BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

NGUYỄN QUANG AN

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG BÀI TOÁN TỐI ƯU VẬN HÀNH TRỮ NƯỚC TƯỚI ĐỂ GIẢM THIỂU ẢNH HƯỞNG CỦA HẠN HÁN TỚI SẢN XUẤT NÔNG NGHIỆP VÙNG HẠ DU SÔNG CẢ - NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH TẠI HỆ THỐNG THỦY LỢI LÊ XUÂN ĐÀO

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI, NĂM 2018

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

NGUYỄN QUANG AN

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG BÀI TOÁN TỐI ƯU VẬN HÀNH TRỮ NƯỚC TƯỚI ĐỂ GIẢM THIỂU ẢNH HƯỞNG CỦA HẠN HÁN TỚI SẢN XUẤT NÔNG NGHIỆP VÙNG HẠ DU SÔNG CẢ - NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH TẠI HỆ THỐNG THỦY LỢI LÊ XUÂN ĐÀO

Chuyên ngành : Kỹ thuật tài nguyên nước

Mã số : 9 58 02 12

Người hướng dẫn khoa học

1. PGS. TS. Nguyễn Tùng Phong

2. PGS. TS. Trần Chí Trung

HÀ NỘI, NĂM 2018

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận án tiến sỹ ***"Nghiên cứu xây dựng bài toán tối ưu vận hành trữ nước tưới để giảm thiểu ảnh hưởng của hạn hán tới sản xuất nông nghiệp vùng hạ du sông Cả - Nghiên cứu điển hình tại hệ thống thủy lợi Lê Xuân Đào"*** là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các trích dẫn và kết quả nêu trong luận án là trung thực và có xuất xứ rõ ràng.

Hà Nội, ngày 31 tháng 7 năm 2018

Tác giả luận án

Nguyễn Quang An

LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình thực hiện đề tài ***“Nghiên cứu xây dựng bài toán tối ưu vận hành trữ nước tưới để giảm thiểu ảnh hưởng của hạn hán tới sản xuất nông nghiệp vùng hạ du sông Cả - Nghiên cứu điển hình tại hệ thống thủy lợi Lê Xuân Đào”***, tôi đã nhận được rất nhiều sự giúp đỡ, tạo điều kiện của tập thể Lãnh đạo Ban Quản lý Trung ương các Dự án Thủy lợi; tập thể lãnh đạo, các phòng ban chức năng và các nhà khoa học Viện Nghiên cứu Khoa học Thủy lợi Việt Nam; Tôi xin bày tỏ lòng cảm ơn chân thành về sự giúp đỡ đó.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới PGS. TS. Nguyễn Tùng Phong và PGS. TS. Trần Chí Trung – những người thầy trực tiếp hướng dẫn và chỉ bảo cho tôi hoàn thành luận án này.

Tôi xin chân thành cảm ơn bạn bè, đồng nghiệp của tôi đang công tác tại Ban Quản lý Trung ương các Dự án Thủy lợi và gia đình đã động viên, khích lệ, tạo điều kiện và giúp đỡ tôi trong suốt quá trình thực hiện và hoàn thành luận án này.

Tác giả luận án

Nguyễn Quang An

MỤC LỤC

DANH MỤC BẢNG

DANH MỤC HÌNH

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

BĐKH	Biến đổi khí hậu
DP	Quy hoạch động
ESO	Tối ưu hóa ngẫu nhiên hiện
HTX	Hợp tác xã
ISO	Tối ưu hóa ngẫu nhiên ẩn
LP	Quy hoạch tuyến tính
NLP	Quy hoạch phi tuyến
NSGA II	Thuật toán di truyền sắp xếp các nghiệm không trội
XNTL	Xí nghiệp thủy lợi

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Trước đây, nước được coi như là một nguồn tài nguyên vô tận. Qua quá trình phát triển của nhân loại, với sự bùng nổ về dân số, sự phát triển mạnh mẽ kinh tế xã hội và đời sống sản xuất, tình trạng thiếu hụt nước giờ đây đã trở thành một mối lo ngại hàng đầu của con người. Điều này đòi hỏi ở các nhà quản lý, các nhà hoạch định chiến lược phát triển phải có được sự thay đổi hợp lý nhằm sử dụng hiệu quả tài nguyên nước.

Trong sản xuất nông nghiệp, sử dụng hiệu quả tài nguyên nước đã trở thành một chiến lược quan trọng, đặc biệt tại các vùng khô hạn và bán khô hạn.Trong những năm gần đây, các nhà khoa học trên thế giới đã tập trung nghiên cứu phát triển các kỹ thuật phân phối tài nguyên nước nhằm sử dụng nước một cách có hiệu quả. Nhiều kỹ thuật đã được sử dụng như các kỹ thuật tưới tiết kiệm nước, các kỹ thuật thu trữ nước…

Biến đổi khí hậu cũng là một nhân tố gây ảnh hưởng lớn đến khả năng phân phối nước của một lưu vực.Biến đổi khí hậu đã gây ra một thực trạng là vào mùa khô, khí hậu trở nên khắc nghiệt hơn, nắng nóng hơn và thời gian kéo dài hơn. Trong khi đó, vào mùa mưa thì lại xảy ra lũ lụt thường xuyên hơn, hiện tượng thừa nước diễn ra ở hầu hết tất cả các lưu vực. Việc thiếu nước vào mùa kiệt và thừa nước vào mùa mưa đang là một thách thức lớn cho nhân loại nói chung và cho ngành nông nghiệp nói riêng. Nhiều giải pháp khắc phục các hiện tượng trên đã được các nhà khoa học đưa ra và được áp dụng tương đối thành công.Trong đó, giải pháp tích trữ nước mùa mưa để sử dụng cho mùa khô là hiệu quả hơn cả.

Hiện nay, các nghiên cứu liên quan đến việc sử dụng nước hiệu quả cho nông nghiệp tại hạ lưu các con sông chủ yếu tập trung vào việc cải thiện kỹ thuật tưới, thay đổi giống và cơ cấu cây trồng hoặc chỉ là những mô hình thu trữ nước nhỏ, phục vụ cho các cây trồng có khả năng chịu hạn cao mà chưa tập trung vào vấn đề nghiên cứu thu trữ nước mùa mưa và cung cấp một cách tối ưu nhất cho mùa khô.

Vì vậy, việc nghiên cứu khả năng thu trữ nước của hệ thống và xây dựng một quy trình vận hành một cách hiệu quả nhất nhằm thu trữ đủ lượng nước mưa để cấp bù cho lượng thiếu hụt phục vụ sản xuất nông nghiệp, giảm chi phí bơm tiêu là cần thiếtvà đề tài: "Nghiên cứu xây dựng bài toán tối ưu vận hành trữ nước tưới để giảm thiểu ảnh hưởng của hạn hán tới sản xuất nông nghiệp vùng hạ du sông Cả- Nghiên cứu điển hình tại hệ thống thủy lợi Lê Xuân Đào" là có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2. Mục tiêu của luận án

- ❖ Xác định đươc nhu cầu và khả năng cấp nước của hệ thống tưới trong mùa kiệt và đề xuất giải pháp thu trữ nước hợp lý phục vụ sản xuất nông nghiệp.
- ❖ Ứng dụng bài toán tối ưu xây dựng kế hoạch vận hành theo thời gian thực cho giải pháp được đề xuất bảo đảm cung cấp đủ nước tưới trong mùa kiệt, tiết kiệm chi phí trong vận hành hệ thống.

3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

Luận án tập trung nghiên cứu giải pháp thu trữ nước, và xây dựng thuật toán vận hành tối ưu điều tiết nước theo thời gian thực cho vùng 9 xã thuộc kênh Lê Xuân Đào, hệ thống thủy lợi Nam Nghệ An là một trong những vùng bị hạn hán nặng nhất trong hệ thống.

4. Phương pháp nghiên cứu và cách tiếp cận

Cách tiếp cận:

- ❖ Tiếp cận từ thực tiễn: Nông nghiệp vẫn đóng vai trò chính trong phát triển kinh tế của vùng nghiên cứu, trong khi đó những tháng mùa kiệt mực nước sông Cả xuống thấp, Cống Nam Đàn không lấy được nước làm cho tình hình hạn hán xẩy ra nghiêm trọng ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp và đời sống của nhân dân. Vì vậy cách tiếp cận từ thực tiễn để xác định nguyên nhân, mức độ, thời gian để đề xuất giải pháp chống hạn.

- ❖ Tiếp cận hệ thống: Trên lưu vực sông Cả nói chung và vùng nghiên cứu nói riêng là một thể thống nhất, các điều kiện tự nhiên như thời tiết, khí hậu, chế độ dòng chảy, các công trình khai thác sử dụng nước trên lưu vực đều có mối quan hệ và những tác động tương tác lẫn nhau, vì vậy để có thể đề xuất được giải pháp hiệu quả, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cần có một cách tiếp cận hệ thống
- ❖ Tiếp cận từ dưới lên: Những công trình thủy lợi phục vụ sản xuất nông nghiệp, hiệu quả của công trình được xác định từ đồng ruộng như diện tích được tưới tiêu, các dịch vụ thủy nông cơ sở, năng suất cây trồng mang lại... Vì vậy cần có cách tiếp cận từ dưới lên để xác định nhu cầu của dịch vụ tưới tiêu cũng như nguyên vọng người dân và chủ trương của địa phương để tạo sự đồng thuận cũng như tính phù hợp của giải pháp được đề xuất.

Phương pháp nghiên cứu:

1. Phương pháp khảo sát, thu thập số liệu: Xác định được hiện trạng hệ thống, tình hình tưới tiêu, hạn hán và quản lý vận hành của hệ thống, thu thập các dữ liệu đầu vào để thực hiện các nội dung nghiên cứu.
2. Phương pháp kế thừa: Kế thừa có chọn lọc các tài liệu, phương pháp luận và các kết quả nghiên cứu của các đề tài, dự án liên quan đến nội dung đề tài trong và ngoài nước.
3. Phương pháp (xác suất) thống kê: Xử lý các tài liệu về khí tượng, thủy văn, tính toán tần suất, phân tích các tài liệu kinh tế, xã hội.
4. Phương pháp mô hình toán: Sử dụng chương trình phần mềm máy tính để tính toán nhu cầu nước cho các cây trồng, cân bằng nước, xác định lượng nước thiếu hụt so với yêu cầu sử dụng và mô hình tính toán thủy lực để xác định chế độ dòng chảy trong hệ thống tưới.
5. Phương pháp tối ưu hóa trong quản lý vận hành hệ thống: Xây dựng hàm vận hành tối ưu cho hệ thống

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của nghiên cứu

Ý nghĩa khoa học: Xây dựng được phương pháp luận và các thuật toán tối ưu để vận hành hệ thống tưới trong mùa kiệt bằng biện pháp thu trữ nước.Trong nghiên cứu về vận hành hệ thống, thuật toán tìm kiếm giải pháp tối ưu đã được lập bằng ngôn ngữ lập trình Matlab. Thuật toán này lấy ***thuật toán di truyền sắp xếp các nghiệm không trội*** NSGA II (Deb 2000) làm cơ sở, bài toán được chuyển về tìm tham số của một dạng hàm vận hành đã được đề xuất với mục tiêu tối ưu hóa 2 chỉ tiêu về tổng lượng tiêu và lượng nước thiếu hụt mà luôn mâu thuẫn nhau trong thực tế.

Ý nghĩa thực tiễn: Luận án đề xuất được giải pháp và kế hoạch vận hành tối ưu cho hệ thống kênh phục vụ tưới cho mùa khô vùng 9 xã phía Đông nam của huyện Hưng Nguyên, tỉnh Nghệ An. Giải pháp này có thể ứng dụng cho các vùng khác có điều kiện tự nhiên tương tự.

6. Những đóng góp mới của luận án

1. Đã xây dựng được bài toán tối ưu hỗ trợ ra quyết định vận hành trữ nước tưới để giảm thiểu ảnh hưởng của hạn hán tới sản xuất nông nghiệp.
2. Đề xuất được giải pháp và kế hoạch vận hành tối ưu cho hệ thống thủy lợi Lê Xuân Đào trong mùa kiệt.

Các kết quả của luận án có thể tham khảo và áp dụng được cho các hệ thống tương tự.

7. Bố cục của luận án

Luận án được trình bày trong 3 chương chính như sau:

Chương 1.Tổng quan

Chương 2. Phương pháp luận và công cụ nghiên cứu

Chương 3.Kết quả nghiên cứu

CHƯƠNG I. TỔNG QUAN

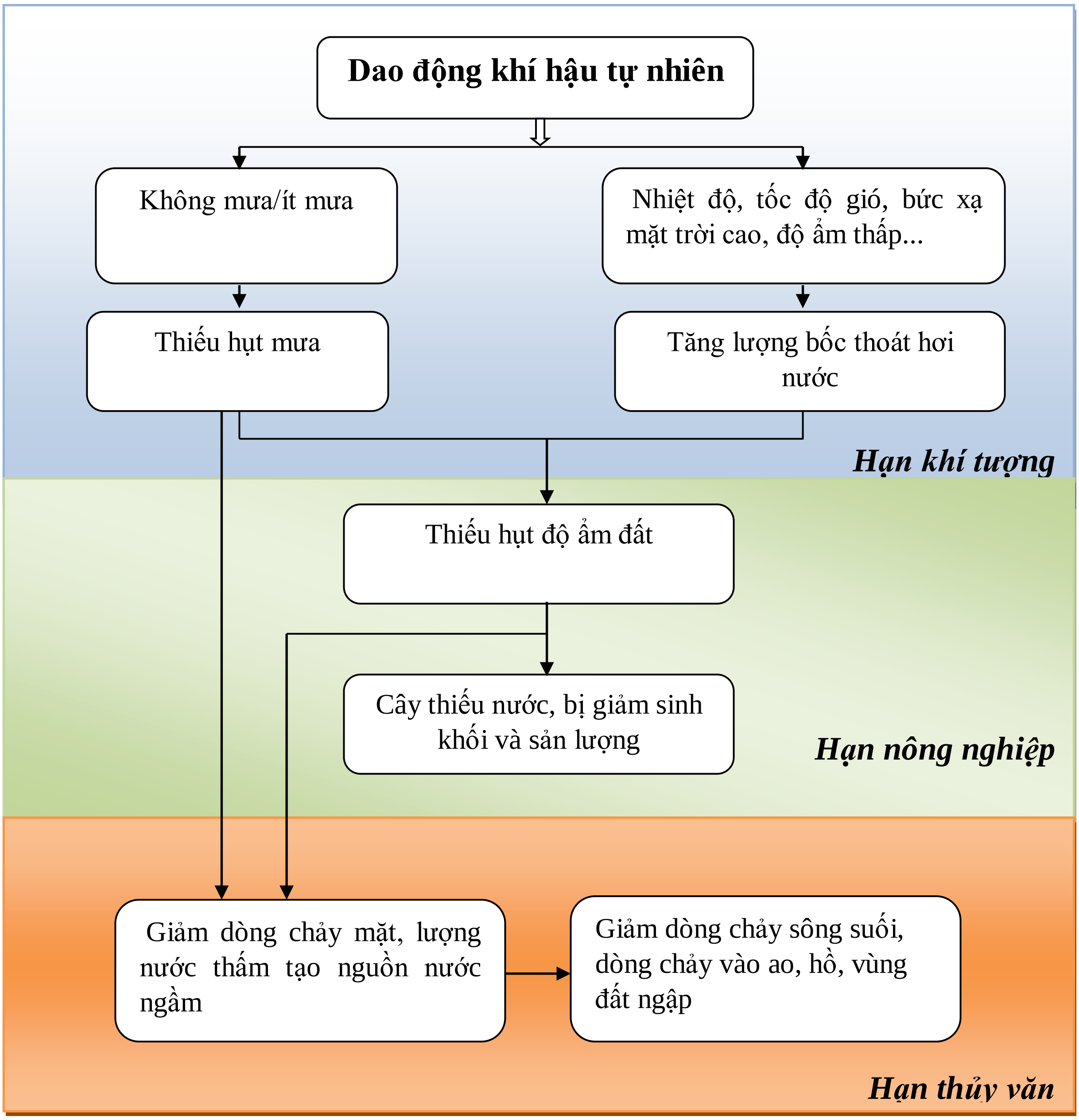
1.1 Hạn hán và những tác động của hạn hán đối với nông nghiệp

1.1.1 Hạn hán và nguyên nhân

Hạn hán là một hiện tượng phổ biến tại hầu hết các vùng địa lý trên trái đất, là dạng thiên tai phức tạp và có ảnh hưởng đến nhiều người nhất. Theo Trung tâm quản lý hạn Châu Âu (European Drought Centre), hạn là hiện tượng khí hậu xảy ra khi lượng nước sẵn có trong tự nhiên thấp dưới mức trung bình trong một thời gian dài. Hạn hán tác động tới tất cả các thành phần của chu trình thủy văn, từ hiện tượng làm giảm lượng mưa dẫn đến giảm độ ẩm trong đất, giảm lượng nước bổ cập và trữ lượng nước dưới đất, và hệ quả là giảm lưu lượng hoặc làm khô cạn sông suối. Hạn hán không chỉ ảnh hưởng về các mặt kinh tế, xã hội mà còn tác động rất lớn đến môi trường. Khi hạn hán xảy ra, nông nghiệp là ngành chịu ảnh hưởng trước tiên do đặc trưng của ngành sản xuất này phụ thuộc rất lớn vào nguồn nước.

Các nhà nghiên cứu của Trung tâm Giảm nhẹ hạn hán Quốc gia thuộc trường đại học Lebrasca-Licoln – Mỹ đã phân hạn hán thành 4 loại: hạn khí tượng, hạn thủy văn, hạn nông nghiệp, và hạn kinh tế xã hội [32]. Trong các loại hạn này, hạn khí tượng là hiện tượng tự nhiên có nguyên nhân trực tiếp từ khí hậu và biến đổi theo vùng. Trong khi đó, hạn nông nghiệp, thủy văn, và kinh tế xã hội tập trung nhiều hơn vào các khía cạnh xã hội, chúng thể hiện mối tương tác giữa các tính chất tự nhiên của hạn thủy văn và các hoạt động của con người.

Hạn hán là hiện tượng hết sức phức tạp mà sự hình thành là do cả hai nguyên nhân: tự nhiên và con người. Các yếu tố tự nhiên gây hạn như sự dao động của các dạng hoàn lưu khí quyển ở phạm vi rộng và các vùng xoáy nghịch, hoặc các hệ thống áp cao, sự BĐKH, sự thay đổi nhiệt độ mặt nước biển như El Nino và các nguyên nhân do con người như nhu cầu nước ngày càng gia tăng, phá rừng, ô nhiễm môi trường ảnh hưởng tới nguồn nước, quản lý đất và nước kém bền vững, gây hiệu ứng nhà kính. Quá trình phát sinh và diễn biến hạn hán được trình bày theo hình 1.1, hình này mô tả sơ đồ quá trình phát sinh và diễn biến hạn hán. Theo đó hạn khí tượng xảy ra trước tiên do không mưa hoặc ít mưa trong thời gian đủ dài, đồng thời những yếu tố khí tượng đi kèm với sự thiếu hụt mưa gây bốc thoát hơi nước gia tăng. Sự thiếu hụt mưa và gia tăng bốc hơi sẽ dẫn đến sự suy giảm/suy kiệt độ ẩm đất – hạn đất và hạn nông nghiệp ở vùng không được tưới sẽ xảy ra. Sự suy kiệt độ ẩm đất cũng đồng thời dẫn đến sự suy giảm bổ cập nước ngầm làm giảm lưu lượng và hạ thấp mực nước ngầm. Sự suy giảm đồng thời cả dòng mặt và dòng ngầm dẫn đến hạn thủy văn.



Hình 1.1: Sơ đồ quan hệ lượng mưa- dòng chảy và các loại hạn

Có thể định nghĩa các loại hạn như sau:

- ❖ Hạn khí tượng: Thiếu hụt nước trong cán cân lượng mưa – lượng bốc hơi, nhất là trong trường hợp liên tục không mưa. Ở đây lượng mưa tiêu biểu cho phần thu và lượng bốc hơi tiêu biểu cho phần chi của cán cân nước. Do lượng bốc hơi đồng biến với cường độ bức xạ, nhiệt độ, tốc độ gió và nghịch biến với độ ẩm nên hạn hán gia tăng khi nắng nhiều, nhiệt cao, gió mạnh, thời tiết khô ráo.
- ❖ Hạn nông nghiệp: Thiếu hụt mưa dẫn tới mất cân bằng giữa hàm lượng nước thực tế trong đất và nhu cầu nước của cây trồng.Hạn nông nghiệp thực chất là hạn sinh lý được xác định bởi điều kiện nước thích nghi hoặc không thích nghi của cây trồng, hệ canh tác nông nghiệp, thảm thực vật tự nhiên… Ngoài lượng mưa ra, hạn nông nghiệp liên quan với nhiều điều kiện tự nhiên (địa hình, đất,…) và điều kiện xã hội (tưới, chế độ canh tác…)
- ❖ Hạn thủy văn: Dòng chảy sông suối thấp hơn trung bình nhiều năm rõ rệt và mực nước trong các tầng chứa nước dưới đất bị hạ thấp.Ngoài lượng mưa ra, hạn thủy văn chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố khác: dòng chảy mặt, nước ngầm tầng nông, nước ngầm tầng sâu…
- ❖ Hạn kinh tế xã hội: Nước không đủ cung cấp cho nhu cầu của các hoạt động kinh tế - xã hội.

Mức hạn có thể được phân theo nhiều cách khác nhau, tuy nhiên về cơ bản là dựa trên số liệu thống kê nhiều năm của lượng mưa vào các năm hạn.

Các yếu tố cơ bản để phân loại tình trạng hạn hán bao gồm:

- ❖ Lượng mưa (tháng, mùa).
- ❖ Mực nước ngầm.
- ❖ Mực nước/dung tích hồ chứa.
- ❖ Mực nước, lưu lượng trên sông suối.

Để việc giám sát hạn hán có hiệu quả hơn và dự báo các tình trạng hạn hán sát với diễn biến hạn hán thực tế cần tính toán và phân tích thêm các chỉ số hạn. Hiện nay, ở trên thế giới có rất nhiều chỉ số hạn khác nhau được sử dụng để phân loại, dự báo, cảnh báo mức độ hạn hán. Các chỉ số này đều có điểm mạnh và điểm yếu riêng, cần tùy vào điều kiện thực tế để áp dụng, một số chỉ số sử dụng phổ biến được thống kê theo bảng 1.1.

Bảng1.1 Tổng hợp các chỉ số hạn hán

Chỉ số	**Mô tả và sử dụng**	**Điểm mạnh**	**Điểm yếu**
Các chỉ số hạn khí tượng			
Tỷ chuẩn *Lượng mưa và tích lũy* *Chênh lệch lượng mưa*	Dễ tính toán Được sử dụng rộng rãi	Có hiệu quả trong việc so sánh vùng riêng lẻ hoặc mùa	Lượng mưa không có phân bố chuẩn. Các giá trị phụ thuộc vào tính địa phương và mùa
Thập phân vị *Gibbs và Maher* [33]	Dễ tính toán bằng cách lập nhóm lượng mưa thành các thập phân vi. Được hệ thống theo dõi hạn hán ở Úc áp dụng	Lượng hóa thống kê chính xác, tính toán đơn giản. Tạo ra sự đồng nhất trong phân loại hạn hán	Để tính toán chính xác cần có chuỗi số liệu khí hậu nhiều năm
Chỉ số chuẩn hóa lượng mưa (SPI), McKee et al. [42]	Dựa vào xác suất lượng giáng thủy ở các phạm vi thời gian bất kỳ. Được nhiều nhà kế hoạch sử dụng	Tính toán cho các phạm vi thời gian khác nhau; đưa ra cảnh báo sớm hạn hán và hỗ trợ cho việc ước lượng mức độ khắc nghiệt của hạn hán.	Các giá trị có thể thay đổi Chỉ sử dụng đến tham số giáng thủy.
Chỉ số khắc nghiệt của hạn hán (PDSI), Palmer [51] *Alley* [61]	Thuật toán độ ẩm đất được hiệu chỉnh cho những khu vực tương đối đồng nhất. Được sử dụng ở Mỹ cho các chương trình báo động giảm thiểu	Là chỉ số hạn hạn tổng quát đầu tiên; được sử dụng rộng rãi. Rất hiệu quả đối với hạn nông nghiệp vì có kèm theo độ ẩm đất.	Chỉ số PDSI có thể làm trễ sự khẩn cấp của hạn. Kém phù hợp đối với các vùng núi thường xuyên xảy ra các cực trị khí hậu. Phức tạp. Các cấp

Chỉ số	**Mô tả và sử dụng**	**Điểm mạnh**	**Điểm yếu**
	hạn hán và các kế hoạch đột xuất.		hạn không đồng nhất với mức cần thiết, dưới dạng xác suất xảy ra, cả không gian và thời gian.
Các chỉ số hạn nông nghiệp			
Chỉ số ẩm cây trồng (CMI) *Palmer* [50]	Là sản phẩm rút ra từ chỉ số PDSI. Phản ánh được nguồn ẩm trong đất ở thời đoạn ngắn.	Xác định được khả năng xảy ra hạn nông nghiệp.	Không phải là công cụ tốt để giám sát hạn hán dài hạn.
Chỉ số phục hồi hạn hán (RDI) *Tsakiris* [60]	Tương tự như SPI. Biến số chủ yếu là P/PET	Hạn hán dựa vào cả giáng thủy lẫn bốc thoát hơi tiềm năng. Phù hợp với các kịch bản biến đổi khí hậu.	Cần số liệu để tính PET.
Các chỉ số hạn thủy văn			
Chỉ số hạn thủy văn Palmer (PHDI), Palmer [51]	Cũng giống như PDSI nhưng đòi hỏi nhiều tham số hơn để xem xét hạn. Hạn chỉ kết thúc khi tỷ số Pe (độ ẩm nhận được so với độ ẩm cần thiết) là 1.	Cũng giống như PDSI	Cũng giống như PDSI

Chỉ số	Mô tả và sử dụng	Điểm mạnh	Điểm yếu
Chỉ số cung cấp nước mặt (SWSI) Shafer và Dezman [54]	Dạng mở rộng của chỉ số Palmer có tính đến lượng tuyết trên núi.	Thể hiện các điều kiện nguồn nước mặt và quản lý nước. Tính toán đơn giản. Kết hợp được các đặc điểm thủy văn và khí hậu. Có xem xét lượng nước tích trữ trong hồ.	Việc quản lý phụ thuộc thống nhất với từng lưu vực, hạn chế việc so sánh giữa các vùng nằm trong lưu vực. Không thể hiện tốt các đợt hạn khắc nghiệt.

Việc nghiên cứu áp dụng một chỉ số hạn nào đó còn phụ thuộc vào cơ sở dữ liệu quan trắc sẵn có.Một chỉ số hạn dù được đánh giá là tốt nhưng cũng không khả dụng nếu thiếu số liệu quan trắc cần thiết. Chỉ số Palmer, một chỉ số tổng hợp được áp dụng rất thành công ở Mỹ, cho đến nay vẫn không thể áp dụng rộng rãi cho nhiều vùng khác trên thế giới cũng chính bởi lý do thiếu dữ liệu quan trắc. Những chỉ số này sẽ là cơ sở quan trọng để thiết lập hệ thống đánh giá, giám sát và cảnh báo hạn hán. Bên cạnh đó cũng cần phân tích, đánh giá những chỉ số hạn tổng hợp được thừa nhận và áp dụng rộng rãi trên thế giới để kiến nghị thiết lập hệ thống quan trắc số liệu bổ sung, nhằm có thể áp dụng những chỉ số này trong tương lai, từng bước nâng cao chất lượng của hệ thống giám sát, cảnh báo và dự báo.

