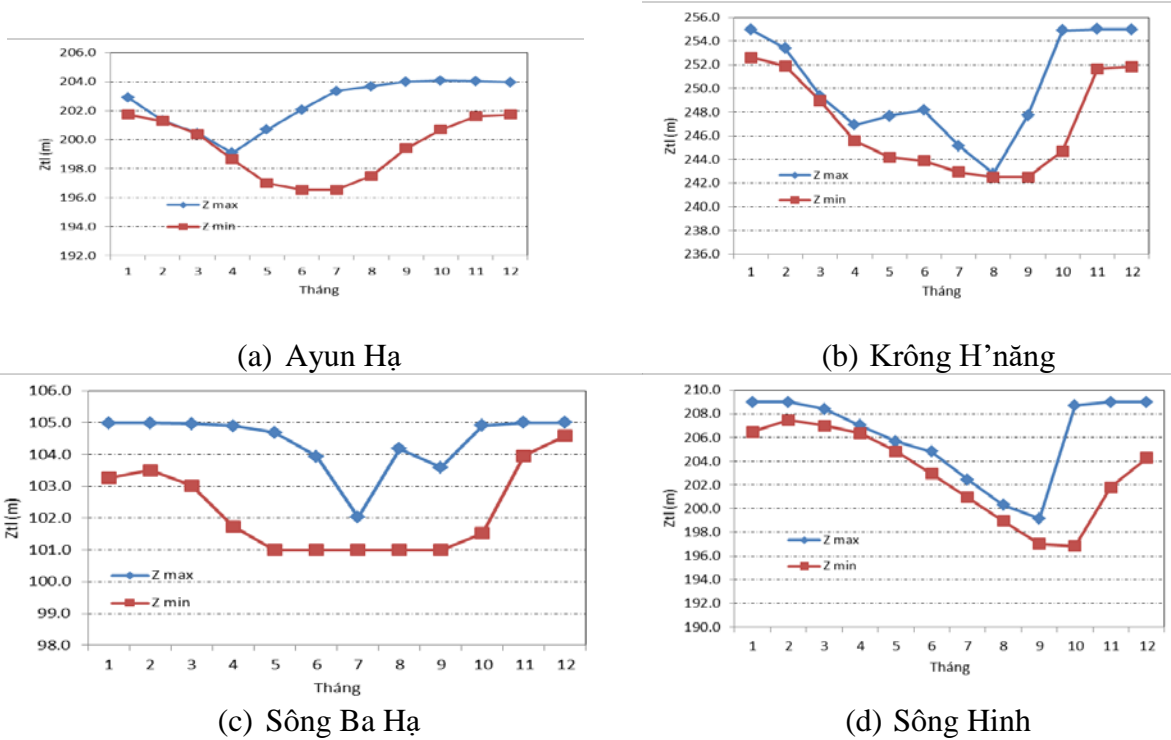
- Đối với phương án VH2: cho chỉ tiêu điện năng là lớn nhất và cấp nước là kém nhất;
- Tất cả các phương án đều có lượng nước cấp cho môi trường bị thiếu hụt. Đối với phương án MT1: có lượng nước duy trì môi trường cao hơn VH2. Lượng nước thiếu cho phương án MT2 là cao nhất.

- Các phương án đều cho thấy nhu cầu nước cho công nghiệp và sinh hoạt hầu hết đều đáp ứng với mức bảo đảm cao. Mâu thuẫn về nhu cầu dùng nước thực tế sẽ là giữa phát điện - tưới - dòng chảy môi trường yêu cầu. Như vậy có thể xác định hàm mục tiêu là phát điện lớn nhất và thỏa mãn các ràng buộc lưu lượng tối thiểu hạ lưu.

### 3.4.3 Kết quả tính toán từ mô hình HEC-ResSim sử dụng cho DP

Từ việc đánh giá kết quả tính toán cho các phương án vận hành khác nhau dùng HEC-ResSim thì các kết luận và kết quả sau sẽ được kế thừa, sử dụng cho DP:

- ✓ Với bài toán DP cho HTHC sông Ba thì mục tiêu là điện lượng lớn nhất, các yêu cầu dùng nước khác sẽ là ràng buộc. Do vậy kết quả của phương án vận hành phát điện là ưu tiên, các yêu cầu dùng nước khác là ràng buộc ưu tiên sau (Phương án VH 3-a) sẽ được chọn là đầu vào cho DP;
- ✓ Bộ thông số của mô hình HEC-ResSim sẽ đưa vào DP bao gồm các dòng chảy đến hồ, dòng chảy khu giữa. Các đặc trưng dòng chảy nêu ở Phụ lục;
- ✓ Phạm vi biến đổi mực nước từng hồ chứa: từ HEC-ResSim cho ra phạm vi vùng khả thi làm hành lang ban đầu cho DDDP nằm giữa đường bao bởi các mực nước hồ Zmin và Zmax ở Hình 3.14. Chi tiết giá trị cho từng tháng, xem ở Bảng 3.30;



Hình 3.14 Phạm vi biến đổi mực nước các hồ chứa

### 3.5 Thiết lập và chạy mô hình DP cho HTHC sông Ba

#### 3.5.1 Hàm mục tiêu và ràng buộc

Như phân tích ở trên, đối với hồ chứa thủy điện, thì thông thường chọn Hàm mục tiêu điện năng lớn nhất sẽ phù hợp. Đặc biệt ở Việt Nam thì với thị trường điện cạnh tranh, tham gia của các nhà máy nhập khẩu nhiên liệu (than, khí thiên nhiên từ mỏ, LNG), năng lượng tái tạo (điện gió, mặt trời). Lúc này thủy điện trở nên chiếm tỷ trọng nhỏ trong hệ thống nên việc tiếp nhận công suất của hệ thống đối với nguồn thủy điện là lúc nào cũng khả thi. Hệ thống sông Ba trong thời gian tới chỉ đóng góp nhỏ hơn 1% so với tổng công suất hệ thống nên chọn điện năng lớn nhất là hợp lý.

Như vậy, mục tiêu cho VHHTHC sông Ba ở đây là: Tối đa hóa điện lượng toàn hệ thống các hồ tính cho toàn bộ chuỗi thời đoạn tính toán là tháng (theo công thức tổng quát (2-3)) được viết lại là:

$$E_{ht} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M E_{(i,j)} = f(V, Q) \rightarrow \text{Max}$$

Trong đó: V: véc tơ dung tích hoặc mực nước các hồ; Q: véc tơ lưu lượng phát điện các nhà máy thủy điện; i=1 đến N là số thời đoạn tính toán; j =1 đến M là số hồ;

Biến trạng thái là mực nước thượng lưu hồ;

Bảng 3.30 Phạm vi biến đổi mực nước hồ chứa từ HEC-ResSim

Hồ chứa	Tháng	Ztl (m)					
<b>Ayun Hạ</b>	Max (I-VI)	202.9	201.3	200.4	199.1	200.7	202.1
	Min (I-VI)	201.7	201.3	200.4	198.6	197.0	196.5
	Max (VII-XII)	203.3	203.7	204.0	204.1	204.0	204.0
	Min (VII-XII)	196.5	197.5	199.4	200.7	201.6	201.7
<b>Krông H'Năng</b>	Max (I-VI)	255.0	253.4	249.4	246.9	247.7	248.2
	Min (I-VI)	252.6	251.9	248.9	245.6	244.2	243.9
	Max (VII-XII)	245.2	242.8	247.7	254.9	255.0	255.0
	Min (VII-XII)	242.9	242.5	242.5	244.7	251.7	251.8
<b>Sông Ba Hạ</b>	Max (I-VI)	105.0	105.0	105.0	104.9	104.7	103.9
	Min (I-VI)	103.3	103.5	103.0	101.7	101.0	101.0
	Max (VII-XII)	102.0	104.2	103.6	104.9	105.0	105.0
	Min (VII-XII)	101.0	101.0	101.0	101.5	104.0	104.6
<b>Sông Hinh</b>	Max (I-VI)	209.0	209.0	208.4	207.0	205.7	204.8
	Min (I-VI)	206.5	207.5	207.0	206.4	204.8	202.9
	Max (VII-XII)	202.4	200.3	199.2	208.7	209.0	209.0
	Min (VII-XII)	200.9	198.9	197.0	196.8	201.8	204.3

### **3.5.2 Điều kiện biên và ràng buộc**

#### **3.5.2.1 Điều kiện biên**

Với HTHC sông Ba thì do cụm An Khê – Ka Nak có lưu lượng trả về hạ lưu sông Ba được theo yêu cầu tối thiểu chiếm phần nhỏ, còn lại toàn bộ chuyển nước sang lưu vực sông Côn phát điện. Do vậy, nên mô hình DP áp dụng cho tính toán với 04 hồ: Ayun Hạ, Krông H'Năng, Sông Ba Hạ, Sông Hinh. Dòng chảy từ An Khê xuống hạ lưu lấy theo điều kiện biên và xác định từ HEC-ResSim.

#### **3.5.2.2 Quy định dòng chảy tối thiểu**

Sử dụng và phân phối nước trên hệ thống nguồn nước sông Ba phụ thuộc vào VHHTHC của 6 hồ chính trên sông Ba. Mâu thuẫn dùng nước ở lưu vực vào mùa kiệt (cuối tháng 12 đến cuối tháng 8) sẽ là nhu cầu nước hạ lưu và phát điện. Mâu thuẫn này phát sinh lớn là khu vực sau đập An Khê và thượng lưu đập Đồng Cam.

Thủ tướng Chính phủ ban hành Quyết định số 1077/QĐ-TTg, ngày 7/7/2014 Ban hành Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Ba, bao gồm các hồ: Sông Ba Hạ, Sông Hinh, Krông H'Năng, Ayun Hạ và An Khê - Ka Nak. Tiếp theo đó, Quyết định số 282/QĐ-TTg, ngày 1/3/2017 ban hành sửa đổi, bổ sung một số điều trong Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Ba theo Quyết định số 1077/QĐ-TTg, nhằm điều chỉnh lưu lượng tối thiểu sau An Khê cho phù hợp.

Nguyên tắc vận hành được chia thành các cấp lưu lượng, trong mùa khô từ cuối tháng 12 đến cuối tháng 1-8: ứng với hai thời đoạn là cấp nước bình thường và cấp nước gia tăng. Lưu lượng Q tối thiểu phải trả về sông sau đập An Khê – Ka Nak : 4-8 m<sup>3</sup>/s; Q tối thiểu phải trả về sông, từ cụm hồ Ayun Hạ - Sông Ba Hạ - Krông H' năng – Sông Hinh đến trước đập Đồng Cam: 30-40 m<sup>3</sup>/s. Ràng buộc hạ lưu của cả hệ thống là lưu lượng đến Đồng Cam nhằm đảm bảo mực nước tự chảy vào kênh hai bên đập dâng, sau đó dẫn đến các khu tưới. Bảng 3.31 nêu yêu cầu dòng chảy tối thiểu trong các thời kỳ cấp nước của hệ thống. Riêng với hồ thủy lợi Ayun Hạ thường xuyên phải cấp cho tưới là 23 m<sup>3</sup>/s. Do vậy nếu thừa nước vào cuối mùa kiệt (Qđến >23m<sup>3</sup>/s) thì Ayun Hạ có thể bổ sung trả cho sông Ba là 5 m<sup>3</sup>/s như nêu trong Bảng 3.31

### 3.5.2.3 Các ràng buộc HTHC:

Như vậy, căn cứ vào phân tích cụ thể trên về HTHC sông Ba, các ràng buộc sẽ là:

- + Phương trình liên tục (phương trình cân bằng nước giữa các hồ chứa và nút của hệ thống);
- + Dung tích hồ giới hạn bởi các mực nước: MNDBT, MNC, giới hạn phòng lũ lấy từ biểu đồ điều phối các hồ. Hồ phải trữ đầy vào cuối mùa lũ.

*Bảng 3.31 Yêu cầu về cấp nước hạ lưu tối thiểu trong mùa kiệt*

STT	Điểm	Q tối thiểu cấp bình thường ( $m^3/s$ )	Q tối thiểu cấp gia tăng ( $m^3/s$ )
1	Sau đập An Khê	4,0	8,0
2	Sau đập Ayun Hạ	0	5,0
3	Sau đập Krông H'Năng	8,0	10,0
3	Sau đập Sông Ba Hạ	30,0	40,0
4	Sau đập Sông Hình	30,0	40,0
5	Thượng lưu Đồng Cam	30,0	40,0

+ Giới hạn lưu lượng và công suất qua tua bin tại mỗi thời đoạn tính:  $Q_{\min,t}$ ,  $Q_{\max,t}$ ;  $N_{\min,t}$ ,  $N_{\max,t}$  = công suất nhỏ nhất và lớn nhất (công suất lắp máy) cho phép được nội suy từ đường đặc tính làm việc của tổ máy thủy điện:  $N = f(Q, H)$ .

+ Các nhu cầu nước hạ lưu đã được nêu trong Quy trình vận hành liên hồ được đưa vào ràng buộc cần thỏa mãn. Lưu lượng tối thiểu xuống hạ lưu hồ chứa phải thỏa mãn ràng buộc tại các nút khống chế như Bảng 3.31. Đối với hồ chứa Ayun Hạ, lưu lượng tưới yêu cầu liên tục là 23 m<sup>3</sup>/s. Nếu thừa ra sẽ bổ sung cho Đồng Cam vào cuối mùa kiệt. Như vậy với lưu lượng tại Đồng Cam để duy trì mực nước tối thiểu cho tưới thì cần phải có sự phối hợp của cả 04 hồ chứa với nhau và bài toán là vận hành liên hồ.

+ Lưu lượng tối thiểu trên dòng chính hạ du tại trước Đồng Cam của tất cả các hồ chứa đảm bảo mực nước tối thiểu cho cấp nước là  $Q_{tt}$ , lượng nước tại thời đoạn tính toán thiếu hụt lượng là  $\Delta Q_{tt}$ . Như vậy, lượng nước cần cung cấp bổ sung từ hồ j (Sông Ba Hạ - Sông Hình - Krông H'Năng - Ayun Hạ) được phân bổ theo công thức (2-13) ở Chương 2 .

Kết quả tính toán phát điện cho chuỗi 1977-2000 được tổng hợp ở Bảng 3.32 và cấp nước ở Bảng 3.33 cho thấy việc cấp nước tưới cho Ayun Hạ và nước đến Đồng Cam được bảo đảm cao lần lượt là 82% và 91%. Chi tiết chuỗi kết quả quỹ đạo tối ưu từng tháng xem Phụ lục 2.

