NGHIÊN CỨU VẬN HÀNH TỐI ƯU HỒ CHỨA CỬA ĐẠT CHO CẤP NƯỚC MÙA KIỆT SỬ DỤNG THUẬT TOÁN FUZZY LOGIC

TS. **Nguyễn Mai Đăng** - Trường Đại học Thủy lợi
KS. **Trịnh Xuân Mạnh** - Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Nhiệm vụ cấp nước của các hồ chứa thủy lợi, thủy điện, đặc biệt là những hồ chứa đa mục tiêu về mùa khô thường gặp khó khăn do nhu cầu nước ngày càng tăng theo sự phát triển kinh tế và xã hội, trong khi dòng chảy đến hồ lại có hạn. Do vậy tính toán điều tiết cấp nước tối ưu của hồ chứa cho các nhu cầu dùng nước trong mùa kiệt ngày càng cấp thiết. Bài báo này trình bày kết quả bước đầu việc ứng dụng thuật toán tối ưu Fuzzy Logic cho vận hành cấp nước mùa kiệt năm 2011-2012 của hồ chứa Cửa Đạt trên lưu vực sông Chu thuộc tỉnh Thanh Hoá. Đây là hồ chứa đa mục tiêu với các nhiệm vụ: phòng lũ, cấp nước, phát điện, đảm bảo dòng chảy môi trường. Nghiên cứu đã sử dụng thuật toán Fuzzy Logic dựa trên các quy luật, nguyên lí "if – then" và xây dựng các hàm liên thuộc (Membership Function) cho các biến đầu vào: mực nước hồ, lưu lượng đến hồ, nhu cầu sử dụng nước và lưu lượng xả ra khỏi hồ. Đã xây dựng được hệ thống Fuzzy cho vận hành hồ Cửa Đạt và xác định được quá trình xả tối ưu trong điều kiện thiếu nước về mùa khô, nhưng với quy trình xả tối ưu đã tìm ra thì hồ chứa vẫn có thể đáp ứng được 80% nhu cầu nước trong toàn bộ mùa khô 2011-2012. Đây là kết quả bước đầu và đã cho thấy rằng phương pháp này có thể ứng dụng tốt cho các hồ chứa ở Việt Nam trong vận hành và xây dựng quy trình vận hành.

1. Cơ sở và mục đích nghiên cứu

Hiện nay ở Việt Nam có rất nhiều hồ chứa lớn và đa mục tiêu do vậy thường nảy sinh những mẫu thuẫn trong quá trình quản lí vận hành. Vấn đề vận hành hồ tối ưu nhằm thoả mãn các nhu cầu dùng nước hạ lưu đang là một yêu cầu cấp thiết. Thuật toán Fuzzy Logic đã được ứng dụng tính toán tối ưu trong nhiều lĩnh vực công nghệ cao, tuy nhiên trong lĩnh vực tài nguyên nước còn đang rất hạn chế, đặc biệt là ở Việt Nam.

Thuật toán Fuzzy Logic bước đầu đã được nghiên cứu, ứng dụng trong vận hành tối ưu hồ chứa nước Cửa Đạt trên lưu vực sông Chu thuộc tỉnh Thanh Hoá (hình 1). Hồ chứa có dung tích 1.364 triệu m^3 [1] và có đa mục tiêu: Cắt giảm lũ bảo vệ hạ lưu với tần suất lũ thiết kế là P = 0,6%, đảm bảo mực nước sông Chu tại Xuân Khánh (huyện Thọ Xuân) không vượt quá 13,71m; Cấp nước sinh hoạt và công nghiệp ổn định với lưu lượng Q = 7,715 m^3/s; Tạo nguồn nước tưới ổn định cho 86.862 ha đất nông nghiệp; Kết hợp phát điện với công suất Nlm = 97 MW; Bổ sung nước mùa kiệt cho hạ lưu sông Mã với lưu lượng Q = 30,42 m^3/s để độ mặn tại Hàm Rồng không vượt quá 1‰.