1.1.2 Một số tác động của hạn hán đối với sản xuất nông nghiệp trên Thế giới

Từ nhiều đời nay, nhân loại đã chứng kiến nhiều đợt hạn hán đã xảy ra liên tiếp ở nhiều nơi trên thế giới, gây ra thiệt hại vô cùng to lớn, ảnh hưởng nghiêm trọng tới phát triển kinh tế và cuộc sống của con người. Hạn hán đã biến nhiều vùng đất phì nhiêu trở thành hoang mạc, và mặc dầu đến nay khoa học kỹ thuật đã phát triển ở trình độ cao, hiện tượng hạn hánvẫn tiếp tục diễn ra ở nhiều nơi trên thế giới.Một thời kỳ hạn thường có khoảng thời gian kéo dài từ hàng tháng đến hàng năm khi sự cung cấp ẩm cho một khu vực nào đó giảm mạnh so với giá trị trung bình khí hậu. Trong những năm gần đây đã có rất nhiều công trình nghiên cứu về các vấn đề liên quan đến hạn hán.Năm 2007, trong báo cáo đánh giá lần thứ Tư (AR4) của Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change) đã nhận định rằng những khu vực dễ bị hạn hán và những khu vực bị ảnh hưởng bởi các sóng nhiệt có thể có qui mô hạn hán tăng lên. Những tác động của hạn hán theo các vùng miền như sau:

❖ Vùng khí hậu nhiệt đới được đặc trưng bằng nhiệt độ cao và khá ổn định. Do đó các nước thuộc khu vực này chịu ảnh hưởng tương đối nặng nề bởi hạn hán.

Tại Ấn Độ, vào những năm đầu thế kỷ 18, thiên tai hạn hán đã gây ra tổn thất hoàn toàn mùa vụ, dẫn đến nạn đói khủng khiếp ở nước này trong các năm từ 1702 đến 1704. Tiếp đó lại có hạn từ năm 1769 đến 1770 làm cho 5 triệu người chết vì đói và dịch bệnh. Gần đây, năm 1987 lại xảy ra hạn hán nghiêm trọng, kèm theo nạn đói lan rộng. Cũng từ năm này, Chính phủ Ấn Độ đã đề ra quy chế nhà nước về quản lý hạn hán và ban hành các luật về phòng chống và giảm nhẹ thiên tai hạn hán.

Trong những năm 1997, 1998 do ảnh hưởng của hiện tượng El-Ninô, các nước trong khu vực Đông Nam Á (trong đó có nước ta) hầu như không có mưa, nhiệt độ không khí cao là nguyên nhân chính gây cháy rừng ở nhiều nơi, điển hình là Inđônêsia và Malaysia.

Ở Inđônêsia, hiện tượng ENSO xảy ra đồng thời với hạn hán đã làm cho 420.000 ha ruộng lúa bị ảnh hưởng do thiếu nước và 158.000 ha bị mất trắng. Ngoài ra phải kể đến 3.7 triệu ha rừng gỗ tái sinh bị cháy trụi. Năm 1991, hiện tượng ENSO cùng với nắng nóng đã gây nên hạn hán ảnh hưởng trên diện tích 843.000 ha, trong đó có 190.000 ha lúa bị huỷ hoại hoàn toàn. Đây là đợt hạn hạn nặng nhất ở nước này đã gây ra tổn thất lớn cho sản xuất nông nghiệp, Chính phủ phải nhập khẩu khẩn cấp 600.000 tấn lương thực. Cũng do hạn hán năm 1991, ở Inđônêsia đã xảy ra cháy 88.000 ha rừng tại Kalimanan cùng lúc với hiện tượng ENSO. Rừng cháy đã tạo ra một lớp khói dầy đặc bao phủ bầu trời đảo Kalimanan, sau đó lan tới Singapore và

Malaysia trong tháng 9, 10 năm 1991.

Tại Brazil năm 2015, một đợt hạn hán kéo dài ảnh hưởng đến phía đông nam của Brazil bao gồm cả khu vực đô thị của Sao Paulo và Rio de Janeiro. Đợt hạn hán này được mô tả là tồi tệ nhất trong 80 năm qua.

❖ Ở vùng ôn đới, những vùng khan hiếm nước xung quanh Địa Trung Hải được dự tính sẽ trở nên xấu hơn trong tương lai dẫn đến hạn hán tăng lên về tần suất và khắc nghiệt hơn.

Ở miền nam Châu Âu, kết quả dự tính cho thấy tình trạng nhiệt độ cao và hạn hán có thể xấu đi ở khu vực khan hiến nguồn nước mặt và khu vực có sóng nhiệt.Ở miền trung và miền đông Châu Âu, lượng giáng thủy mùa hè được dự tính là giảm dẫn đến tình trạng khó khăn về nước lớn hơn. Nhiệt độ tăng cao hơn dẫn đến sự bốc thoát hơi sẽ lớn hơn, trong khi đó dòng chảy năm ở các khu vực bắc và tây Châu Âu cũng tăng lên. Điều này sẽ ảnh hưởng đến tần suất xuất hiện và cường độ của hạn hán, đặc biệt là hạn hán trong các tháng mùa đông.

Tại Trung Quốc năm 1941, một thảm họa tồi tệ nhất do hạn hán và thiếu mưa gây ra làm thiệt hại hàng triệu cây trồng và thiếu lương thực, hậu quả là gần ba triệu người đã chết. Theo kết quả nghiên cứu của Viện quản lý nước quốc tế thì đến năm 2025, Trung Quốc là một trong những nước thiếu nước trầm trọng, mặc dù đã áp dụng các biện pháp tiết kiệm nước, vẫn không đủ nước để sản xuất lương thực, nên sẽ phải nhập khẩu từ 170 đến 300 triệu tấn lượng thực.

Tại Nhật Bản, năm 1994 có một đợt sóng nhiệt độ cao kéo dài, lan rộng từ Mỹ qua Nhật làm cho nhiệt độ trung bình lên tới 37^0C (cao nhất tới 40^0C) và kéo dài nhiều ngày tại Nhật Bản đã gây nên hạn nặng trên 1/3 lãnh thổ của nước này. Nhiều vùng phải vận chuyển nước sinh hoạt từ xa đến.

Năm 2014, nhiều nơi ở Tây Ban Nha bị hạn hán cường độ cao nhất trong hơn một thế kỷ rưỡi. Valencia và Alicante là hai trong những khu vực tồi tệ nhất bị ảnh hưởng. Theo cơ quan khí tượng của nước nước này, trong vòng 150 năm qua, họ chưa bao giờ chứng kiến một đợt hạn hán dài và dữ dội như vậy.

❖ Vùng khí hậu khô cằn và bán khô cằn, điển hình là Châu Phi là một trong những khu vực hạn hán triền miên gây ra đói nghèo đối với người dân ởlục địa này. Tài nguyên nước châu Phi thuộc loại thấp nhất so với mức trung bình trên thế giới, tổng lượng nước sử dụng năm 1995 là 145,14 tỷ m^3, mới chỉ chiếm 4% so với tổng lượng nước sản sinh. Nhưng do tài nguyên nước phân bố rất không đều, đặc biệt ở vùng sa mạc Sahara, nên vùng này luôn luôn bị đe doạ bởi hạn hán, nhất là từ năm 1960 trở lại đây. Theo tác giả Lannart Olsson, sự suy giảm nguồn lương thực, năng lượng và nước là những đặc trưng phổ biến của hạn hán ở châu Phi. Theo OTA (Office Technology Assessment) do hạn hán kéo dài, sản xuất lương thực trong thời kỳ từ 1975 đến 1985 tại Tây Phi đã giảm sút 25%. Cũng trong thời kỳ này, cộng đồng quốc tế đã phải trợ giúp cho vùng Tây Phi tới 15 tỷ USD nhưng vẫn không giúp được các nước ở vùng này ngăn cản sa sút của nền kinh tế. Theo tờ Newsweek ngày 19/11/1984 thì đợt hạn hán tại Dahel năm 1974 đã làm chết tới 300.000 người, ngoài ra còn ảnh hưởng đến 150 triệu người còn lại trên châu lục do đói kém và suy dinh dưỡng. Một trong những điển hình về tính chất nghiêm trọng của hạn hán ở châu Phi là nước Cộng hoà Sudan. Theo tờ News Times ngày 27/6/1985 có thể khoảng một nửa triệu người đã chết vào 2 tháng liên tiếp. Chỉ riêng vùng Waall thuộc tỉnh Darfur người ta đã thống kê có gần 100.000 người bị thiệt mạng. Năm 1983-1985, nạn đói tồi tệ nhất xảy ra ở Ethiopia trong lịch sử hiện đại do một đợt hạn hán khắc nghiệt xảy ra trong khu vực, khiến hơn 400.000 ca tử vong. Giữa tháng 7 năm 2011 và giữa năm 2012, một đợt hạn hán nghiêm trọng ảnh hưởng đến toàn bộ Đông Phi. Hạn hán gây ra một cuộc khủng hoảng lương thực trầm trọng khắp Somalia, Djibouti, Ethiopia, Kenya và đe dọa cuộc sống của hơn mười triệu người. Năm 2012, gần hai mươi triệu người ở tám quốc gia Tây Phi gồm các khu vực Sahel đã phải đối mặt với hạn hạn khủng khiếp kèm theocác loại cây trồng chết hàng loạt, bệnh dịch hạch bùng phát, xung đột vũ trang giữa các phe phái. Điều đó khiến họ lâm vào nạn đói khủng khiếp, thảm họa này trở thành một trong những thảm cảnh tồi tệ nhất trên hành tinh trong những năm gần đây.

❖ Ở vùng khí hậu lục địa/tiểu nhiệt, năm 1982-1983, Australia xảy ra đợt hạn hán tồi tệ nhất của nước này trong thế kỷ XX. Đợt hạn hán này bắt đầu vào mùa thu năm 1982, với sự thiếu hụt lượng mưa rất lớn ở phía đông Australia và sự xuất hiện của sương giá lạnh càng khiến thời tiết trầm trọng hơn trong tháng Sáu và tháng Bảy. Thời điểm đó, lượng nước ở thượng nguồn sông Murrumbidgee và các hồ chứa khắp miền đông nam Australia giảm đến mức chưa từng có trước đó.

Hoa Kỳ là nước có sản xuất công nghiệp, nông nghiệp và dịch vụ phát triển cao, đồng thời cũng là quốc gia sử dụng nước nhiều nhất trên thế giới. Do vậy, những năm bị hạn hán, thiệt hại về kinh tế ở nước này là rất nghiêm trọng. Các nghiên cứu đã thống kê mức thiệt hại hàng năm do hạn hán khoảng 6-8 tỷ USD/năm. Hạn hán năm 2002 kéo dài và khá nghiêm trọng ở một số khu vực, đặc biệt ảnh hưởng nặng nề đến miền Trung và miền Tây Hoa Kỳ.

1.1.3 Những tác động của hạn hán đối với sản xuất nông nghiệp ở Việt Nam

Việt Nam nằm trong khu vưc nhiệt đới, với kiểu khí hậu nhiệt đới gió mùa, hạn hán xẩy ra ở cả vùng mưa nhiều cũng như vùng mưa ít, trong thời gian mùa khô thậm chí ngay trong mùa mưa. Hạn hán xuất hiện tại các vùng sinh thái cũng rất khác nhau. Vùng đồng bằng và trung du Bắc bộ thường gặp hạn hán trong vụ đông xuân, rất hiếm khi gặp hạn hán vụ mùa; vùng Trung bộ từ Nghệ An đến Bình Định thường xẩy ra hạn vụ hè thu, vùng Nam Trung Bộ thường gặp hạn hán vụ đông xuân; miền tây Nam Bộ thường gặp hạn hán vào cuối vụ đông xuân, đầu vụ hè thu, miền đông Nam Bộ thường gặp hạn hán vào vụ đông xuân; vùng Tây Nguyên thường gặp hạn hán vào vụ đông xuân và đầu vụ hè thu.

Theo đánh giá của chương trình hành động giảm nhẹ thiên tai của Việt Nam thì hạn hán là thiên tai gây tổn thất nghiêm trọng thứ 3 sau bão và lũ. Mặc dù hạn hán không trực tiếp gây thiệt hại về người nhưng lại gây thiệt hại rất lớn về kinh tế, xã hội và môi trường. Những thiệt hại do hạn hán không chỉ ảnh hưởng ngay tức thời mà còn kéo dài ảnh hưởng đến nhiều vụ hoặc nhiều năm sau.

Năm 1944, Việt Nam đã hứng chịu đợt hạn hán nghiêm trọng. Hạn hán kết hợp với sâu bệnh, lũ lụt trong mùa thu hoạch và chính sách phá lúa trồng ngô của quân phiệt Nhật Bản đã dẫn đến nạn đói ở Việt Nam năm 1945 làm chết khoảng 2 triệu người.

Cuối năm 1992 đầu năm 1993, ở Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ, thiếu hụt mưa đã gây ra hạn hán ngay cuối vụ mùa năm 1992. Đầu năm 1993, dự trữ nguồn nước trong đất, sông suối và ở các hồ chứa rất ít. Hạn hán thiếu nước nghiêm trọng trong vụ đông xuân 1992-1993, hè thu 1993, ở hầu hết các vùng. Tổng diện tích lúa đông xuân bị hạn trên 176.000 ha (bị chết trên 22.000 ha). Hạn hán tác động mạnh nhất đến nông nghiệp các tỉnh Thanh Hoá - Bình Thuận (gần 1/2 diện tích lúa vụ hè thu năm 1993 bị hạn, bị chết 24.093 ha. Đồng bằng sông Cửu Long, hạn hán ít gay gắt hơn.

Hạn hán, thiếu nước mùa khô 1997-1998 là nghiêm trọng nhất, hầu như bao trùm cả nước, gây thiệt hại nghiêm trọng: Lúa đông xuân, hè thu, lúa mùa bị hạn trên 750.000 ha (mất trắng trên 120.000 ha); cây công nghiệp và cây ăn quả bị hạn trên 236.000 ha (bị chết gần 51.000 ha); 3,1 triệu người thiếu nước sinh hoạt. Tổng số thiệt hại về kinh tế khoảng 5.000 tỷ đồng.Chính phủ đã phải trợ giúp hàng chục tỷ đồng để cung cấp nước sinh hoạt cho 18 tỉnh. Những thiệt hại khác chưa thống kê và tính toán hết được như kinh tế, môi trường, xói mòn, sa mạc hoá, thiếu ăn, suy dinh dưỡng, khủng hoảng tinh thần và giảm sút sức khỏe của hàng triệu người.

Năm 2001, các tỉnh Phú Yên, Quảng Nam, Quảng Bình, Quảng Trị là những tỉnh bị hạn nghiêm trọng. Các tháng 6 và 7 hầu như không mưa. Chỉ riêng ở Phú Yên, hạn hán đã gây thiệt hại 7200 ha mía, 500 ha sắn, 225 ha lúa nước và 300 ha lúa nương.

Trong 6 tháng đầu năm 2002, hạn hán nghiêm trọng đã diễn ra ở vùng Duyên hải Nam Trung Bộ, Tây Nguyên và Đông Nam Bộ gây thiệt hại về mùa màng, gây cháy rừng trên diện rộng, trong đó có cháy rừng lớn ở các khu rừng tự nhiên U Minh thượng và U Minh hạ.

Năm 2003, hạn hán bao trùm hầu khắp Tây Nguyên, gây thiệt hại cho khoảng 300 ha lúa ở Kon Tum, 3.000 ha lúa ở Gia Lai và 50.000 ha đất canh tác ở Đắk Lắc;

thiếu nước cấp cho sinh hoạt của 100.000 hộ dân. Chỉ tính riêng cho Đắk Lắc, tổng thiệt hại ước tính khoảng 250 tỷ đồng.

Năm 2004 – 2005, ở Bắc Bộ, mực nước sông Hồng tại Hà Nội vào đầu tháng 3 xuống mức 1,72 m thấp nhất kể từ năm 1963 đến năm 2005. Ở Miền Trung và Tây Nguyên, nắng nóng kéo dài, dòng chảy trên các sông suối ở mức thấp hơn trung bình nhiều năm cùng kỳ, một số suối cạn kiệt hoàn toàn; nhiều hồ, đập dâng hết khả năng cấp nước. Ninh Thuận là địa phương bị hạn hán thiếu nước khốc liệt nhất, chủ yếu do mưa ít, các sông suối, ao hồ đều khô cạn, chỉ có hồ Tân Giang còn khoảng 500.000 m^3 nước nhưng ở dưới mực nước chết, hồ thuỷ điện Đa Nhim- nguồn cung cấp nước chủ yếu cho Ninh Thuận, cũng chỉ còn 1/3 dung tích so với cùng kỳ năm trước. Toàn tỉnh có 47.220 người thiếu nước sinh hoạt. Tại Bình Thuận, tháng 11/2004 đến 2/2005 hầu như không mưa. Mực nước trên các triền sông gần như cạn kiệt, lượng dòng chảy còn lại rất nhỏ; sông Dinh, sông Lòng Thương bị cạn khô. Mực nước các hồ trong tỉnh đều thấp hơn mực nước chết từ 1,70 đến 2,2 m. Toàn bộ lượng nước còn lại trong các hồ chứa không đáp ứng đủ nhu cầu cấp nước sinh hoạt cho nhân dân, nước uống cho gia súc. Hạn hán thiếu nước làm gần 50 ngàn người thiếu nước sinh hoạt, 16.790 hộ thiếu đói, khoảng 123.800 con bò thiếu thức ăn và trên 89.000 bò, dê, cừu thiếu nước uống. Theo thống kê chưa đầy đủ, đến cuối tháng 4 năm 2005, tổng thiệt hại do hạn hán gây ra ở các tỉnh Nam Trung Bộ và Tây Nguyên đã lên tới trên 1.700 tỷ đồng. Chính phủ phải cấp 100 tỷ đồng để hỗ trợ các địa phương khắc phục hậu quả hạn hán thiếu nước và 1500 tấn gạo để cứu đói cho nhân dân.Vùng ĐBSCL, thiệt hại do hạn hán, xâm mặn tới 720 tỷ đồng. Trên sông Tiền, sông Hàm Luông, sông Cổ Chiên, sông Hậu, mặn xâm nhập sâu từ 60–80 km. Riêng sông Vàm Cỏ, mặn xâm nhập sâu tới mức kỷ lục: 120- 140km.

Năm 2016, Việt Nam gánh chịu đợt hạn hán được cho là chưa từng trong lịch sử 100 năm qua. Đợt hạn hán kèm theo xâm nhập mặn này ảnh hưởng trực tiếp đến hơn chục tỉnh Đồng bằng sông Cửu Long, sông ngòi trơ đáy, đất khô nứt nẻ. Thiên tai gay gắt kéo dài, 500.000 ha lúa hè thu không thể xuống giống, tác động nghiêm trọng đến đời sống của một triệu hộ dân (tương đương 5 triệu người).

1.1.4 Tình hình hạn trong khu vực nghiên cứu

a. Diện tích, khu vực hạn của nông nghiệp

Trong những năm gần đây tình hình hạn hán tại huyện Hưng Nguyên đặc biệt là các xã: Hưng Châu, Hưng Lợi, Hưng Yên, Hưng Phúc, Hưng Mỹ diễn ra gay gắt, lượng mưa mùa khô liên tục giảm mạnh, năm sau thấp hơn năm trước. Cùng với tác động của gió Lào nên hạn hán tại vùng này càng khốc liệt hơn. Trong những năm gần đây, tình hình hạn hán xảy ra thường xuyên hơn, nghiêm trọng hơn trong đó có thể thống kê những đợt hạn hán nặng như hạn năm 1983, 1987, 1988, 1990, 1992, 1993, 1998, 2003, 2004, 2010 đặc biệt hạn rất nghiêm trọng vào năm 1993, 1998 và năm 2010.

Theo thống kê huyện Hưng Nguyên mùa khô năm 2010 (các tháng 3,4,5,6) toàn huyện có tổng số 5.540 ha lúa Hè - Thu đã gieo cấy được, 3.900 ha bị hạn, trong đó có 2.800 ha gần như bị khô cháy trên ruộng. Diện tích hạn trong vùng được tổng hợp như bảng 1.2.

Bảng 1.2. Diện tích hạn trong vùng một số năm

Năm	**Diện tích hạn nặng (ha)**	**Diện tích hạn trung bình (ha)**	**Mùa, vụ**	**Địa phương bị hạn**
2008	1200	420	Đông Xuân, Hè Thu	Hưng Yên, Hưng thông, Hưng Tiến, Hưng Trung, Hưng Tây
2009	282	808	Hè Thu	Hưng tân, Hưng Tiến, Hưng Tung,Hưng Xá, Hưng Đạo,Hưng Phúc, H. Thịnh
2010	2.800	1.100	ĐôngXuân	Hưng Châu, Hưng Lợi, Hưng Nguyên, Hưng Phúc, Hưng Mỹ, Hưng Tiến, HưngTân.

Nguồn: Sở NN và PTNT Nghệ An (năm 2011)

b. Tác động của hạn đến nông nghiệp

- Tác động đến thời vụ gieo trồng: Nguyên nhân chính là thiếu nguồn nước cung cấp cho sản xuất nông nghiệp, do đó những vùng thường xảy ra hạn hán do thiếu nguồn hoặc lấy nước chậm hơn hoặc lấy nước sớm hơn các vùng khác do hệ thống không đủ nước tưới đồng thời, phải thực hiện tưới luân phiên. Đã làm cho các xã vùng hạn bị động trong sản xuất, phải thay đổi kế hoạch gieo trồng, cơ cấu giống.

+ Năm 2013 và những năm tiếp theo ở Hưng Nguyên đã phải xác định lại khung thời vụ, cơ cấu giống, cũng như một số giải pháp kỹ thuật để né tránh thiên tai, giảm thiểu thiệt hại, nhằm đảm bảo an sinh xã hội, nâng cao thu nhập cho người dân nông thôn. Đẩy thời vụ sản xuất vụ xuân 2013 sớm hơn so với năm 2012 từ 5 - 7 ngày, đồng thời thực hiện việc gieo mạ, che phủ nilon là yêu cầu bắt buộc.

+ Các xã, thị trấn có diện tích sâu, trũng dễ ngập lụt ở vụ hè thu chủ động xuống giống sớm hơn so với khung thời vụ chung của huyện từ 7 - 10 ngày. Đặc biệt là xã Hưng Trung, Hưng Nhân, một số diện tích bàu, biền sâu trũng của các xã: Hưng Lợi, Hưng Đạo, Thị trấn, Hưng Thịnh, Hưng Tân, Hưng Thông, Hưng Yên Bắc, Hưng Yên Nam.

+ Diện tích chân đất vàn trung, xuống giống khoảng từ ngày 5/1 đến ngày 10/1/2013 (cơ cấu các giống có thời gian sinh trưởng từ 125 - 135 ngày). Các chân đất vàn cao xuống giống từ ngày 10/1 đến 15/1/2013 (cơ cấu các giống có thời gian sinh trưởng từ 125 - 130 ngày).

- Diện tích gieo trồng bị thu hẹp, giảm năng suất cây trồng: Những biến đổi thất thường của thời tiết trong những năm qua đã gây thiệt hại lớn cho sản xuất nông nghiệp ở huyện Hưng Nguyên như: Hạn hán hè thu 2010 làm hơn 3.500 ha lúa bị giảm năng suất trên 50%; Cuối vụ hè thu 2010 mưa lớn kết hợp triều cường gây ngập úng hơn 800 ha gieo cấy muộn do hạn hán đầu vụ. Vụ xuân và Hè thu năm 2011 hạn chỉ xảy ra cục bộ ở một số xã như Hưng lợi, Hưng Tân, Hưng Tiến, nhưng lại xảy ra rét đậm, rét hại kéo dài làm hơn 1.050 ha lúa bị chết rét. Vụ hè thu 2011, mưa lớn từ ngày 9 -12 làm ngập hơn 1.400 ha lúa trong đó 847 ha đang giai đoạn trổ đến phơi mầu, Vụ hè thu 2012 mưa lớn đến sớm từ ngày 4 - 6/9 gây ngập úng hơn 1.800 ha lúa, trong đó hơn 1.000 ha bị thiệt hại nặng… đặc biệt là diện tích lúa của một số xã vùng giữa và các xã vùng ngoài, gieo cấy muộn bị thiệt hại khá lớn.

- Tăng kinh phí để chống hạn: Hạn hán tác động đến kinh tế xã hội như giảm năng suất cây trồng, giảm diện tích gieo trồng, giảm sản lượng cây trồng, mà còn tăng chi phí sản xuất nông nghiệp, giảm thu nhập của lao động nông nghiệp. Năm 2012 huyện Hưng Nguyên đã phải chi phí 17.626.200.000 đồng để nạo vét 14 bể hút các trạm bơm và 8 kênh trục dẫn nước chống hạn (Nguồn: Phòng Nông nghiệp huyện Hưng Nguyên). Theo báo cáo tổng kết năm 2012 của công ty thủy lợi Nam Nghệ An, tiền điện bơm nước phục vụ chống hạn của công ty Thủy lợi Nam Nghệ An năm 2012 vượt 1.800.000 KWh, tương đương 2.5 tỷ đồng, tiền mua máy bơm dầu và dầu để chống hạn là 2,5 tỷ đồng.

1.2 Các giải pháp chống hạn hán

1.2.1 Thế giới

Hàng chục năm qua, thế giới đã có nhiều nỗ lực nhằm đối phó với nạn hạn hán. Liên Hiệp Quốc đã lấy ngày 22/3 hằng năm là ngày Nước Thế Giới. Ngày này lần đầu tiên được chính thức đề xuất trong Chương trình nghị sự 21 của Hội nghị Liên Hiệp Quốc năm 1992 về Môi trường và Phát triển (UNCED) tại Rio de Janeiro, Brasil. Việc chấp hành nghị quyết bắt đầu vào năm 1993 và đã phát triển mạnh kể từ khi công chúng thể hiện sự ủng hộ đối với nó. Người ta kêu gọi công chúng không sử dụng nước một cách lãng phí cũng như tránh làm ô nhiễm nguồn nước ngọt. Có các nhóm giải pháp chống hạn chính như sau:

❖ Nâng cao khả năng dự báo hạn.

Vấn đề nghiên cứu, dự báo và dự tính hạn hán hiện nay được thực hiện ở hầu khắp các quốc gia trên thế giới, tuy nhiên do tính phức tạp trong bản chất của hiện tượng này nên chưa có một phương pháp thống nhất nào trong nghiên cứu hạn hán. Cho đến nay, cách tiếp cận vẫn chủ yếu dựa vào các chỉ số hạn hán.Tuy nhiên, không có một chỉ số nào tốt cho tất cả các khu vực. Chỉ số hạn hán thường là hàm của các biến như lượng mưa, nhiệt độ, độ bốc hơi và một số biến thủy văn khác. Trong số đó, biến lượng mưa là nhân tố chính liên quan đến sự khởi đầu của hạn hán và thời gian kéo dài [51]. Oladipio [48] cho thấy những chỉ số chỉ dựa đơn thuần vào lượng giáng thủy thường cho kết quả tốt hơn khi so sánh với các chỉ số thủy văn phức tạp khác. Trên thế giới hiện nay chỉ số được sử dụng phổ biến trong nghiên cứu và giám sát hạn hán là chỉ số PDSI và chỉ số SPI. Tổng quan đầy đủ về các chỉ số hạn có thể tham khảo trong nghiên cứu của Alley, Wu, Smakhtin và Hughes [53]. Nói chung, để dự báo hạn hán cần dự báo được hai yếu tố chính là nhiệt độ và lượng mưa mà chúng được sử dụng để tính các chỉ số hạn hán.