*Bảng 3.32 Giá trị điện lượng trung bình năm theo DP*

Hồ chứa	Etb năm (triệu KWh)
Krông H'Năng	186.5
Ayun Hạ	22.8
Sông Ba Hạ	613.3
Sông Hinh	380.1

*Bảng 3.33 Lưu lượng đến đập Đồng Cam và cấp nước tưới cho Ayun Hạ*

<i>Q tháng đến trước Đồng Cam</i>			
Q-max 2502.1	Q-min 18.5	Số tháng thiếu 26	Mức bảo đảm 91
<i>Q tháng tưới cho Ayun Hạ</i>			
Q-max 23.0	Q-min 1.1	Số tháng thiếu 52	Mức bảo đảm 82

### **3.5.3 Chuỗi tính toán ANN-DP cho HTHC sông Ba**

Mô hình Quy hoạch động được sử dụng tính toán tối ưu cho HT các hồ chứa (nối tiếp, song song trên lưu vực), thời đoạn tháng với nhu cầu nước và các tài liệu khí tượng thủy văn như sau:

- Chạy DP cho chuỗi thời gian từ 1977-2000: tìm lời giải tối ưu bằng Quy hoạch động, sau đó sử dụng để luyện (training hay learning) ANN;
- Chạy DP cho chuỗi thời gian từ 2001-2005: sử dụng để kiểm định (certification) mô hình ANN-DP

Mô hình HEC-ResSim ở trên sẽ có một tập hợp các mực nước cho tất cả các hồ, cho các phương án, bối cảnh khác nhau. Hành lang thử ban đầu cho DP toàn hệ thống liên hồ lấy từ kết quả mô hình HEC-ResSim, sau đó lặp dần bằng cách lặp thu hẹp khoảng chia mực nước hồ  $\Delta Z = 4, 2, 1, 0.5 \dots$  (m) đến khi nào sai số các lần lặp là đạt yêu cầu.

### 3.6 Thiết lập mạng ANN-DP và đánh giá

Cấu trúc mạng ANN được chọn như sau:

$$V_{c,t} = f(V_{đ,t}; Q_{tn,t}; V_{đ,t-1}; Q_{tn,t-1}; Q_{hl(t-1)}; V_{đ,t-2}; Q_{tn,t-2}; Q_{hl(t-2)} \dots)$$

Trong đó:  $V_{c,t}$ : dung tích hồ cuối thời đoạn;  $V_{đ,t}$ : dung tích hồ đầu thời đoạn;  $Q_{tn,t}$ : lượng đến hồ trong thời đoạn;  $V_{đ,t-i}$ ;  $Q_{tn,t-i}$ ;  $Q_{hl(t-i)}$ : Dung tích, lượng nước đến, lượng xuống hạ lưu (phát điện) của các thời đoạn ngay trước thời đoạn đang xét;

Như vậy tùy vào  $i = 0, 1, 2, 3$  mà ta có: ANN-0; ANN-1; ANN-2; ANN-3 tương ứng là các thời đoạn liên quan đến quyết định các thời đoạn trước đây. Để tiện thể hiện ngắn gọn kết quả của mô hình ANN-DP thì ***hồ Sông Hinh được chọn làm thí điểm áp dụng*** sau khi ta đã chạy mô hình DP cho toàn hệ thống. Hồ Sông Hinh được chọn điển hình là do tính liên quan đến hệ thống và mức độ tiềm năng tối ưu của nó, đó là: (1) hồ có dung tích hồ lớn và phạm vi biến đổi cột nước (độ sâu công tác của hồ chứa) lớn; (2) hồ có liên hệ trực tiếp cùng Sông Ba Hạ đáp ứng nhu cầu cho Đồng Cam. Việc áp dụng cho các hồ khác sẽ tương tự như vậy khi ta đã có kết quả chuỗi quỹ đạo tối ưu từ DP rồi.

Việc chọn danh sách các biến vào và cấu trúc mạng cần qua phân tích thống kê cũng như phân tích tình hình thực tế cụ thể của hồ chứa đó. Qua phân tích cho thấy với hồ Sông Hinh thì véc tơ biến dung tích hồ đầu thời đoạn, lưu lượng đến và lưu lượng phát điện của hồ là có ảnh hưởng lớn nhất đến dung tích cuối thời đoạn. Các yếu tố khác như trạng thái các hồ khác ảnh hưởng không nhiều. Điều này cũng là dễ hiểu do hồ Sông Hinh là dạng song song và tương đối độc lập với hệ thống, ngoài việc cùng với các hồ khác đảm bảo nhu cầu nước cho hạ lưu đập Đồng Cam. Tương quan giữa biến vào và biến ra tốt hơn là trong mùa kiệt. Với mùa lũ thì do dòng chảy mùa lũ biến động nhiều, nên có sự tham gia lưu lượng xả ( $Q_x$ ) qua tràn nên quan hệ giữa mực nước thượng lưu (trạng thái) và lưu lượng phát điện (biến quyết định) là kém chặt hơn trong mùa kiệt. Như vậy có thể nói là ***ANN-DP sẽ có hiệu quả hơn khi áp dụng cho VHHTHC trong mùa kiệt*** khi mà các thông số vào – ra có quan hệ chặt với nhau. Mực nước và lưu lượng của các hồ phải tương quan với nhau khi cùng phối hợp cấp nước cho hạ du.



Dung tích cuối ( $V_c$ ) tại thời đoạn nào đó của một hồ chứa sẽ phụ thuộc vào véc tơ trạng thái và các biến số của tất cả các hồ chứa trong hệ thống. Việc đưa biến nào vào ANN sẽ phụ thuộc vào phân tích tương quan giữa các biến số và mục tiêu là chuỗi dung tích cuối thời đoạn ( $V_{cuối}$ ) từ ANN tiệm cận với DP nhất.

Lời giải của mô hình được áp dụng thử nghiệm cho hồ chứa Sông Hinh, so sánh giữa kết quả quỹ đạo mực nước hồ cuối thời đoạn của: (1) Vận hành thực tế từ nhà máy thu thập được; (2) Mô hình tối ưu; (3) Kết hợp giữa ANN-DP. Kết quả cho thấy đường cận tối ưu từ ANN tiệm cận với đường vận hành tối ưu DP. Kết quả điện lượng cho thấy ANN gần với DP và tốt hơn vận hành thực tế. Chi tiết xem Bảng 3.34, 3.35 và Hình 3.15, 3.16. Kết quả cũng cho thấy ảnh hưởng lớn của các biến ngay thời đoạn trước đó với hàm mục tiêu thông qua so sánh các cấu trúc mạng ANN khác nhau (Bảng 3.34).

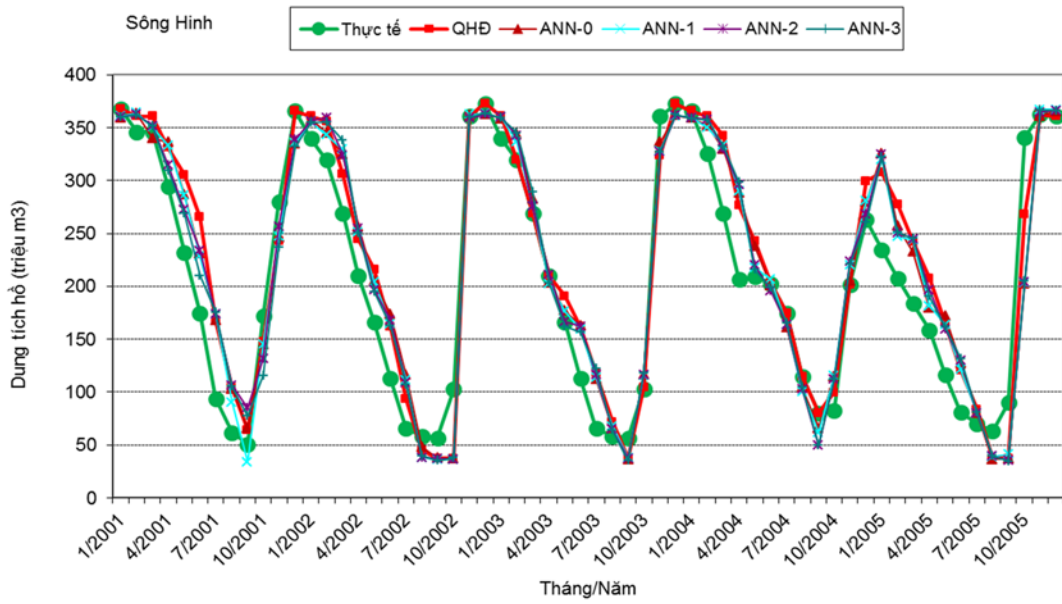
Qua so sánh cho thấy việc chọn mạng ANN điều hành thực tế sẽ cho kết quả khá sát với DP. Chênh giữa điện năng năm giữa ANN và DP chỉ là 0,2% và điện năng của ANN sẽ cao hơn số liệu vận hành thực tế là 2,3%. Như vậy, ***kết quả từ ANN-DP trợ giúp cho vận hành sẽ là gần tối ưu, hiệu quả vận hành được nâng cao hơn khi vận hành theo biểu đồ điều phối truyền thống.*** Theo thời gian vận hành, số liệu càng cập nhật thì dữ liệu cho ANN càng phong phú và với kỳ vọng sẽ giúp người vận hành có định hướng điều khiển mực nước hồ, nhằm nâng cao hiệu quả vận hành.

*Bảng 3.34 So sánh giá trị hàm mục tiêu - điện năng trung bình năm giữa: (i) Vận hành thực tế; (ii) DP; (iii) ANN-DP (đ.vị: triệu kWh)*

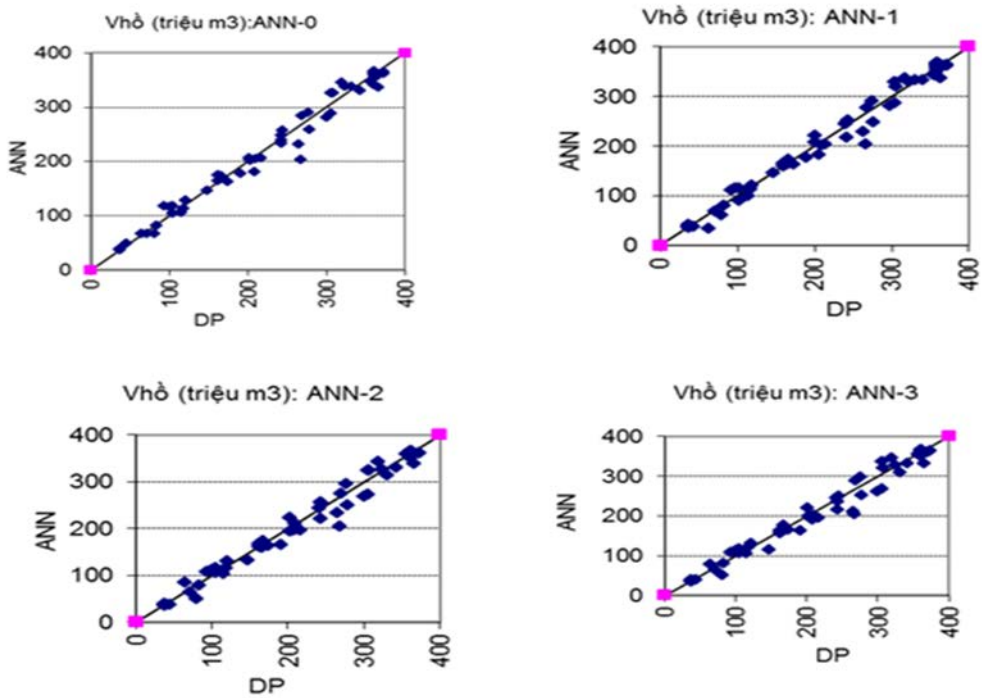
Mô hình	Thời đoạn	Thực tế	DP	ANN-0	ANN-1	ANN-2	ANN-3
Luyện ANN	1977-2000	-	380.1	378.3	379.3	379.1	379.3
Kiểm định ANN	2001-2005	369.5	380.7	378.1	377.8	378.1	377.9

*Bảng 3.35 Chênh lệch dung tích cuối thời đoạn giữa mô hình DP và ANN*

Mô hình	Luyện ANN (1977-2000)		Kiểm định ANN (2001-2005)	
	HS tương quan	R-squared	Hệ số tương quan	R-squared
DP	1.00	1.00	1.00	1.00
ANN-0	1.00	0.99	0.99	0.98
ANN-1	1.00	1.00	0.99	0.98
ANN-2	1.00	1.00	0.99	0.98
ANN-3	1.00	1.00	0.99	0.97



Hình 3.15 So sánh dung tích hồ Sông Hinh trong các trường hợp tính khác nhau (2001-2005)



Hình 3.16 So sánh kết quả dung tích hồ chứa qua kiểm định ANN với dung tích tối ưu DP

### 3.7 Kết luận Chương 3

Qua các kết quả ứng dụng tính toán mô phỏng và tối ưu vận hành hệ thống hồ chứa Thủy điện trên sông Ba với các tổ hợp phương án vận hành và bối cảnh khác nhau, tác giả có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- Liên kết giữa các phần mềm trong mô hình cho phép làm rõ hơn về bài toán tối ưu và đã giải quyết được bài toán cụ thể cho một hệ thống hồ chứa thủy điện-thủy lợi trên lưu vực sông.
- Chương này dựng các mô hình kết hợp vào HTHC sông Ba cho thấy các phương án vận hành cận tối ưu đều cho kết quả phát điện hồ sông Hinh cao hơn vận hành thực, góp phần nâng cao hiệu ích của hệ thống. Nếu áp dụng thành công mô hình trong thực tế mà tăng được sản lượng điện mỗi năm đạt được 2% thì đây là con số rất có ý nghĩa. Việc chỉ cần có công cụ tính toán và phương pháp VHHTHC hợp lý sẽ tiết kiệm nhiên liệu từ các nhà máy nhiệt điện và hệ thống điện, giảm phát thải, góp phần bảo vệ môi trường, tiết kiệm vốn đầu tư nguồn điện, phát triển bền vững nguồn nước.
- Phần mềm ứng dụng thuật toán Quy hoạch động vi phân rời rạc (DDDP) để giải quyết bài toán Quy hoạch động (DP) cho kết quả hội tụ nhanh, chính xác. Việc kết hợp DP cùng mô hình ANN rất thuận lợi, kết quả khả quan. Vận hành có tính thích ứng tốt và có khả năng áp dụng, trợ giúp vận hành thực tế cho các HTHC sông Ba. Mạng ANN-DP cho thấy hiệu quả VHHTHC được nâng cao, nhất là trong mùa kiệt khi mà các thông số trạng thái các hồ và lưu lượng phát điện quan hệ chặt với nhau do các hồ chứa phải phối hợp với nhau, cùng đáp ứng nhu cầu nước ở hạ lưu tại đập Đồng Cam.
- Kết quả thử nghiệm cho HTHC trên sông Ba cho thấy thành công bước đầu trong việc áp dụng phương án vận hành cận tối ưu đề xuất. Với nghiên cứu kỹ lưỡng và đầy đủ hơn nữa sau này thì hy vọng đây là cơ sở tin cậy, trợ giúp cho cơ quan quản lý ra quyết định vận hành hiệu quả cho các hồ chứa trên sông Ba.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. Kết quả đạt được của luận án