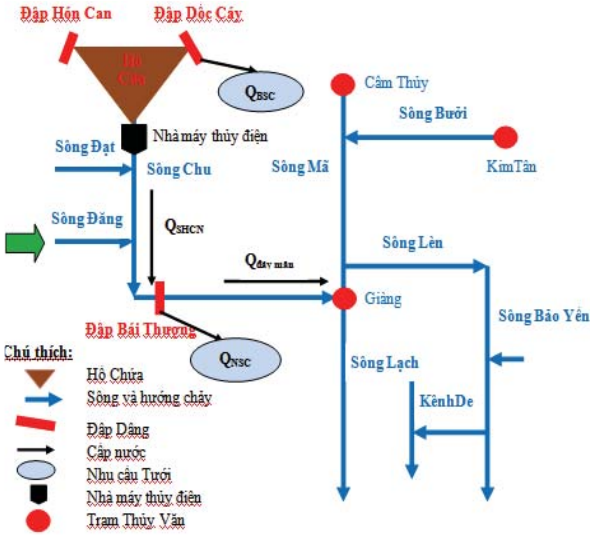
2. Phương pháp nghiên cứu

Thuật toán Fuzzy Logic có thể coi là một thuật toán sử dụng "một tập logic mờ" để giải bài toán tối ưu nhằm tìm được quy trình vận hành cấp nước tối ưu trong mùa kiệt của hồ Cửa Đạt. Chúng tôi sử dụng công cụ 'Fuzzy logic tool box' tích hợp trong phần mềm MATLAB, phiên bản 8.1 để tính toán. Một hệ thống Fuzzy bao gồm các biến đầu vào, bộ quy tắc Fuzzy và các quá trình thực thi, tổng hợp, giải mờ. Đầu vào là các biến "rõ ràng" hay các biến giá trị, các biến này sẽ được mờ hoá thông qua các hàm liên thuộc MF (Membership Function), thay thế các biến giá trị là các biến ngôn ngữ như "thấp", "trung bình" hay "cao". Xây dựng bộ quy tắc mờ 'IF-THEN' phụ thuộc nhiều vào kiến thức và kinh nghiệm của người làm cũng như nguồn dữ liệu thu thập được trong quá khứ. Các quy tắc này có sự liên quan đến các biến ngôn ngữ và các giá trị đầu ra của hệ thống Fuzzy. Thực thi các quy tắc tương ứng với các dữ liệu đầu vào và tạo ra các "Shape" của kết quả đầu ra. Cuối cùng kết quả của hệ thống là một tập mờ, do vậy cần có thêm quá trình giải mờ để nhận các giá trị biến là rõ ràng.

Các biến đầu vào hệ thống sẽ bao gồm thông tin về mực nước hồ, lưu lượng dòng chảy đến hồ và nhu cầu nước. Nhu cầu nước toàn hệ thống sẽ được

Người đọc phản biện: TS. **Nguyễn Kiên Dũng**

tính toán chi tiết cho từng đối tượng cụ thể và được trình bày trong các mục dưới đây. Các biến còn lại sẽ sử dụng các dữ liệu quan trắc của hồ trong suốt quá trình vận hành. Hồ Cửa Đạt mới được đưa vào vận hành chính thức vào năm 2010 và các dữ liệu trên mới được quan trắc đầy đủ trong hai năm 2011 và 2012. Do vậy chuỗi số liệu này đã được sử dụng để tính toán và vận hành tối ưu.



Hình 1. Vị trí hồ Cửa Đạt trong sơ đồ mạng lưới sông Chu – sông Mã

a. Xác định nhu cầu nước toàn hệ thống

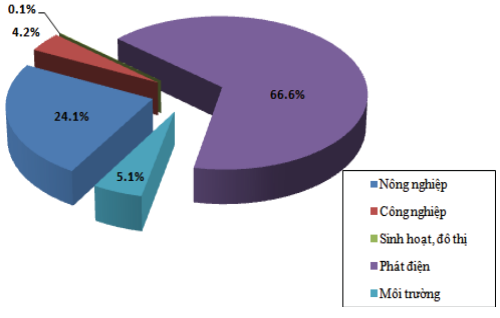
Nghiên cứu này chỉ để cập đến vấn đề cấp nước vào mùa cạn, do vậy nhiệm vụ phòng lũ sẽ không được xem xét. Nhu cầu nước là một thành phần quan trọng trong việc xây dựng một hệ thống vận hành hồ, nhu cầu nước trong từng thời điểm sẽ là cơ sở cho việc ra những quyết định vận hành hồ xả nước. Hơn nữa, trong hệ thống Fuzzy thì nhu cầu này lại là một biến đầu vào quan trọng. Do vậy, để xác định nhu cầu nước tổng hợp trong toàn bộ hệ thống, chúng tôi đã tiến hành xác định từng nhu cầu thành phần sau đây: nhu cầu nước cho nông nghiệp, nhu cầu nước cho sinh hoạt và công nghiệp, nhu cầu nước cho môi trường.