Bài toán dự báo hạn gắn kết chặt chẽ với bài toán dự báo mùa, bởi qui mô thời gian của hiện tượng hạn hán thường vượt quá phạm vi của bài toán dự báo thời tiết. Dự báo hạn mùa (hay dự báo mùa - seasonal prediction/seasonal forecast) hiện đang là một trong những lớp bài toán được quan tâm đặc biệt với các nghiên cứu của Stockdale [55] và Shukla J. [56], nhất là ở những nước mà nền sản xuất, tài nguyên nước, các hiện tượng thiên tai,... chịu ảnh hưởng nhiều của điều kiện thời tiết, khí hậu. Khác với dự báo thời tiết, dự báo mùa không chỉ ra được trạng thái khí quyển vào những thời điểm cụ thể đến từng ngày, từng giờ, thay vào đó là thông tin chung về điều kiện khí quyển trong từng khoảng thời gian nhất định (chẳng hạn từng tháng, từng mùa – ba tháng) trong thời hạn dự báo. Nói cách khác, dự báo mùa cố gắng dự báo các điều kiện thời tiết tương lai, có thể được hiểu như là dự báo những biến đổi của điều kiện thời tiết [55] mà thông thường từ 1-6 tháng tới, thậm chí có thể đến 9 tháng nhưng không vượt quá 1 năm. Dự báo mùa khác biệt với dự báo thời tiết không chỉ ở mục tiêu mà còn ở cách tiếp cận và phương pháp sử dụng. Sản phẩm dự báo mùa quan trọng nhất và cũng là phổ biến nhất là nhiệt độ và lượng mưa hoặc dị thường của chúng theo tháng hoặc mùa. Stockdale [56] đã tổng kết một số kỹ thuật sử dụng cho việc dự báo mùa, trong đó chia ra hai phương pháp chính là thống kê thực nghiệm và mô hình động lực.

Theo hướng tiếp cận mô hình động lực, các mô hình hoàn lưu chung khí quyển – đại dương (AOGCM) và các mô hình khí hậu khu vực (RCM) là công cụ chủ yếu được sử dụng. Phương pháp sử dụng các mô hình động lực dự báo mùa nhìn chung chỉ mới bắt đầu từ khoảng 30 năm trở lại đây. Trong thời gian ban đầu, khi độ phân giải của các mô hình chưa cao và việc tính toán chưa thực sự được hỗ trợ bởi những hệ thống máy tính lớn, người ta thường đơn giản hóa các hệ thống kết hợp các mô hình khí hậu toàn cầu (GCM), ví dụ như thay thế mô hình khí quyển bằng sơ đồ thống kê và chỉ đại dương được mô phỏng của Barnett [26]. Để đánh giá khả năng mô phỏng dị thường khí hậu hạn mùa của các GCM nhiều nghiên cứu đã sử dụng dị thường nhiệt độ bề mặt biển (SST) quan trắc làm điều kiện biên dưới như nghiên cứu của Palmer và Mansfield [49]. Nếu thay SST quan trắc bằng SST dự báo thì sản phẩm của GCM sẽ là kết quả dự báo mùa.

Trong số các mô hình khí hậu toàn cầu dự báo hạn mùa hiện nay đáng chú ý là mô hình CFS (The NCEP Climate Forecast System). Đây là hệ thống mô hình kết hợp đầy đủ (full couple) đồng thời giữa mô hình khí quyển và mô hình đại dương, mới được đưa vào chạy nghiệp vụ từ tháng 8 năm 2004 tại NCEP (National Centers for Environmental Prediction), và sản phẩm của CFS hiện đang được cung cấp miễn phí cho hạn đến 6 tháng.

Trong khi hướng tiếp cận thống kê vẫn tiếp tục những nỗ lực tìm kiếm giải pháp cải tiến, xây dựng phương pháp mới, nhằm nâng cao chất lượng dự báo cũng như kéo dài hạn dự báo, các mô hình khí hậu khu vực (RCM) đã bắt đầu được phát triển từ cuối những năm 1980 của thế kỷ 20. Để ứng dụng trong dự báo nghiệp vụ các RCM thường được lồng vào một mô hình dự báo toàn cầu nào đó. Với ưu thế xử lý ở độ phân giải không gian cao hơn, việc sử dụng các RCM lồng vào các GCM trong bài toán dự báo hạn mùa sau đó đã được nhiều nghiên cứu đề cập đến.

❖ Đầu tư công trình thủy lợi.

Đối với những vùng có công trình thủy lợi, vấn đề nâng cao hiệu quả quản lý vận hành hệ thống nhằm sử dụng tối ưu nguồn nước trong điều kiện hạn hán là giải pháp hiệu quả nhất để giảm nhẹ thiệt hại do hạn hán gây ra. Viện Quản lý nước quốc tế (IWMI) đưa ra một số nguyên tắc xây dựng chiến lược đối phó với hạn hán cho các đơn vị phụ trách quản lý vận hành hệ thống công trình thủy lợi như sau: (i) Cần xây dựng một kế hoạch phân phối nước trong đó có những biện pháp dự phòng để đối phó với các mức độ hạn hán khác nhau; (ii) Cần xây dựng phương án vận hành công trình trong điều kiện bình thường và trong điều kiện hạn hán, các phương án này phải được phổ biến tới người sử dụng nước; (iii) Liên tục cập nhật các số liệu mới nhất về khí tượng, nguồn nước cũng như nhu cầu dùng nước; (iv) Cần có hệ thống cảnh báo sớm hạn hán để có kế hoạch và các biện pháp đối phó kịp thời; (v) Cần khuyến khích nông dân áp dụng các biện pháp tiết kiệm nước như tưới tiết kiệm nước, canh tác không làm đất... nhằm sử dụng hiệu quả lượng nước tưới trong điều kiện hạn hán. Tương tự, năm 2004, Ủy ban Môi trường bang Texas xuất bản sổ tay hướng dẫn phương pháp lập kế hoạch đối phó với hạn hán cho các cơ quan quản lý hệ thống tưới. Phương pháp này bao gồm 5 bước: (i) huy động sự tham gia của người sử dụng nước trong quá trình lập kế hoạch; (ii) đánh giá ảnh hưởng của hạn hán đến hoạt động của hệ thống và xây dựng các tiêu chuẩn để quyết định thời điểm bắt đầu/kết thúc một đợt phân phối nước; (iii) xây dựng các nguyên tắc phân phối nước; (iv) xác định trình tự phân phối nước; và (v) định kỳ đánh giá và cập nhật kế hoạch để phản ánh các thay đổi.

Nhiều chính phủ các nước khác trên thế giới cũng đã giành các khoản chi lớn cho các dự án thuỷ lợi cấp nước, chống hạn, như dự án xây dựng đập At-soan trên sông Nine ở Ai Cập nhằm cung cấp nước để cải tạo một phần sa mạc Sahara. Trung Quốc đã thành lập Hiệp hội cảnh báo thảm hoạ thiên tai lâu đời nhất thế giới cùng với Hoa Kỳ. Israel và Ấn Độ cũng là những nước đạt được nhiều thành tựu trong nghiên cứu về các giải pháp chống hạn, công nghệ tưới tiết kiệm nước.

Các giải pháp thu trữ nước cũng đã được nhiều nước nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi, được quốc tế đánh giá là mang lại hiệu quả phòng chống hạn hán rất cao, nhiều nước - đặc biệt là các nước châu Phi, vùng Tây và Nam Á - coi đây là công cụ chiến lược để đối phó với hạn hán và sa mạc hoá.

Việc kết hợp các biện pháp nông - lâm nghiệp với các kỹ thuật thu trữ nước tại các vùng thiếu nước được nhiều nước nghiên cứu và ứng dụng. Ben Asher (1988) đã tổng kết các kinh nghiệm trữ nước tại Israel trong khuôn khổ công trình nghiên cứu thu trữ nước tại vùng tiểu sa mạc Sahara của Ngân hàng Thế giới. Công trình nghiên cứu của họ tập trung vào các vấn đề sau: (i) Thí ngiệm phương pháp kỹ thuật thu trữ nước, đặc biệt là đối với lưu vực nhỏ ; (ii) Nghiên cứu và lập mô hình hoạt động dòng chảy mặt; (iii) Phân tích tính kinh tế của các kỹ thuật thu trữ nước. Một dự án dài hạn với mục tiêu phát triển mô hình rừng xen canh nông lâm nghiệp với việc thu trữ nước đã được thực hiện tại trang trại Wadi Mashash (Zohar et al. 1987, Lovenstein 1994). Tại vùng nhiệt đới châu Á, đặc biệt là vùng phía nam Ấn Độ và Sri Lanka, rất nhiều dự án về thu trữ nước và các chương trình liên quan đã được hiện. Đập đất và các hố rỗng đã được sử dụng hàng ngàn năm nay để giữ nước trong suốt mùa mưa.Các bể chứa nước này cho phép nông dân canh tác tưới tiêu vụ thứ 2 vào mùa khô.Các bể này được đặt một cách ngẫu nhiên vì vậy rất dễ lấy nước. Vào những năm 1980, tổ chức ICRISAT đã phát triển một hệ thống mương trồng cỏ và mương đáy rộng để thu trữ nước trong mùa mưa và dùng để tưới trong mùa khô. Kết quả nghiên cứu cho thấy diện tích trồng trọt tăng 2 đến 5 lần. Tại Ai Cập, các bờ đắp đá, các bể chứa nước đã được sử dụng để phục vụ cho nhu cầu cấp nước sinh hoạt, chăn nuôi gia súc cũng như cho tưới tiêu. Số lượng các bể chứa tăng từ gần 3000 bể vào năm 1960 lên tới 15.000 bể vào năm 1993 với tổng trữ lượng khoảng 4 triệu m^3. Năm 1984, một dự án thu trữ nước do Oxfam tài trợ đã được thực hiện tại Quận Turkana của Kenya. Thành công của dự án này là đã phát triển được các hệ thống thu trữ nước phục vụ sản xuất nông nghiệp cũng như phát triển đàn gia súc (Critchley et al. 1992). Mamdouh Nasr (1999) đánh giá hiệu quả của các giải pháp thu trữ nước nhằm phục hồi sinh thái và phòng chống sa mạc hóa tại Trung Đông và Bắc Phi. Kết quả cho thấy việc kết hợp các biện pháp thu trữ nước và bảo vệ đất có hiệu quả rất lớn đến phòng chống sa mạc hóa và phục hồi sinh thái tại vùng này. Tại những khu vực khảo sát, biện pháp thu trữ nước làm tăng trung bình 15% diện tích gieo cấy.

❖ Sử dụng hiệu quả nước tưới

Sử dụng hiệu quả nước tưới đã trở thành một nhân tố quan trọng trong sản xuất nông nghiệp tại các vùng khô hạn và bán khô hạn, trong những năm gần đây, các nhà khoa học trên thế giới đã tập trung nghiên cứu phát triển các chế độ tưới mới như tưới thiếu hụtđịnh kỳ (Regulated Defecit Irrigation – RDI), tưới luân chuyển một phần bộ rễ (Controlled Alternate Partial Root-zone Irrigation - CAPRI) nhằm làm tăng hiệu quả sử dụng nước mặt ruộng cũng như hiệu quả sử dụng nước của cây trồng. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng để cây trồng thiếu nước trong giai đoạn quả đang phát triển chậm và sau khi thu hoạch có thể khống chế sự phát triển của cành lá trong khi vẫn duy trì năng suất và trong một số trường hợp còn làm tăng năng suất. Các nước Mỹ, Australia, Trung Quốc và một số nước châu Âu là những nước đi đầu trong việc nghiên cứu và ứng dụng chế độ tưới mới này. Kết quả nghiên cứu của Mc Carthy [46] trong việc áp dụng chế độ tưới hụt cho nho tại miền nam Australia cho thấy có thể giảm một nửa lượng nước so với biện pháp tưới thông thường. C. Kirda [28] đã phân tích mối quan hệ giữa năng suất và chế độ tưới thiếu hụt của một số loại cây trồng chính như bông, ngô, khoai tây, mía, đậu nành, lúa mì... Năng suất cây trồng dưới các mức độ tưới thiếu hụt khác nhau được đưa vào hàm năng suất của Stewart et al. vào năm 1977. Kết quả cho thấy bông, ngô, lúa mì, củ cải đường, khoai tây rất phù hợp với tưới hụt trong suốt giai đoạn sinh trưởng.Một số cây trồng khác như đậu nành, lạc, mía thích hợp với tưới hụt trong một số thời đoạn sinh trưởng. Với mức tưới hụt là 25%, hiệu quả sử dụng nước tăng lên 1,2 lần. Kang S. và Zhang J. [39] phát triển chế độ tưới mới với tên gọi "tưới luân chuyển một phần bộ rễ" (CAPRI). Áp dụng chế độ tưới này cho cây ngô trong 4 năm (1997-2000) tại vùng Tây Bắc Trung Quốc cho thấy lượng nước tưới giảm đi một nửa trong khi năng suất ngô được duy trì.

Sử dụng công cụ phần mềm trong đánh giá hạn hán, xác định chế độ vận hành tối ưu tưới đã được chú trọng nghiên cứu. Năm 2000, CORDIS (Community Research and Development Information Service) đã phát triển một hệ thống hỗ trợ ra quyết định nhằm giảm thiểu tác động của hạn hán đối với khu vực Địa Trung Hải. Hệ thống có chức năng: (i) đánh giá mức độ hạn hán và đặc tính của hạn hán; (ii) mô phỏng việc quản lý vận hành hệ thống tưới trong điều kiện hạn hán để xác định chế độ vận hành tối ưu; (iii) đánh giá hoạt động chung của hệ thống và hoạt động trong các thời kỳ hạn hán. Tarek Merabtene và cộng sự [58] nghiên cứu phương pháp đánh giá rủi ro nhằm quản lý vận hành tối ưu hệ thống thủy lợi trong điều kiện hạn hán.Các tác giả đã phát triển và áp dụng một phần mềm trợ giúp ra quyết định (DSS) nhằm hỗ trợ đưa ra kế hoạch cấp nước tối ưu. Dựa trên dự báo mưa, dự báo nhu cầu và điều hành hồ chứa và dựa trên phân tích rủi ro chương trình sẽ đánh giá hoạt động của hệ thống và xác định chiến lược cấp nước tối ưu nhằm giảm thiểu rủi ro do hạn hán gây ra. Canon và cộng sự [29] áp dụng Chỉ số tần suất xuất hiện hạn hán DFI (Drought Frequency Index) trong việc điều hành hệ thống liên hồ chứa chịu ảnh hưởng thường xuyên của hạn hán.Chỉ số DFI được sử dụng làm thông số giới hạn để xác định lượng nước cần trữ lại và quyết định lượng nước cấp xuống hạ lưu tại mỗi thời đoạn. Hàm mục tiêu của bài toán tối ưu là giảm tối đa lượng nước thiếu hụt và tăng tối đa năng suất cho cây trồng tại mỗi khu tưới trong đó có xem xét các chính sách cấp nước khác nhau.

Trong những năm qua, để đối phó với căng thẳng về nước, các kỹ thuật tưới tiết kiệm nước như tưới phun mưa, nhỏ giọt đã được nhiều nước nghiên cứu và áp dụng thành công. Kỹ thuật tưới tiết kiệm nước ngày càng được áp dụng ở nhiều quốc gia, kỹ thuật tưới này không chỉ tiết kiệm được một lượng nước đáng kể mà còn tiết kiệm được phân bón, năng suất cây trồng cũng được tăng đáng kể do cây được cung cấp lượng nước và phân bón kịp thời. Israel là một trong những quốc gia trên thế giới thành công trong việc nghiên cứu, áp dụng và phát triển kỹ thuật tưới tiết kiệm nước. Ngoài ra, các nước Đức, Anh, Hà Lan, Bỉ, Pháp, Tây Ban Nha, Nam Phi, Mỹ, Australia…đều phát triển nhanh và có nhiều kinh nghiệm, thành tựu trong nghiên cứu ứng dụng và phát triển kỹ thuật tưới hiện đại và tiết kiệm nước, nhất là kỹ thuật tưới nhỏ giọt. Cụ thể nhiều trang trại ở Israel đã sử dụng các đồng hồ đo áp lực hút nước của đất bằng điện để điều hành hệ thống tưới phun mưa và nhỏ giọt rất có hiệu quả. Mặc dù vốn đầu tư cho hệ thống tưới phun mưa hoặc nhỏ giọt khá cao nhưng hiệu quả trong việc tiết kiệm nước và tăng năng suất cây trồng đã làm cho công nghệ này khá phổ biến ở Israel. Ngoài ra, Israel trong những thành công là việc sử dụng nước mặn để tưới cho bông, lúa mì, lúa mạch... Ở Mỹ, nhiều nghiên cứu các hệ thống, kỹ thuật tưới tiết kiệm nước đã được tiến hành trên nhiều loại cây trồng (cam, quýt, bông, mía, nho) ở các khu vực khác nhau.Ở vùng thung lũng Napa gần Temecula thuộc bang California, các hệ thống tưới nhỏ giọt cho nho được quản lý tốt và giảm ít nhất là 50% lượng nước tưới so với tưới phun mưa toàn bộ. Từ sau năm 1977, trên 8000 ha trong vùng đã được bố trí hệ thống tưới nhỏ giọt và được điều khiển bằng hệ thống máy tính tại trung tâm. Thời gian tưới nhỏ giọt cho mỗi khoảnh, thửa ruộng được tự động theo chương trình máy tính có cập nhật, điều chỉnh hàng ngày. Cuối năm 1984, 34.800 ha trên tổng số 45.400 ha mía ở Hawaii đã được chuyển từ tưới rãnh, tưới phun mưa toàn bộ sang tuới nhỏ giọt, năng suất mía đã tăng lên 22% so với trước đó. Eric C. Schuck và cộng sự [22] sử dụng số liệu điều tra từ các đợt hạn hán nặng nhất trong lịch sử bang Colorado để đánh giá ảnh hưởng của hạn hán tới việc áp dụng kỹ thuật tưới của nông dân. Kết quả cho thấy điều kiện hạn hán làm gia tăng đáng kể số lượng trang trại sử dụng các kỹ thuật tưới tiết kiệm nước thay cho tưới trọng lực.

1.2.2 Việt Nam

Ở Việt Nam, từ nhiều năm qua, các nhà quản lý và các nhà khoa học đã tập trung rất nhiều vào việc nghiên cứu đưa ra các giải pháp phòng chống hạn hán. Trong đó tập trung vào các giải pháp cơ bản sau:

- Xây dựng các công trình khai thác tổng hợp để điều tiết dòng chảy.
- Nâng mức đảm bảo của các hệ thống công trình thuỷ nông, công trình cấp nước.
- Quản lý và nâng độ che phủ các khu rừng phòng hộ, rừng đầu nguồn.
- Kiểm soát việc xả, thải nước độc hại vào các nguồn nước.

- Vận hành hiệu quả các hệ thống thuỷ lợi. Thực hiện kiên cố hoá kênh, tổ chức tốt công tác quản lý và phân phối nước trên toàn hệ thống thuỷ lợi, thực hiện công nghệ tưới tiết kiệm nước trước hết ở các vùng khan hiếm nguồn nước.

- Nâng cao chất lượng công tác dự báo khí tượng thuỷ văn, nhất là dự báo dài hạn.

- Nâng cao nhận thức và sự tham gia của cộng đồng.

- Quản lý nhu cầu dùng nước.

Trong giải pháp xây dựng các công trìnhkhai thác tổng hợp để điều tiết dòng chảy, giải pháp thu trữ nước mùa khô phục vụ cho mùa mưa được áp dụng tương đối nhiều và khá thành công. Ở miền núi, với các lưu vực nhỏ, giải pháp thu trữ nước chủ yếu là các kỹ thuật bờ bán nguyệt và tam giác; bậc thang lông mày và lưu vực nhỏ trên sườn đồi. Với các lưu vực lớn, các giải pháp bờ đá, bờ bán nguyệt rộng, bờ hình thang và hệ thống chuyển nước trên sườn đồi được áp dụng. Ở các lưu vực có các con suối chảy qua thường áp dụng giải pháp bờ đá, bậc thang đá và các đập đá nhỏ tận dụng chắn qua các con suối khô cạn vào mùa khô. Ở vùng đất cát, giải pháp xây dựng các bể chứa xi măng đất và bể phủ bạt HDPE được áp dụng rất hiệu quả tại Ninh Thuận và Bình Thuận. Ở vùng đồng bằng thì các hồ chứa được xây dựng để trữ nước mùa mưa phục vụ cho mùa khô. Hiện tại, nhiều địa phương đã tận dụng các kênh tiêu là hệ thống trữ nước, coi các kênh này như những hồ chứa, đây là giải pháp rất tiết kiệm và hiệu quả. Một số hệ thống thủy lợi đã áp dụng rất thành công như hệ thống huyện Hoằng Hóa, Thanh Hóa; hệ thống Bắc Nam Hà, …

Lợi ích của các hệ thống thu trữ nước chống hạn đã được FAO tổng kết là: làm tăng sản lượng cây trồng và giảm nguy cơ mất mùa, cải thiện an ninh lương thực, bảo vệ đất chống xói mòn, sử dụng nguồn nước tự nhiên một cách tốt nhất, đẩy mạnh việc tái trồng rừng và góp phần cải thiện chế độ thuỷ văn lưu vực (giảm lưu lượng đỉnh lũ, tăng dòng chảy mùa kiệt, tăng trữ lượng nước ngầm). Dựa vào việc phân tích chi tiết các điều kiện tự nhiên, các nguyên nhân gây ra hạn hán và sa mạc hóa, mô hình thu trữ nước được đưa ra với các nguyên tắc sau:

- Tuỳ thuộc vào điều kiện nguồn nước mà áp dụng các biện pháp thu trữ nước mặt, nước mưa hay nước ngầm.

- Lập phương án quy hoạch sử dụng nước (sinh hoạt, chăn nuôi và sản xuất) đảm bảo phù hợp tập quán canh tác, mang lại lợi ích trước mắt và lâu dài của người dân.

- Tính toán cân bằng nước, dựa trên các phương án thiết kế công trình thu nước, giữa lượng nước trữ được với lượng nước sử dụng và lượng thất thoát.

- Chọn vật liệu phù hợp với từng khu vực đảm bảo chi phí xây dựng nhỏ nhất và phù hợp với điều kiện kinh tế của cộng đồng.

- Hệ thống thu trữ nước bao gồm các thành phần sau:

  + Hệ thống thu gom nước: có nhiệm vụ thu nước mưa, nước chảy tràn hoặc nước ngầm để dẫn vào công trình trữ nước.

  + Hệ thống trữ nước: bao gồm các bể chứa nước trên sườn đồi, có nhiệm vụ trữ nước để cung cấp nước tưới vào mùa khô.

  + Hệ thống phân phối nước: có nhiệm vụ dẫn nước từ các bể tới các khu tưới để phân phối nước cho cây trồng.

  + Đối với hệ thống thu nước mưa, việc tính toán tập trung vào xác định: diện tích lưu vực hứng nước (A), dung tích trữ nước (V). Dung tích của công trình trữ nước phụ thuộc vào nhu cầu tưới bổ sung cho cây trồng. Việc tính toán dung tích trữ nước rất quan trọng vì nó sẽ quyết định tất cả các thông số còn lại của hệ thống thu trữ. Nếu việc tính toán dung tích không chính xác sẽ dẫn đến lãng phí hoặc thiếu nước tưới cho cây trồng. Để tính toán được dung tích thu trữ cần xem xét đến rất nhiều yếu tố như: nhu cầu nước tưới cho một đơn vị diện tích cây trồng, các nguồn nước bổ sung, thời vụ và các giai đoạn sinh trưởng của cây trồng.

1.3 Tổng quan bài toán tối ưu

1.3.1 Bài toán tối ưu

Bài toán tối ưu là một lĩnh vực kinh điển của toán học có nhiều ảnh hưởng đến nhiều lĩnh vực khoa học công nghệ, kinh tế xã hội. Một phương án tối ưu là một phương án khả thi và tốt nhất, tức là phương án làm cho hàm mục tiêu đạt kết quả min (max) và phải thỏa mãn các điều kiện yêu cầu của bài toán (thỏa mãn các điều kiện ràng buộc) [10].

Mục tiêu của bài toán tối ưu được biểu diễn bởi hàm: f (x) $\rightarrow$ min (max) với x là một biến hoặc vecto biến x = (x1, x2, ..., xn)

Biến x hoặc vector biến x = (x1, x2, ..., xn) thường có yêu cầu phải thỏa mãn một số điều kiện nào đó. Tập hợp các điều kiện của các biến thì được gọi là điều kiện ràng buộc và được biểu diễn bởi miền D (miền ràng buộc).

Dạng tổng quát của bài toán tối ưu:

Làm cực tiểu/cực đại một hàm mục tiêu: f (x) $\rightarrow$ min (max) (1)

Thỏa mãn các điều kiện ràng buộc x $\in$ D (2)

Yêu cầu: Tìm x để thỏa mãn (2) và làm cực tiểu/ cực đại hàm mục tiêu (1)

x (một bộ các giá trị cụ thể của (x1, x2,..., xn)), thỏa mãn điều kiện (1) & (2) gọi là phương án tối ưu

Nếu x chỉ thỏa mãn điều kiện (2) gọi x là phương án chấp nhận được hay phương án.

(*) Vận hành tối ưu hệ thống tài nguyên nước, hiện nay, đang phát triển mạnh mẽ và đa dạng với rất nhiều phương pháp giải khác nhau. Đối với từng bài toán, việc chọn phương pháp thích hợp để giải phụ thuộc vào dạng hàm mục tiêu, ràng buộc và số lượng các biến tối ưu. Năm 1988, Edgar và Himmelblau đã đề xuất các bước xây dựng và giải bài toán tối ưu hệ thống như sau:

Bước 1: Phân tích bản chất bài toán để có thể thấy rõ được các đặc tính riêng biệt để có thể xác định hệ thống biến tối ưu.

Bước 2: Xác định tiêu chuẩn tối ưu, thiết lập hàm mục tiêu từ biến tối ưu đã xác định và các hệ số tương ứng.

Bước 3: Phát triển hệ thống các quan hệ toán học mô phỏng, liên hệ giữa các biến tối ưu, số liệu vào ra và các hệ số tương ứng, bao gồm các ràng buộc dưới dạng đẳng thức, bất đẳng thức – gọi chung là các ràng buộc – có thể sử dụng các quan hệ vật lý, hàm kinh nghiệm.

Bước 4: Trong trường hợp phạm vi của bài toán quá lớn cần (i) phân ra thành những phần nhỏ dễ mô phỏng hơn, (ii) đơn giản hóa hàm mục tiêu hoặc cách mô phỏng.

Bước 5: Ứng dụng kỹ thuật giải tương thích.

Bước 6: Kiểm tra kết quả, phân tích độ nhạy của mô hình bằng cách thay đổi hệ số cũng như các giả thiết.

1.3.2 Các kỹ thuật tối ưu hóa

Hiện nay, có hai cách tiếp cận để giải bài toán tối ưu, là:

- ❖ Cách tiếp cận tối ưu ngẫu nhiên ẩn ISO (Implit Stochastic Optimization).
- ❖ Cách tiếp cận tối ưu ngẫu nhiên hiện ESO (Explicit Stochastic Optimization).