- Luận án đã nghiên cứu chuyên sâu tổng hợp về tình hình nghiên cứu trên thế giới và Việt Nam về vận hành hồ chứa, từ đó tìm ra những hạn chế, kiến nghị định hướng và mục tiêu nghiên cứu phù hợp. Luận án đã tập trung vào nghiên cứu thuật toán các mô hình tối ưu và khả năng ứng dụng của chúng trên quan điểm hệ thống và biến động theo không gian và thời gian. Tình hình nghiên cứu VHHTHC trên lưu vực sông Ba cũng đã được phân tích đánh giá nhằm áp dụng mô hình đề xuất vào một trường hợp HTHC cụ thể. Các mô hình và các bước tính toán tổng thể đã được Luận án đề xuất nhằm khắc phục hạn chế việc VHHTHC hiện nay và đạt mục tiêu nghiên cứu.
- Luận án đã xác lập cơ sở luận cứ khoa học của liên kết các mô hình gồm mô phỏng HEC-ResSim – DP – ANN để giải quyết mục tiêu nghiên cứu đã xác định. Kết quả mô hình trợ giúp công tác vận hành nhằm đạt hiệu quả vận hành thực tế tốt nhất trong bối cảnh nguồn nước và nhu cầu dùng nước liên tục biến đổi ngẫu nhiên.
- Luận án đã phát triển được chương trình phần mềm tính mô hình tối ưu DP cho HTHC, các mô-đun phần mềm bằng ngôn ngữ VBA trong MS-Excel hỗ trợ trong việc truy xuất số liệu, liên kết các mô hình cũng như đánh giá các chỉ tiêu VHHTHC.
- Luận án đã kết hợp các mô hình giải quyết bài toán VHHTHC trên cơ sở đánh giá, lựa chọn các mục tiêu và ràng buộc cụ thể cho HTHC lưu vực sông Ba. Từ đó tính ra kết quả, nhận xét, đánh giá, kiến nghị cho VHHTHC trên lưu vực sông Ba. Kết quả tính toán cho thấy ANN-DP cho kết quả tốt hơn vận hành thực tế trước đây và triển vọng áp dụng, nhất là cho vận hành mùa kiệt. Kết quả cho thấy sản lượng điện có thể tăng trên 2%, trong khi đó nhu cầu nước hạ lưu được đảm bảo với mức cao. Điều này rất có ý nghĩa khi mà HTHC cần phối hợp nhịp nhàng với nhau để phát điện tốt nhất, đồng thời thỏa mãn nhu cầu nước hạ lưu. Nếu áp dụng thành công mô hình trong thực tế mà tăng được sản lượng điện mỗi năm là 2% thì đây là con số rất

có ý nghĩa, tiết kiệm nhiên liệu từ hệ thống điện, giảm phát thải, bảo vệ môi trường, tiết kiệm vốn đầu tư nguồn điện. Với hàng ngàn hồ chứa đang vận hành ở nước ta nếu vận hành tốt sẽ đem lại lợi ích tích lũy và phát triển bền vững nguồn nước.

## **2. Những đóng góp mới của luận án.**

(1) Xác lập cơ sở khoa học kết hợp mô hình mô phỏng – tối ưu – trí tuệ nhân tạo, xây dựng được chương trình mô hình tối ưu Quy hoạch động (DP) để đề xuất phương án vận hành cận tối ưu cho hệ thống hồ chứa có kể đến biến đổi thực tế của nguồn nước và nhu cầu sử dụng nước nhằm nâng cao hiệu quả phát điện, đáp ứng các yêu cầu cấp nước hạ lưu;

(2) Áp dụng mô hình kết hợp được đề xuất để vận hành hệ thống hồ chứa trên lưu vực sông Ba nâng cao hiệu quả phát điện trong mùa cạn.

## **3. Những tồn tại và kiến nghị nghiên cứu tiếp theo của luận án.**

Do thời gian và nguồn lực hạn chế, nên trong Luận án chưa xem xét được tính ngẫu nhiên của các nhu cầu dùng nước và hệ thống điện mà chỉ đưa vào các ràng buộc phải thỏa mãn. Các ràng buộc vận hành về nhu cầu dùng nước và hệ thống điện trong thị trường điện cạnh tranh cần tiếp tục nghiên cứu để đưa mô hình có thể thích ứng tốt hơn nữa khi mà nhu cầu nước cho kinh tế - xã hội và các yếu tố thị trường thay đổi.

Công tác dự báo thủy văn có vai trò quan trọng trong việc điều hành hiệu quả các hồ chứa theo thời gian thực. Trong mùa cạn, công tác dự báo thủy văn trung hạn 10 ngày, dự báo hạn dài dòng chảy nhỏ nhất tháng, dòng chảy mùa cạn, phân phối dòng chảy đến các hồ thủy điện và các điểm kiểm soát đã góp phần điều tiết các hồ chứa hiệu quả và hợp lý. Phạm vi đề tài không đi vào mô hình dự báo mà chỉ nêu giải pháp vận hành khi đã có các số liệu dự báo là số liệu đầu vào. Do đó, cần tiếp tục nghiên cứu mô hình ANN-DP cho thời đoạn 10 ngày cho cả hệ thống hồ chứa để đưa vào vận hành với thời đoạn tương thích với thời đoạn dự báo (ngắn hạn và trung hạn) về dòng chảy đến thượng lưu các hồ chứa. Việc áp dụng cho thời đoạn 10 ngày hoàn toàn khả thi do với mô hình mà Luận án đề xuất có đủ cơ sở khoa học, đã có phần mềm ROP sử dụng thuật toán DDDP chạy được cho cả HTHC theo thời đoạn tháng, chỉ cần kế thừa, điều chỉnh chia nhỏ thời đoạn tính toán là hoàn toàn có thể thực hiện được ngay.

Để giải quyết toàn diện bài toán VHHTHC trên lưu vực lớn đòi hỏi thời gian, công sức to lớn, số liệu và tính toán cần đầy đủ và kỹ lưỡng hơn nữa, phải là phạm vi của một đề tài hay chương trình nghiên cứu cấp lớn hơn. Với các hạn chế và hướng phát triển đã nêu, tác giả kiến nghị cần tiếp tục nghiên cứu sâu rộng hơn, hoàn thiện chương trình tính, triển khai thử nghiệm mô hình kết hợp đã đề xuất, để có thể đưa vào thực tế vận hành cho các HTHC trên sông Ba cũng như các lưu vực khác ở Việt Nam.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Lê Ngọc Sơn, Lê Đình Thành, “Nghiên cứu ứng dụng quy hoạch động vi phân rời rạc vận hành hồ thủy điện sông Hinh”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn, Trung tâm Khí tượng Thủy văn quốc gia, Bộ Tài nguyên và Môi trường*, số 676, tháng 4 năm 2017.
2. Le Ngoc Son, “Impact of increasing water demand and minimum flow requirement on hydropower generation: case study of reservoir system in Ba river basin, Vietnam”, *International Conference, The International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR)*, Hanoi, Vietnam, Sep 2014.
3. Lê Ngọc Sơn, “Giải pháp đánh giá và nâng cao hiệu quả vận hành hồ chứa thủy điện”, *Hội nghị KH Thường niên Đại học Thủy lợi*, Hà Nội, tháng 11 năm 2014.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] IAHS, "Sustainable Reservoir Development and Management," Published by International Association of Hydrological Sciences, 1998.
- [2] Dracup J.A. and Hall W.A, *Water resources engineering.*: McGraw-Hill, New York., 1970.
- [3] Evanson D.E. and Mosely J.C., "Simulation/optimization techniques for multi-basin water resources planning," *Water resources Bulletin*, vol. 6(5), pp. 725-736, 1970.
- [4] Labdie J.W, "MODSIM-River basin network model for water rights planning," Documentation and User manual, Colorado State University, USA. , 1995.
- [5] Colon R. and McMahan G.F., "BRASS model: Application to Savannah river system Reservoir," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 113(2), pp. 177-190, 1987.
- [6] Wurbs R.A., "Reservoir System Simulation and Optimization Models," *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119 (4), pp. 455-472, 1993.
- [7] MIKE Software. (Retrieved on 8/8/2017)  
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ressim/>.
- [8] HEC-Ressim Software. (Retrieved on: 6/5/2017)  
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ressim/>.
- [9] Ford L. and Fulkerson D, *Flows in networks.*: Princeton University Press, Priceton, N.J., 1962.
- [10] Martin Q.W, "Surface water resources allocation model AL-V," Program documentation and User's manual, Report UM-35, Texas Department of Water Resources, Austin, 1981.
- [11] Martin Q.W., "Multireservoir simulation and optimization model SIM-V," Program documentation and User's manual, Report UM-35, Texas Department of Water Resources, Austin., 1981.
- [12] Martin Q.W, "Optimal reservoir control for hydropower on Colorado River, Texas," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 121(6), pp. 438-447, 1995.
- [13] Faux J.C. at al, "Improving performance of irrigation/hydro projects," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 112(2), pp. 205-224., 1986.
- [14] Labadie J. W at al, "Network Model for Decision-Support in Municipal Raw Water Supply," *Water Resources Bulletin*, vol. 22(6), pp. 927-940., 1986.
- [15] Dai T. and Labadie J.W., "River basin network model for integrated water



- quantity/quality management," *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127 (5), pp. 295-305, 2001.
- [16] Jianjian Shen and Chuntian Cheng, "A Generalized Decision Support System for Short-Term Scheduling of China's Big Hydropower Systems," in *World Environmental and Water Resources Congress 2015, May 17–21, 2015 | Austin, TX*.
- [17] Divas Karimanzira et al, "Short-Term Hydropower Optimization and Assessment of Operational Flexibility," *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 142, Issue 2 (February 2016).
- [18] Hamdan A.S. and Meredith D.D, "Network Analysis of Conjunctively Operated Groundwater – Surface Water Systems," Water Resources Center, Contribution No.76, Illinois University, USA, 1975.
- [19] Martin Q.W, "Optimal operation of multiple reservoir systems," *Journal of Water Resources Planning and Management*, 109(1), pp. 58-74, 1983.
- [20] Vedula S. and Kumar, "An Integrated Model for Optimal Reservoir Operation for Irrigation of Multiple Crops," *Water Resources Research*, 33(4). pp. 1101-1108, 1996.
- [21] L.V. Duc, "An Integrated Management Modeling for a Complex Water Resources System: the lower Dong Nai River Basin.," Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand., Dissertation 2000.
- [22] Mahyar Aboutalebi et al, "Optimal Monthly Reservoir Operation Rules for Hydropower Generation Derived with SVR-NSGAI," *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 141, Issue 11 (November 2015).
- [23] Hall W.A. and Buras N., "The Dynamic Programming Approach to Water resources Development," *J. Geophys. Res.*, vol. 66(2), pp. 510-520., 1961.
- [24] Meier W.L. and Beightler C.S, "An Optimization Method for Branching Multistage Water Resources Systems," *Water Resources Research*, 3(3), pp.645-652, 1967.
- [25] Mobasher F. and Harboe R.C, "A Two Stage Optimization Model for Design of a Multipurpose Reservoir," *Water Resources Research*, vol. 6(1), pp. 22-30., 1970.
- [26] Loucks et al, *Water Resource Systems Planning and Analysis.*: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1981.
- [27] W.S. Butcher, "Stochastic Dynamic Programming for Optimum Reservoir Operation," *Water Resources Bulletin*, vol. 7(1), pp. 115-123, 1971.
- [28] Alarcon L. F. and Marks D.H, "A Stochastic Dynamic Programming Model for the Operation of the High Aswan Dam," Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1979.
- [29] Bat L., "Incorporation of Stochasticity in the Operation of Water Resources

- Systems," Dissertation, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand., 1981.
- [30] Karamouz M. and Houck M. H., "Comparison of Stochastic and Deterministic Dynamic Programming for Reservoir Operation Rule Generation," *Water Resources Bulletin*, vol. 23(1), pp. 1-9., 1987.
- [31] W.A. Hall et al., "Optimum Firm Power Output for Two Reservoir System by Incremental Dynamic Programming," Water resources Center, Contribution 130, University of California, Los Angeles., 1969.
- [32] M. Heidari et al., "Discrete Differential Dynamic Programming Approach to Water Resources System Optimization.," *Water Resources Research*, vol. 7(2), pp. 273-283., 1971.
- [33] Nopmongkol P. and Askew A.J., "Multilevel Incremental Dynamic Programming," *Water Resources Research*, vol. 12(6), pp. 1291-1297., 1976.
- [34] Murray D. M., "Differential Dynamic Programming for the Efficient Solution of Optimal Control Problems," University of Arizona. Tucson, USA, 1978.
- [35] Trezos T., "Use of Stochastic Dynamic Programming for Optimum Reservoir Management," Dissertation, University Microfilms International, University of California, Los Angeles, 1986.
- [36] Trott W.M. and Yeh W. W., "Optimization of Multireservoir Systems," *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, 99(10), pp. 1865-1888, 1973.
- [37] Turgeon A., "Optimal Operation of Multireservoir Systems with Stochastic Inflows," *Water Resources Research*, 16(2), pp. 275-283, 1980.
- [38] Howson H. R. and Sancho N. G. F., "A new algorithm for the solution of multistate dynamic programming problems," *Mathematic Programming*, vol. 8(1), pp. 104-116, 1975.
- [39] Duran H. et al., "Optimal Operation of Multireservoir Systems Using an Aggregation-decomposition Approach," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 104(8), pp. 2086-2092., 1985.
- [40] Bogadi J.J. et al., "Effects of State Space and Inflow Discretization on Stochastic Programming – Based Reservoir Operation Rules and System Performance," in *Proceedings: VI Congress APD-IAHR*, Kyoto, 1988, pp. 429-436.
- [41] Laabs H. and Harboe R., "Generation of Operation Rules with Stochastic Dynamic Programming and Multiple Objectives," in *Proceedings of Seminar on Conflict Analysis in Reservoir Management. Bangkok, Thailand.*, 1988.
- [42] Huang W.C., "Multiobjective Decision Making in the On-line Operation of a Multipurpose Reservoir," Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand., Dissertation 1989.
- [43] Vedula S. and Mujumdar, "Optimal Reservoir Operation for Irrigation of Multiple Crops," *Water Resources Research*, 28(1), pp. 1-9, 1992.