Từ các kết quả tính toán nhu cầu nước trong các ngành sử dụng nước khác nhau, tiến hành tổng hợp để xác định nhu cầu nước toàn vùng trong hai năm 2011 và 2012. Tổng lượng nước dùng toàn vùng vào khoảng 4,547 triệu m^3 (hình 2). Trong đó lượng nước dùng cho phát điện chiếm tỷ lệ lớn nhất gần 67% so với lượng nước yêu cầu toàn vùng. Ngoài ra, lượng nước yêu cầu cho sinh hoạt và đô thị chiến tỷ lệ nhỏ nhất trong cơ cấu sử dụng nước hạ lưu hồ Cửa Đạt.

b. Tối ưu hoá vận hành bằng Fuzzy Logic

1) Bài toán vận hành tối ưu và các ràng buộc hệ thống

Một đặc trưng cơ bản của bài toán đa mục tiêu trong tài nguyên nước đó là các mục tiêu khác nhau thường có xung đột với nhau. Nguyên nhân là do các yêu cầu về môi trường và kinh tế - xã hội thường mang tính nổi trội, thời sự hơn và ảnh hưởng đến các chính sách, quyết định. Vì vậy nên việc phân tích tối ưu đa mục tiêu càng trở nên cần thiết hơn hết [2].



Hình 2. Nhu cầu nước trên toàn vùng hạ lưu hồ Cửa đạt

Phương pháp tối ưu cho phép tìm đường cong quy trình vận hành tối ưu. Đường cong chuẩn qui tắc vận hành tối ưu hồ chứa là đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa lưu lượng ra khỏi hồ và dung tích hồ với lượng dòng chảy đến. Quan hệ này có thể biểu diễn bằng hàm toán học sau:

$$Qout = f(W + Win)$$

$$\text{hoặc } Qout = f(W, Qin) \quad (1)$$

Trong đó: Qout = lưu lượng chảy ra từ hồ chứa; W = dung tích hồ chứa; Win và Qin = lượng dòng chảy và lưu lượng nước đến hồ.

Trong vận hành hồ tối ưu các hàm mục tiêu và các ràng buộc hệ thống cần phải được xác định kĩ lưỡng. Trong đó hàm tối ưu thường bao gồm những vấn đề như sau: Maximize tổng sản lượng điện Pt; Minimize tổng lượng nước thiếu hụt so với lượng nước yêu cầu; Minimize giá trị tuyệt đối hiệu mực nước hồ cuối mùa cạn và mực nước chết [2]. Khi vận hành hồ chứa phải tuân theo các ràng buộc sau:

a. Phương trình cân bằng nước:

$$St\text{-}1 + It + Lt - Qt = St \quad (2)$$

$$Lt = f(Z, Qt)$$

Trong đó: St-1 và St = dung tích hồ tại thời điểm t và t-1; It = Dòng chảy đến tại thời điểm t; Qt = Lượng dòng chảy đi tại thời điểm t; Lt = là lượng tổn thất.

Lượng tổn thất được tính ở đây bao gồm các lượng nước sử dụng tại hồ chứa bao gồm nhu cầu cho nông nghiệp, công nghiệp, sinh hoạt, phát điện…tương ứng với các vùng sử dụng nước và bốc hơi mặt hồ, tính trung bình tháng nhiều năm.

b. Ràng buộc về dung tích:

$$Smin < St < Smax \quad (3)$$

$$St+1 \le Smax$$

Trong đó: Smin là dung tích chết và Smax là dung tích hiệu dụng của hồ.

c. Ràng buộc về lưu lượng phát điện:

$$Qt \ge Q \text{ bảo đảm} \quad (4)$$

d. Ràng buộc về dòng chảy hạ lưu:

$$Qt \ge Qmin \quad (5)$$

Trong đó: Qmin là dòng chảy môi trường cần cung cấp cho hạ du.