Các kỹ thuật tối ưu thường được sử dụng:

- ❖ Quy hoạch tuyến tính LP (Linear Programming)
- ❖ Quy hoạch phi tuyến NLP (Nonlinear Programming)
- ❖ Quy hoạch động DP (Dynamic Programming)
- ❖ Tìm kiếm (Meta heuristic)

1. Quy hoạch tuyến tính (LP)

Quy hoạch tuyến tính (LP): Là lĩnh vực toán học nghiên cứu các bài toán tối ưu mà hàm mục tiêu và tất cả các ràng buộc đều có dạng tuyến tính. Các bước nghiên cứu và ứng dụng một bài toán quy hoạch tuyến tính điển hình như sau:

- Xác định vấn đề cần giải quyết, thu thập số liệu.
- Lập mô hình toán học
- Xây dựng các thuật toán để giải hoặc bằng ngôn ngữ thuận lợi cho việc lập trình cho máy tính.
- Tính toán thử và điều chỉnh mô hình nếu cần.
- Áp dụng giải các bài toán thực tế.

Hiện tại, có 2 phương pháp thường được sử dụng để giải bài toán quy hoạch tuyến tính: Phương pháp đồ thị và phương pháp đơn hình.

a. Phương pháp đồ thị:

Trong các phương pháp giải bài toán quy hoạch tuyến tính, phương pháp đồ thị (phương pháp hình học) thường được sử dụng. Phương pháp này có ưu điểm là trực quan, dễ hiểu. Tuy nhiên phương pháp này chỉ dùng để giải những bài toán có hai biến quyết định. Về cơ bản phương pháp này gồm hai bước sau:

- Xác định miền phương án chấp nhận được;
- Từ đó tìm phương án tối ưu trên miền chấp nhận đó.

b. Phương pháp đơn hình

Phương pháp đơn hình được sử dụng dựa trên cơ sở:

- Nếu bài toán có phương án tối ưu thì cũng có phương án cơ bản tối ưu;
- Số phương án cơ bản là hữu hạn;
- Điều kiện cần và đủ để bài toán có phương án tối ưu là hàm mục tiêu của nó bị chặn dưới khi f(x) → (min) và bị chặn trên khi f(x) → (max) trên tập phương án

2. Quy hoạch phi tuyến (NLP)

Quy hoạch phi tuyến (NLP): Hàm mục tiêu hoặc ít nhất một điều kiện ràng buộc là phi tuyến (có chứa ít nhất một yếu tố phi tuyến – bậc 2, logic, mũ…).

Để đảm bảo rằng một bài toán phi tuyến tính có một giá trị cực đại toàn cục duy nhất, thông thường người ta sắp xếp theo một tiêu chí đơn giản hóa chẳng hạn như độ lồi. Nếu độ cong của các điều kiện chế ước và của hàm mục tiêu được xem như miền thực hiện (feasible region) luôn lồi, thì sẽ có giá trị tối ưu toàn cục duy nhất.

Đây chính là ý nghĩa của điều kiện Karush-Kuhn-Tucker.Họ cho trước những điều kiện đủ dựa trên độ lồi để xác định bài toán quy hoạch phi tuyến tính có giá trị tối ưu toàn cục duy nhất. Có các điều kiện cần để cho có thể xác định hướng cho đáp án tối ưu. Một đáp án tối ưu có thể là một giá trị tối ưu cục bộ, chứ không nhất thiết phải là một giá trị tối ưu toàn cục.

Thông thường, khi giải bài toán quy hoạch phi tuyến, người ta sử dụng hai phương pháp đó là: Phương pháp luân phiên từng biến và phương pháp leo dốc.

a. Phương pháp luân phiên từng biến

Chọn điểm xuất phát (x0) sau đó giải bài toán tối ưu lần lượt với từng biến để từ điểm xuất phát ra được điểm tốt hơn (x1). Nếu tại x1 không đạt yêu cầu, kiểm tra điều kiện dừng. Điều kiện dừng không thỏa mãn thì lấy x1 làm điểm xuất phát mới và lặp lại quá trình tính toán. Điều kiện dừng thỏa mãn thì kết luận giá trị tối ưu đạt tại x1.

b. Phương pháp leo dốc

Đây là phương pháp thường được sử dụng nhất khi giải bài toán quy hoạch phi tuyến. Nguyên lý của phương pháp là chọn điểm xuất phát (xo) sau đó xác định vectơ Gradient cho điểm xuất phát. Từ đó xác định điểm tiếp theo (x1), tìm giá trị tối ưu của điểm này. Nếu đạt yêu cầu, lặp lại quá trình tính toán để leo dốc tới các điểm tiếp theo (x2, x3 …). Nếu không đạt yêu cầu, kiểm tra điều kiện dừng. Điều kiện dừng không thỏa mãn thì lấy x1 làm điểm xuất phát mới và lặp lại quá trình tính toán. Điều kiện dừng thỏa mãn thì kết luận giá trị tối ưu đạt tại x1.

(Vectơ gradien của một trường vô hướng là một trường vectơ có chiều hướng về phía mức độ tăng lớn nhất của trường vô hướng, và có độ lớn là mức độ thay đổi lớn nhất).

3. Quy hoạch động (DP)

Bài toán quy hoạch động (DP): nghiên cứu các trường hợp khi chiến lược tối ưu hóa dựa trên việc chia bài toán thành các bài toán con nhỏ hơn (những kết quả của bài toán ở bước sau thì phụ thuộc vào kết quả của bước trước) và giải chúng một cách độc lập, ghi lại các kết quả, để tổng hợp thành lời giải của bài toán ban đầu. Các bài toán con là không độc lập với nhau, nghĩa là các bài toán con cùng có chung các bài toán con nhỏ hơn.

Quy hoạch động gồm có 3 giai đoạn:

- ❖ Phân rã: Chia bài toán cần giải thành những bài toán con nhỏ hơn có cùng dạng với bài toán ban đầu sao cho bài toán con kích thước nhỏ nhất có thể giải một cách trực tiếp. Bài toán xuất phát có thể coi là bài toán con có kích thước lớn nhất
- ❖ Giải các bài toán con và ghi nhận lời giải: Lưu trữ lời giải của các bài toán con vào một bảng để sử dụng lại nhiều lần do đó không phải giải lặp lại cùng một bài toán.
- ❖ Tổng hợp lời giải: Lần lượt từ lời giải của các bài toán con kích thước nhỏ hơn xây dựng lời giải của bài toán kích thước lớn hơn, cho đến khi thu được lời giải của bài toán xuất phát (là bài toán con có kích thước lớn nhất).

Các yếu tố của một giải thuật quy hoạch động giải bài toán tối ưu

- ❖ Cơ sở của quy hoạch động: Những trường hợp đơn giản có thể tính trực tiếp
- ❖ Cấu trúc con tối ưu: Phương pháp chia nhỏ các bài toán cho đến khi gặp được bài toán cơ sở.

- Tổng hợp: hệ thức truy hồi tính giá trị tối ưu của hàm mục tiêu của bài toán lớn qua giá trị tối ưu của các bài toán con thành phần.

Hiệu quả của quy hoạch động:

- Khi có các bài toán con lồng nhau, phương pháp chia để trị sẽ tỏ ra không hiệu quả, khi nó phải lặp đi lặp lại việc giải các bài toán con chung đó.
- Quy hoạch động sẽ giải mỗi bài toán con một lần và lời giải của các bài toán con sẽ được ghi nhận, để thoát khỏi việc giải lại bài toán con mỗi khi ta đòi hỏi lời giải của nó.
- Quy hoạch động thường được áp dụng để giải các bài toán tối ưu. Trong các bài toán tối ưu, ta có một tập các lời giải, và một hàm mục tiêu nhận giá trị số. Ta cần tìm một lời giải để hàm mục tiêu đạt giá trị nhỏ nhất hoặc lớn nhất.

Quy hoạch động thường dùng một trong hai cách tiếp cận:

- Từ trên xuống (top-down): Bài toán được chia thành các bài toán con, các bài toán con này được giải và lời giải được ghi nhớ để phòng trường hợp cần dùng lại chúng. Đây là đệ quy và lưu trữ được kết hợp với nhau.
- Từ dưới lên (bottom-up): Tất cả các bài toán con có thể cần đến đều được giải trước, sau đó được dùng để xây dựng lời giải cho các bài toán lớn hơn. Cách tiếp cận này hơi tốt hơn về không gian bộ nhớ dùng cho ngăn xếp và số lời gọi hàm. Tuy nhiên, đôi khi việc xác định tất cả các bài toán con cần thiết cho việc giải quyết bài toán cho trước không được trực giác lắm.

4. Kỹ thuật tìm kiếm

Kỹ thuật tìm kiếm sử dụng quan hệ mang tính chất kinh nghiệm mà ngược với thuật giải toán học.

Một số kỹ thuật:

a. Thuật giải di truyền (genetic algorithm)

Giải thuật di truyền là một kỹ thuật của khoa học máy tính nhằm tìm kiếm giải pháp thích hợp cho các bài toán tối ưu tổ hợp (combinatorial optimization).Giải thuật di truyền là một phân ngành của giải thuật tiến hóa vận dụng các nguyên lý của tiến hóa như di truyền, đột biến, chọn lọc tự nhiên, và trao đổi chéo. Nếu cá thể nào có mức độ thích nghi cao với sự tác động này chúng sẽ tiếp tục sống sót, ngược lại chúng sẽ bị loại bỏ. Ý tưởng này đã được áp dụng để giải quyết các bài toán tối ưu một mục tiêu bằng cách xấp xỉ các nghiệm thành biên Pareto từ một số nghiệm khởi tạo ban đầu. Tuy nhiên, từ thực tế số lượng hàm mục tiêu cần tối ưu tăng lên, ít nhất là hai hàm mục tiêu và thường thì các mục tiêu này là xung đột với nhau. Như vậy việc tìm kiếm một phương án hay nghiệm thỏa mãn tất cả các mục tiêu đặt ra là rất lý tưởng, nhưng trên thực tế có rất ít bài toán nào tồn tại phương án lý tưởng này. Do đó, ta chuyển sang tìm một phương án khả thi khác mà ta gọi là phương án thỏa hiệp. Phương án thỏa hiệp sẽ thỏa mãn các mục tiêu đặt ra ở một mức độ chấp nhận tối đa có thể được. Thuật toán di truyền đa mục tiêu xuất hiện trên cơ sở này.

Giải thuật di truyền thường được ứng dụng nhằm sử dụng ngôn ngữ máy tính để mô phỏng quá trình tiến hoá của một tập hợp những đại diện trừu tượng (gọi là những nhiễm sắc thể) của các giải pháp có thể (gọi là những cá thể) cho bài toán tối ưu hóa vấn đề. Tập hợp này sẽ tiến triển theo hướng chọn lọc những giải pháp tốt hơn.

Thông thường, những giải pháp được thể hiện dưới dạng nhị phân với những chuỗi 0 và 1, nhưng lại mang nhiều thông tin mã hóa khác nhau. Quá trình tiến hóa xảy ra từ một tập hợp những cá thể hoàn toàn ngẫu nhiên ở tất cả các thế hệ. Trong từng thế hệ, tính thích nghi của tập hợp này được ước lượng, nhiều cá thể được chọn lọc định hướng từ tập hợp hiện thời (dựa vào thể trạng), được sửa đổi (bằng đột biến hoặc tổ hợp lại) để hình thành một tập hợp mới. Tập hợp này sẽ tiếp tục được chọn lọc lặp đi lặp lại trong các thế hệ kế tiếp của giải thuật.

Giải thuật di truyền cũng như các thuật toán tiến hoá đều được hình thành dựa trên một quan niệm được coi là một tiên đề phù hợp với thực tế khách quan. Đó là quan niệm "Quá trình tiến hoá tự nhiên là quá trình hoàn hảo nhất, hợp lý nhất và tự nó đã mang tính tối ưu". Quá trình tiến hoá thể hiện tính tối ưu ở chỗ thế hệ sau bao giờ cũng tốt hơn thế hệ trước.

Quá trình phát triển của giải thuật di truyền có thể được chỉ ra qua các mốc thời gian sau:

- 1960: Ý tưởng đầu tiên về Tính toán tiến hoá được Rechenberg giới thiệu trong công trình "Evolution Strategies" (Các chiến lược tiến hoá). Ý tưởng này sau đó được nhiều nhà nghiên cứu phát triển.
- 1975: Giải thuật gen do John Holland phát minh và được phát triển bởi ông cùng với các đồng nghiệp và những sinh viên. Cuốn sách "Adaption in Natural and Artificial Systems" (Sự thích nghi trong các hệ tự nhiên và nhân tạo) xuất bản năm 1975 đã tổng hợp các kết quả của quá trình nghiên cứu và phát triển đó.
- 1992: John Koza đã dùng GA để xây dựng các chương trình giải quyết một số bài toán và gọi phương pháp này là "lập trình gen".

Ngày nay giải thuật di truyền càng trở nên quan trọng, đặc biệt là trong lĩnh vực tối ưu hoá, một lĩnh vực có nhiều bài toán thú vị, được ứng dụng nhiều trong thực tiễn.

b. Chiến lược tiến hóa

Trong khoa học máy tính, chiến lược tiến hóa (ES) là một kỹ thuật tối ưu hóa dựa trên những ý tưởng của sự thích nghi và tiến hóa.

Chiến lược tiến hóa (ES) được phát triển tại trường đại học Kỹ Thuật Berlin vào những năm 1960 và 1970 bởi Ingo Rechenberg. Năm 1981, Hans Peter Schwefel, giới thiệu sự lai ghép và những quần thể với nhiều hơn một cá thể, và cung cấp được sự so sánh của ESs với kỹ thuật tối ưu hóa truyền thống hơn.

Chiến lược tiến hóa là một lớp con của việc tìm kiếm trực tiếp rất tự nhiên (và tối ưu), là những phương thức thuộc vào lớp của những thuật toán tiến hóa (EAs). Nó sử dụng sự đột biến, sự lai ghép, và sự lựa chọn thích ứng tới một quần thể của những cá thể chứa những giải pháp được đề xuất theo trình tự để tiến hóa lặp lại tốt hơn và những giải pháp tốt hơn.

Dữ liệu đặc trưng của từng cá thể là những tham số sẽ được tối ưu hóa trong một quá trình tiến hóa cơ bản. Những tham số sẽ được sắp xếp trong những vector của những số thực, những thao tác cho sự lai ghép (chéo hóa) và đột biến được định nghĩa.

c. Thuật toán kiến (Ant Algorithm)

Các thuật toán kiến lần đầu tiên được giới thiệu bởi Dorigo và các cộng sự như là cách tiếp cận đa tác tử tới các vấn đề về tối ưu tổ hợp khó, như bài toán người du lịch (TSP), bài toán người đưa thư. Hiện nay số lượng các ứng dụng càng ngày càng tăng và các nhà khoa học đã ứng dụng nó vào rất nhiều các vấn đề tối ưu rời rạc. Các ứng dụng gần đây có thể kể đến như các bài toán lập lịch, tô màu đồ thị, định hướng trong mạng truyền thông,…

Các thuật toán kiến là các thuật toán dựa vào sự quan sát các bầy kiến thực. Kiến là loại cá thể sống bầy đàn. Chúng giao tiếp với nhau thông qua mùi mà chúng để lại trên hành trình mà chúng đi qua.Mỗi kiến khi đi qua một đoạn đường sẽ để lại trên đoạn đó một chất mà chúng ta gọi là mùi. Số lượng mùi sẽ tăng lên khi có nhiều kiến cùng đi qua. Các con kiến khác sẽ tìm đường dựa vào mật độ mùi trên đường, mật độ mùi càng lớn thì chúng càng có xu hướng chọn. Dựa vào hành vi tìm kiếm này mà đàn kiến tìm được đường đi ngắn nhất từ tổ đến nguồn thức ăn và sau đó quay trở về tổ của mình.

Thuật toán bầy kiến: Là một đàn kiến nhân tạo (Artificial Ants) mô phỏng các hoạt động của đàn kiến tự nhiên. Tất nhiên là có một số thay đổi, điều chỉnh so với đàn kiến tự nhiên để tăng tính hiệu quả của thuật toán. Trong đó hoạt động chính của các con kiến nhân tạo là tìm đường đi dựa vào lượng thông tin Pheromone đã để lại trên mỗi đoạn đường. Chi tiết về hoạt động của đàn kiến nhân tạo:

Bài toán cần giải sẽ được đưa về dạng một đồ thị với các ràng buộc được thể hiện bằng các công thức toán học. Việc giải bài toán sẽ đưa về là tìm một đường đi (hoặc tập các đỉnh) thỏa mãn các ràng buộc của bài toán. Các nguyên tắc sau được đưa ra:

- Thông tin pheromone được tính toán và đặt trên mỗi đoạn đường.
- Nút ban đầu cho đường đi của mỗi con kiến được chọn một cách ngẫu nhiên.
- Đường đi được lựa chọn dựa trên các nguyên tắc sau:
  - Dựa vào thông tin pheromone có trên các đoạn đường để tính xác suất của các đoạn tiếp theo được chọn vào làm đường đi của con kiến.
  - Xác suất lớn hơn cho đoạn đường đi có nhiều lượng pheromone được đặt hơn. Và các đường đi có lượng thông tin pheromone bé sẽ có xác suất được chọn thấp hơn.

Con kiến tiếp tục việc tìm đường đi cho tới khi hoàn thành một đường đi của nó (thỏa mãn điều kiện dừng của con kiến). Một đường đi hoàn chỉnh được gọi là một lời giải (solution) cho bài toán đặt ra. Các lời giải sẽ được phân tích, so sánh và đánh giá để tìm phương án tối ưu nhất có thể. Đó là lời giải tối ưu của bài toán.

Sau khi tất cả con kiến trong đàn hoàn thành lời giải của nó thì sẽ tiến hành cập nhật thông tin pheromone cho các cung. Số lượng của pheromone sẽ được tính toán và điều chỉnh để tìm được phương án tối ưu tốt hơn. Các lời giải tốt hơn sẽ có khối lượng pheromone lớn hơn để đặt trên các cung đã được đi qua. Ngược lại các lời giải tồi hơn sẽ có khối lượng pheromone bé hơn.Xác suất cao hơn cho một con kiến chọn đường đi có pheromone lớn. Quá trình lặp cho đến khi phần lớn kiến trong đàn kiến chọn cùng một đường đi (phương án hội tụ của lời giải).

d. Tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization)

Tối ưu hóa bầy đàn là một trong những thuật toán xây dựng dựa trên khái niệm trí tuệ bầy đàn để tìm kiếm lời giải cho các bài toán tối ưu hóa trên một không gian tìm kiếm nào đó. Tối ưu hóa bầy đàn được phát triển bởi Eberhart và Kennedy, phỏng theo hành vi của các bầy chim hay các đàn cá, tìm kiếm giải pháp tối ưu bằng việc cập nhật các thế hệ. Tối ưu hóa bầy đàn dựa trên các quy luật: (1) Tất cả các phần tử trong bầy đàn đều có xu hướng chuyển động về tổ và (2) Mỗi phần tử đều ghi nhớ vị trí gần tổ nhất nó đã đạt tới.

e. Giải thuật luyện thép (Simulated annealing)

Giải thuật luyện thép là giải thuật metaheuristic tìm kiếm địa phương khá phổ biến trong việc giải các bài toán tối ưu tổ hợp rời rạc. Tính năng chính của giải thuật luyện thép là nó cho phép việc thoát khỏi cực trị địa phương bằng cách cho phép di chuyển ngược (hill-climbing moves, là các bước di chuyển có hàm mục tiêu tồi hơn) với hy vọng tìm được lời giải tối ưu. Tính dễ cài đặt, khả năng hội tụ và việc kỹ thuật này sử dụng các bước di chuyển lùi để thoát khỏi cực trị địa phương đã làm cho kỹ thuật này trở nên phổ biến từ cách đây 2 thập kỷ.

Simulated annealing được đặt cho giải thuật vì nó giống như quá trình luyện thép thông thường, trong đó tinh thể thép được nung nóng, sau đó được cho phép làm nguội rất chậm tới khi nó đạt được cấu hình tinh thể cứng nhất (ở trạng thái năng lượng nhỏ nhất). Nếu quá trình làm nguội đủ chậm, kết quả cuối cùng sẽ là kim loại với cấu trúc rất tốt. Giải thuật luyện thép giống như quá trình trên, ở mỗi lần lặp của giải thuật áp dụng cho bài toán tối ưu tổ hợp, hàm mục tiêu được xem xét cho 2 lời giải, lời giải hiện tại và lời giải mới, chúng được so sánh với nhau và nếu lời giải mới tốt hơn nó sẽ luôn luôn được chọn, ngược lại nếu hàm mục tiêu của lời giải mới tồi hơn,nó vẫn có khả năng được chấp nhận trong hy vọng thoát khỏi cực trị địa phương để tìm kiếm cực trị toàn cục. Xác suất chấp nhận lời giải kém hơn tùy thuộc vào tham số nhiệt độ, tham số này sẽ giảm dần khi các lần lặp tiếp diễn.

Chìa khóa của giải thuật luyện thép chính là khả năng chấp nhận lời giải kém hơn, với hy vọng thoát ra khỏi cực trị địa phương. Khi nhiệt độ giảm xuống tới gần 0, quá trình này sẽ ít xảy ra hơn và phân bố lời giải sẽ giống như chuỗi Markov và hội tụ tới cực trị toàn cục.

1.3.3 Ưu nhược điểm của các kỹ thuật tối ưu

Căn cứ các đặc điểm của các kỹ thuật và kết quả của các nghiên cứu liên quan, có thể rút ra được một số nhận xét về ưu, nhược điểm của từng kỹ thuật như bảng 1.3.

Bảng1.3. Ưu nhược điểm của các kỹ thuật tối ưu

Kỹ thuật	Ưu điểm	Nhược điểm
Quy hoạch tuyến tính LP (LP SOLVE, ...)	Đảm bảo tìm được tối ưu toàn cục, tốc độ tính toán nhanh, kích thước bài toán có thể cực lớn.	Tất cả các quan hệ phải là tuyến tính
Quy hoạch phi tuyến NLP (Gradient, ...)	Đảm bảo tìm được tối ưu cục bộ, tốc độ tính toán khá nhanh, chính xác. Đảm bảo mô tả chính xác các quan hệ toán học.	Không đảm bảo tìm được tối ưu toàn cục, thường chỉ tìm được nghiệm tối ưu cục bộ, các quan hệ toán học thông thường phải ở dạng liên tục, lồi, đạo hàm được, ... Rất phức tạp về mặt toán học khi mô tả cho các bài toán lớn, độ phức tạp cao.
Quy hoạch động DP (IDP, DDP, ...)	Đảm bảo tìm được tối ưu toàn cục, có thể sử dụng cho mọi loại quan hệ toán học trong các bài toán phức tạp.	Không gian biến cực lớn, xây dựng bài toán cần nhiều kinh nghiệm cũng như mang tính cụ thể. Độ chính xác giảm do phải rời rạc hóa các biến, tốc độ tính toán chậm do khối lượng tính toán quá lớn. Thông thường thất bại khi giải quyết các bài toán dòng chảy đến ngẫu nhiên, có không gian biến từ 3 chiều trở

		lên vì kích thước bài toán tỉ lệ số mũ với số chiều của không gian biến
Tìm kiếm (EA, GA, Kiến, Bầy, ...)	Có thể sử dụng cho các bài toán có quan hệ toán học phức tạp, không gian biến lớn. Cho phép kết nối nhiều mô hình phức tạp khác nhau vào thành một hệ thống lớn → Có tính ứng dụng cao trong các bài toán thực tế. Khối lượng tính toán nhỏ hơn nhiều so với bài toán sử dụng Quy hoạch động	Kỹ thuật tìm kiếm lời giải tối ưu mang tính chất kinh nghiệm (Ví dụ: Truyền cảm hứng từ các nguyên tắc di truyền, sinh học,...). Không đảm bảo tìm được tối ưu toàn cục, thông thường chỉ đảm bảo tìm được các nghiệm lân cận

1.4 Tổng quan ứng dụng tối ưu vận hành hệ thống tưới tiêu trên thế giới

Ngay từ trước Thế chiến thứ II, các nhà khoa học Dantzig người Mỹ và Kantorovich người Liên Xô cũ đã phát triển lên mô hình Quy hoạch tuyến tính nổi tiếng để lập kế hoạch quản lý tối ưu cho ngành kinh tế. Mô hình này đã được áp dụng và phát triển cho đến ngày nay.

Trong mấy năm gần đây, các nhà khoa học trên thế giới đã tập trung nhiều vào các công trình nghiên cứu tối ưu cho ngành nước. Các mô hình tối ưu hóa, kể cả các mô hình tối ưu hóa động cho các hệ thống tài nguyên nước của các quốc gia, đặc biệt là các quốc gia đang phát triển như Ấn Độ, Trung Quốc, Ả Rập, Banglades, Brazin, … Các mô hình này được sử dụng cho hầu hết các lĩnh vực liên quan đến tài nguyên nước như tưới, phát điện, nuôi trồng thủy sản, cấp nước sinh hoạt, … và cả điều tiết phân bổ nhu cầu nước giữa các ngành này trên cùng một lưu vực. Hay có thể nói, các công trình nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật tối ưu hóa cả tĩnh lẫn động đang được sử dụng rộng rãi trong ngành kỹ thuật quản lý tài nguyên nước trên Thế giới.

Hiện nay, hai kỹ thuật tối ưu hoá bằng quy hoạch tuyến tính (LP) và quy hoạch động (DP) đã được sử dụng rộng rãi trong tài nguyên nước.Năm 1981, Loucks và những người khác đã minh họa áp dụng LP, quy hoạch phi tuyến (WLP) và DP cho tài nguyên nước.Nhiều tổng quan áp dụng kỹ thuật hệ thống cho bài toán tài nguyên nước đã được đăng tải nhiều lần, thí dụ như bởi Yakowitz [62].

Năm 1967, Young lần đầu tiên đề xuất sử dụng phương pháp hồi quy tuyến tính để vạch ra quy tắc vận hành chung từ tối ưu hoá xác định. Phương pháp mà ông đã dùng được gọi là “quy hoạch động (DP) Monte-Carlo”. Về cơ bản phương pháp của ông dùng kỹ thuật Monte-Carlo tạo ra một số chuỗi dòng chảy năm tổng hợp cho sông yêu cầu. Quy trình tối ưu thu được của mỗi chuỗi dòng chảy nhân tạo sau đó được sử dụng trong phân tích hồi quy để cố gắng xác định nhân tố ảnh hưởng đến chiến thuật tối ưu. Các kết quả là một xấp xỉ tốt của quy trình tối ưu thực.

Năm 1975, một mô hình quy hoạch để thiết kế tối ưu hệ thống kiểm soát lũ hồ chứa đa mục tiêu đã được phát triển bởi Windsor. Đến năm 1987, Karamouz và Houck đã vạch ra quy tắc vận hành chung khi sử dụng quy hoạch động xác định và hồi quy (DPR). Mô hình DPR sát nhập thủ tục hồi quy tuyến tính nhiều biến đã được Bhaskar và Whilach gợi ý năm 1980.

Quy tắc để điều hành một hệ thống nhiều hồ chứa đảm bảo tối ưu cho các ngành dùng nước cũng được phát triển bởi SDP (quy hoạch động ngẫu nhiên), yêu cầu mô tả rõ xác suất dòng chảy và hàm tổn thất.Phương pháp này được Butcher, Louks và nhiều người khác sử dụng.

Năm 1984, Datta và Bunget vạch ra chính sách điều hành hạn ngắn cho hồ chứa đa mục tiêu từ một mô hình tối ưu hoá với mục tiêu cực tiểu hoá tổn thất hạn ngắn. Nghiên cứu chỉ ra rằng khi có một sự nhân nhượng chịu một đơn vị độ lệch lượng trữ và một đơn vị độ lệch lượng xả từ các giá trị đích tương ứng thì phép giải tối ưu hoá phụ thuộc vào dòng chảy tương lai bất định cũng như hình dạng hàm tổn thất.