- [44] Georgakakos A. P. et al, "Control model for hydroelectric energy-value optimization," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 123(1), pp. 30–38., 1997.
- [45] D.J. Druce, "Incorporating Daily Flood Control Objectives into a Monthly Stochastic Dynamic Programming Model for a Hydroelectric complex," *Water Resources Research*, vol. 26(1), pp. 5-11, 1990.
- [46] Changming Ji et al, "Research and Application of Multidimensional Dynamic Programming in Cascade Reservoirs Based on Multilayer Nested Structure," *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 141, Issue 7 (July 2015).
- [47] Hamed Poorsepahy-Samian et al, "Improved Inflow Modeling in Stochastic Dual Dynamic Programming,".
- [48] Shima Soleimani et al, "Reservoir Operation Rules with Uncertainties in Reservoir Inflow and Agricultural Demand Derived with Stochastic Dynamic Programming," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* Vol. 142, Issue 11 (November 2016).
- [49] Pascal Côté and Robert Leconte, "Comparison of Stochastic Optimization Algorithms for Hydropower Reservoir Operation with Ensemble Streamflow Prediction," *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 142, Issue 2 (February 2016).
- [50] McKinney D.C. and Lin M. D., "Groundwater Optimization using Genetic Algorithms," *Water Resources Research*, vol. 30(6), pp. 1897-1906., 1994.
- [51] Simpson A. R et al, "Genetic Algorithms Compared with Other Techniques For Pipe Optimization," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 120(4), 1994.
- [52] Wang Q.J, "The Genetic Algorithm and Its Application to Calibrating Conceptual Rainfall-Runoff Models," *Water Resources Research*, 27(9), pp.2467-2471, 1991.
- [53] Oliveira R. and Loucks D.P, "Operating Rules For Multireservoir Systems," *Water Resources Research*, vol. 33(4), pp. 839-852., 1997.
- [54] Wardlaw R and Sharif M., "Evaluation of Genetic Algorithms for Optimal Reservoir," *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(1), pp.25-33, 1999.
- [55] Huang W.C et al, "Linking Genetic Algorithms with Stochastic Dynamic Programming to the Long-term Operation of a Multireservoir System," *Water Resources Research*, vol. 38(3), pp. 40/1 – 40/9., 2002.
- [56] Ali Ahmadi Najl et al, "Simultaneous Optimization of Operating Rules and Rule Curves for Multireservoir Systems Using a Self-Adaptive Simulation-GA Model," *Journal of Water Resources Planning and Management - Vol. 142, Issue 10*

(October 2016).

- [57] Benxi Liu et al, "A Multi-Core Parallel Genetic Algorithm for the Long-Term Optimal Operation of Large-Scale Hydropower Systems," in *World Environmental and Water Resources Congress 2016. May 22–26, 2016*.
- [58] Omid Bozorg at al, "WASPAS Application and Evolutionary Algorithm Benchmarking in Optimal Reservoir Optimization Problems," *Journal of Water Resources Planning and Management -Vol 143, No 1 – Jan 2017*.
- [59] Saad M et al, "Fuzzy Learning Decomposition for the Scheduling of Hydroelectric Power Systems," *Water Resources Research*, 32 (1), pp. 179-186, 1996.
- [60] Sinha A.K et al, "Yield optimization model for screening multipurpose reservoir systems," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 125 (6), pp. 325-332, 1999.
- [61] Hsu et al K.L., "Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process," *Water Resources Research*, vol. 31 (10), pp. 2517-2530., 1995.
- [62] E.K. and Houck, M.H. Can, "Problems with Modeling Real-Time Reservoir Operations," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 111 (4), pp. pp. 367-381., 1985.
- [63] Jain A.and Srinivasulu S., "Development of effective and efficient rainfall-runoff models using integration of deterministic, real-coded GA and ANN techniques," *Water Resources Research*, vol. 40(W04302), pp. 1-12., 2004.
- [64] Phien H.N. and Chen M.A., "Seasonal Streamflow Forecasting With Back Propagation Neural Networks," *Tenth Congress of the Asian Pacific Division of The International Association for Hydraulic Research, Malaysia*, 1996.
- [65] Fernando D.A.K and Jayawardena A.W., "Runoff Forecasting Using RBF Networks with OLS Algorithm," *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 3(3), pp. pp. 203-209., 1998.
- [66] S et al Birikindavyi, "Performance of Neural Networks in Daily Streamflow Forecasting," *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. Sep-Oct 2002, pp. pp. 392-398, 2002.
- [67] Maier H. R. and Dandy G. C., "The Use of Artificial Neural Networks for the Prediction of Water Quality Parameters," *Water Resources Research*, vol. 32(4), pp. 1013-1022, 1996.
- [68] Thirumalaiah K. and Deo M.C., "River Stage Forecasting Using Artificial Neural Networks," *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 3(1), pp. 26-32., 1998.
- [69] Neelakantan T.R et al, "Effectiveness of different artificial neural network training algorithms in predicting Protozoa risks in surface waters," *Journal of Environmental Engineering*, vol. 128(6), pp. 533-542., 2002.

- [70] M. et al Saad, "Fuzzy Learning Decomposition for the Scheduling of Hydroelectric Power Systems," *Water Resources Research*, vol. 32 (1), pp. pp. 179-186.
- [71] Naresh R. and Sharma J., "Hydro System Scheduling using ANN approach," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 15(1), pp. 388-395, 2000.
- [72] Nam L.H et al, "Filtering and Forecasting of Monthly Streamflows by Backpropagation Neural Networks with an Error Updating Method," *Water Resources Journal*, vol. Sep 1998, pp. 29-39., 1998.
- [73] Lê Văn Nghinh và nnk, "Nghiên cứu ứng dụng mạng nơ ron thần kinh vào dự báo lũ các sông ở tỉnh Bình Định và Quảng Trị," *Tạp chí KHKT Thủy lợi & Môi trường*, vol. 14, pp. 65-70, 2006.
- [74] Hoàng Thanh Tùng, "Nghiên cứu dự báo mưa, lũ trung hạn cho vận hành hệ thống hồ chứa phòng lũ - ứng dụng cho lưu vực sông Cả," Luận án Tiến sỹ. Đại học Thủy lợi 2011.
- [75] Nguyễn Thượng Bằng, "Tối ưu đa mục tiêu hệ thống thủy lợi - thủy điện khai thác tổng hợp nguồn nước," Luận án Tiến sỹ. Đại học Xây dựng 2002.
- [76] Nguyễn Tuấn Anh và nnk, "Nghiên cứu vận hành hệ thống hồ chứa nước trên sông Hồng," 2007.
- [77] Lê Kim Truyền, "Đề tài nghiên cứu vận hành cấp nước lưu vực sông Hồng trong mùa cạn," 2008.
- [78] Trung tâm Thủy văn Ứng dụng và Kỹ thuật Môi trường - Đại học Thủy Lợi, "Báo cáo "Dự án qui hoạch tài nguyên nước lưu vực sông Ba", " 2007.
- [79] Ringler C. and Huy N. V., "Water Allocation Policies for the Dong Nai River Basin in Vietnam: An Integrated Perspective," International Food Policy Research Institute, Washington DC,.
- [80] Lê Hùng, "Tối ưu hóa điều tiết vận hành đa mục đích," Luận án Tiến sỹ - Đại học Đà Nẵng 2012.
- [81] Nguyễn Thị Thu Nga, "Nghiên cứu thiết lập mô hình thủy văn – kinh tế phân bố nước tối ưu cho lưu vực sông Ba," Luận án Tiến sỹ - Đại học Thủy lợi 2017.
- [82] Vũ Ngọc Dương, "Nghiên cứu chế độ vận hành thích nghi hồ chứa nước Cửa Đạt trong mùa kiệt phục vụ phát triển kinh tế - xã hội tỉnh Thanh Hóa," Luận án Tiến sỹ - Đại học Thủy lợi 2017.
- [83] Ngô Lê Long, "Ứng dụng mô hình Mike 11 mô phỏng vận hành hệ thống liên hồ cắt giảm lũ cho hạ du - Lưu vực sông Srepok," *Tạp chí KHKT Thủy lợi & Môi trường* , vol. 12, 2011.
- [84] Lê Hùng, "Mô hình toán vận hành điều tiết tối ưu hệ thống hồ chứa thủy điện - áp dụng cho Sông Bung 2 và Sông Bung 4," *Tạp chí KHKT Thủy lợi & Môi trường*,

vol. 32, 2011.

- [85] Hoàng Thanh Tùng và nnk, "Ứng dụng phần mềm Crystal Ball xác định chế độ vận hành tối ưu phát điện cho hồ chứa Thác Bà, Tuyên Quang và bậc thang hồ chứa Sơn La, Hòa Bình có tính đến yêu cầu cấp nước hạ du.," *Tạp chí KHKT Thủy lợi & Môi trường*, vol. 42, 2013.
- [86] Hồ Ngọc Dung, "Nghiên cứu cơ sở khoa học vận hành tối ưu hồ chứa bậc thang thủy điện," *Tạp chí Tài nguyên nước*, vol. 4, 2017.
- [87] Quyết định của TTCP số 1077/QĐ-TTg ngày 7/7/2014, "Ban hành Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Ba, bao gồm các hồ: Sông Ba Hạ, Sông Hinh, Krông H'Năng, Ayun Hạ và An Khê - Ka Nak,,".
- [88] Quyết định của TTCP số 282/QĐ-TTg ngày 1/3/2017, "Ban hành Sửa đổi, bổ sung một số điều trong Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Ba theo Quyết định của TTCP số 1077/QĐ-TTg.,,".
- [89] Đại học Khoa học Tự nhiên, "Nghiên cứu xây dựng công nghệ điều hành hệ thống liên hồ đảm bảo ngăn lũ, chậm lũ, an toàn vận hành hồ chứa và sử dụng hợp lý tài nguyên nước về mùa kiệt trên lưu vực sông Ba," 2010.
- [90] Lê Đức Thường, "Nghiên cứu quản lý bền vững tài nguyên nước lưu vực sông Ba trong bối cảnh biến đổi khí hậu," Luận án Tiến sỹ. Đại học Quốc gia TP HCM - Đại học Bách khoa 2015.
- [91] Viện Quy hoạch Thủy lợi, "Báo cáo quy hoạch tài nguyên nước lưu vực sông Ba," 1995.
- [92] Công ty CP Tư vấn Xây dựng Điện 1, "Quy hoạch thủy điện trên sông Ba," 2002.
- [93] Bộ NN&PTNT, "Quyết định số 2994 /QĐ-BNN-KH phê duyệt "Quy hoạch sử dụng tổng hợp và bảo vệ nguồn nước lưu vực sông Ba",," 10/2017.
- [94] Larry W. May and Yeou-Koung Tung, *Hydrosystems Engineering and Management*.: McGraw-Hill, Inc, 1992.
- [95] Ray K Linsley et al, *Water-Resources Engineering*.: McGraw-Hill, Inc, 1992.
- [96] Labadie J.W, "Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 130 (2), pp. 93-111., 2004.
- [97] Branislav Djordjevic, *Cybernetics in Water Resources Management*.: Water Resources Publications., 1993.
- [98] JICA and MARD, "Integrated river basin management plan for the Kone river basin," Final Report in Sep 2003 by Nippon Koei Co. Ltd and Nikken Consultants Inc, 2003.

## **PHỤ LỤC**

## DANH SÁCH PHỤ LỤC

<b>Phụ lục 1: Các code của các Mô-đun phần mềm chính .....</b>	<b>2</b>
Phụ lục 1.1: Mô đun ROP-AN1 .....	2
Phụ lục 1.2: Mô đun ROP-DP .....	3
Phụ lục 1.3: Mô đun lấy kết quả từ ANN và mô phỏng trong ROP.....	5
<b>Phụ lục 2: Số liệu và kết quả tính toán HECResSim – DP - ANN.....</b>	<b>6</b>
Phụ lục 2.1: Thông số quan hệ Z-F-V các hồ chứa.....	6
Phụ lục 2.2: Lưu lượng đến các hồ chứa .....	9
Phụ lục 2.3: Kết quả tính toán mực nước hồ cuối thời đoạn (m) từ HEC-ResSim cho HTHC sông Ba (1977-2000) .....	14
1) Ayun Hạ.....	14
2) Krông H'nh.....	15
3) Sông Ba Hạ.....	16
4) Sông Hinh.....	17
Phụ lục 2.4: Mực nước hồ cuối thời đoạn (m) của Sông Hinh từ DP (1977-2000) ..	18
Phụ lục 2.5: Kết quả tính toán so sánh Dung tích (triệu m <sup>3</sup> ) - Mực nước cuối thời đoạn (m) cho hồ sông Hinh với Thực tế và Mô hình khác nhau (2001-2005).....	19



## PHỤ LỤC 1: CÁC CODE CỦA CÁC MÔ-ĐUN PHẦN MỀM CHÍNH

### *Phụ lục 1.1: Mô đun ROP-ANI*

Sau khi đã có kết quả tính toán truy xuất từ mô hình HECResSim, mô đun này làm nhiệm vụ tính ra các chỉ tiêu tuyệt đối (điện lượng, lượng nước cấp) và các chỉ tiêu tương đối (mức bảo đảm, thời đoạn thiếu hụt dài nhất, mức thiếu hụt lớn nhất).