Trong hệ thống Fuzzy thì các hàm mục tiêu và các ràng buộc hệ thống sẽ được thay thế bởi các hàm liên thuộc (MF). Các hàm liên thuộc này là các đường cong thể hiện mức độ phụ thuộc của một giá trị biến đầu vào so với một biến khái niệm và có mức độ biến đổi từ 0 đến 1. Nội dung xây dựng hàm MF được trình bày cụ thể trong mục tiếp theo.

2) Mờ hoá dữ liệu đầu vào

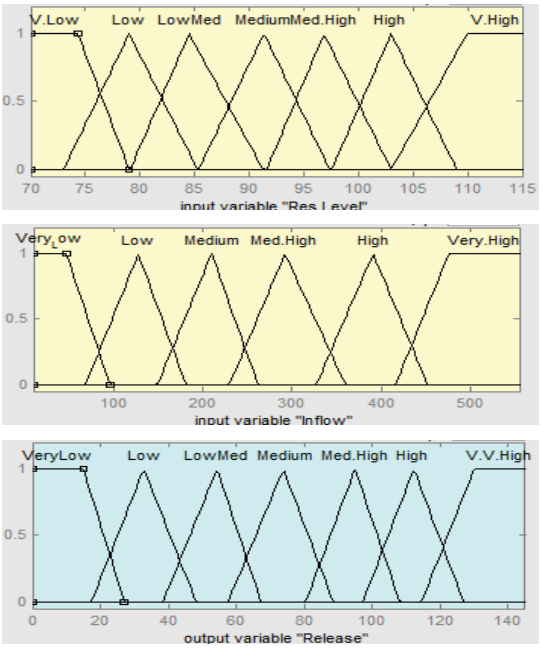
Để mờ hoá các biến đầu vào cho hệ thống Fuzzy, cần phải xác định các hàm liên thuộc MF. Có rất nhiều loại hàm liên thuộc khác nhau như hàm dạng tam giác, hàm dạng hình thang, hàm gauss, hàm dạng sin… [3]. Các hàm này sẽ được xây dựng cho tất cả các biến đầu vào và đầu ra của hệ thống Fuzzy, cùng với các cấp độ biến ngôn ngữ khác nhau như: thấp, trung bình và cao…Trong nghiên cứu này chúng tôi sẽ tiến hành xây dựng hàm liên thuộc với dạng tam giác, đây là hàm liên thuộc được sử dụng nhiều trong những ứng dụng liên quan đến lĩnh vực tài nguyên nước. Khu sử dụng phương pháp Fuzzy Mamdani, hàm liên thuộc sẽ được xác định cho mỗi biến đầu vào và đầu ra như sau [3]:

$$\mu_z(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ (x-a)/(b-a) \\ (c-x)/(c-b) \\ 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} x \le a \\ a \le x \le b \\ b \le x \le c \\ c \le x \end{matrix} \quad z = 1,2,3 \quad (6)$$

Trong đó: $\mu_z(x)$: là hàm liên thuộc của x trong tập Z; a,b,c: Là các giá trị xác định khoảng biến đổi của hàm liên thuộc.

Trên cơ sở phân tích chuỗi số liệu tính toán và đo đạc của các biến đầu vào, chúng tôi đã xác định được các khoảng biến đổi của từng biến và phân ra các lớp cấp độ khác nhau (hình 3). Đối với mực nước hồ có khoảng biến đổi từ 70 m – 115 m, được chi làm 7 cấp độ gồm rất thấp; thấp; trung bình thấp; trung bình, cao trung bình, cao và rất cao. Đối với lượng xả ra khỏi hồ chứa có phạm vi biến đổi từ 0 – 145 triệu m^3, biến này được chia thành 8 cấp độ nhiều hơn biến mực nước hồ 1 cấp "Rất rất cao".

Tương tự đối với biến lưu lượng đến hồ có khoảng biến đổi từ 10 – 550 triệu m^3, sẽ được chia thành 6 cấp độ gồm rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao. Việc phân chia các cấp độ càng chi tiết thì càng giảm bớt được sai số tính toán, tuy nhiên số cấp độ của hàm MF tăng lên thì số lượng quy tắc Fuzzy sẽ cũng tăng lên đáng kể.