Năm 2005, Lizhong Wang đã phát triển và ứng dụng mô hình CWAM (Cooperative Water Allocation Model) để mô phỏng sự phân phối tài nguyên nước một cách hiệu quả và công bằng giữa những người sử dụng cạnh tranh ở quy mô lưu vực sông, dựa trên mạng lưới nút kết nối đa thời đoạn trong lưu vực. Mô hình tích hợp sự phân phối các quyền về nước, phân phối nước hiệu quả và phân phối thu nhập bình đẳng dưới những điều kiện ràng buộc về số lượng và chất lượng nước. Mô hình này đã được ứng dụng thử nghiệm tại lưu vực sông Amu Daria ở Trung Á và lưu vực sông South Saskat – Chewan ở phía Tây Cananda đã cho được những kết quả khả quan.

GAMS (General Algebraic Modeling System) là một công nghệ tiên tiến trong mô phỏng tối ưu hệ thống, được World Bank (WB) và United Nations (UN) phối hợp xây dựng và khuyến cáo sử dụng trong thập niên gần đây để giải các bài toán tối ưu của thực tế sản xuất nói chung và trong lĩnh vực tài nguyên nước nói riêng. GAMS đã được ứng dụng khá thành công tại một số lưu vực sông trên Thế giới như lưu vực sông Pirapama ở Đông Bắc Brazin, lưu vực sông Murray – Darling của Úc.Năm 2007, Viện nghiên cứu khí tượng và khí hậu của Đức đã kết hợp mô hình thủy văn WaSiM và mô hình kinh tế GAMS để phân phối nước cho lưu vực sông Volta ở phía Bắc vùng Guinea Sudan của Tây Phi.Đại học California, Mỹ, đã kết hợp GAMS và Mike Basin cho mục đích quản lý lưu vực São Francisco.

Vào giữa năm 2011, nhóm nghiên cứu gồm: Giáo sư R.Quentin Grafton (chủ trì), Giáo sư Tom Kompas - Hiệu trưởng trường Kinh tế Quản trị Crawford, Giáo sư Michael Stewardson (Đại học Melbourne - Australia) và Tiến sỹ Chu Hoàng Long (người Việt Nam) đến từ Đại học Quốc gia Australia (ANU) đã giành được giải thưởng khoa học uy tín Eureka của Australia, nghiên cứu một công cụ xác định cách thức phân bổ tài nguyên nước một cách tối ưu. Theo nhóm nghiên cứu này, một trong những vấn đề liên quan đến quản lý tài nguyên nước là cân đối giữa nước dành cho dân sinh và nước dành cho môi trường và nếu muốn áp dụng vào khu vực nào, thì chỉ cần tính toán các tham số tương ứng với khu vực đó và đưa vào mô hình để tính ra cách phân bổ nguồn nước. Việc phân bổ hợp lý nguồn nước không chỉ mang lại lợi ích môi trường mà còn mang đến lợi ích lớn về kinh tế.Nhóm nghiên cứu đã áp dụng mô hình này tại vùng sông Darling - Murray của Australia. Các phân tích cho thấy, việc ứng dụng kết quả của mô hình này trong giai đoạn 2001-2009 tại vùng Darling - Murray giúp tăng lợi ích ròng của xã hội lên khoảng từ 500 triệu đến 3 tỷ USD so với việc không can thiệp vào việc phân bổ nguồn nước tối ưu.

1.5 Tổng quan ứng dụng tối ưu vận hành hệ thống tưới tại Việt Nam

Tại Việt Nam, sự tranh chấp về nguồn nước ngày càng gay gắt. Cạnh tranh giữa sử dụng nguồn nước cho phát điện và các nhu cầu tiêu thụ nước khác, nhất là cho sản xuất nông nghiệp ở hạ du một số lưu vực sông lớn như sông Hồng, sông Mã, sông Cả, sông Vu Gia - Thu Bồn... đã trở nên căng thẳng.

Các nhà khoa học Hà Văn Khối, Phó Đức Anh và Đặng Hữu Đạo đã xuất bản nhiều tài liệu giảng dạy về vận hành tối ưu hệ thống trong quy hoạch và quản lý tài nguyên nước. Các tài liệu này giới thiệu các nội dung về phân tích hệ thống nguồn nước, tối ưu vận hành hệ thống được dùng để giảng dạy các sinh viên tại trường Đại học Thủy lợi. Việc ứng dụng tối ưu hóa vào bài toán phân bổ tài nguyên nước đã được thực hiện ở nhiều lưu vực sông ở Việt Nam từ năm 2000. Cuối năm 2004, Claudia Ringler, thuộc viện Nghiên cứu Chính sách Lương thực của Mỹ, đã công bố một phân tích chính sách bằng mô hình tối ưu hóa cho lưu vực sông Đồng Nai. Trong nghiên cứu này, Claudia Ringler đã xây dựng một mô hình tối ưu hóa tĩnh với hàm mục tiêu dạng toàn phương (bậc 2) và các ràng buộc truyền thống. Kết quả đã chứng tỏ sự phù hợp của việc ứng dụng mô hình tối ưu hóa để phân tích các chính sách quản lý tài nguyên nước ở lưu vực sông Đồng Nai.

Năm 2002, Tô Trung Nghĩa, Viện Quy Hoạch Thủy Lợi, đã chủ trì một nghiên cứu về tối ưu hóa trong quản lý, quy hoạch và khai thác tài nguyên nước lưu vực sông Hồng – Thái Bình. Nhóm nghiên cứu đã sử dụng mô hình GAMS làm nền tảng để xây dựng các mô hình tối ưu. Năm 2007, Đào Văn Khiêm, trường đại học Thủy Lợi, chủ trì đề tài nghiên cứu cấp Bộ liên quan tới bài toán tối ưu phân bổ tài nguyên nước. Nhóm tác giả đã xây dựng các hàm mục tiêu dựa trên giá trị kinh tế của các đối tượng sử dụng nước khác nhau như tưới, phát điện, sinh hoạt, … Cũng trên lưu vực sông Hồng – Thái Bình, năm 2012, Bùi Thị Thu Hòa và nhóm nghiên cứu [1] đã nghiên cứu bài toán phân bổ nguồn nước bằng mô hình tối ưu hóa động. Mô hình này xem xét phân bổ nước theo khu vực, vùng và tiểu vùng với những điều kiện ràng buộc và hàm lợi ích của các ngành tương ứng. Với việc xây dựng mô hình lý thuyết cho bài toán phân bổ nước với cách tiếp cận tối ưu hóa động, nhóm nghiên cứu đã giải quyết được bài toán quy hoạch phi tuyến, với số biến và ràng buộc không hạn chế.

Năm 2006, Ngô Lê Long đã ứng dụng công cụ mô hình toán Mike 11 và Autocal kết hợp mô phỏng thủy động lực học (Mike 11), dò tìm giải pháp vận hành tối ưu (Autocal) hài hòa mục tiêu phát điện và chống lũ trong điều hành hồ Hòa Bình. Kết quả nghiên cứu cải thiện đáng kể lượng điện phát mà không ảnh hưởng đến an toàn phòng lũ cho hạ du. Nghiên cứu cũng đề xuất khung điều hành theo thời gian thực bao gồm dự báo theo thời gian thực dòng chảy vào hồ trong thời gian mùa lũ.

Năm 2009, Nguyễn Vũ Huy và Đỗ Huy Dũng [22] đã áp dụng mô hình GAMS để mô phỏng sự phân phối tối ưu tài nguyên nước và đánh giá các lợi ích ròng đối với các kiểu sử dụng nước trong nông nghiệp, công nghiệp, sinh hoạt và thủy điện cho nghiên cứu "Ứng dụng mô hình phân tích kinh tế GAMS trong đánh giá tài nguyên nước – Trường hợp điển hình Lưu vực sông Lá Buông". Các giá trị kinh tế được đánh giá trong mô hình gồm có lợi ích ròng của từng nhóm sử dụng nước và lợi ích ròng bình quân trên mỗi m^3 nước sử dụng. Hạn chế của mô hình này là không đánh giá được giá trị biên cũng như lợi ích ròng ở biên của từng kiểu sử dụng nước.

Năm 2010, Nguyễn Thị Phương [17] đã nghiên cứu đề tài "Quản lý tổng hợp lưu vực sông Bé trên cơ sở cân bằng tài nguyên nước" áp dụng mô hình GAMS để tính toán cân bằng nước cho lưu vực sông Bé và mô phỏng sự phân phối tối ưu tài nguyên nước, đánh giá lợi ích ròng của từng nhóm sử dụng nước nông nghiệp, công nghiệp, sinh hoạt và thủy điện.

Năm 2012, Nguyễn Thanh Hùng [15] đã nghiên cứu về định giá nước và phân phối tối ưu tài nguyên nước khan hiếm ở cấp độ lưu vực sông, nghiên cứu này được ứng dụng thử nghiệm cho vùng hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai. Nghiên cứu đã cho ra hai kết quả rất hữu ích cho việc ra các quyết định về mặt chính sách: (1) Giá trị của nước thô tương ứng với các mực độ thiếu hụt nước khác nhau và (2) Các lưu lượng phân bổ tối ưu cho các nhu cầu sử dụng cạnh tranh đồng thời. Mô hình có tính ứng dụng cao, có thể áp dụng tương tự đối với các lưu vực sông khác ở Việt Nam.

Năm 2014, Nguyễn Văn Tuấn, Viện Quy hoạch Thủy lợi, cũng đã nghiên cứu sử dụng mô hình cân bằng tổng quát (CGE – Computable General Equilibrium) để giải quyết bài toán phân bổ nước tối ưu trong nông nghiệp tại lưu vực sông Srepok. Hàm mục tiêu của bài toán tối đa lợi ích có ràng buộc đẳng thức là tổng lợi ích của tưới cho trồng trọt cho các loại cây trồng lúa Đông Xuân, lúa Hè Thu và cây cà phê ở các khu tưới trên lưu vực sông Srepok. Trong bài toán CGE này, mục tiêu chính tập trung vào nhiệm vụ phân bổ nước tưới cho 46 khu tưới khác nhau trong các mùa vụ khác nhau. Từ kết quả tính toán cho thấy, vụ Đông Xuân phải cấp 45,54% lượng nước, vụ Hè Thu 23,45% và cà phê là 31,02%.

Năm 2015, Nguyễn Thanh Tùng, Nguyễn Thị Minh Tâm và Nguyễn Thị Thu Nga [18] đã sử dụng phần mềm WEAP (Water Evaluation and Planning System – Hệ thống đánh giá và quy hoạch nguồn nước) nghiên cứu phân bổ tối ưu nguồn nước trên lưu vực sông Ba. Kết quả của nghiên cứu đã góp phần tăng hiệu quả kinh tế từ các hoạt động dùng nước.

Gần đây nhất, viện Quy hoạch Thủy lợi đã phối hợp với trường đại học Bách khoa Milan của Ý, thực hiện dự án "Quản lý bền vững tài nguyên nước lưu vực sông Hồng – Thái Bình trong bối cảnh biến đổi khí hậu (IMRR)". Bộ công cụ mô hình Red-TwoLe của dự án giúp giải quyết bài toán vận hành tối ưu nguồn nước từ các hồ chứa phục vụ các yêu cầu cấp nước, chống lũ, bảo đảm giao thông thủy, môi trường hạ du, … Hệ thống sông Hồng -Thái Bình, mặc dù có 4 hồ chứa lớn và nhiều công trình thủy lợi điều hòa nguồn nước khác nhưng tình trạng hạn hán, thiếu hụt nguồn nước vẫn diễn ra ngày một nghiêm trọng, việc duy trì dòng chảy tối thiểu, giảm thiểu ô nhiễm và xâm nhập mặn chưa được giải quyết triệt để; về mùa lũ, nguy cơ lũ lụt vẫn có thể xảy ra. Bộ công cụ này sẽ được chuyển giao lại cho các cơ quan liên quan tại Việt Nam như Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Bộ Tài nguyên và Môi trường và Viện Quy hoạch Thủy lợi để sử dụng trong việc phân bổ tối ưu nguồn nước, quản lý và hoạch định các chính sách vận hành, điều hòa nguồn nước trên hệ thống sông Hồng – Thái Bình trong tương lai theo hướng phát triển bền vững, ở cả cấp quy hoạch và quản lý.

Kết luận chương 1

Như vậy, để đối phó với hạn hán cần phải sử dụng tổng hợp nhiều giải pháp – từ vĩ mô tới vi mô, từ kỹ thuật – công nghệ tới cơ chế chính sách, từ đầu tư tài chính đến đào tạo và tăng cường năng lực cộng đồng. Mỗi giải pháp là một mắt xích quan trọng góp phần làm giảm thiểu tác động và rủi ro do hạn hán gây ra.

Hiện tại, ở Việt Nam, để giải quyết bài toán hạn, chủ yếu tập trung vào việc nghiên cứu các kỹ thuật sử dụng tiết kiệm nước như các kỹ thuật tưới tiết kiệm. Cũng có một số nghiên cứu về các biện pháp tích trữ nước vào mùa mưa để sử dụng cho các tháng mùa kiệt, tuy nhiên, hầu như các nghiên cứu này chỉ dừng ở mức độ nghiên cứu các giải pháp thu trữ, cố gắng đảm bảo tích được một lượng nước đủ để đáp ứng cho nhu cầu cây trồng vào mùa khô mà chưa đi sâu vào nghiên cứu giải pháp tích trữ nước tối ưu để tận dụng lượng nước mùa mưa mà không gây lãng phí. Luận án tập trung nghiên cứu giải pháp tích trữ nước tối ưu điều tiết thời gian thực trên hệ thống, nhằm đảm bảo tích trữ nước hiệu quả phục vụ cho nông nghiệp trong thời kỳ thiếu nước.

CHƯƠNG II. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Giới thiệu khu vực nghiên cứu

2.1.1 Sơ lược khu vực nghiên cứu

Hạ lưu sông Cả có 7 hệ thống thủy lợi lớn lấy nước trực tiếp từ sông và một số hệ thống lấy nước bằng các trạm bơm. Trong đó tỉnh Nghệ An có 2 hệ thống lớn là đập tràn Đô Lương (Bắc Nghệ An) và hệ thống Cống Nam Đàn (Nam Nghệ An). Hệ thống tiêu gồm cụm tiêu cống Bến Thủy và trạm bơm tiêu Hưng Châu. Tỉnh Hà Tĩnh có 3 Hệ thống thủy lợi gồm: Linh Cảm, Can Lộc và Hồng Lam. Ngoài ra còn có 74 trạm bơm lấy nước trực tiếp từ hệ thống sông Cả để tưới. Với tổng diện tích tưới thiết kế: 81.691,14 ha

Hệ thống Nam lấy nước sông Cả qua cống Nam Đàn bằng kênh Thấp, kênh Lam Trà, kênh Gai tưới và tạo nguồn tưới cho các huyện Nam Đàn, Hưng Nguyên, Nghi Lộc. Với tổng diện tích tưới thiết kế: 27.000 ha.

Vùng kênh Lê Xuân Đào nằm ở hạ lưu sông Cả gồm 9 xã nằm phía Đông Nam của huyện Hưng Nguyên, thuộc hệ thống Nam - Nghệ An. Đây là vùng trọng điểm lúa và có trình độ thâm canh cao. Hệ thống kênh trong vùng tương đối lớn, liên kết chặt chẽ với nhau và là các kênh chìm được sử dụng tưới tiêu kết hợp. Hiện tại, khả năng cung cấp nước của hệ thống tưới chưa đủ đáp ứng nhu cầu trong vùng, do đó, hệ thống kênh trong vùng được sử dụng để trữ nước phục vụ cho thời kỳ thiếu nước. Tuy nhiên, kích thước các kênh chưa đủ đáp ứng cho nhu cầu trong thời kỹ thiếu nước. Đặc biệt, vẫn chưa có một giải pháp vận hành cụ thể, chủ yếu tích trữ nước theo cảm tính của người quản lý. Điều này dẫn đến, có thời điểm vào cuối mùa mưa, cán bộ quản lý quyết định trữ nước trên kênh nhưng sau đó gặp trận lũ muộn dẫn đến phải bơm tiêu, gây tổn thất lớn về chi phí vận hành bơm, có trường hợp có thể gây ngập úng làm thiệt hại đến cây trồng. Hoặc có trường hợp lại tích nước quá sớm nên cũng chỉ sử dụng được lượng nước không đáng kể vào mùa khô.Điều này gây khó khăn lớn cho các nhà quản lý và vận hành.

Với đặc điểm các kênh lớn và có bờ tương đối rộng, rất thích hợp cho việc mở rộng để trữ nước. Vì vậy, tác giả chọn vùng nghiên cứu là vùng 9 xã kênh Lê Xuân Đào với mục tiêu chính là nghiên cứu mở rộng các kênh hợp lý và đưa ra được một giải pháp vận hành các kênh sao cho đáp ứng được nhu cầu nước trong mùa khô với chi phí vận hành hệ thống là nhỏ nhất.

Đặc điểm cụ thể của khu vực nghiên cứu:

a. Vị trí địa lý

Khu vực nghiên cứu nằm trong khoảng 18^0 35 phút đến 18^0 47 phút vĩ độ Bắc và 105^0 35 phút đến 105^0 40 phút kinh độ Đông.

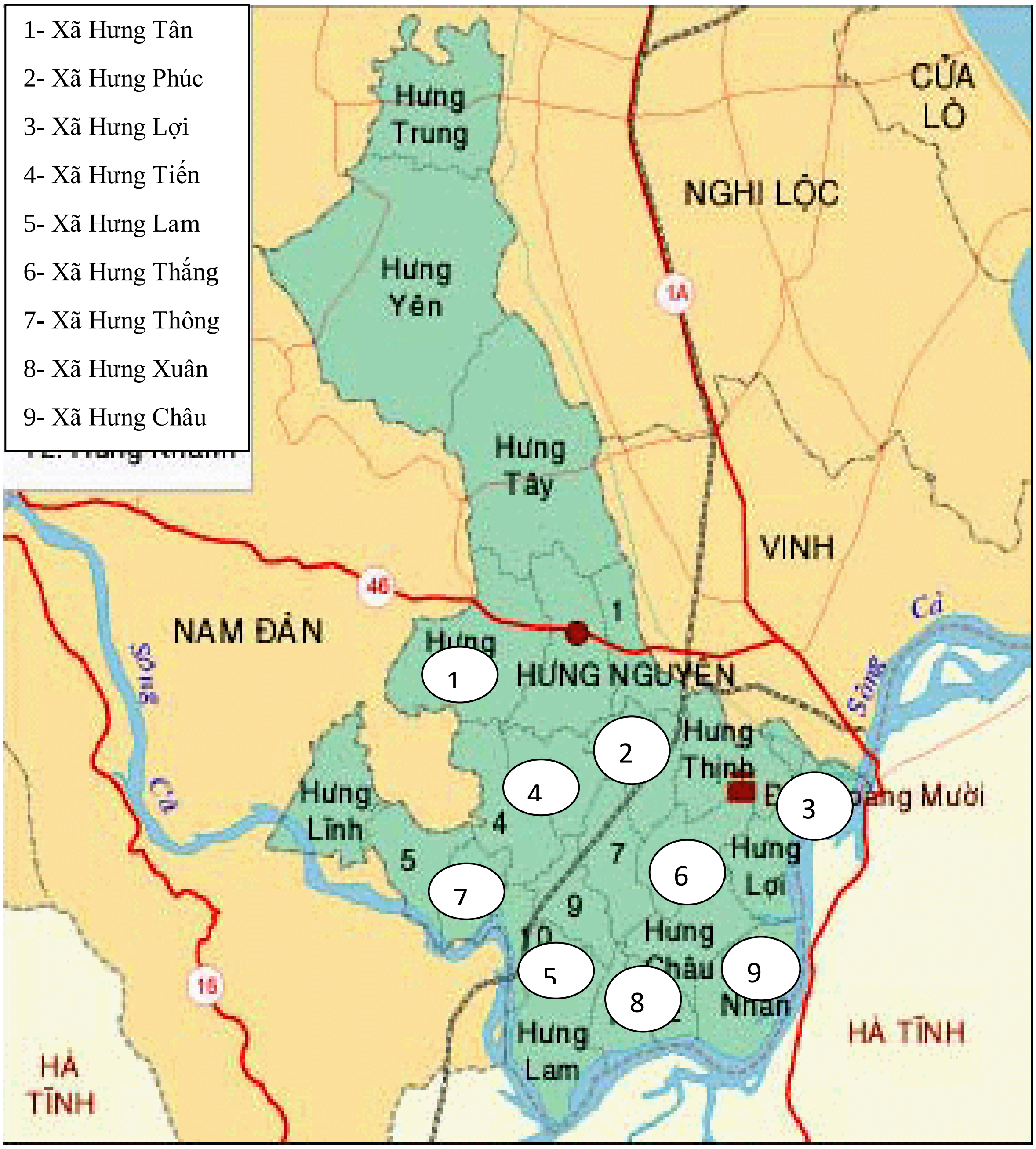
Khu vực được giới hạn bởi các vị trí như sau:

- Phía Bắc giáp xã Hưng Thịnh, Hưng Mỹ.
- Phía Nam và phía Đông giáp sông Lam.
- Phía Tây giáp xã Hưng Long, xã Nam Cát.
- Phía Đông giáp với thành phố Vinh.

Vùng kênh Lê Xuân Đào nằm ở hạ lưu sông Cả gồm 9 xã: 1- Xã Hưng Tân; 2- Xã Hưng Phúc; 3- Xã Hưng Lợi; 4- Xã Hưng Tiến ; 5- Xã Hưng Lam; 6- Xã Hưng Thắng; 7- Xã Hưng Thông; 8- Xã Hưng Xuân; 9- Xã Hưng Châu. Cụ thể vị trí các xã như bản đồ hình 2.1.

b. Địa hình, địa mạo

Vùng nghiên cứu nằm trong vùng đồng bằng Nam Hưng Nghi của tỉnh Nghệ An, địa hình chủ yếu là đồng bằng, thấp trũng, độ cao trung bình của bề mặt đồng bằng từ 1,5 m đến 2 m, nơi cao nhất là 3 m, thấp nhất là 0,6 m và thấp dần từ Tây sang Đông.



Nguồn: Sở NN&PTNT Nghệ An

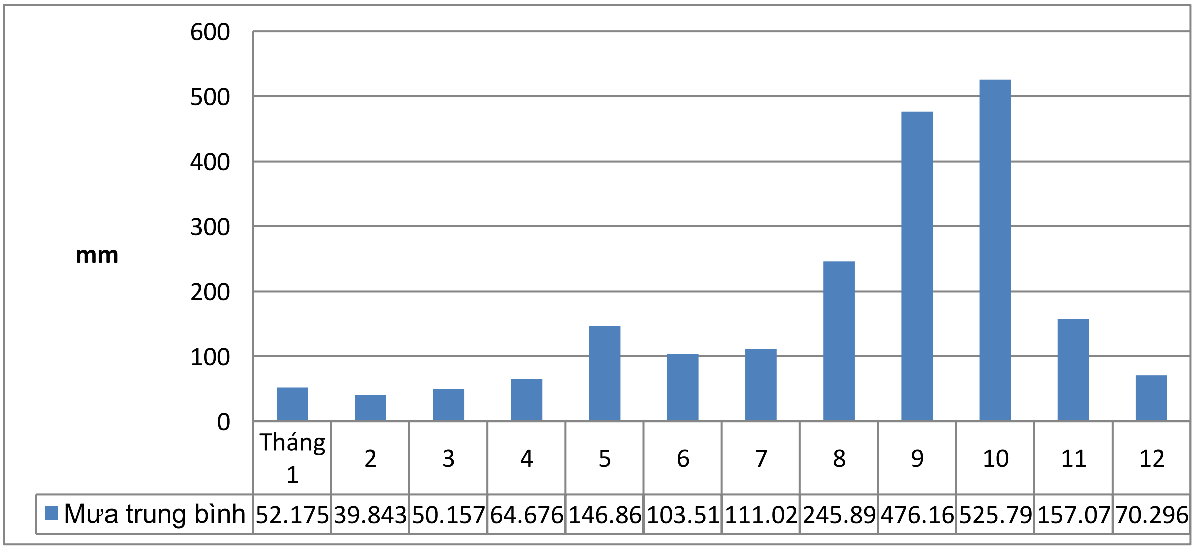
Hình 2.1. Bản đồ khu vực nghiên cứu

c. Điều kiện khí hậu

Vùng nghiên cứu nằm trong vùng khí hậu mang tính chất nhiệt đới gió mùa, được chia làm 2 mùa: mùa hạ nóng ẩm, mưa nhiều (từ tháng 5 đến tháng 10) và mùa đông lạnh, ít mưa (từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau).

- Chế độ nhiệt: Chia làm 2 mùa rõ rệt, mùa nóng từ tháng 5 đến tháng 9, tháng nóng nhất là tháng 7 với nhiệt độ cao nhất là 39,4 ^{0}C mùa lạnh từ tháng 10 đến tháng 4 năm sau, nhiệt nhiệt độ thấp nhất là 6,2 ^{0}C, nhiệt độ trung bình là 19,9 ^{0}C, số giờ nắng trung bình năm là 1637 giờ.

- Chế độ mưa: Lượng mưa bình quân hàng năm là 1900 mm, năm ít nhất là 1100 mm, năm cao nhất là 2600 mm.



Hình 2.2. Biểu đồ mưa trung bình tháng

Từ biểu đồ mưa trung bình tháng (hình 2.2) trong 50 năm, từ năm 1960 đến năm 2010, nhận thấy lượng mưa chủ yếu tập trung vào 3 tháng 8, 9 và 10. Tháng 10 là tháng có lượng mưa trung bình 50 năm lớn nhất, đạt 525,8 mm. Các tháng còn lại lượng mưa rất ít,đặc biệt, tháng 2 lượng mưa trung bình 50 năm chỉ đạt 39,8 mm. Như vậy, có thể thấy có sự chênh lệch rất lớn giữa lượng mưa mùa khô và lượng mưa mùa mưa.

+ Mùa khô từ tháng 11 đến tháng 5 năm sau, lượng mưa chỉ chiếm 15% lượng mưa cả năm, tháng khô hạn nhất là tháng 1, 2 lượng mưa chỉ đạt 9 - 80 mm/tháng.

+ Mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 10, lượng mưa tập trung chiếm 80 - 85% lượng mưa cả năm. Tháng nhiều mưa nhất là tháng 8, 9 có lượng mưa từ 230

- 560 mm/tháng, số ngày mưa 14 - 19 ngày/tháng, mùa nóng thường kèm theo gió bão và lũ lụt.

- Độ ẩm không khí: Trị số độ ẩm tương đối trung bình năm chiếm 86%, thời kỳ độ ẩm không khí thấp nhất tập trung vào mùa khô và những ngày có gió phía Tây Nam (gió Lào), độ ẩm không khí có thể xuống tới 62%, hạn chế khả năng sinh trưởng của cây trồng.