M1: đoạn chương trình sau đi tìm mức bảo đảm (%) của cấp nước cho tưới.

```
Sub Analysis()  
.....  
'...Input data  
'...Analysis  
Nthieu = 0  
For k = 1 To sonam  
    If Thieukiet(k) > 0 Then Nthieu = Nthieu + 1  
Next k  
Reliability = (1 - (Nthieu / sonam)) * 100  
Tongthieu = Tong(Thieukiet, 1, sonam)  
Tongcap = Tong(CapKiet, 1, sonam)  
TongYeucan = Tong(YeucanKiet, 1, sonam)  
TBcap = Tongcap / sonam  
Availability = Tongcap * 100 / TongYeucan  
Shortage = Tong(ThieuphantramKiet, 1, sonam) / sonam  
Capthietke = Dambao(CapKiet, sonam, Tansuatthietke)  
'.....  
End Sub
```

## Phụ lục 1.2: Mô đun ROP-DP

M2: đoạn chương trình tìm cực trị tại một nút lưới chia

```
Sub OptimizationHethong()

'1. Input data
.....
For j = 1 To sothang
    i = j Mod 12
    If j Mod 12 = 0 Then i = 12

        For ho = 1 To Soho
            Zcuoi(ho, j, 2) = Zcuoi(ho, j, 1) + dZ
            If Zcuoi(ho, j, 2) > Zmax(ho, i) Then Zcuoi(ho, j, 2) = Zmax(ho, i)
            Zcuoi(ho, j, 3) = Zcuoi(ho, j, 1) - dZ
            If Zcuoi(ho, j, 3) < Zmin(ho, i) Then Zcuoi(ho, j, 3) = Zmin(ho, i)
        Next ho
    Next j

'2. Loop tìm đường đi tối ưu, thuật giải NGUOC -----

lap = 1
SOFmaxsau = 0
epsilon = 1

Do
    SOFmaxtruoc = SOFmaxsau

    For j = 1 To sothang
        i = j Mod 12
        If j Mod 12 = 0 Then i = 12

        For kcuoi1 = 1 To 3

            For kdau1 = 1 To 3

                .....

            Inflow(ho, j) = Qsong(ho, j)

            Call D_tiet2(ho, i, Inflow(ho, j), Ztlcuoithoidoan(ho, j), Ztldauthoidoan(ho, j), Qthamho(ho, j),
            Qthamdap(ho, j), Qbochoi(ho, j), Qxuonghaluu(ho, j), Qtongtham(ho, j), Qfatdien(ho, j),
            DtQthaydoi(ho, j), DtWthaydoi(ho, j), Wdauthoidoan(ho, j), Wcuoithoidoan(ho, j), Zthuongluu(ho,
            j), Zhaluu(ho, j), Hwtonthat(ho, j), Hcotnuoc(ho, j), Ncongsoat(ho, j), Ediennang(ho, j),
            Qxathua(ho, j), Qconlai(ho, j), OF(ho, j, kcuoi1))

            .....

        Next kdau2

    Next kcuoi2

    Next kdau1

    Next kcuoi1

Lap = lap + 1

Loop Until (epsilon < saiso chophep)
```

M3: đoạn chương trình sau đi tìm hành lang tìm kiếm cực trị mới.

```
'=====New corridor

If epsilon < saiso chophep Then dZ = dZ / 2
If dZ < 0.1 Then dZ = 0.1

If (SOFmaxsau > SOFmaxtruoc) Or (lap = 1) Then
  For thoidoan = 1 To sothang
    j = sothang - thoidoan + 1
    i = j Mod 12
    If j Mod 12 = 0 Then i = 12
    For ho = 1 To Soho
      Chisocuoimax(ho, j) = Chisocuoimax(ho, j, nutmax)
      Chisodaumax(ho, j) = Chisodaumax(ho, j, nutmax)
      Zcuoi(ho, j, 1) = Zcuoi(ho, j, Chisocuoimax(ho, j))

    Next ho

    For ho = 1 To Soho
      Zcuoi(ho, j, 2) = Zcuoi(ho, j, 1) + dZ
      If Zcuoi(ho, j, 2) > Zmax(ho, i) Then Zcuoi(ho, j, 2) = Zmax(ho, i)
      Zcuoi(ho, j, 3) = Zcuoi(ho, j, 1) - dZ
      If Zcuoi(ho, j, 3) < Zmin(ho, i) Then Zcuoi(ho, j, 3) = Zmin(ho, i)
    Next ho

  Next thoidoan
End If
```

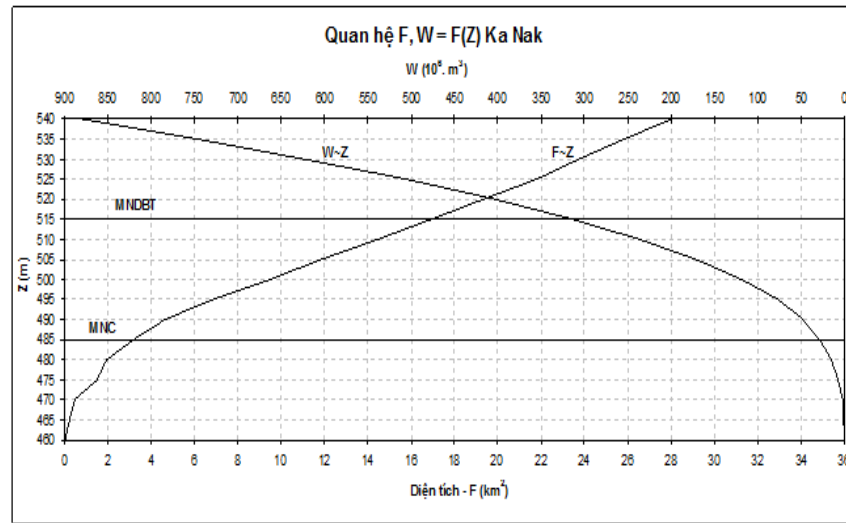
### ***Phụ lục 1.3: Mô đun lấy kết quả từ ANN và mô phỏng trong ROP***

M4: đoạn chương trình sau đi tìm các biến còn lại khi mực nước cuối hồ được tìm ra từ phần mềm ANN.

```
Sub D_tiet(Ho, ii, Inflow, Zcuoi, Zdau, Qt, Qqd, Qbh, Qdown, Qtt, Qfd, DtQ, DtW, Wdau,
Wcuoi, Zth, Zh, Hw, H, N, E, Qxa, Qcon, OFvalue)
.....
bh = bhZ(Ho, ii)
Zmin1 = Zmin(Ho, ii)
Zmax1 = Zmax(Ho, ii)
Qhlmin1 = Qhlmin(Ho, ii)
Qhlmax1 = Qhlmax(Ho, ii)
Nmin1 = Nmin(Ho, ii)
Nmax1 = Nmax(Ho, ii)
    Wcuoi = nsuy1(Ho, ntl(Ho), Ztl, Wtl, Zcuoi)
    Wdau = nsuy1(Ho, ntl(Ho), Ztl, Wtl, Zdau)
    DtW = Wcuoi - Wdau
    DtQ = DtW / 2.592
    Wtb = Wdau + (DtW / 2)
    Zth = nsuy1(Ho, ntl(Ho), Wtl, Ztl, Wtb)
    Ftb = nsuy1(Ho, ntl(Ho), Wtl, Ftl, Wtb)
    Qt = (0.005 * Wtb) / 2.592
    Qqd = (HSthamdap(Ho) * chieudaidap(Ho)) / 1000
    Qbh = (bh * Ftb) / (2.592 * 1000)
    Qtt = Qt + Qqd + Qbh
    Qfd = Inflow - Qtt - DtQ
    ....
    N = Neta * g * Qfd * H / 1000
    E = N * 720 / (1000) 'GWh (= million KWh)
    OFvalue = E
....
End Sub
```

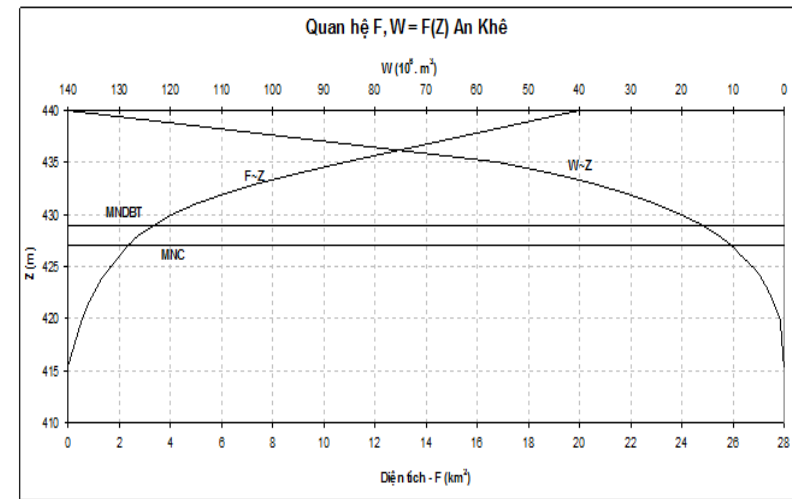
## PHỤ LỤC 2: SỐ LIỆU VÀ KẾT QUẢ TÍNH TOÁN HECRESSIM – DP - ANN

*Phụ lục 2.1: Thông số quan hệ Z-F-V các hồ chứa*



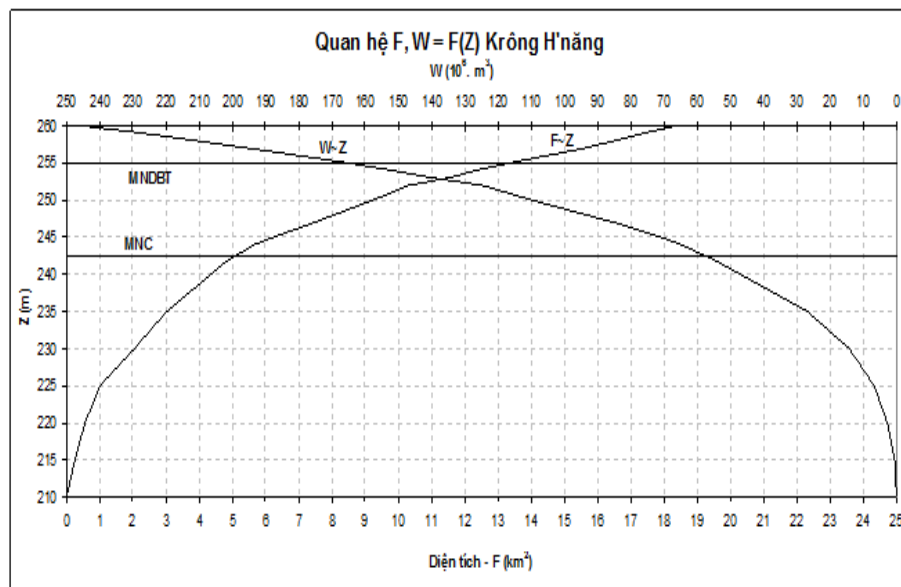
Z (m)	458.84	460	465	470	475	480	485	490	495	500	505	510	515	520	525	530	535	540
F (km <sup>2</sup> )	0,000	0,032	0,225	0,467	1,511	1,935	3,192	4,664	6,674	9,406	11,795	14,436	16,960	19,375	21,837	23,695	25,006	26,037
W (10 <sup>9</sup> , m <sup>3</sup> )	0,00	0,01	0,58	2,28	6,97	15,57	28,25	47,78	76,44	116,98	169,87	235,34	313,74	404,44	507,34	621,14	744,85	879,42

### 1) Ka Nak



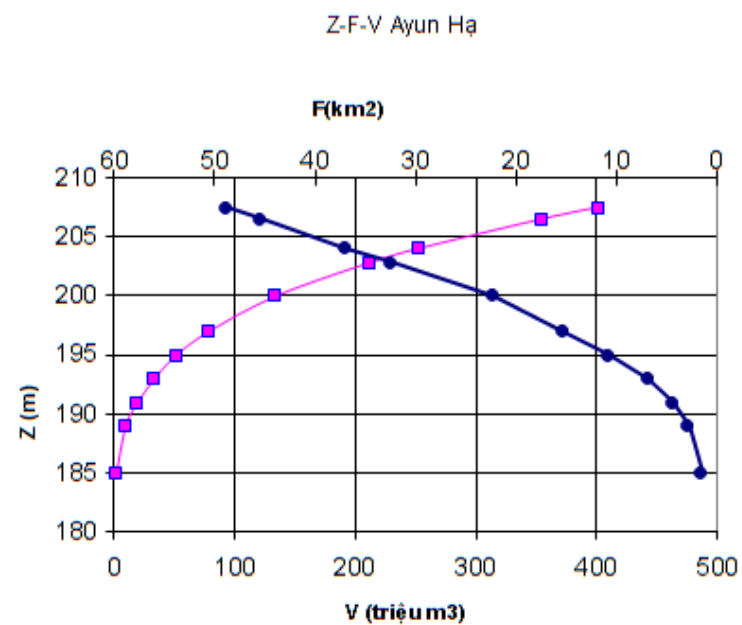
Z (m)	415,35	420	421	422	423	424	425	426	426,5	427	427,5	428	429	430	431	432	433	434	435	440
F (km <sup>2</sup> )	0,00	0,56	0,73	0,91	1,12	1,36	1,68	2,01	2,18	2,36	2,56	2,78	3,39	4,02	5,00	6,13	7,43	9,00	10,84	23,77
W (10 <sup>9</sup> , m <sup>3</sup> )	0,00	0,860	1,500	2,3	3,3	4,5	6,188	8,15	9,15	10,25	11,45	12,75	15,85	20,006	25,0	30,7	37,3	45,3	55,762	140,181

### 2) An Khê

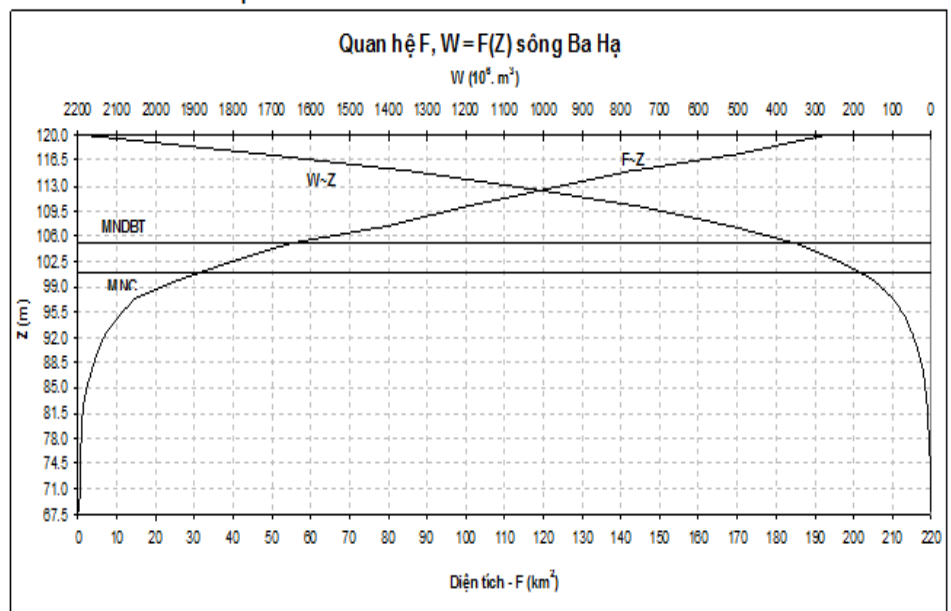


Z (m)	210	215	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275
F (km <sup>2</sup> )	0,00	0,25	0,57	1,00	2,05	3,03	4,59	6,65	9,607	13,673	18,399	23,755	29,527	36,131
W (10 <sup>6</sup> . m <sup>3</sup> )	0,00	0,42	2,41	6,28	13,75	26,37	45,30	73,25	113,66	171,56	251,45	356,55	489,50	653,36