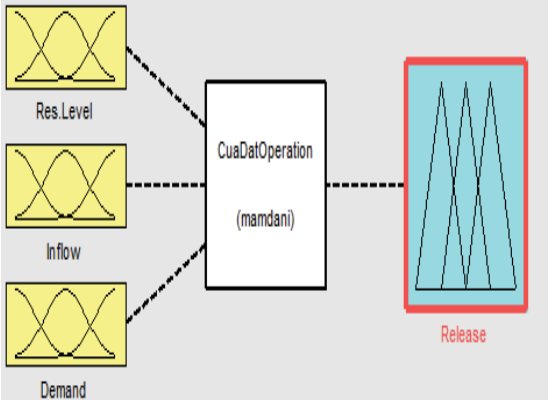
Hình 3. Hàm liên thuộc cho các biến đầu vào hệ thống Fuzzy

3) Xây dựng bộ quy tắc Fuzzy (mờ)

Trong một hệ thống Fuzzy thì bộ quy tắc được xây dựng dựa trên nguyên lí "IF-THEN", thông thường những quy tắc này được tạo ra dựa trên kinh nghiệm, kiến thức của mỗi một chuyên gia, cũng như dựa vào thông tin vận hành thực tế để thiết lập. Dựa vào các nguồn thông tin đã thu thập và việc phân cấp độ với từng biến đầu vào, đầu ra cụ thể, sử dụng phương pháp Fuzzy Mamdani chúng tôi đã xây dựng được bộ quy tắc Fuzzy.

Trong đó các quy tắc được xác định dựa trên cấu trúc sau: IF (MỰC NƯỚC HỒ THẤP) AND (DÒNG CHẢY ĐẾN HỒ RẤT THẤP) AND (NHU CẦU NƯỚC RẤT THẤP) THEN (LƯỢNG XẢ THẤP).

Như vậy trong hệ thống Fuzzy xây dựng cho hồ Cửa Đạt sẽ có tất cả là 97 "rule" được tạo ra dựa vào 3 biến chính là mực nước hồ, dòng chảy đến hồ và nhu cầu dùng nước. Kết quả đầu ra cũng là một tập mờ và để nhận các kết quả là các giá trị rõ ràng thì cần phải có thêm quá trình giải mờ.



Hình 6. Cấu trúc hệ thống Fuzzy cho hồ Cửa Đạt

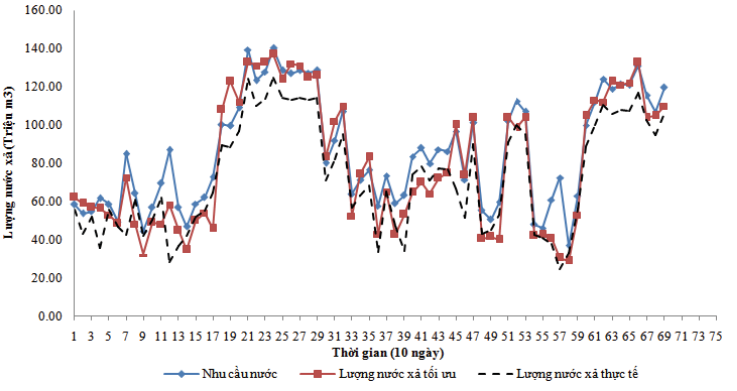
3. Kết quả tính toán và thảo luận

Kết quả tối ưu từ hệ thống Fuzzy thông qua hai quá trình "thực thi quy tắc" và "tích hợp kết quả" là một tập mờ. Do vậy cần có các phương pháp giải mờ, đầu vào cho hệ thống giải mờ là các tập mờ và đầu ra là các giá trị rõ ràng. Các phương pháp giải mờ được tích hợp sẵn trong Fuzzy Tool Box của phần mềm MATLAB gồm: Centroid; Bisection; Largest of Maximum; Smallest of Maximum, Middle of Maximum Một trong những phương pháp giải mờ được sử dụng nhiều đó là phương pháp đánh giá trọng tâm "Centroid" [3]. Công thức tổng quát như sau:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i mB(y_i)}{\sum_{i=1}^{n} mB(y_i)} \quad (7)$$

Trong đó G là trọng tâm của tập mờ đầu ra B từ hệ thống; mB(yi) là độ liên thuộc của thành phần yi trong tập mờ đầu ra B và n là số lượng các thành phần trong tập mờ.