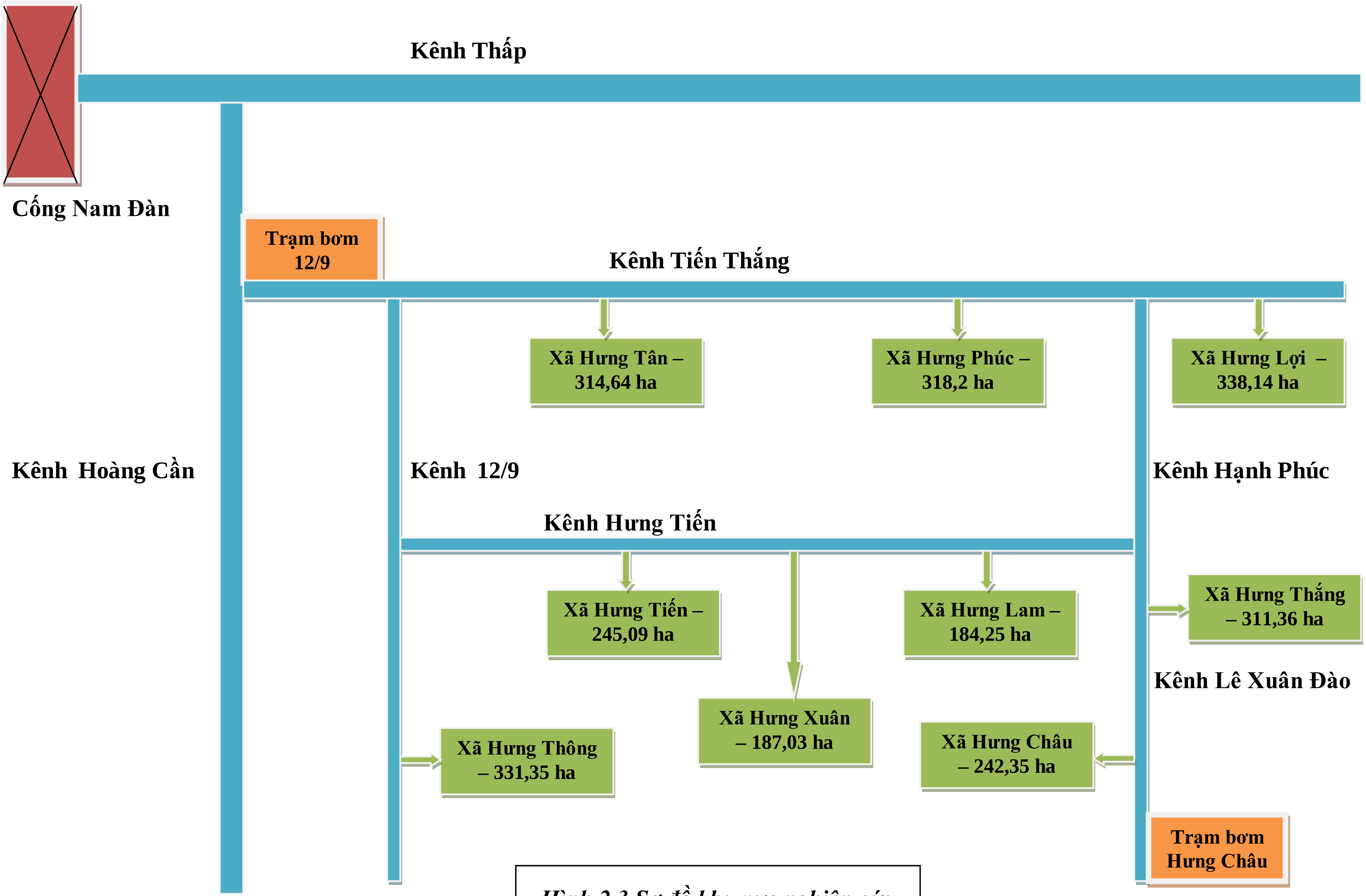
- Chế độ gió: Chịu tác động của hai hướng gió chính: gió mùa Đông Bắc và gió Đông Nam.Trong đó, gió mùa Đông Nam từ tháng 4 đến tháng 10.Đặc biệt vào các tháng 5, 6, 7 thường xuất hiện gió Phía tây Nam (hay còn gọi là gió Lào). Gió Phía tây Nam là loại hình thời tiết đặc trưng cho mùa hạ của vùng Bắc Trung bộ, đã gây ra khô nóng và hạn hán, ảnh hưởng nghiêm trọng đến sản xuất và đời sống sinh hoạt của người dân trong vùng.

- Lượng bốc hơi: Bình quân năm là 943 mm, lượng bốc hơi trung bình của các tháng nóng (từ tháng 5 đến tháng 9) là 140 mm, ba tháng mùa mưa (tháng 9, 10, 11) trung bình đạt 59 mm, tháng có lượng bốc hơi nhỏ nhất là tháng 2 chỉ có 29 - 30 mm.

2.1.2 Hiện trạng phát triển nông nghiệp vùng nghiên cứu

Vùng 9 xã kênh Lê Xuân Đào nằm phía Đông Nam của huyện Hưng Nguyên, bao gồm các xã Hưng Tân, Hưng Thông, Hưng Tiến, Hưng Lam, Hưng Xuân, Hưng Thắng, Hưng Phúc, Hưng Lợi, Hưng Châu, là vùng đồng bằng, chủ yếu là sản xuất nông nghiệp, chịu nhiều ảnh hưởng của thiên tai như lũ lụt, hạn hán, gió lào. Tổng số diện tích tự nhiên vùng 9 xã là 4.637,6 ha, trong đó: Diện tích đất nông nghiệp: 2.475,41 ha; diện tích đất lâm nghiệp: 31,47 ha; diện tích đất chuyên dùng: 752,93 ha; diện tích đất thổ cư: 162,46 ha; diện tích đất chưa sử dụng: 1.197,28 ha. Cụ thể sơ đồ phân bổ đất nông nghiệp khu vực nghiên cứu như hình 2.3 và cơ cấu diện tích đất theo bảng 2.1.

.



Hình 2.3.Sơ đồ khu vực nghiên cứu

Bảng 2.1. Cơ cấu diện tích đất vùng 9 xã kênh Lê Xuân Đào

TT	**Các xã**	**D.tích tự nhiên (ha)**	**Các loại đất (ha)**				
			Đất NN	***Đất LN***	***Đất chuyên dùng***	***Thổ cư***	***Chưa sử dụng***
1	Hưng Xuân	434,81	187,03	6,8	94,79	17,28	128,91
2	Hưng Lam	647,98	184.25	15,0	45,44	18,50	383,89
3	Hưng Châu	448,21	242,35	0,37	97,47	18,75	89,27
4	Hưng Lợi	766,95	338,14	0	79,88	18,23	330,7
5	Hưng Phúc	483,83	318,2	0	74,17	16,67	74,79
6	Hưng Thắng	451,1	311,36	0	88,74	17,15	33,85
7	Hưng Tiến	370,8	245,09	8,4	79,08	14,44	23,79
8	Hưng Thông	551,58	331,35	0	111,03	22,74	68,46
9	Hưng Tân	482,29	317,64	0	82,33	18.70	63,62

Nguồn: Phòng Tài nguyên và Môi trường huyện Hưng Nguyên

Cơ cấu sản xuất của vùng 9 xã là sản xuất 2 vụ ăn chắc gồm: Vụ Đông Xuân, Hè Thu.

- Vụ Đông Xuân chủ yếu là các giống lúa thuần như Nàng xuân, NA2, DTL2, XT28, và các giống lúa lai như BTE1, nhị ưu 986, Khải Phong 1, Việt lai 24 vv. Thời vụ gieo trồng từ 28 tháng 12 đến khoảng 15 tháng 1, tùy vào từng chân ruộng bố trí cho phù hợp. Năng xuất lúa vụ Đông Xuân từ 45- 52 tạ/ha.

- Vụ Hè Thu được gieo cấy với bộ giống gồm các giống lúa thuần như QR1, VS1, NDD5. Các giống lúa lai Quy ưu 1, Việt lai 20, Việt lai 24, Thiên nguyên ưu 16. Thời vụ đối với các vùng úng trũng được cấy sớm để thu hoạch trước 30/8 hàng năm để tránh bị úng lụt. Đối với vùng đất vàn là vùng ít bị ngập lụt hơn, nhưng khi gặp mưa lớn giữa vụ vẫn bị ngập nên thời vụ gieo cấy cũng phải tính toán để thu hoạch trước 10/9. Năng suất lúa vụ Hè Thu thường từ 35 - 45 tạ/ha.

Diện tích, năng suất và sản lượng được thể hiện cụ thể tại bảng 2.2.

Bảng 2.2. Diện tích, năng suất, sản lượng lúa vùng 9 xã kênh Lê Xuân Đào năm 2012

Xã	**Lúa**		
	D.tích(ha)	***NS (tạ/ha)***	***SL(tấn)***
Hưng Xuân	296	48,8	14,44
Hưng Lam	175	45,3	7,93
Hưng Châu	391	54,2	21,2
Hưng Lợi	340	51,7	17,58
Hưng Phúc	566	46,8	26,5
Hưng Thắng	1106	46,1	50,98
Hưng Tiến	465	47,3	22,0
Hưng Thông	485	45,6	22,11
Hưng Tân	1019	50,9	51,86

Nguồn: Sở NN và PTNT Nghệ An

c. Nguồn nước tưới

Nguồn nước cấp để tưới cho khu vực là sông Lam, lấy qua cống Nam Đàn qua kênh Thấp, kênh HoàngCần và tiếp nước cho kênh Tiến Thắng qua trạm bơm 12/9- Do nguồn nước lấy vào qua cống Nam Đàn chưa đủ vì mực nước trước cống Nam Đàn xuống thấp, khả năng lấy vào cống hiện tại chỉ khoảng 5,6 ÷ 21,3 m^3/s đạt 69% năng lực thiết kế. Trong khi đó lưu lượng thực cần là 40 m^3/s, do vậy hệ thống thiếu nước nghiêm trọng, cụ thể như bảng 2.3.

Khi mực nước trên các kênh thấp, các trạm bơm dọc tuyến chỉ hoạt động theo thời gian triều lên (0,7 m trở lên khoảng 3-4 giờ). Trên các tuyến kênh nối tiếp (kênh Gai, sông Vinh) và tuyến Hoàng Cần phục vụ cho các trạm bơm trong huyện Hưng Nguyên rất khó khăn (kể cả trạm bơm chuyền 12/9) bơm tạo nguồn cho kênh Lê Xuân Đào phục vụ cho các xã cuối nguồn rất khó khăn.

Bảng 2.3. Diến biến mực nước Sông Lam các tháng kiệt một số năm

Năm	**Tháng / Mực nước**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**11**	**12**
2008	Mực nước min		0,80	0,75	0,70	0.70		0,95	0,55
	Mực nước max		1,45	1,45	1,25	2,60		2,3	1,55
	Mực nước TB		1,125	1,12	0,975	1,65		1,625	1,05
2009	Mực nước min		0,95	0,85	0,85	0,95			
	Mực nước max		1,45	1,15	1,25	1,35			
	Mực nước TB		1,2	1,0	1,0	1,15			
2010	Mực nước min	0,55	0,5	0,2	0,15	0,2	0,15		
	Mực nước max	1,5	1,25	1,25	1,3	1,3	1,3		
	Mực nước TB	1,02	0,87	0,73	0,72	0,75	0,725		
2011	Mực nước min		0,55	0,80	0,50	0,50	0,60		
	Mực nước max		1,35	1,55	1,05	1,65	6,88		
	Mực nước TB		0,95	1,175	0,775	1,08	3.74		
2012	Mực nước min		0,80	0,70	0,50	0,45	0,55		
	Mực nước max		1,40	1,70	1,45	2,50	3,05		
	Mực nước TB		1,1	1,2	0,975	1,475	1,8		
2013	Mực nước min		0,08	0,65	0,60	0,55			
	Mực nước max		1,35	1,35	1,35	0,85			
	Mực nước TB		0,715	1,0	0,95	0,7			

d. Hiện trạng công trình đầu mối

❖ Công trình đầu mối cấp nước cho khu vực là cống Nam Đàn (hình 2.4), với các thông số kỹ thuật như bảng 2.4:

Bảng 2.4. Thông số kỹ thuật cống Nam Đàn

Số cửa	**Chiều rộng cửa (b×h)**	**∇đáy (m)**	**∇đỉnh (m)**	**ω tưới TK (ha)**	**Qmax (m^3/s)**	**H (m)**	**L kênh chính (m)**
04	2 × 3 m	- 1,3	+ 10,3	27.000	33,67	1,15	23,33

Hình 2.4. Cống Nam Đàn

Cống Nam Đàn được xây dựng từ năm 1936-1939 nằm trên địa bàn thị trấn Nam Đàn, cống có nhiệm vụ cung cấp nước tưới, ngăn lũ và giao thông đường thuỷ cho khu vực hệ thống Nam Nghệ An. Cống có 4 cửa, khẩu độ mỗi cửa là BxH= (2x3)m, cánhcửa bằng thép đóng mở bằng khoá V15, một cửa âu thuyền BxH =(5x8) m đóng mở bằng tời điện. Cao trình đáy cống -1.30 m, mực nước TK thượng lưu +1.05 m, mực nước TK hạ lưu +0.903 m, cao trình mặt cầu (mặt đường giao thông)

+10.30 m. Quy trình vận hành công trình trong mùa bão lụt khi mực nước sông Lam vượt quá cao trình +3.50 m phải đóng kín các cửa cống, không làm nhiệm vụ giao thông thuỷ. Từ ngày 15/8 trở đi chỉ duy trì mực nước tưới ở mức thiết kế.

e. Hiện trạng các công trình tưới vùng nghiên cứu

❖ Trạm bơm tiếp nguồn 12/9

Hình 2.5. Trạm bơm 12/9

- Hiện tại trạm 12/9 có 5 máy loại 1000 m^3/h, bình thường chỉ hoạt động 4 máy (1,1 m^3/s), đảm nhiệm tiếp nước tưới từ kênh Hoàng Cần cho 1.817,16 ha vùng 9 xã thuộc kênh Lê Xuân Đào.Khi mực nước tại cống Nam Đàn xuống thấp 0,75 m trở xuống, lúc này mực nước tại trạm 12/9 chỉ khoảng 0,3- 0,35 m trên kênh Hoàng Cần, rất khó khăn cho các trạm bơm nội đồng hoạt động.

- Thực tế để tưới đồng thời phục vụ kịp thời vụ cho sản xuất nông nghiệp cần 7 máy tương đương 2,2 m^3/s. Hiện tại trạm 12/9 mới có 5 tổ máy nên những năm mực nước sông Lam xuống thấp hơn thiết kế các xã phải tận dụng mọi nguồn nước trữ để bơm tưới đảm bảo thời vụ, rất vất vả.

❖ Kênh chìm trữ nước trong vùng

Trong hệ thống có 5 kênh trữ nước đồng thời cũng là các trục tiêu chính cho vùng nhờ trạm bơm tưới, tiêu kết hợp Hưng Châu. 5 kênh trữ này là kênh 12/9, Lê Xuân

Đào, Tiến Thắng, Hưng Nguyên, Hạnh Phúc, các kênh có tổng chiều dài 27.900 m, mặt cắt hình thang b = 5 ÷ 22m, H =2,5 ÷ 4,0 m. Khi hạn hán là các điểm trữ nước chống hạn rất tốt. Thống kê các kênh tại bảng 2.5.

Hình 2.6. Kênh Tiến Thắng

5 kênh trữ nước trong hệ thống là tương đối lớn.Tuy nhiên, một số đoạn bị bồi lắng, ảnh hưởng đến vận chuyển nước cũng như tích trữ nước.

Bảng 2.5. Thống kê các trục kênh trữ nước trong vùng

TT	Tên kênh	Kích thước kênh				Hiện trạng
		L (m)	B (m)	H (m)	Mái kênh	
1	Kênh 12/9	4300	5,0	3,9	1,5	Bị bồi lắng
2	Kênh Lê Xuân Đào	3500	4,0	3,9	1,0	Bị bồi lắng
3	Kênh Hạnh Phúc	1800	4,0	3,9	1,0	Bị bồi lắng
4	Kênh Tiến thắng	18.300	20,0	2,5	1,0	Bị bồi lắng
5	Kênh Hưng Nghĩa		20,0	2,5	1,0	Bị bồi lắng

Nguồn: Công ty Thủy lợi Nam Nghệ An

- Các kênh đang bị bồi lấp nhiều chỗ, kênh Lê Xuân Đào nhiều đoạn sạt mái, không đảm bảo mặt cắt thiết kế tổn thất nước lớn, làm cho việc lấy nước đổ ải và tưới dưỡng vụ xuân của các địa phương trong hệ thống gặp rất nhiều khó khăn, phải lắp đặt các trạm bơm dã chiến, nối dài ống hút các trạm bơm dẫn đến chi phí phục vụ tưới cao.

- Theo số liệu thiết kế, các công trình đều thoả mãn nhu cầu tưới cho toàn bộ diện tích canh tác của hệ thống. Tuy nhiên, hiện tượng thiếu nước tưới vẫn thường xuyên xảy ra, đặc biệt là vùng xa, vùng nằm cuối kênh tưới và các vùng ranh giới giữa các khu tưới bằng bơm và tưới tự chảy.

- Trạm bơm Hưng Châu.

Bảng 2.6. Thông số kỹ thuật trạm bơm Hưng Châu

Số máy	**Lưu lượng Trạm (m^3/h)**	**∇Đ máy (m)**	**ω tiêu TK (h)**	**ω tưới TK (h)**	**L kênh chính (m)**	**Kích thước(m)**	**Tình trạng**
08	64.000	+ 4,85	2.488	303,2	3.500	4 ×3,9	Bi một số máy bị hỏng

Trạm được xây dựng từ năm 1977 đến năm 1979 nâng cấp tu sửa năm 2000, thuộc địa phận xã Hưng Châu huyện Hưng Nguyên. Trạm được thiết kế tưới tiêu kết hợp gồm 8 máy bơm trục đứng loại DU - 750 động cơ 200 KW, lưu lượng mỗi máy 8.000 m^3/h tiêu úng cho 2.488 ha và hiện tại trạm bơm này còn được sử dụng bơm tưới, khi cần trạm dùng một máy bơm để tưới cho 303,2 ha ruộng đất.

Trạm bắt đầu vận hành bơm khi mực nước ngoài sông ở báo động 3 (+5.3 m) và mực nước bể hút ở cao trình + 1.50 m, khi mực nước ở bể hút xuống cao trình +1.00 m thi đóng cống qua đê và ngừng vận hành.

Theo quy trình vận hành thì khi lũ lớn đóng cống số 2 để ngăn nước kênh Lam Trà và kênh 12/9 để trạm bơm Hưng Châu bơm tiêu, khi lũ thấp thì đóng cống Hưng Nghi.

Nhận xét, đánh giá hệ thống nội đồng: Hệ thống công trình thủy lợi của khu vực kênh Lê Xuân Đào nằm trong huyện Hưng Nguyên đã được quy hoạch. Trong thời gian qua, hệ thống đã phát huy hiệu quả phục vụ tốt cho sản xuất nông nghiệp, góp phần nâng cao năng suất cây trồng, ổn định sản xuất. Tuy nhiên đến nay hệ thống có nhiều tồn tại:

- Công trình thủy lợi đã được xây dựng đủ đảm bảo tưới tiêu đáp ứng yêu cầu sản xuất. Song thực tế các công trình mới đáp ứng được khoảng 72 % diện tích.

- Công trình được xây dựng và đưa vào sử dụng giai đoạn 1978 - 1990 đến nay đã 30 – 35 năm nên nhiều công trình trong hệ thống bị xuống cấp nghiêm trọng, năng lực phục vụ bị giảm.

- Hệ thống không đồng bộ từ đầu mối đến mặt ruộng nên gây ra lãng phí nước, diện tích phục vụ giảm.

- Nhiều công trình do các HTX tự xây dựng và quản lý, do không có kinh phí nên hiện nay những công trình hoặc đầu tư dở dang hoặc bị xuống cấp không được tu bổ nên hiệu quả rất kém.

- Nguồn nước tưới từsông Lam ngày càng thấp, các công trình xây cũ nên quy mô, cao trình lấy nước không còn phù hợp đã hạn chế khả năng lấy nước tưới phục vụ sản xuất, nhất là về mùa kiệt.

- Sự thay đổi về giống lúa mới, đòi hỏi nhu cầu nước ngày càng cao, cũng gây áp lực lên các công trình phục vụ tưới, không đảm bảo quy mô phục vụ.

- Hệ thống kênh dẫn đã cơ bản phủ được hầu hết các diện tích của các xã, tuy nhiên tỷ lệ kiên cố hóa mới đạt khoảng 87%, nên vẫn hạn chế khả năng dẫn nước tới mặt ruộng.

Công tác quản lý: Công tác quản lý của Công ty mới chú trọng vào việc xây dựng các công trình đầu mối mà coi nhẹ các công trình nội đồng đã dẫn đến việc hệ thống kênh mương nội đồng chưa hoàn chỉnh.

- Công tác quản lý để thích ứng với biến đổi khí hậu, nguồn nước ngày càng cạn kiệt chưa kịp thời, còn bị động, phụ thuộc.

- Công tác điều hành, quản lý các hệ thống tưới tiêu hết sức khó khăn, chưa có được một quy trình quản lý vận hành chặt chẽ. Hệ thống kênh mương, bảo dưỡng hàng năm chưa tốt, làm cho công trình xuống cấp nhanh.

2.1.3 Hiện trạng và ảnh hưởng của hạn hán

a. Hiện trạng dòng chảy kiệt

Khu vực nghiên cứu thuộc hạ lưu của lưu vực sông Cả, về mùa kiệt, dòng chảy trong sông chủ yếu là nước ngầm. Lưu lượng trung bình tháng nhỏ nhất tháng III tại Cửa Rào 65,7 m^3/s, mô đun kiệt trung bình 5,1 $l/s.km^2$; tại Dừa 119 m^3/s, mô đun kiệt trung bình 5,70 $l/s.km^2$; tại Yên Thượng là 149 m^3/s, mô đun kiệt trung bình 6,50 $l/s.km^2$; trên sông Hiếu tại Quỳ Châu, lưu lượng trung bình tháng III là 30,3 m^3/s với mô đun kiệt tháng trung bình 20,2 $l/s.km^2$; tại Nghĩa Khánh Qtb tháng III là 42,6 m^3/s, mô đun kiệt trung bình tháng nhỏ nhất 10,4 $l/s.km^2$; tại Thác Muối trên sông Giăng, dòng chảy tháng kiệt nhất tháng IV là 15,6 $l/s.km^2$, mô đun dòng chảy kiệt trung bình 19,9 $l/s.km^2$; tại Sơn Diệm trên sông Ngàn Phố, lưu lượng tháng nhỏ nhất tháng IV là 22,4 m^3/s, Mk = 28,4 $l/s.km^2$. Tại Hoà Duyệt trên sông Ngàn Sâu tháng IV có lưu lượng tháng nhỏ nhất 40m^3/s, Mk = 21,3 $l/s.km^2$.

Dòng chảy tháng IV của các vị trí quan trắc không chênh lệnh nhiều so với tháng III. Hai tháng III, IV là các tháng có dòng chảy trung bình tháng nhỏ nhất trong năm. Kiệt ngày thường xảy ra vào tháng IV, có những năm cạn kiệt xảy ra vào tháng V.

Số liệu quan trắc lưu lượng tháng III nhỏ nhất cho biết tại Cửa Rào là 30,3 m^3/s, mô đun kiệt ngày là 2,3 $l/s.km^2$ ngày 30/III/1960. Tại Dừa là 123 m^3/s với mô đun 5,91$l/s.km^2$. Tại Yên Thượng 142 m3/s, Mk = 6,17 $l/s.km^2$.

b. Hiện trạng và nguyên nhân hạn hán của khu vực nghiên cứu

Trong những năm gần đây hạn hán tại huyện Hưng Nguyên đặc biệt là các xã: Hưng Châu, Hưng Lợi, Hưng Yên, Hưng Phúc, Hưng Mỹ diễn ra gay gắt, lượng mưa mùa khô liên tục giảm mạnh năm sau thấp hơn năm trước. Trong khoảng 15 năm gần đây, hạn hán xảy ra thường xuyên và nghiêm trọng hơn. Có thể thống kê những đợt hạn hán nặng như năm 1983, 1987, 1988, 1990, 1992, 1993, 1998, 2003, 2004, 2010 đặc biệt hạn rất nghiêm trọng vào năm 1993, 1998 và năm 2010.