### 3) Krông H' năng

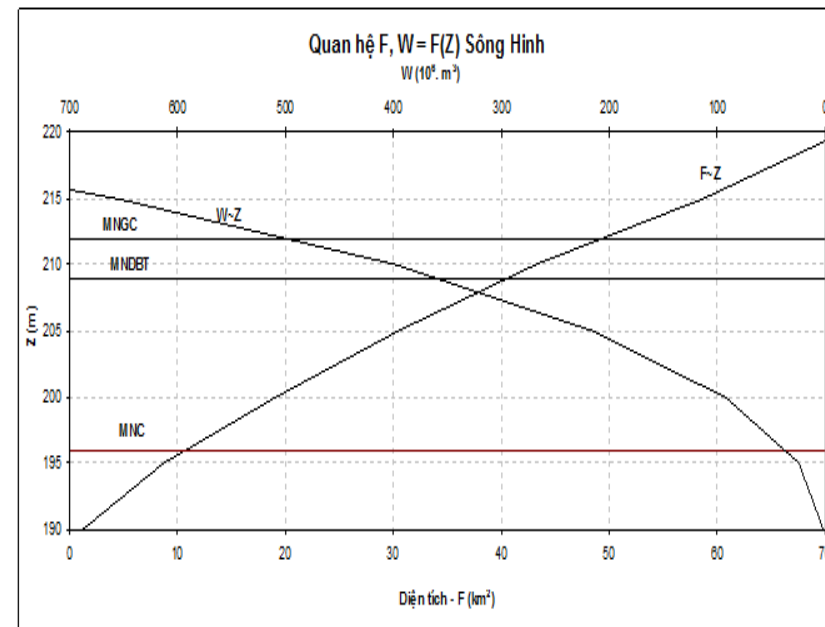


### 4) Ayun Hạ



Z (m)	67,8	70	72,5	75	77,5	80	82,5	85	87,5	90	92,5	95	97,5	100	102,5	105	107,5	110	112,5	115	117,5	120
F (km <sup>2</sup> )	0,00	0,38	0,47	0,70	0,82	0,94	1,19	2,37	3,41	4,96	7,15	10,59	14,80	26,48	39,28	54,66	79,94	99,29	119,92	142,11	170,54	192,52
W (10 <sup>6</sup> . m <sup>3</sup> )	0,00	0,28	1,34	2,80	4,71	6,91	9,57	13,94	21,13	31,55	46,62	68,65	100,23	151,12	232,79	349,69	516,95	740,56	1014,17	1341,32	1731,60	2185,14

### 5) Sông Ba Hạ



Z (m)	185	190	195	200	205	210	215	220
F (km <sup>2</sup> )	0,00	1,16	8,75	19,00	30,41	43,28	58,69	71,76
W (10 <sup>6</sup> . m <sup>3</sup> )	0,00	1,93	24,47	92,28	215,20	399,44	655,49	980,40

### 6) Sông Hình

**Phụ lục 2.2: Lưu lượng đến các hồ chứa**

Tên

trạm: An Khê

Đơn vị: m<sup>3</sup>/s

Năm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1977	7.81	5.09	3.7	2.44	2.19	1.69	2.5	5.6	33.6	17.8	84.3	35.2
1978	10	4.57	4.45	4.94	6.93	6.64	19.1	33	61.4	39.8	62.4	24.1
1979	9.05	4.79	3.4	3.76	7.95	31.7	18.5	33.7	31.3	64.7	51.3	19.3
1980	8.11	5.33	3.58	3.03	27.3	30.4	28.5	26.4	72.8	167	230	44.5
1981	17	11.3	6.99	7.72	12.7	23.6	11.2	15	10.5	207	246	65.4
1982	19.8	11.7	6.83	9.08	4.84	9.44	9.04	5.54	13.4	7.78	6.74	3.11
1983	2.61	1.65	0.97	0.53	2.21	3.54	3.56	18.5	18.8	124	82.7	16.2
1984	13.7	8.04	5.19	10.1	12.3	28.8	11.2	21	31.4	88.8	150	53.9
1985	19.8	11.6	7.13	8.1	14.6	15.9	14.1	13.6	22.6	59.2	61.9	43.7
1986	14.8	7.66	4.59	2.98	23.8	7.36	10	43.2	25.6	106	49.9	127
1987	23.5	12.8	8.55	4.09	3.98	7.75	4.78	15	21.5	8.23	116	28.4
1988	14.5	8	4.86	3.55	9.18	11.2	12.9	7.04	23	135	54.9	24.7
1989	16.9	9.99	8.97	9.16	30.9	19.6	29.7	31.6	60.9	40	23.1	14.1
1990	11.9	8.85	6.68	7.12	26.6	34.9	17.5	18	23.8	185	116	35.6
1991	21.2	15.1	11.8	9.17	11.9	15.9	17.2	31.1	40.9	112	50	33.4
1992	19.8	13.2	9.42	7.16	9.73	13.9	18.8	24.7	23.6	141	63.5	29.9
1993	20.5	14.7	13	8.88	16.8	11	18.1	16.8	20.8	81.9	63.3	71.8
1994	29.6	17.5	12.9	12.3	22.3	18.3	29.4	26.4	71.3	69.8	32.3	30.3
1995	16.8	13.6	8.94	7.15	9.49	12.2	17.1	24.7	41	124	138	46.7
1996	16.6	11.6	8.36	7.94	16.4	32.7	21.9	18.4	74.3	93.6	299	162
1997	30.4	17	12.5	14.9	24.9	14.2	13.5	16.2	33.2	36.7	52.3	15.3
1998	10.9	8.93	7.24	7.6	9.63	7.08	7.37	14.1	20.5	114	271	140
1999	31.6	16.4	13.7	13.6	25.6	18.9	16.2	24.2	34.1	130	222	207
2000	34.8	19.2	12.7	13.8	14.9	23.2	19.9	39.4	25.7	110	119	48.2



Tên  
trạm: Ayun Hạ

Đơn vị: m3/s

Năm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1977	23.6	14.4	10.6	6.01	7.04	5.53	11.4	12.8	166	63.6	145	11.1
1978	10.2	7.45	6.68	7.07	7.1	11	27.6	60.8	28.7	60.5	33.1	22.2
1979	11.7	6.47	2.93	2.47	3.46	51.3	51.2	73.8	12.5	105	101	36
1980	15.5	9.48	5.37	4.27	51.1	36.2	20.7	38.9	85.8	72.6	66.3	30.9
1981	10.7	6.78	2.66	3.56	2.46	22.7	11.2	31.6	27.6	98.1	174	79.6
1982	22.6	15.1	7.47	5.28	3.87	11.8	29	15.9	57.1	55.1	24.7	12.7
1983	9.2	5.54	2.87	0.61	6.41	28.9	11.7	48.5	36.4	288	170	69
1984	31.9	21.8	12.6	7.07	20.9	34.6	32.1	92.7	129	111	75.8	39.2
1985	24	16.6	8.59	5.71	4.17	5.78	40.7	52.1	112	67	52.5	25.5
1986	14.3	8.46	5.07	3.97	12.8	5.69	11.1	64.6	100	95.6	43.8	104
1987	30.2	15.6	11.1	7.88	6.34	9.75	10.1	24	24.1	12.2	145	41.7
1988	20.3	12.5	7.89	4.95	3.56	19.2	13.9	10.1	28.3	210	203	32.8
1989	20.2	16	14	13.1	30.7	33.4	47.6	84	104	83.3	31.5	20
1990	18.8	13.9	11.2	8.96	20.6	75.8	51.8	98.7	106	168	110	50.2
1991	32.8	17.8	19.8	17	10.5	6.12	23.5	41.4	170	170	78.1	61.9
1992	24.7	18.6	14	15.4	24.3	45.2	41.2	121	88.3	117	67.2	40.7
1993	9.89	6.46	4.26	2.67	2.62	4.02	5.6	14.2	25.6	215	134	137
1994	37.2	12.1	4.69	2.36	5.85	3.04	35.2	27.2	86.8	74.2	57	39.9
1995	12.6	7.39	5.06	4.02	3.1	10.1	8.53	16.5	70.5	127	61.6	28.7
1996	15.7	8.95	5.14	3.93	29.2	10.6	32.7	46.7	144	139	102	62.6
1997	34.3	23.3	12.9	7.21	18.2	6.57	9.74	111	129	87.6	45.1	26.1
1998	5.19	4.06	2.56	0.38	2.09	1.59	2.31	6.73	11.3	45.9	153	115
1999	25.9	14.6	6.48	4.76	20.1	28.4	31.9	51.3	50.3	71.2	63.8	110
2000	47	26.5	14.3	7.98	17.3	15.3	26.7	48.3	54.3	111	67.9	33.3

Tên Củng

trạm: Sơn

Đơn vị: m3/s

Năm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1977	110	67.7	49.8	29.1	32.3	25.3	49.6	63.2	714	287	771	135
1978	102	58.6	38.4	33.9	66.4	49.9	183	266	436	433	718	229
1979	112	68.6	44.9	40.1	59.6	379	335	502	211	748	663	252
1980	106	71.6	40.9	24.9	251	269	178	163	472	628	1435	278
1981	135	86.5	40.7	50.1	54.1	252	123	304	259	1367	2105	839
1982	202	117	75	76.7	51.9	172	180	101	287	159	146	68
1983	50.1	30.5	18.3	10.6	37.3	108	54.5	224	186	1307	787	282
1984	134	97.8	56.7	57	110	179	117	448	380	713	1116	477
1985	217	96.1	61.3	81.3	75.2	129	171	176	339	431	635	423
1986	133	82.9	55.3	30.9	95.8	45.5	69.1	519	440	508	420	1073
1987	213	112	78	50.2	42.2	69.2	63.2	160	177	82.7	1033	284
1988	141	84.7	52.9	34.5	42.3	127	105	69.9	205	1421	1177	232
1989	218	94.6	79.2	63.6	207	145	197	305	443	553	362	189
1990	85.7	59.7	40.3	42.4	102	318	138	306	377	1300	1178	349
1991	151	91.2	88.3	73.2	61.8	59.6	113	202	600	785	357	267
1992	152	87.9	53.4	44.3	82.5	204	170	343	349	1243	569	229
1993	104	71.4	55.8	36.9	57.5	49.3	76	116	184	1300	842	879
1994	232	96	53.4	42.2	83	60.8	223	183	547	491	321	245
1995	104	70.8	38	28.8	40.9	50.4	76.7	102	316	776	638	516
1996	210	136	60	52	144	143	184	296	579	712	1540	1290
1997	220	137	74.4	139	132	87.4	80.8	224	354	387	431	140
1998	64.1	51.2	36.5	22.6	39.6	29.5	35.2	83	131	613	1760	1150
1999	374	156	107	113	278	276	190	351	304	695	1150	1520
2000	278	168	105	117	169	284	372	278	500	1337	1154	746

Tên  
trạm: Krong Hhang

Đơn vị: m3/s

Năm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1977	15.1	9.23	6.81	3.86	4.51	3.55	7.32	8.24	106	40.8	93.3	7.13
1978	13.5	8.33	4.77	3.73	8.61	5.79	23.7	32	49	58.7	99	29.7
1979	28.3	21.9	18.8	15.7	19	49	41.9	61.1	59.1	77.9	53.2	29.1
1980	19	12	8.58	6.8	19.3	32.8	18	27.9	59.1	58.6	102	38.9
1981	10.4	6.57	2.58	3.45	2.39	22	10.8	30.7	26.8	95.1	169	77.2
1982	33.5	22.5	13.3	15.6	9.86	24.1	15.5	15.6	29.9	27.1	18.1	10.9
1983	14	8.53	6.26	6.26	10.9	12.9	9.61	29.5	26.7	125	66.5	34.2
1984	14.3	11.2	6.28	4.44	11.3	15.1	12.7	57.3	43.4	70	105	48.9
1985	27.3	10.9	7.06	9.96	6.1	14.4	22.2	23.2	46.4	45.7	78.4	51.1
1986	15.8	10.5	7.25	3.87	5.55	4.38	7.17	67.9	62.4	38.4	48.5	124
1987	29.2	15.1	10.7	7.63	6.14	9.44	9.8	23.2	23.3	11.8	141	40.4
1988	12.5	7.73	4.87	3.05	2.2	11.9	8.6	6.24	17.5	129	125	20.2
1989	28.7	11.3	9.19	6.53	20.8	15.5	19.6	36.6	46.7	74.1	49.9	25.1
1990	7.67	5.14	3.2	3.34	4.47	31.9	13	36.5	44.4	115	123	36.1
1991	18.9	10.3	11.4	9.79	6.08	3.53	13.5	23.9	98.2	97.8	45	35.7
1992	14.7	7.87	4.23	3.77	8.43	24.7	17.8	41.1	42.4	129	59.6	22.3
1993	6.52	4.26	2.81	1.76	1.72	2.65	3.69	9.36	16.9	141	88.1	90
1994	36.2	11.7	4.56	2.3	5.69	2.95	34.2	26.7	84.4	72.2	55.5	38.8
1995	15.9	9.28	3.83	2.64	4.22	4.84	8.4	9.8	55.2	119	72.8	104
1996	26.5	16.9	6.06	4.96	16.2	9.07	20.2	39.5	61.2	74.3	120	138
1997	28.3	18.7	8.42	20.3	13.5	10.1	9.18	36.8	54.1	59	59.5	20.2
1998	7.04	5.5	3.46	0.51	2.83	2.16	3.14	9.12	15.3	62.2	208	155
1999	43.6	16.9	10.6	11.6	31.6	33.9	22.1	43.1	32.1	52.9	84.8	146
2000	18.4	11.5	7.04	8.27	12.8	22	31.6	17.2	42.7	103	83.1	61.1