Thông qua hệ thống Fuzzy đã thiết lập cho hồ Cửa Đạt, chúng tôi đã xác định được lượng nước xả tối ưu cho vận hành hồ vào mùa cạn năm 2011-2012. Quá trình lượng xả tối ưu trong Hình 7 cho thấy giữa nhu cầu nước và lượng nước xả tối ưu là tương đối tương đồng với nhau, tức là lượng xả theo vận hành tối ưu bám sát hơn so với lượng xả theo vận hành thực tế. Đặc biệt vào thời điểm kiệt nhất trong năm khi mà nhu cầu nước tăng cao nhưng hồ chứa đã vận hành xả nước hợp lí để đảm bảo nhu cầu này, trong khi lượng cấp nước thực tế thấp hơn rõ rệt, không đứng ứng đủ nhu cầu. Để đánh giá định lượng về hiệu quả của đường quá trình cấp nước tối ưu, tác giả đã dùng chỉ tiêu đánh giá mức độ tương quan bình quân trong toàn bộ quá trình cấp nước mùa kiệt, kết quả cho thấy nếu hồ chứa vận hành tối ưu có thể đáp ứng được khoảng 80% nhu cầu nước vào mùa kiệt. Trong khi đó, lượng xả nước thực tế được xác định qua các số liệu quan trắc của hồ thì chỉ đáp ứng được khoảng 73% nhu cầu thực tế. Như vậy, bằng phương pháp tối ưu đã xác định được lượng nước xả hợp lí, thoả mãn nhu cầu nước hạ lưu cao hơn so với vận hành thực tế và điều này đồng nghĩa với việc sẽ giảm bớt căng thẳng về nước vào mùa kiệt.



Hình 7. Nhu cầu nước và quá trình lượng xả tối ưu ra khỏi hồ

4. Kết luận

Nghiên cứu đã ứng dụng thành công lí thuyết tập mờ (Fuzzy Logic) vào bài toán vận hành hồ tối ưu hồ Cửa Đạt trong mùa kiệt. Kết quả tối ưu đã chỉ ra có thể đáp ứng được trên 80% nhu cầu nước hạ du vào mùa kiệt năm 2011 - 2012, trong so sánh với vận hành thực tế theo quy trình vận hành chưa qua tối ưu chỉ đáp ứng được 73%. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng cho thấy việc ứng dụng thuật toán Fuzzy Logic vào bài toán vận hành hồ là hoàn toàn khả thi và tiện lợi, việc tiếp cận thuật toán này cũng tương đối đơn giản hơn so với các thuật toán tối ưu khác trong việc vận hành một hệ thống phức tạp, đa mục tiêu. Tuy nhiên, phương pháp này lại phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm cũng như kiến thức chuyên gia trong việc xây dựng các quy tắc "IF-THEN" và xây dựng hàm liên thuộc MF. Các khoảng giá trị của từng hàm liên thuộc MF và số lượng biến ngôn ngữ hoàn toàn có thể linh động thay đổi được và không có một quy định chung nào. Phương pháp tối ưu bằng Fuzzy Logic là một hướng tiếp cận tối ưu phù hợp với bài toán vận hành hồ chứa và xây dựng quy trình vận hành hồ chứa. Trong thời gian tới tác giả sẽ tiếp tục nghiên cứu cho bài toán vận hành hệ thống nhiều hồ chứa cũng như phân bổ nguồn nước cho một hệ thống cấp nước hoặc một hệ thống sông.

Tài liệu tham khảo

1. Công ty thuỷ nông Sông Chu (2014). Quy trình vận hành hồ chứa Cửa Đạt. UBND Thanh Hóa.

2. Nguyễn Hữu Khải và nnt (2011) Nghiên cứu phương pháp vận hành hệ thống hồ chứa nhằm phòng lũ, điều tiết lũ, vận hành an toàn hồ chứa và sử dụng hợp lí nguồn tài nguyên nước vào mùa cạn. Đề tài cấp nhà nước.

3. Rama Mehta, Sharad K. Jain (2009) Optimal Operation of a Multi-Purpose Reservoir Using Neuro-Fuzzy Technique. Water Resour Manage (2009) 23:509–529.