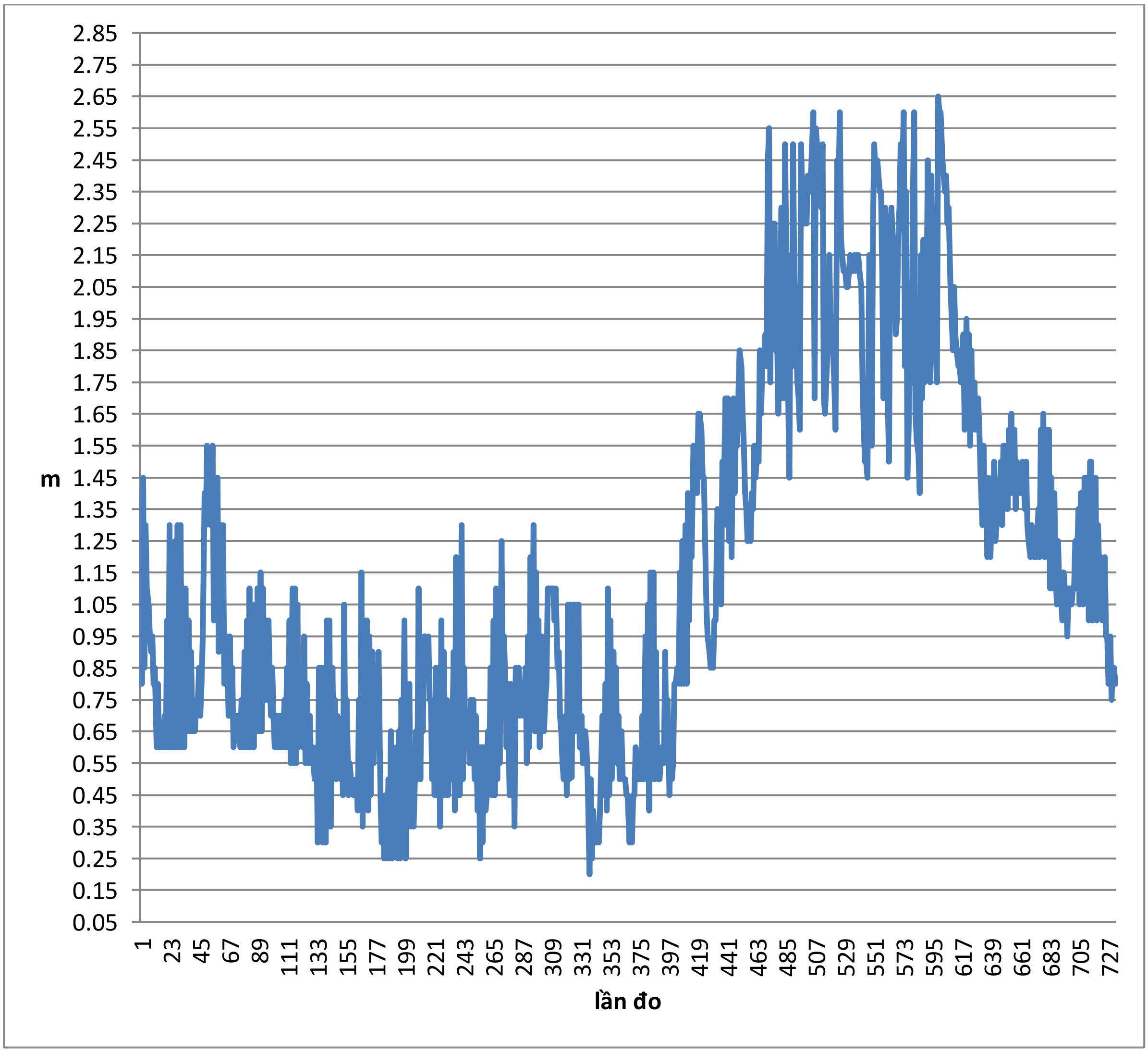
Năm 2010 (các tháng 3,4,5,6) toàn huyện có tổng số 5.540 ha lúa Hè - Thu đã gieo cấy được, có 3.900 ha bị hạn, trong đó có 2.800 ha gần như bị khô cháy trên ruộng. Bảng 2.7 thống kê diện tích hạn 3 năm gần đây của khu vực nghiên cứu:

Bảng 2.7. Diện tích hạn trong vùng một số năm gần đây

Năm	**Diện tích hạn nặng (ha)**	**Diện tích hạn trung bình (ha)**	**Mùa, vụ**	**Địa phương bị hạn**
2008	1200	420	Đông Xuân, Hè Thu	Hưng Yên, Hưng Thông, Hưng Tiến, Hưng Trung, Hưng Tân
2009	282	808	Hè Thu	Hưng Tân, Hưng Tiến, Hưng Tung,Hưng Xá, Hưng Đạo,Hưng Phúc, H. Thịnh
2010	2.800	1.100	Đông Xuân	Hưng Châu, Hưng Lợi, Hưng Nguyên, Hưng Phúc, Hưng Mỹ, Hưng Tiến, H.Tân

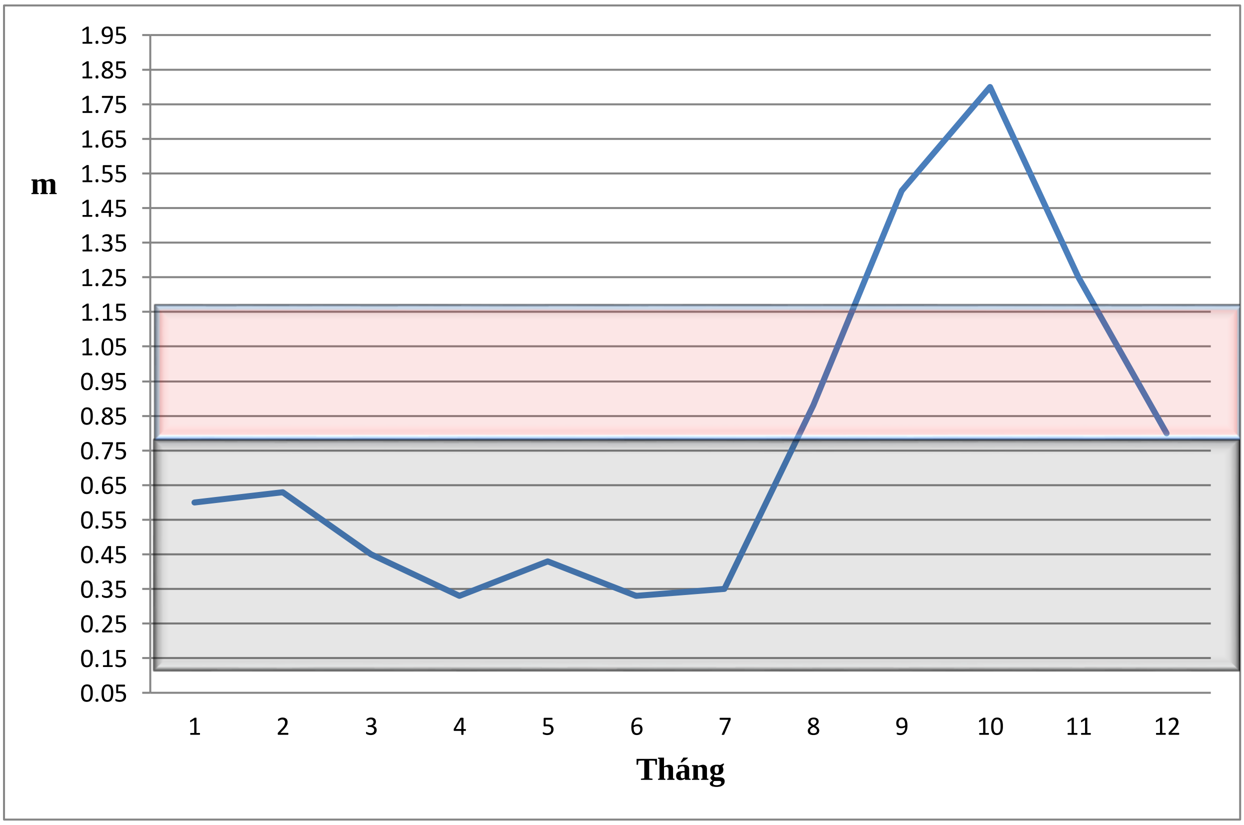
Nguồn: Sở NN&PTNT Nghệ An

Nguồn nước tưới cho vùng 9 xã kênh Lê Xuân Đào được lấy từ sông Lam qua cống Nam Đàn có mực nước thiết kế là 1,15m. Khi mực nước tại Nam Đàn xuống 0,75m, hệ thống kênh Hoàng Cần tiếp nước cho vùng 9 xã xuống thấp chỉ còn 0,2-0,3m phải dùng các trạm bơm giã chiến để chống hạn. Những năm gần đây, mực nước cống Nam Đàn liên tục xuống thấp ở mức báo động, có những tháng xuống chỉ còn 0,2m gây ra thiếu hụt nghiêm trọng nguồn nước cấp cho khu vực này (hình 2.7 và 2.8).



Hình 2.7. Biểu đồ Diễn biến mực nước thượng lưu cống Nam Đàn đo 2 lần/ngày (Năm 2010)

Các tháng thường xuyên thiếu nước là các tháng từ tháng 1 đến tháng 8, khi mà mực nước Nam Đàn xuống thấp, giao động từ 0,2m đến 0,7m. Trong khi đó, các tháng 9, 10, 11 lượng nước tương đối dồi dào, mực nước thượng lưu cống Nam Đàn giao động từ 0,75m đến 2,5m



Hình 2.8. Biểu đồ Diễn biến mực nước thượng lưu cống Nam Đàn trung bình tháng (Năm 2010)

Nguồn nước cung cấp cho toàn hệ thống Nam Nghệ An lấy từ cống Nam Đànvới lưu lượng yêu cầu từ 47 ÷ 50 m^3/s, nhưng cống Nam Đàn thiết kế mới mới đáp ứng cao nhất 33,67 m^3/s, với cột nước thiết kế 1,15 m. Hiện tại theo quan trắc mực nước từ bảng 2.8 cho thấy mực nước có xu thế ngày càng thấp có năm chỉ 0,08 ÷ 0,2 m, lưu lượng cao nhất chỉ đạt 21,3 m^3/s. Đã thiếu hụt nghiêm trọng nguồn nước cấp cho các huyện phía nam Nghệ An.

Khi mực nước tại Nam Đàn xuống 0,7 m, hệ thống kênh Lam Trà, Hoàng Cần, Hưng nguyên, cuối kênh Nghi Lộc mực nước thấp chỉ còn 0,2 - 0,3 m rất khó khăn cho việc lấy nước, phải dùng các trạm bơm giã chiến để chống hạn. Đồng thời cống Nghi Quang bán tự động, cửa không kín nước đã ép mặn vào càng gây thêm khó khăn cho vùng khi lấy nước vào mùa kiệt.

c. Tác động đến nông nghiệp

- *Tác động đến thời vụ gieo trồng*: Nguyên nhân chính của hạn hán là thiếu nguồn nước cung cấp cho sản xuất nông nghiệp, do đó những vùng hạn hán do thiếu nguồn hoặc lấy nước chậm hơn hoặc lấy nước sớm hơn các vùng khác, do hệ thống không đủ nước tưới phải thực hiện tưới luân phiên. Đã làm cho các xã vùng hạn bị động trong sản xuất, phải thay đổi kế hoạch gieo trồng, cơ cấu giống ...

Năm 2013 và những năm tiếp theo ở Hưng Nguyên đã phải xác định lại khung thời vụ, cơ cấu giống, cũng như một số giải pháp kỹ thuật để né tránh thiên tai, giảm thiểu thiệt hại, đẩy thời vụ sản xuất vụ xuân 2013 sớm hơn so với năm 2012 từ 5 - 7 ngày.

- *Diện tích gieo trồng bị thu hẹp, giảm năng suất cây trồng:* Hạn hán hè thu 2010 làm hơn 3.500 ha lúa bị giảm năng suất trên 50%. Cuối vụ mưa lớn và triều cường gây ngập úng hơn 800 ha gieo cấy muộn do hạn hán đầu vụ. Năm 2011 hạn chỉ xảy ra cục bộ ở một số xã Hưng Lợi, Hưng Tân, Hưng Tiến, nhưng lại xảy ra rét hại kéo dài làm hơn 1.050 ha lúa bị chết do không có nước chống rét.

- *Tăng kinh phí để chống hạn:* Hạn hán làm giảm năng suất cây trồng, giảm diện tích gieo trồng, giảm sản lượng cây trồng, mà còn tăng chi phí sản xuất nông nghiệp. Năm 2012 huyện Hưng Nguyên đã phải chi phí 17.626.200.000 đồng để nạo vét 14 bể hút các trạm bơm và 8 kênh trục dẫn nước chống hạn. Tiền điện bơm nước phục vụ chống hạn của công ty Thủy lợi Nam Nghệ An năm 2012 vượt 1.800.000 KWh, tương đương 2.5 tỷ đồng, tiền mua máy bơm dầu và dầu để chống hạn là 2,5 tỷ đồng.

2.1.4 Một số nhận xét về khu vực nghiên cứu

Do đặc điểm khí hậu, thủy văn của khu vực, lượng mưa hàng năm tương đối cao nhưng có sự phân bố không đều, chiếm 85% vào mùa mưa, mùa khô chỉ có 15% tổng lượng mưa năm, dẫn đến hiện tượng thừa nước vào mùa mưa và thiếu nước vào mùa khô. Trong khu vực, hạn hán xảy ra liên tục, năm sau nghiêm trọng hơn năm trước. Trong khi đó, vùng 9 xã thuộc hệ thống kênh Lê Xuân Đào là vùng trọng điểm lúa của huyện Hưng Nguyên cũng như của tỉnh Nghệ An, có trình độ thâm canh cao. Vì vậy, việc đề xuất một giải pháp kinh tế và hiệu quả nhằm tận dụng tối đa nguồn nước sẵn có trong khu vực là hết sức cần thiết.

Qua thực địa và nghiên cứu, tác giả nhận thấy, hệ thống kênh trong vùng là các kênh chìm có kích thước lớn và được sử dụng tưới tiêu kết hợp.Hiện tại, địa phương cũng đã sử dụng các kênh này nhằm trữ nước mùa mưa sử dụng cho mùa kiệt.Tuy nhiên, lượng nước trữ này chỉ đủ đáp ứng một phần rất nhỏ nhu cầu nước trong khu vực. Nguyên nhân là do năng lực của các kênh không đáp ứng và cách làm còn chưa khoa học. Do đó, trong nghiên cứu của mình, tác giả đề xuất giải pháp trữ nước và phương pháp tối ưu điều tiết thời gian thực trên hệ thống nhằm tích trữ nước mùa mưa một cách có hiệu quả để sử dụng cho mùa khô.

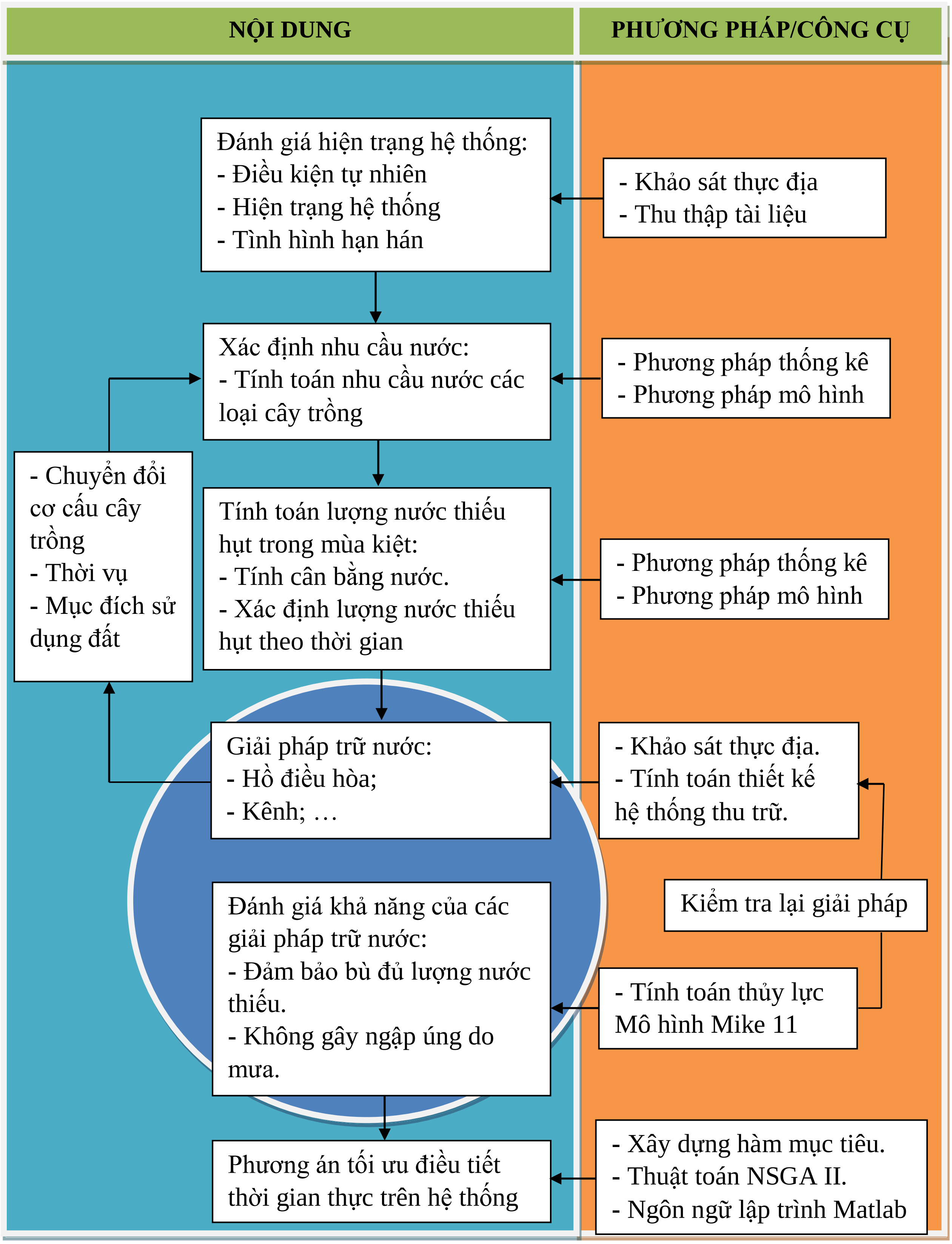
2.2 Nội dung nghiên cứu và cách tiếp cận

Với mục tiêu là đề xuất được giải pháp trữ nước mùa mưa để sử dụng cho mùa khô và tối ưu điều tiết thời gian thực cho hệ thống như đã nêu ở trên. Tác giả tập trung nghiên cứu các nội dung chính sau:

- Nội dung 1: Đánh giá hiện trạng hệ thống: Trong nội dung này, tác giả sẽ tập trung nghiên cứu hiện trạng hệ thống thủy lợi, điều kiện tự nhiên và tình hình hạn hán thiếu nước của khu vực nghiên cứu.
- Nội dung 2: Xác định nhu cầu nước: Sau khi nghiên cứu hiện trang hệ thống, tác giả sẽ xác định được hiện trạng nông nghiệp, cơ cấu cây trồng và sẽ tính toán xác định được nhu cầu nước của khu vực nghiên cứu.
- Nội dung 3: Tính toán lượng nước thiếu hụt trong mùa kiệt: Tính toán cân bằng nước nhằm xác định được lượng nước thiếu hụt trong mùa kiệt.
- Nội dung 4: Đề xuất giải pháp thu trữ nước: Sau khi đánh giá khả năng của các phương án thu trữ nước, một phương án thu trữ nước phù hợp và đáp ứng với điều kiện thực tế sẽ được đề xuất. Phương án này phải đảm bảo bù đủ lượng nước thiếu cho mùa khô và đồng thời không gây ngập úng trong quá trình thu trữ nước trong mùa mưa.

- Nội dung 5: Phương án tối ưu điều tiết thời gian thực trên hệ thống: Sau khi đã có một giải pháp thu trữ nước bổ sung đủ lượng nước thiếu hụt cho mùa khô, có một vấn đề xảy ra trong thực tế là nếu trong qua trình tích nước mà có mưa thì sẽ xảy ra ngập úng, nhà quản lý phải vận hành bơm tiêu. Điều này gây lãng phí vận hành hệ thống bơm tiêu, có khi, nếu mưa lớn kèm lũ thượng nguồn về, trạm bơm tiêu không thể bơm kịp, sẽ có thể dẫn đến ngập úng gây thiệt hại cho hoa màu. Ngược lại, nếu quá trình tích nước chậm, đến khi kết thúc mùa mưa mà không có lượng mưa hay nước thượng nguồn bổ sung đủ thì sẽ dẫn đến tình huống vào mùa khô sẽ không có đủ nước cho cây trồng, ảnh hưởng đến năng suất cây trồng. Vì vậy, để đảm bảo quá trình thu trữ nước không gây ngập úng trên hệ thống, cũng như giảm thiểu tối đa số giờ bơm tiêu khi mưa đến trong quá trình tích nước, đồng thời cũng phải đảm bảo tích trữ đủ lượng nước cấp cho mùa khô, trong nghiên cứu của mình, tác giả sẽ sử dụng thuật toán di truyền sắp xếp các nghiệm không trội NSGAII được Kalyanmoy Deb nghiên cứu và phát triển năm 2000. Đây là một cải tiến của thuật toán NSGA (None Dominated Sorting Genetic Algorithm), với ngôn ngữ lập trình Matlab để xây dựng một phương án tối ưu điều tiết thời gian thực trên hệ thống. Phương án này sẽ giúp các nhà quản lý vận hành hệ thống thu trữ nước đảm bảo trữ đủ nước cho mùa khô với chi phí vận hành là thấp nhất.

Sơ đồ hình 2.9 thể hiện chi tiết các nội dung nghiên cứu của luận án. Theo đó sẽ có các số liệu đầu vào cụ thể cho từng nội dung nghiên cứu. Ứng với từng nội dung sẽ có các công cụ và phương pháp thích hợp để tính toán. Các phương pháp này sẽ được áp dụng tính toán đưa ra các giải pháp cho khu vực nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu sẽ được kiểm tra, đánh giá trước khi đề xuất kết quả cuối cùng.



Hình 2.9. Sơ đồ nội dung nghiên cứu và cách tiếp cận

2.3 Phương pháp và công cụ nghiên cứu

2.3.1 Tính toán nhu cầu nước

a. Cơ sở tính toán nhu cầu nước

- Căn cứ theo tiêu chuẩn ngành: Theo quy định trong Quy phạm kỹ thuật về lập Quy hoạch thuỷ lợi, ký hiệu TCVN-8302-2009 và các quy phạm hiện hành về lập, trình duyệt thiết kế quy hoạch, dự án tiền khả thi, dự án khả thi và thiết kế kỹ thuật bản vẽ thi công tần suất tính toán.

- Căn cứ các yếu tố:

+ Thuỷ văn: Lượng nước đến tại tuyến công trình, mưa dùng trong tính toán tưới, các chỉ tiêu khí tượng liên quan tính với tần suất 75%, 85%.

+ Tần suất thiết kế công trình, tính toán lũ công trình theo cấp công trình trên cơ sở quy phạm xây dựng các công trình thuỷ lợi hiện hành.

Tần suất đảm bảo cấp nước cho nông nghiệp tính toán với 2 tần suất 75% và 85%.

b. Tính toán nhu cầu nước

Lượng nước cần của cây trồng được tính toán từ các tài liệu khí hậu và tài liệu cây trồng theo chương trình CROPWAT. Chương trình do Vụ phát triển đất và nước thuộc Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp của Liên hợp quốc (FAO) biên soạn. Chương trình này giúp cho việc tính toán các tiêu chuẩn cho giai đoạn quy hoạch, thiết kế và quản lý hệ thống tưới.

+ Tính toán bốc thát hơi:

Hiện nay có nhiều phương pháp tính toán lượng bốc thoát hơi nước cho cây trồng. FAO đã đề xuất 4 phương pháp tính tuỳ thuộc vào điều kiện khí hậu, tình hình tài liệu thực đo để áp dụng cho nhiều vùng khác nhau. Đó là:

- Phương pháp Blaney - Criddle: Chỉ xét 1 yếu tố khí hậu là nhiệt độ.

- Phương pháp bức xạ: Xét hai yếu tố khí hậu là nhiệt độ và số giờ nắng.

- Phương pháp Penman: Xét bốn yếu tố khí hậu là nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió và số giờ nắng.

- Phương pháp bốc hơi chậu: Suy diễn từ đại lượng bốc hơi, đo đạc bằng các loại chậu bốc hơi.

Theo đánh giá của các chuyên gia thì phương pháp Penman thường cho kết quả tốt nhất. Căn cứ thực tế đó, tác giả chọn phương pháp Penman để tính toán lượng bốc hơi. Việc tính toán nhu cầu nước dựa vào chương trình CROPWAT của FAO.

+ Tính toán lượng bốc thoát hơi chuẩn (ETo):

ETo được tính theo công thức Penman. Công thức Penman có dạng như sau:

$$ETo = C.[W.Rn + (1 - W).f(u).(ea - ed)] \quad \text{(mm/ngày)}. \qquad (2.1)$$

Trong đó:

- ETo: Lượng bốc thoát hơi chuẩn.

- C: Yếu tố hiệu chỉnh về điều kiện khí tượng ban ngày và ban đêm.

- W: Yếu tố biểu thị quan hệ nhiệt độ và trọng lượng.

- Rn: Bức xạ, biểu thị bằng bốc hơi tương đương (mm/ngày).

- f(u): Hàm số liên quan đến điều kiện gió.

- (ea - ed): Hiệu số giữa sức trương hơi nước bão hoà ở nhiệt độ không khí trung bình và sức trương hơi nước thực tế trung bình, biểu thị bằng milibar.

+ Tính toán lượng bốc thoát hơi nước của cây trồng (ETc):

Lượng bốc thoát hơi nước của cây trồng (ETc) được tính theo công thức:

$$ETc = Kc \times ETo \qquad \text{(mm/ngày)}. \qquad (2.2)$$

Trong đó:

ETo: Lượng bốc thoát hơi nước chuẩn.

Kc: Hệ số cây trồng phụ thuộc vào loại cây trồng và thời kỳ sinh trưởng của loại cây trồng đó, được lấy theo tài liệu hướng dẫn của FAO.

+ Tính toán yêu cầu nước tưới mặt ruộng của cây trồng (IRReq):

Lượng nước yêu cầu tưới mặt ruộng xác định theo công thức:

$$IRReq + \theta_t = ETc + Perc + Lprep - EffRain + \theta_{t+1} \quad (2.3)$$

Trong đó:

+ IRReq: Lượng nước yêu cầu tưới mặt ruộng.

+ Perc: Lượng nước ngấm ổn định.

+ Lprec: Lượng nước làm đất.

+ EffRain: Lượng mưa hiệu quả.

+ θ_t : Độ ẩm vùng rễ tại thời điểm t (lượng nước có sẵn trong đất trước khi tưới)

+ θ_{t+1} : Độ ẩm vùng rễ tại thời điểm t+1(lượng nước còn lại trong đất sau khi tưới)

Lượng mưa hiệu quả tính theo phương pháp Fixed percentage. Công thức tổng quát như sau:

$$EffRain = Rain \times X\% \quad (2.4)$$

Trong đó X% là số % hiệu quả, thường lấy từ (70 - 90)%.

Thời đoạn tính toán chế độ tưới là 10 ngày.

2.3.2 Tính toán cân bằng nước

a. Giới thiệu mô hình Mike Basin

Mô hình MIKE BASIN là công cụ cân bằng giữa lượng nước sẵn có và nhu cầu về nước theo cách tối ưu nhất, giúp cho công tác quy hoạch và quản lý tài nguyên nước trong lưu vực sông. Phần mềm MIKE BASIN do Viện Thuỷ lợi Đan Mạch (DHI) xây dựng, nó là một mô hình toán học thể hiện lưu vực sông bao gồm sông chính và sông nhánh, các yếu tố thuỷ văn theo không gian và thời gian, hệ thống sử dụng nước, nước ngầm và quá trình diễn biến của nước ngầm. Modul Mike Basin WQ cho phép mô phỏng chất lượng nước.

MIKE BASIN được xây dựng theo kiểu mô hình mạng lưới trong đó sông và các nhánh sông chính được hiển thị bằng một mạng lưới các nhánh và nút. Nhánh sông biểu diễn cho các dòng chảy riêng lẻ trong khi đó các nút biểu diễn các điểm tụ hội của sông, điểm chuyển dòng hoặc là vị trí mà ở đó có diễn ra các hoạt động liên quan đến nước hay những vị trí quan trọng mà kết quả mô hình yêu cầu.

Cơ sở toán học trong mô hình MIKEBASIN là tìm lời giải ổn định cho mỗi bước thời gian trên toàn hệ thống mạng lưới. Ưu điểm của MIKEBASIN là tốc độ tính toán nhanh, do đó có thể tính toán với nhiều kịch bản khác nhau để có được kết quả tối ưu nhất.

MIKE BASIN chạy trên nền của phần mềm ArcView, điều này rất thuận lợi cho việc phân tích, truy vấn dữ liệu, việc thiết lập mạng lưới được thực hiện trực tiếp trên màn hình máy tính, các kết quả đầu ra cũng được hiển thị dưới dạng thông tin GIS.

Nhập dữ liệu chủ yếu của mô hình bao gồm liệt dữ liệu khí tượng thuỷ văn, đặc tính hồ chứa và các nguyên tắc vận hành, nhu cầu sử dụng nước và thông tin về dòng hồi quy.