Tên Sông  
trạm: Hinh

Đơn vị: m3/s

Năm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1977	27.6	15.3	11.2	8.4	7.5	6.9	7.7	5.0	251.1	46.1	208.1	27.3
1978	30.0	18.1	9.5	7.0	11.5	9.3	14.1	6.2	13.3	72.8	249.0	102.0
1979	28.6	14.6	9.0	6.4	7.0	10.2	6.5	6.0	7.2	72.1	238.5	96.8
1980	29.2	20.8	12.7	9.2	16.9	20.5	11.9	13.3	20.3	76.5	266.8	81.0
1981	28.3	24.1	10.5	10.4	15.1	11.6	11.3	8.7	33.3	218.4	387.0	264.7
1982	46.0	25.2	16.5	14.1	12.0	14.0	7.8	4.5	11.3	19.6	49.6	27.5
1983	30.1	16.6	10.4	6.1	6.5	8.0	7.7	10.9	14.8	119.2	106.4	70.8
1984	43.5	36.8	16.2	11.7	15.7	13.8	15.2	9.5	15.5	101.7	170.8	138.1
1985	53.6	27.4	18.4	16.4	18.7	10.0	9.5	5.0	18.7	60.1	223.9	158.5
1986	49.7	27.0	19.9	9.3	6.9	5.7	5.6	16.9	14.7	34.0	122.4	306.5
1987	53.2	27.2	14.8	10.0	6.7	6.1	4.1	4.8	10.4	8.2	190.6	99.1
1988	54.3	36.3	26.6	15.8	9.7	14.1	14.4	6.7	24.5	117.4	302.4	67.6
1989	84.4	32.7	26.7	14.7	15.2	14.1	15.8	9.6	22.3	93.8	130.9	47.0
1990	19.1	13.1	9.4	10.6	8.7	13.7	9.0	17.4	15.3	142.6	254.6	133.0
1991	39.9	21.9	24.7	26.1	12.1	8.9	6.9	7.3	25.3	53.4	51.6	64.8
1992	13	7.2	4.2	3.5	6.7	14.7	13.3	24.7	26.5	99.3	46.3	19.2
1993	8.1	5.6	4.4	2.9	4.5	3.9	5.9	9.1	14.4	101.6	65.8	68.7
1994	18.1	7.5	4.2	3.3	6.5	4.7	17.4	14.3	42.8	38.4	25.1	19.2
1995	8.1	5.5	3	2.3	3.2	3.9	6	8	24.7	60.7	49.9	40.3
1996	16.4	10.6	4.7	4.1	11.3	11.2	14.4	23.1	45.3	55.7	120.4	100.8
1997	17.2	10.7	5.8	10.9	10.3	6.8	6.3	17.5	27.7	30.3	33.7	10.9
1998	5	4	2.9	1.8	3.1	2.3	2.8	6.5	10.2	47.9	137.6	89.9
1999	29.2	12.2	8.4	8.8	21.7	21.6	14.9	27.4	23.8	54.3	89.9	118.8
2000	21.7	13.1	8.2	8.8	11.6	22	26.9	19.5	36.1	103.5	86.7	55.1

*Phụ lục 2.3: Kết quả tính toán mực nước hồ cuối thời đoạn (m) từ HEC-ResSim cho HTHC sông Ba (1977-2000)*

*1) Ayun Hạ*

<b>Năm</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>1977</b>	202.3	200.9	199.9	197.5	196.5	196.6	196.5	199.0	204.0	204.0	203.9	202.4
<b>1978</b>	201.7	200.9	199.9	197.8	196.5	196.8	199.2	202.6	204.0	204.0	203.7	202.2
<b>1979</b>	201.7	200.9	199.9	197.5	196.6	203.4	202.9	201.5	200.5	202.1	202.2	201.7
<b>1980</b>	201.7	200.9	199.8	197.5	201.5	203.0	200.3	200.4	201.4	204.0	204.0	203.2
<b>1981</b>	201.7	200.9	199.9	198.2	199.0	202.1	199.0	199.3	199.7	204.3	204.0	203.8
<b>1982</b>	202.4	200.9	199.9	197.7	196.5	203.0	202.9	200.6	202.7	204.0	204.0	202.7
<b>1983</b>	201.7	200.9	199.9	197.5	196.5	201.9	199.4	200.3	204.0	204.2	204.0	203.9
<b>1984</b>	202.6	200.9	199.8	199.9	201.2	203.9	200.2	204.0	204.0	204.0	204.0	203.7
<b>1985</b>	202.1	200.9	199.9	197.8	196.5	201.8	199.6	200.2	202.2	204.0	204.0	203.0
<b>1986</b>	201.7	200.9	199.9	197.5	200.3	199.0	199.7	204.0	204.0	204.0	203.9	203.7
<b>1987</b>	202.0	200.9	199.9	197.6	196.5	197.0	197.4	203.0	202.7	203.0	204.0	202.9
<b>1988</b>	201.7	200.9	199.8	197.6	196.5	199.4	198.5	198.7	200.8	204.0	204.0	203.3
<b>1989</b>	201.7	200.9	199.9	197.5	201.2	200.5	201.1	202.9	203.9	204.0	203.9	202.7
<b>1990</b>	201.7	200.9	199.9	197.5	198.1	204.0	200.5	202.9	203.3	204.0	204.0	203.8
<b>1991</b>	202.1	200.9	199.9	197.6	196.5	196.6	198.0	203.2	204.6	204.0	204.0	203.6
<b>1992</b>	201.8	200.9	199.8	197.5	196.5	199.4	199.3	204.1	203.8	204.0	204.0	203.5
<b>1993</b>	201.7	200.9	199.9	197.6	196.5	196.8	196.5	200.1	202.0	204.0	204.0	203.7
<b>1994</b>	201.9	200.9	199.9	197.6	196.6	196.6	202.0	201.8	204.0	204.0	203.8	202.5
<b>1995</b>	201.7	200.9	199.9	197.5	196.5	196.6	197.0	201.3	204.0	204.0	204.0	203.1
<b>1996</b>	201.7	200.9	199.8	197.8	202.8	201.7	201.3	203.5	204.0	204.0	204.0	203.8
<b>1997</b>	202.4	200.9	199.9	197.9	199.2	198.0	200.9	203.6	204.0	204.0	204.0	202.9
<b>1998</b>	201.7	200.9	199.9	197.5	196.5	196.6	196.5	198.9	203.2	204.0	204.0	203.9
<b>1999</b>	202.8	200.9	199.9	199.2	201.8	201.5	201.5	202.8	202.3	204.0	204.0	203.8
<b>2000</b>	202.2	200.9	199.8	197.8	201.6	202.4	202.0	202.2	204.0	204.0	204.0	203.6

**2) Krông H'ăng**

<b>Năm</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>1977</b>	252.9	251.0	247.2	244.2	244.2	243.6	242.5	242.6	255.0	254.9	254.9	254.9
<b>1978</b>	254.9	252.9	250.0	246.0	247.4	242.7	242.5	242.6	242.9	253.3	254.9	254.9
<b>1979</b>	253.8	251.0	247.2	244.2	244.2	243.6	242.6	242.6	242.5	254.9	254.9	254.9
<b>1980</b>	254.1	251.0	247.1	244.2	249.6	246.1	242.8	242.6	244.4	255.0	254.9	254.9
<b>1981</b>	254.9	252.9	249.8	246.3	244.3	243.6	242.5	242.6	249.9	255.0	255.0	254.9
<b>1982</b>	254.9	254.5	253.2	251.7	249.1	246.0	242.9	242.6	242.9	248.3	252.6	252.2
<b>1983</b>	252.9	251.0	247.2	244.2	244.2	243.6	242.5	242.6	247.4	255.0	254.9	254.9
<b>1984</b>	253.4	250.9	247.1	244.2	244.1	245.5	243.0	242.5	243.0	254.9	255.0	254.9
<b>1985</b>	253.8	251.0	247.2	244.9	244.2	243.6	242.8	242.6	248.2	254.8	254.9	254.9
<b>1986</b>	254.2	251.3	247.2	244.2	244.2	243.6	243.0	242.5	250.9	255.0	254.9	254.8
<b>1987</b>	254.9	252.9	249.8	245.6	244.2	243.6	242.5	242.6	244.4	245.8	254.8	254.9
<b>1988</b>	254.2	251.2	247.1	244.2	244.2	243.6	242.5	242.5	248.4	254.9	254.9	254.9
<b>1989</b>	254.3	251.4	248.9	246.3	249.1	246.7	243.2	242.6	246.9	254.9	254.9	254.4
<b>1990</b>	252.9	251.0	247.1	244.2	244.9	246.3	243.1	243.5	249.9	254.9	254.9	254.9
<b>1991</b>	254.5	251.9	250.4	247.3	244.2	243.6	242.5	242.6	252.8	254.9	254.9	254.6
<b>1992</b>	252.9	250.9	247.1	244.2	244.2	248.5	243.6	244.4	248.7	255.0	254.9	254.9
<b>1993</b>	253.9	251.0	247.1	244.2	245.1	243.6	242.6	242.6	245.5	255.0	255.0	254.9
<b>1994</b>	254.9	254.4	252.8	251.2	249.6	246.6	243.3	242.6	247.2	255.0	254.9	254.9
<b>1995</b>	253.0	251.0	247.2	244.2	244.2	243.6	242.6	242.6	247.3	255.0	254.9	254.9
<b>1996</b>	254.1	251.0	247.1	244.2	245.8	246.6	243.0	242.8	251.2	255.0	255.0	255.0
<b>1997</b>	254.9	254.6	253.1	251.2	249.2	245.4	243.0	242.6	251.9	255.0	254.9	254.2
<b>1998</b>	252.9	251.0	247.1	244.2	244.2	243.6	242.5	242.6	243.9	254.9	255.0	254.9
<b>1999</b>	254.9	254.2	252.7	251.0	249.5	246.4	243.3	242.5	246.0	255.0	254.9	254.9
<b>2000</b>	254.9	254.2	252.4	251.7	249.9	246.7	243.0	242.5	248.6	254.9	255.0	254.9

### 3) Sông Ba Hạ

<b>Năm</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>1977</b>	104.9	104.0	102.6	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0	105.0	103.0	105.0	105.0
<b>1978</b>	104.9	104.4	103.0	101.1	101.8	101.1	101.0	101.0	101.0	103.0	104.9	105.0
<b>1979</b>	103.9	103.5	102.6	101.0	101.0	103.8	101.0	101.0	101.0	102.7	105.0	105.0
<b>1980</b>	104.5	103.5	102.5	101.0	104.5	102.7	101.0	101.0	101.0	105.0	105.0	105.0
<b>1981</b>	105.0	104.9	104.3	104.6	104.0	103.1	101.0	101.0	101.0	105.0	105.0	105.0
<b>1982</b>	105.0	105.0	104.9	104.5	104.0	103.6	101.0	101.0	101.0	103.0	104.9	104.1
<b>1983</b>	103.5	103.5	102.6	101.0	102.6	102.7	101.0	101.0	102.3	105.0	105.0	105.0
<b>1984</b>	105.0	104.9	104.2	104.0	104.7	103.0	101.0	103.7	101.0	103.5	105.0	105.0
<b>1985</b>	105.0	104.9	104.1	103.0	102.5	103.1	101.0	101.0	101.0	103.0	105.0	105.0
<b>1986</b>	105.0	104.6	103.2	101.4	102.8	101.0	101.0	101.6	103.5	105.0	105.0	105.0
<b>1987</b>	105.0	105.0	104.7	104.1	102.3	101.0	101.0	101.0	101.0	101.6	105.0	105.0
<b>1988</b>	104.9	104.8	103.8	102.3	101.0	101.0	101.0	101.0	102.6	105.0	105.0	105.0
<b>1989</b>	105.0	104.8	104.6	104.2	104.6	102.8	101.0	101.0	101.0	102.8	105.0	104.9
<b>1990</b>	103.5	103.5	102.6	101.0	102.0	103.8	101.0	101.4	101.0	105.0	105.0	105.0
<b>1991</b>	105.0	104.9	104.9	104.4	103.8	101.8	101.0	101.0	105.0	104.9	105.0	105.0
<b>1992</b>	104.8	103.8	102.6	101.0	102.2	103.2	101.0	105.0	101.0	105.0	105.0	105.0
<b>1993</b>	105.0	104.6	104.1	102.9	101.1	101.0	101.0	101.0	102.1	105.0	105.0	105.0
<b>1994</b>	105.0	105.0	105.0	104.7	104.1	102.6	102.1	101.0	101.4	104.3	104.9	105.0
<b>1995</b>	104.1	103.5	102.6	101.0	101.0	101.2	101.0	101.0	101.9	105.0	105.0	105.0
<b>1996</b>	105.0	104.5	103.1	101.4	104.1	102.5	101.0	101.0	105.0	105.0	105.0	105.0
<b>1997</b>	105.0	105.0	104.9	104.9	104.9	103.0	101.0	101.0	105.0	103.0	105.0	105.0
<b>1998</b>	104.4	103.5	102.6	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0	104.4	105.0	105.0
<b>1999</b>	105.0	105.0	105.0	105.0	104.9	102.8	101.0	101.0	101.0	105.0	105.0	105.0
<b>2000</b>	105.0	105.0	105.0	104.8	104.8	103.0	101.0	101.0	101.0	105.0	105.0	105.0

#### 4) Sông Hình

Năm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1977	208.9	208.6	207.5	205.8	204.0	202.0	200.0	198.0	207.4	209.0	209.0	208.9
1978	208.9	208.8	207.8	205.8	204.1	202.0	200.9	199.6	198.1	204.6	209.0	209.0
1979	208.9	207.1	206.9	205.8	204.0	202.5	200.4	198.0	196.2	204.6	209.0	209.0
1980	208.9	208.3	207.8	205.7	204.8	202.9	201.0	198.6	198.5	205.3	209.0	208.9
1981	209.0	208.7	207.8	205.8	204.2	202.8	200.1	198.0	200.6	209.0	209.0	209.0
1982	208.9	208.8	207.8	205.8	204.0	202.2	200.2	198.0	196.2	198.3	202.8	205.5
1983	207.6	207.1	206.9	205.8	204.0	202.3	200.1	198.0	197.1	207.9	209.0	208.9
1984	209.0	208.8	207.8	205.7	204.7	202.9	200.1	198.2	197.6	206.7	209.0	209.0
1985	209.0	208.9	207.8	205.8	204.0	202.2	200.1	198.0	198.0	203.5	209.0	209.0
1986	208.9	208.9	207.9	205.8	204.0	202.0	200.0	199.5	198.1	200.6	208.2	209.0
1987	208.9	208.8	207.9	205.8	204.0	202.0	200.0	198.0	196.3	197.7	209.0	209.0
1988	208.9	208.9	207.8	206.0	203.9	201.9	199.9	197.9	199.2	208.1	209.0	209.0
1989	209.0	208.9	207.8	205.8	204.6	203.0	200.0	198.0	198.3	206.5	209.0	208.9
1990	208.8	207.1	206.9	205.8	204.0	202.7	200.5	199.5	198.1	209.0	209.0	209.0
1991	208.9	208.9	207.8	206.1	204.3	202.0	200.0	198.0	199.6	203.6	206.4	208.9
1992	208.9	208.4	207.3	205.7	203.9	202.2	199.9	198.5	196.3	209.0	209.0	208.9
1993	208.8	208.5	207.7	205.8	204.0	202.0	200.0	198.0	196.5	209.0	209.0	209.0
1994	209.0	208.9	207.9	206.4	204.6	202.1	200.0	198.0	197.6	204.4	208.7	208.9
1995	208.9	207.1	206.9	205.8	204.0	202.0	200.0	198.0	196.7	204.3	209.0	209.0
1996	208.8	208.4	207.7	205.7	204.5	203.0	199.9	197.9	199.2	208.3	209.0	209.0
1997	208.9	208.9	207.9	206.0	204.8	202.2	200.1	198.0	197.5	200.4	207.0	208.9
1998	208.9	207.7	207.0	205.8	204.0	202.0	200.0	198.0	196.6	205.2	209.0	209.0
1999	209.0	208.9	207.9	205.8	204.8	203.0	200.3	198.0	196.6	207.3	209.0	209.0
2000	209.0	208.8	207.8	206.4	205.4	204.0	200.6	199.7	199.1	209.0	209.0	209.0



*Phụ lục 2.4: Mức nước hồ cuối thời đoạn (m) của Sông Hinh từ DP (1977-2000)*

<b>Năm</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>1977</b>	209.0	208.9	208.1	206.6	205.0	202.5	200.0	196.0	200.5	204.3	209.0	209.0
<b>1978</b>	209.0	207.6	206.3	203.9	202.3	200.9	200.7	199.5	196.0	198.5	208.5	209.0
<b>1979</b>	209.0	207.9	206.9	205.4	204.0	203.0	201.6	199.5	196.0	198.5	209.0	209.0
<b>1980</b>	208.7	207.8	206.5	204.7	203.6	202.9	201.0	198.1	196.0	199.5	209.0	209.0
<b>1981</b>	209.0	208.9	207.8	205.9	205.1	202.8	200.2	196.0	196.0	204.6	209.0	209.0
<b>1982</b>	209.0	208.4	207.7	206.8	205.9	204.7	202.7	200.5	199.6	199.9	203.3	204.5
<b>1983</b>	205.5	205.1	204.1	203.0	202.0	201.0	199.0	197.0	196.0	204.2	208.4	209.0
<b>1984</b>	209.0	209.0	208.2	206.5	204.8	203.0	201.2	198.5	196.0	202.5	209.0	209.0
<b>1985</b>	209.0	209.0	207.9	207.1	205.9	204.1	202.2	199.1	196.0	196.5	209.0	209.0
<b>1986</b>	209.0	208.8	207.8	206.3	204.3	202.5	200.3	198.1	196.0	196.0	203.0	209.0
<b>1987</b>	209.0	209.0	208.5	207.2	205.4	204.2	202.4	200.5	198.5	196.0	209.0	209.0
<b>1988</b>	209.0	209.0	208.8	207.7	206.0	203.8	202.1	198.4	196.0	203.8	209.0	209.0
<b>1989</b>	209.0	209.0	208.6	207.2	205.5	203.8	202.1	199.2	196.5	202.1	209.0	209.0
<b>1990</b>	208.6	207.1	205.4	203.7	202.1	201.0	199.2	197.5	196.0	204.5	208.9	209.0
<b>1991</b>	209.0	208.6	208.3	208.3	207.0	205.1	202.2	199.1	198.5	201.7	204.3	207.2
<b>1992</b>	207.9	207.0	206.2	204.5	203.1	201.6	200.0	199.0	196.0	204.4	208.1	209.0
<b>1993</b>	209.0	208.1	206.8	206.0	204.3	203.2	201.5	199.0	196.0	204.2	209.0	209.0
<b>1994</b>	209.0	209.0	208.0	207.0	206.1	205.0	203.1	200.5	198.0	203.4	206.9	209.0
<b>1995</b>	209.0	208.5	207.2	205.8	205.0	203.0	201.5	199.0	196.0	200.5	206.7	209.0
<b>1996</b>	209.0	208.2	206.8	205.1	203.6	202.1	200.5	196.4	196.0	203.9	209.0	209.0
<b>1997</b>	209.0	209.0	208.2	207.5	206.7	204.6	202.7	200.5	198.4	199.5	206.3	208.3
<b>1998</b>	208.9	208.6	207.9	206.7	205.3	204.0	201.5	199.0	196.0	200.5	209.0	209.0
<b>1999</b>	209.0	209.0	208.2	207.3	206.4	204.3	202.2	199.5	196.0	203.6	209.0	209.0
<b>2000</b>	209.0	209.0	207.4	206.5	206.0	206.0	203.6	200.5	196.0	204.5	209.0	209.2

**Phụ lục 2.5: Kết quả tính toán so sánh Dung tích (triệu m<sup>3</sup>) - Mức nước cuối thời đoạn (m) cho hồ sông Hinh với Thực tế và Mô hình khác nhau (2001-2005)**

No	Month	Thực tế		DP		ANN-0		ANN-1		ANN-2		ANN-3	
		Vc <i>mill.m3</i>	Zc <i>m</i>	Vc <i>mill.m3</i>	Zc <i>m</i>	Zc <i>mill.m3</i>	Vc <i>m</i>	Vc <i>mill.m3</i>	Zc <i>m</i>	Vc <i>mill.m3</i>	Zc <i>m</i>	Vc <i>mill.m3</i>	Zc <i>m</i>
2001	Jan-01	367.9	209.2	367.9	209.2	359.5	209.0	360.6	209.0	360.1	209.0	359.8	209.0
	Feb-01	345.9	209.2	360.5	209.0	363.3	209.1	364.0	209.1	362.6	209.1	362.2	209.0
	Mar-01	345.9	208.6	360.5	209.0	339.9	208.4	350.6	208.7	351.7	208.8	351.3	208.7
	Apr-01	294.6	208.6	331.2	208.2	336.5	208.3	333.3	208.3	314.8	207.8	309.6	207.6
	May-01	232.2	207.2	305.5	207.5	286.7	207.0	285.5	207.0	272.3	206.6	268.7	206.5
	Jun-01	174.7	205.5	265.2	206.4	230.9	205.5	228.3	205.4	233.8	205.5	210.2	204.8
	Jul-01	93.9	203.4	167.4	203.1	168.1	203.1	173.5	203.4	173.8	203.4	175.6	203.4
	Aug-01	61.7	200.1	104.5	200.5	103.0	200.5	90.6	199.9	106.6	200.6	105.0	200.6
	Sep-01	50.9	197.8	64.4	198.0	65.3	198.1	34.0	195.8	84.8	199.5	77.3	198.9
	Oct-01	172.3	197.0	147.8	202.3	144.7	202.2	145.3	202.2	131.6	201.6	115.8	201.0
	Nov-01	279.9	203.3	243.2	205.8	246.6	205.9	247.4	205.9	256.4	206.2	237.1	205.6
	Dec-01	365.7	206.8	365.7	209.1	335.1	208.3	335.8	208.3	338.7	208.4	331.9	208.2
2002	Jan-02	339.6	209.1	360.5	209.0	357.8	208.9	355.5	208.9	356.0	208.9	354.7	208.8
	Feb-02	319.5	208.4	356.1	208.9	345.3	208.6	343.2	208.5	359.4	209.0	355.3	208.9
	Mar-02	269.3	207.9	305.9	207.5	324.5	208.0	329.5	208.2	323.9	208.0	337.8	208.4
	Apr-02	209.7	206.5	244.3	205.8	256.5	206.2	251.5	206.0	254.7	206.1	250.7	206.0
	May-02	166.4	204.8	216.1	205.1	205.1	204.6	204.4	204.6	196.5	204.3	194.9	204.2
	Jun-02	112.6	203.1	161.5	202.9	173.3	203.3	164.8	203.0	168.0	203.1	162.7	202.9
	Jul-02	65.5	200.9	93.5	200.1	116.2	201.0	111.4	200.8	108.6	200.7	107.5	200.7
	Aug-02	58.2	198.1	44.7	196.5	48.1	196.8	38.0	196.1	38.2	196.1	39.8	196.2
	Sep-02	56.8	197.5	37.3	196.0	37.6	196.0	36.1	195.9	37.2	196.0	35.3	195.9
	Oct-02	102.8	197.4	37.3	196.0	36.9	196.0	36.6	195.9	36.6	195.9	37.8	196.0
	Nov-02	360.5	200.5	360.5	209.0	362.1	209.0	362.6	209.1	359.0	209.0	359.7	209.0
	Dec-02	373.0	209.0	373.0	209.3	363.0	209.1	363.2	209.1	362.2	209.0	363.8	209.1
2003	Jan-03	339.6	209.3	360.5	209.0	358.8	209.0	360.1	209.0	360.1	209.0	359.2	209.0
	Feb-03	319.5	208.4	319.5	207.9	343.7	208.5	336.5	208.3	342.2	208.5	345.3	208.6
	Mar-03	269.3	207.9	269.3	206.5	282.3	206.9	276.0	206.7	275.6	206.7	289.6	207.1

No	Month	Thực tế		DP		ANN-0		ANN-1		ANN-2		ANN-3	
		Vc <i>mill.m3</i>	Zc <i>m</i>	Vc <i>mill.m3</i>	Zc <i>m</i>	Zc <i>mill.m3</i>	Vc <i>m</i>	Vc <i>mill.m3</i>	Zc <i>m</i>	Vc <i>mill.m3</i>	Zc <i>m</i>	Vc <i>mill.m3</i>	Zc <i>m</i>
	Apr-03	209.7	206.5	209.7	204.8	203.2	204.6	202.3	204.5	210.8	204.9	202.9	204.5
	May-03	166.4	204.8	190.9	204.1	176.7	203.5	176.5	203.5	166.4	203.1	161.9	202.9
	Jun-03	112.6	203.1	161.5	202.9	162.8	202.9	159.2	202.8	162.3	202.9	156.5	202.7
	Jul-03	65.5	200.9	117.9	201.1	111.9	200.8	113.8	200.9	116.4	201.0	122.1	201.2
	Aug-03	58.2	198.1	71.7	198.5	65.8	198.1	67.8	198.2	64.7	198.0	63.9	198.0
	Sep-03	56.8	197.5	37.3	196.0	35.9	195.9	38.1	196.1	37.1	196.0	35.2	195.8
	Oct-03	102.8	197.4	104.5	200.5	116.5	201.0	115.8	201.0	116.4	201.0	118.4	201.1
	Nov-03	360.5	200.5	323.9	208.0	336.2	208.3	328.1	208.1	326.8	208.1	327.0	208.1
	Dec-03	372.6	209.0	372.6	209.3	361.4	209.0	361.0	209.0	361.7	209.0	362.2	209.0
2004	Jan-04	365.7	209.3	365.7	209.1	359.0	209.0	359.7	209.0	359.4	209.0	358.7	208.9
	Feb-04	325.3	209.1	360.5	209.0	351.9	208.8	349.8	208.7	357.8	208.9	357.4	208.9
	Mar-04	268.9	208.0	342.2	208.5	329.5	208.2	333.3	208.3	329.6	208.2	332.5	208.2
	Apr-04	206.6	206.5	276.2	206.7	288.3	207.0	290.5	207.1	296.0	207.2	298.2	207.3
	May-04	209.0	204.7	243.2	205.8	237.9	205.7	217.7	205.1	220.2	205.2	215.5	205.0
	Jun-04	202.6	204.8	202.6	204.5	200.6	204.5	206.5	204.7	195.2	204.2	198.7	204.4
	Jul-04	174.7	204.5	174.7	203.4	161.2	202.8	163.8	203.0	163.8	203.0	165.4	203.0
	Aug-04	114.8	203.4	114.8	200.9	104.4	200.5	100.4	200.4	103.1	200.5	104.7	200.5
	Sep-04	80.4	200.9	80.4	199.2	66.1	198.1	61.7	197.8	49.3	196.9	49.8	196.9
	Oct-04	82.4	199.2	99.6	200.3	114.3	200.9	115.2	201.0	111.8	200.8	111.8	200.8
	Nov-04	201.9	199.3	201.9	204.5	205.3	204.6	220.1	205.2	223.3	205.3	220.6	205.2
	Dec-04	263.0	204.5	299.7	207.3	279.6	206.8	280.7	206.8	268.2	206.7	260.7	206.7
2005	Jan-05	234.4	206.3	307.7	207.6	325.4	208.0	319.7	207.9	324.4	208.0	321.9	207.9
	Feb-05	207.5	205.6	277.7	206.7	256.8	206.2	247.5	205.9	250.7	206.0	251.2	206.0
	Mar-05	183.8	204.7	242.1	205.8	232.4	205.5	243.4	205.8	244.6	205.8	245.3	205.9
	Apr-05	158.8	203.8	207.8	204.8	179.3	203.6	181.5	203.7	196.5	204.3	190.4	204.0
	May-05	116.7	202.8	165.7	203.0	171.7	203.3	163.9	203.0	159.7	202.8	161.7	202.9
	Jun-05	80.7	201.0	120.9	201.2	127.4	201.5	121.0	201.2	129.9	201.6	131.6	201.6
	Jul-05	70.0	199.2	83.5	199.4	80.0	199.2	80.4	199.2	79.9	199.1	80.7	199.2
	Aug-05	63.1	198.4	37.3	196.0	36.6	195.9	38.9	196.1	39.6	196.2	39.5	196.2
	Sep-05	90.1	197.9	37.3	196.0	37.0	196.0	40.9	196.3	35.6	195.9	34.8	195.8
	Oct-05	341.1	199.9	267.8	206.5	202.1	204.5	203.0	204.6	204.5	204.6	204.7	204.6

No	Month	Thực tế		DP		ANN-0		ANN-1		ANN-2		ANN-3	
		Vc	Zc	Vc	Zc	Zc	Vc	Vc	Zc	Vc	Zc	Vc	Zc
		<i>mill.m3</i>	<i>m</i>	<i>mill.m3</i>	<i>m</i>	<i>mill.m3</i>	<i>m</i>	<i>mill.m3</i>	<i>m</i>	<i>mill.m3</i>	<i>m</i>	<i>mill.m3</i>	<i>m</i>
	Nov-05	362.4	208.5	362.4	209.1	361.1	209.0	367.2	209.2	364.7	209.1	366.5	209.2
	Dec-05	360.5	209.1	360.5	209.0	365.5	209.0	367.2	209.0	366.2	209.0	366.0	209.0