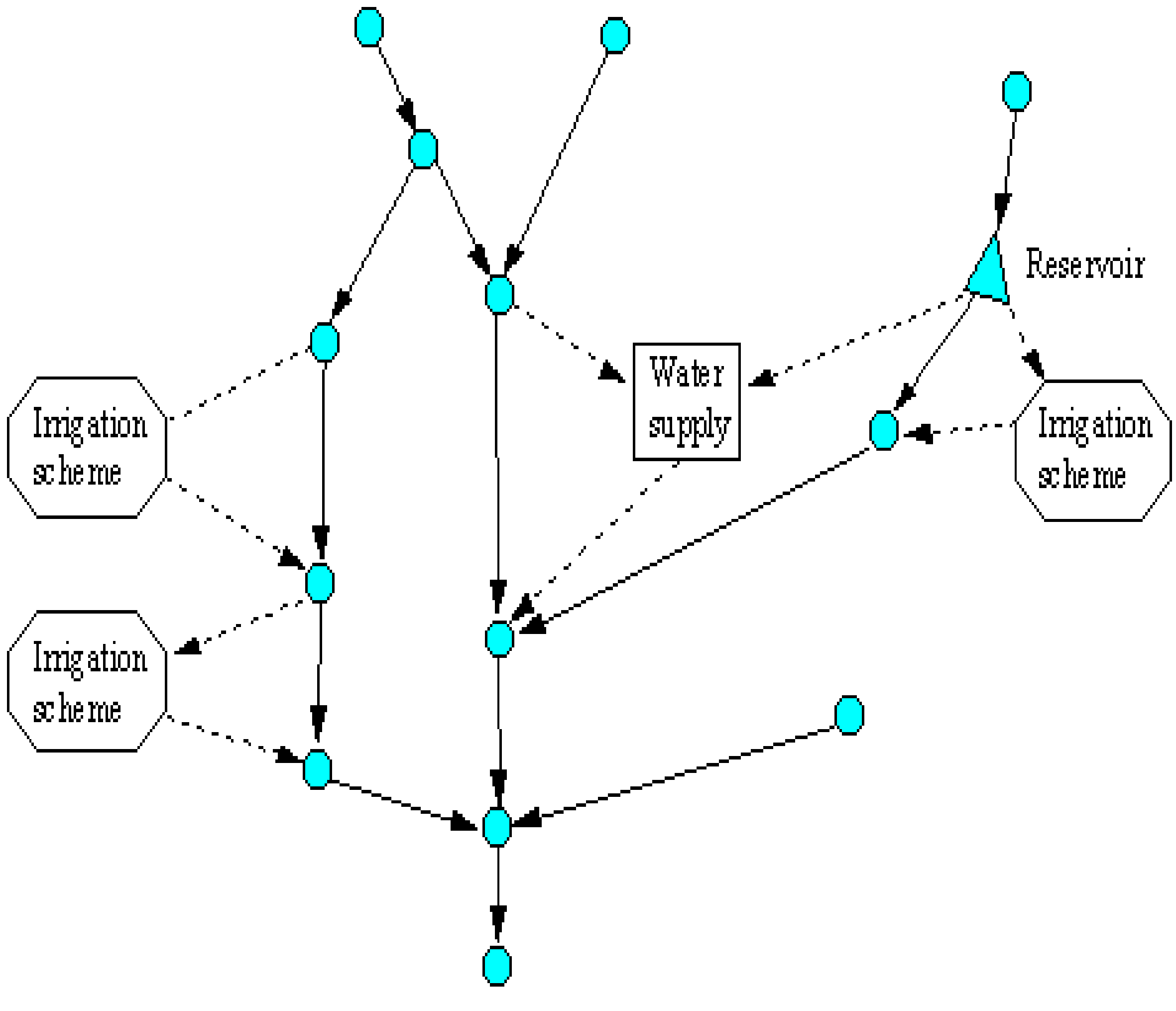
Trước khi xây dựng mô hình cần xác định một sơ đồ phù hợp và các đặc trưng có liên quan.Đánh giá tài nguyên nước của một lưu vực sông phải đưa vào hàng loạt các nhu cầu riêng biệt, việc này thường đòi hỏi tốn rất nhiều công sức. Do đó trong quá trình xây dựng mô hình cần dựa vào mục tiêu của bài toán, khả năng của sự kiện và số liệu cần có để mô hình có tính linh hoạt đồng thời phản ánh được các điều kiện tự nhiên tổng quát. Có thể áp dụng các hình thức kết hợp sau khi lập sơ đồ:

- Kết hợp các sông nhỏ vào một nhánh duy nhất với một điểm lấy nước.

- Kết hợp các diện tích tưới nhỏ vào một hệ thống tưới duy nhất với một điểm lấy nước.

- Kết hợp cấp nước thành phố và cấp nước công nghiệp làm một.

Việc lập sơ đồ cần biểu diễn các hoạt động phát triển ở các mức độ chi tiết mong muốn, đồng thời kết hợp các nhu cầu nước giống nhau. Sơ đồ lưu vực thường có dạng như hình 2.10:



Hình 2.10.Sơ đồ lưu vực sông

Mô hình MIKEBASIN rất linh hoạt trong xác định bước thời gian, có thể là ngày hoặc tháng.Tuy nhiên lựa chọn bước thời gian tuỳ thuộc vào dữ kiện hiện có và xuất liệu yêu cầu. Đối với những mô hình lớn thời gian tính toán và bộ nhớ sẽ tăng đáng kể khi giảm bước thời gian.

Kết quả của mô phỏng cho biết thông tin về mức độ thừa, thiếu nước, hoạt động của các hồ chứa, lượng nước sử dụng của các hộ dùng nước, lượng điện sản xuất. Liệt dòng chảy tháng cho phép đánh giá ảnh hưởng tổng hợp của các công trình cũng như các khu tưới đối với dòng chảy trên sông.

Ngoài việc thể hiện kết quả dưới dạng bảng, mô hình còn cho phép xem kết quả dưới dạng hình hoạt, cho phép thấy được một cách tổng quát quá trình mô phỏng dòng chảy cho toàn lưu vực.

b. Các đặc trưng cơ bản của MIKE BASIN

Sơ đồ hoá

Trước khi lập mô hình, điều quan trọng là phải xác định phù hợp mô tả khái quát của lưu vực sông và các đặc tính kèm theo. Việc mô tả mạng sông mô hình là việc đơn giản hoá một hệ thống có tính chất vật lý.

Giản đồ mô tả mạng sông vì thế nên phản ánh được các chức năng và các mối quan hệ qua lại được xác định trong hệ thống sông tự nhiên. Bố trí đó có thể không nhất thiết phải giống như bố trí và kích thước thực tế quan sát được trên hệ thống sông tự nhiên.

Tuy nhiên, đối với mục đích trình bày trong giai đoạn sau này của một dự án thì thông thường đó là một lợi thế tốt khi thiết kế một mạng sông để mọi người có thể nhận thấy hệ thống sông mà mô hình trình bày một cách vật lý. MIKEBASIN cung cấp các công cụ để xây dựng sơ đồ, cụ thể như hình 2.11.

Trạm thuỷ điện

Hồ chứa

Khu tưới

Điểm lấy nước

Điểm thải ra

Kết hợp

Cấp nước

Điểm lấy nước

Điểm thải ra

Kết hợp

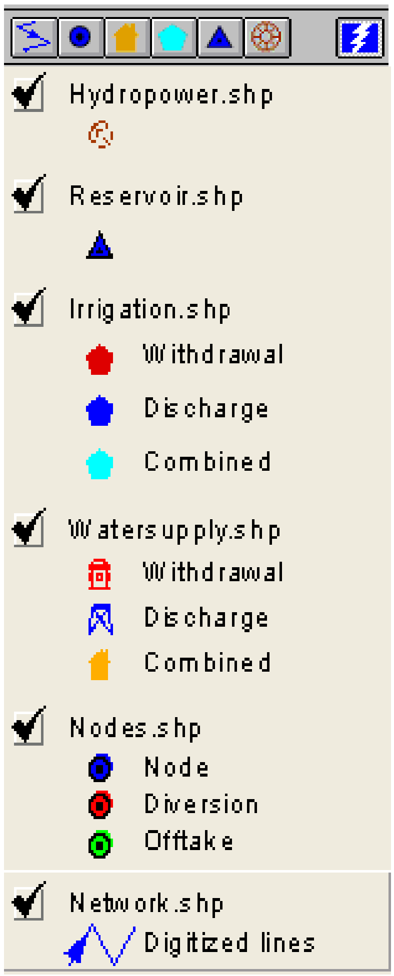
Điểm nút trên mạng sông

Nút đơn giản hoặc nút lưu vực

Nút chuyển dòng

Nút lấy nước

Nhánh sông



Hình 2.11. Các công cụ trong Mike Basin

Giới thiệu về Theme

Trong ArcView GIS, một View bao gồm nhiều Themes, mỗi Theme là một chủ đề thể hiện đối tượng địa lý dưới dạng điểm, đường hoặc miền. Một Theme bao gồm hai thành phần thông tin: Thông tin không gian hiển thị các đặc tính của đối tượng về mặt địa lý và thông tin phi không gian hiển thị các thuộc tính của đối tượng.

Các Theme trong một View được liệt kê ở phía trái màn hình, cho phép biết được trạng thái hoạt động cũng như thứ tự của Theme

Trong Mô hình MIKE BASIN các Theme có thể phân thành hai loại chính sau:

1- Theme xác định mạng sông, lưu vực sông.

2- Theme thể hiện các hoạt động

Số hoá mạng lưới sông

Một mạng sông để sử dụng trong mô hình MIKE BASIN có thể được tạo ra bằng hai cách:

- Từ mô phỏng lưu vực của một Mô hình độ cao số (DEM), tạo ra một mạng sông có tỷ lệ chi tiết và giống với mạng sông tự nhiên.

- Từ việc số hoá một mạng sông, tạo ra một mạng sông đơn giản dựa trên hình ảnh minh hoạ của hệ thống sông tự nhiên hoặc đơn giản chỉ là một sơ đồ mô phỏng. Sông thường được số hoá theo hướng dòng chảy, điểm cuối cùng của sông nhánh phải nằm trên sông chính tại vị trí của ngã ba sông. Nếu số hoá nhầm thì có thể sử dụng công cụ swap direction tool để đổi hướng dòng chảy.

Nút (Node) trên sông

Dòng chảy trên sông được tính toán tại mỗi điểm nút hay giao cắt. Dòng chảy tại mỗi nút ở hạ lưu sẽ là hàm số của dòng chảy trên nút thượng lưu gần nhất và các kết nối vào nút.

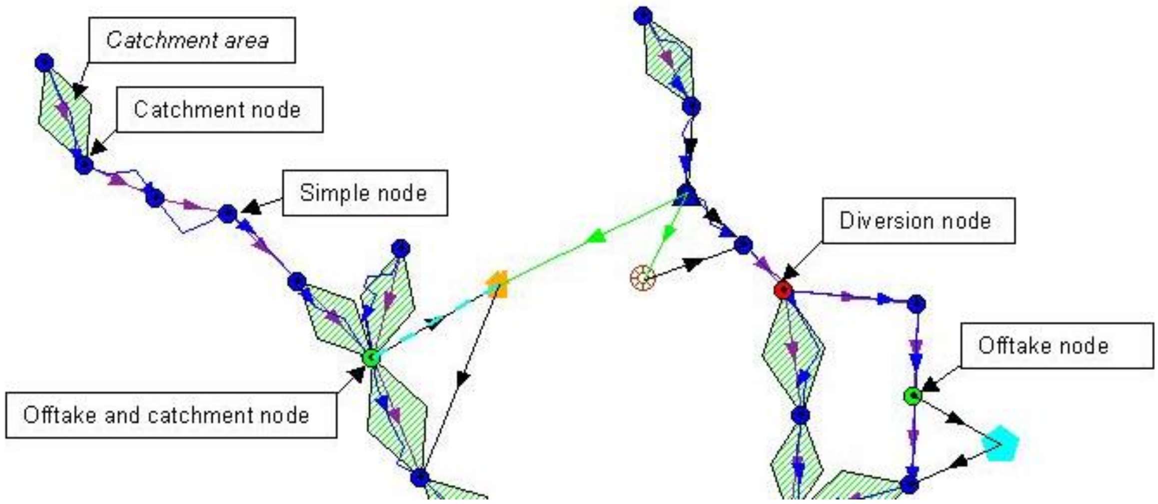
Nút sẽ tự động quy chiếu với các nút khác. Các điểm nút trên mạng sông có thể có hình dạng khác nhau phụ thuộc xem người sử dụng có được đi kèm với điểm nút đó hay không hoặc xem rằng ở đó có sự chuyển dòng hay không

Nút được đặt trên mạng sông bằng cách nhấp chuột trái vào vị trí mong muốn. Một điều quan trọng là thường phải đặt điểm nút tại:

- Điểm cuối thượng lưu của mọi nhánh sông.
- Điểm hội tụ / điểm có hai nhánh sông riêng biệt được số hoá gặp nhau.
- Điểm chuyển hướng / điểm mà một nhánh sông bị chia làm hai.
- Điểm lấy nước trên hệ thống sông.

- Vị trí của hồ chứa.

Khi số hoá một mạng sông, có hai loại điểm nút cơ bản, được gọi là nút lưu vực (catchment node) và điểm nút đơn giản (simple node). Điểm nút lưu vực là các nút tại đó có đính kèm diện tích của lưu vực phụ trên thượng lưu (tức là nó đại diện cho dòng chảy của một lưu vực). Điểm nút đơn giản không đính kèm diện tích của lưu vực phụ. Khi chèn thêm điểm nút vào mạng sông thì sẽ có một cửa sổ hội thoại xuất hiện để bạn xác định loại điểm nút sẽ chèn. Lưu ý rằng, lưu vực sẽ được vẽ sau khi tạo một mạng sông. Cụ thể như hình 2.12.



Hình 2.12. Các node và lưu vực trên sông

Tạo mạng sông

Sử dụng công cụ Make network để tạo mạng sông, hai Theme mới sẽ được tạo ra: Theme mô tả lưu vực (Runoff.shp) và Theme mô tả nhánh sông (Branches.shp), diện tích của các lưu vực cũng được tự động tính toán và đưa vào. Sau khi tạo mạng sông, có thể thêm vào các loại nút như hồ chứa, điểm cấp nước, và trạm khí tượng thuỷ văn cho mô hình.Việc khai thác, sử dụng mô hình được trình bày trong chương 3.

2.3.3 Tính toán thủy lực

Để tính toán thủy lực trên các hệ thống sông hiện nay có nhiều mô hình tính toán:

- Mô hình VRSAP của cố giáo sư - tiến sỹ Nguyễn Như Khuê vẫn được sử dụng tính toán thủy lực cho các mạng sông.

- Mô hình HEC-RAS là một hệ thống phần mềm tổng hợp, đây là mô hình do quân đội Mỹ xây dựng và phát triển và cho phép sử dụng miễn phí. Mô hình có khả năng tính toán thủy lực, bùn cát, chất lượng nước.

- Mô hình thủy lực MIKE11 của Viện thủy lực Đan Mạch. Đây là mô hình tiên tiến.

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng mô hình MIKE11 để tính toán mực nước, lưu lượng lũ, kiệt cho các mạng sông trong vùng.

Mô hình MIKE11 do DHI Water and Environment (Đan Mạch) phát triển, là phần mềm để mô phỏng dòng chảy, lưu lượng, chất lượng nước và vận chuyển bùn cát ở các lưu vực sông, kênh tưới… MIKE11 là mô hình động lực học một chiều, thân thiện với người sử dụng nhằm phân tích chi tiết, thiết kế, quản lý và vận hành cho các sông và hệ thống kênh dẫn đơn giản và phức tạp. Với môi trường đặc biệt thân thiện với người sử dụng, linh hoạt và tốc độ tính toán cao, MIKE11 cung cấp một môi trường thiết kế hữu hiệu về kỹ thuật công trình, tài nguyên nước, quản lý chất lượng nước và quy hoạch. Mô đun thủy động lực học (HD) là một phần trung tâm của của hệ thống mô hình MIKE11 và tạo cơ sở cho hầu hết các mô đun khác bao gồm:

- Dự báo lũ và vận hành hồ chứa.
- Các phương pháp mô phỏng kiểm soát lũ.
- Vận hành hệ thống tưới và tiêu thoát bề mặt.
- Thiết kế các hệ thống kênh dẫn.
- Nghiên cứu sóng triều và dâng nước do mưa ở sông và cửa sông.

Đặc trưng cơ bản của hệ thống lập mô hình MIKE 11 là cấu trúc mô-đun tổng hợp với nhiều loại mô-đun được thêm vào mỗi mô phỏng các hiện tượng liên quan đến hệ thống sông. Ngoài các mô-đun HD đã mô tả ở trên, MIKE bao gồm các mô-đun bổ sung đối với:

- Thủy văn.
- Tải khuyếch tán.
- Các mô hình cho nhiều vấn đề về Chất lượng nước.
- Vận chuyển bùn cát có cố kết (có tính dính).
- Vận chuyển bùn cát không có cố kết (không có tính dính).

2.3.4 Xây dựng bài toán vận hành tối ưu trên hệ thống

Để đảm bảo khả năng cung cấp nước vào mùa kiệt cho khu vực nghiên cứu, giải pháp sử dụng các kênh chìm có sẵn trong khu vực để thu trữ nước mùa mưa sử dụng cho mùa kiệt là một giải pháp hiệu quả. Tuy nhiên, trong thực tế, người vận hành gặp phải vấn đề mâu thuẫn giữa lũ và kiệt trong vận hành lượng nước trữ trong kênh.

Vì khí hậu trong khu vực là bất thường và rất khó dự báo, nếu như mùa lũ nhỏ và kết thúc sớm mà lại trữ lượng nước trong kênh nhỏ vào cuối mùa lũ thì sẽ không đủ nước trong mùa kiệt hoặc nếu như mùa lũ lớn và kết thúc muộn mà lại trữ lượng nước trong kênh lớn thì tổn thất tiêu trong hệ thống là rất lớn.

Vì vậy, mục tiêu của bài toán ở đây là đi tìm một hàm vận hành thời gian thực để tối ưu hóa và hài hòa cả hai mục tiêu trên.

Để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu thì sử dụng thuật toán di truyền là tốt hơn cả. Cho đến nay có rất nhiều thuật toán di truyền để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu chẳng hạn: Thuật toán MOGA, NSGA, NSGA II, PEA, PEA II, …Ứng với mỗi thuật toán đều có những thuận lợi và khó khăn nhất định.Tuy nhiên, thuật toán

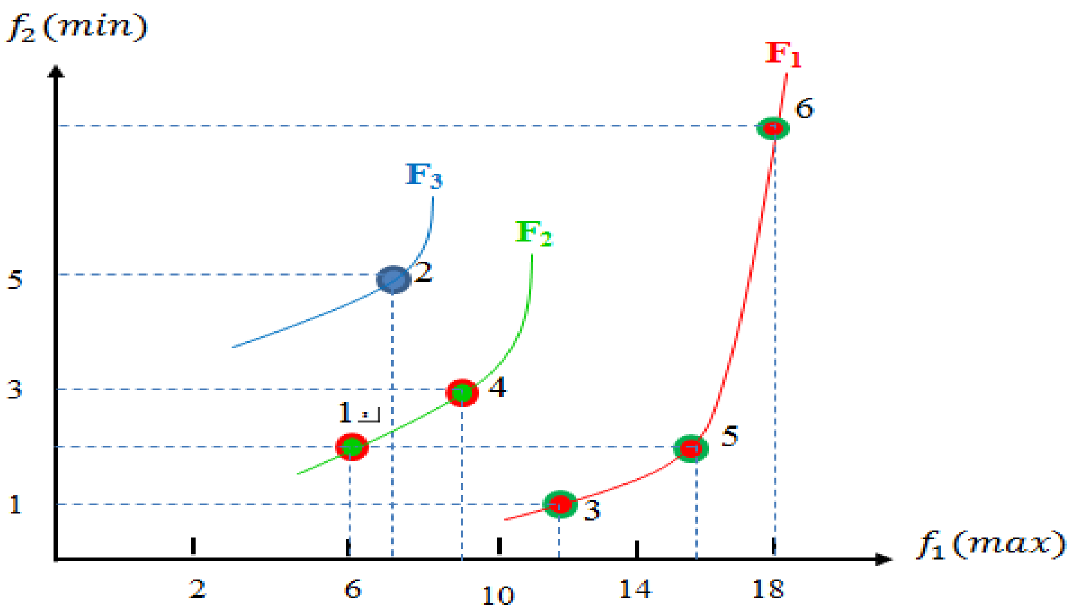
NSGA II là một trong những thuật toán có thể xấp xỉ được biên Pareto tốt nhất từ các nghiệm khởi tạo ban đầu.

Giới thiệu thuật toán NSGA II

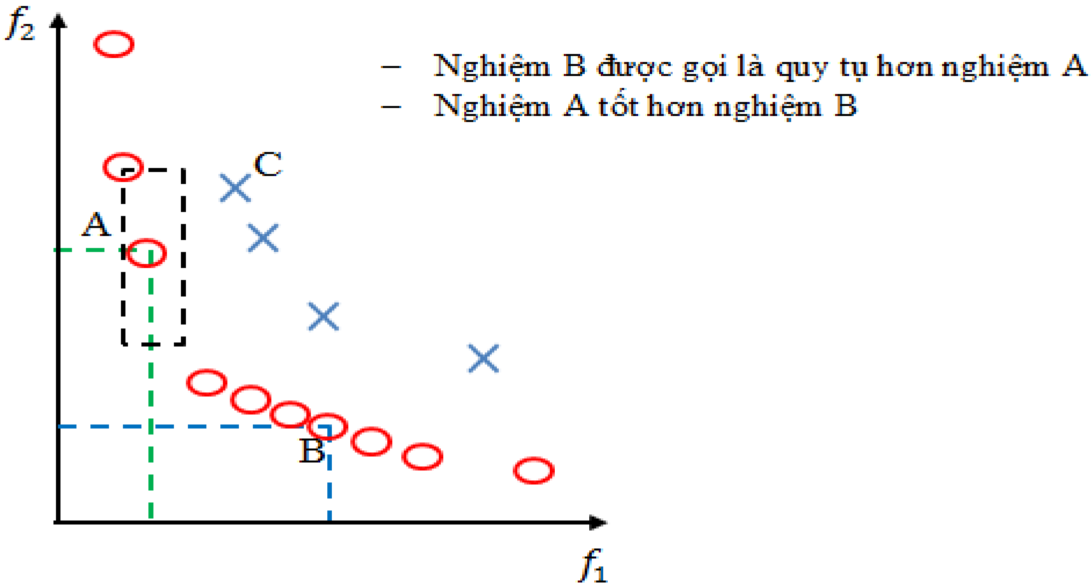
Thuật toán di truyền sắp xếp các nghiệm không trội NSGAII là một cải tiến NSGA (None Dominated Sorting Genetic Algorithm), khắc phục 3 nhược điểm của NSGA là:

1. Độ phức tạp cao O (MN3), trong đó M là số mục tiêu và N là kích thước quần thể.
2. Bỏ qua nhiều giải pháp tốt *(nonelitism).*
3. Phải chỉ định thông số chia sẻ (σ_{share}), mà việc xác định thông số này là một khó khăn

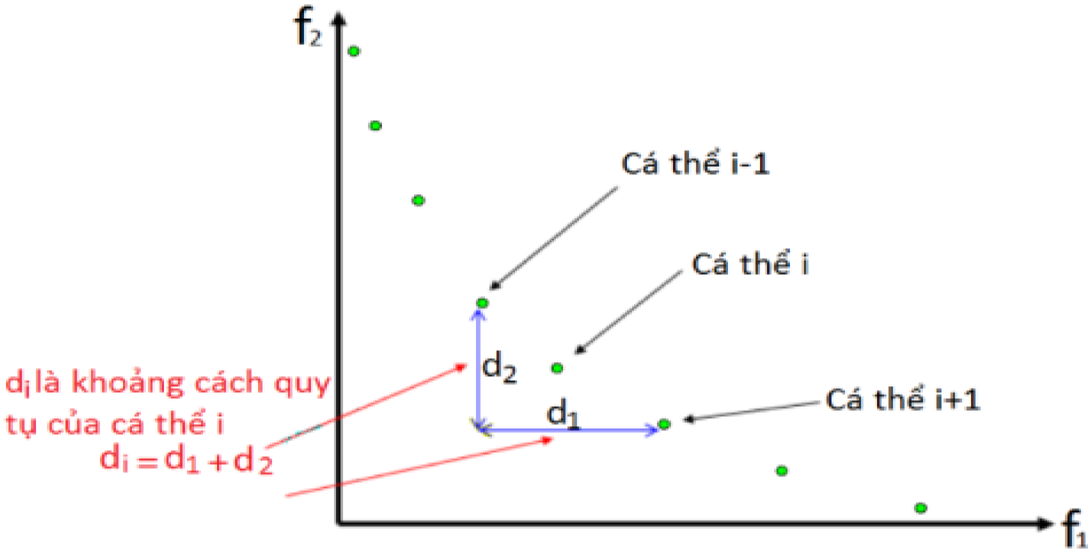
- **NSGAII dựa vào 2 khái niệm chính**
  - Sắp hạng các giải pháp không bị trội (hình 2.13)
  - Khoảng cách quy tụ (hình 2.14 và 2.15)



Hình 2.13. Minh họa sắp hạng nhanh không bị trội



Hình 2.14. Minh họa sự quy tụ của các nghiệm quanh một nghiệm



Hình 2.15. Minh họa tính khoảng cách quy tụ tại cá thể i

- **Tính chất**

Cho 2 giải pháp **x** và **y**, giải pháp **x** tốt hơn giải pháp **y** nếu:

1. $x_R < y_R$
2. hoặc: $\begin{cases} x_R = y_R \\ x_d > y_d \end{cases}$

- **Ưu điểm của NSGA II**

- Độ phức tạp O(MN2)
- Tính ưu việt: Bảo tồn tính ưu việt cho các giải pháp để đảm bảo sự hội tụ.
- Sự đa dạng: Duy trì sự đa dạng của các giải pháp
- Sự lan tỏa phủ rộng trong không gian tìm kiếm

Số lượng nghiệm đạt được cuối cùng sẽ không thay đổi nhiều khi ta thay đổi các thiết lập thông số đầu vào của thuật toán như: Số lượng cá thể trong quần thể (N), số lượng thế hệ cần đạt được.

Kết quả giả lập giải các bài toán khó, cho thấy NSGA-II luôn tìm được các giải pháp phủ rộng hơn và hội tụ gần với biên "Pareto tối ưu thực" hơn so với các thuật toán tân tiến khác.Trong thuật toán NSGA II, tính ổn định của kết quả và độ mịn của biên Pareto xấp xỉ phụ thuộc vào điều kiện dừng – tức là số lượng thế hệ tối đa cần đạt đến.

- **Nhược điểm của NSGA II**

Khoảng cách quy tụ của các cá thể quanh cá thể x chỉ có hiệu lực trong không gian hàm mục tiêu.

Khi số lượng cá thể trong quần thể lớn, số lượng thế hệ cần đạt được lớn thì thời gian thực hiện thuật toán sẽ chậm.

- **Ứng dụng thuật toán NSGA II trong thực tế**

Với các ưu điểm vượt trội so với các thuật toán khác, trong thực tế, trên thế giới đã áp dụng thuật toán NSGA II khá nhiều trong lĩnh vực tài nguyên nước. Một số nghiên cứu điển hình như: Năm 2006, hai nhà khoa học Taesoon Kim và Jun-Haeng Heo [57] đã sử dụng thuật toán NSGA II trong nghiên cứu tối ưu hóa hệ thống nhiều hồ chứa thuộc lưu vực sông Han, Hàn Quốc. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng các kết qủa tính toán tối ưu áp dụng từ thuật toán NSGA II có thể được sử dụng xây dựng kế hoach vận hành các hồ chứa và có thể hỗ trợ cung cấp được nhiều nước hơn cho hạ lưu so với trước đây. Năm 2006, Md. Atiquzzaman, Shie-Yui

Liong, M.ASCE, và Xinying Yu [43] sử dụng NSGA II nghiên cứu ra quyết định thay thế trong mạng phân phối tài nguyên nước. Các nhà nghiên cứu đã sử dụng thuật toán NSGA II kết hợp với phần mềm mô phỏng mạng lưới phân phối nước (EPLANET) kết quả cho ra một mặt Pareto tối ưu chi phí và sự thiếu hụt lượng nước. Năm 2016, Feifei Zheng; Aaron C. Zecchin; Holger R. Maier; and Angus R. Simpson [35] đã nghiên cứu so sánh về chất lượng tìm kiếm và quá trình hội tụ của 3 thuật toán NSGA II, thuật toán SAMOD và Borg áp dụng cho 6 hệ thống phân phối nước. Nghiên cứu đã chỉ ra NSGA II có khả năng hội tụ cao và cho kết quả tốt.

Mặc dù trên thế giới đã ứng dụng NSGA II vào kỹ thuật tài nguyên nước khá lâu, tuy nhiên, ở Việt Nam, NSGA II mới chỉ được tiếp cận trong các lĩnh vực toán học, kinh tế và một số ngành dịch vụ khác. Một số nghiên cứu như: hai tác giả Hoàng Ngọc Thanhvà Dương Tuấn Anh [5] đã nghiên cứu ứng dụng thuật toán tiến hóa đa mục tiêu trong thiết kế tối ưu kiến trúc mạng viễn thông với hai mục tiêu là yếu tố chi phí và độ tin cậy.Trong nghiên cứu này, hai tác giả đã sử dụng NSGA, NSGA II và SPEA để so sánh và đánh giá kết quả.Kết quả đạt được đã chứng minh tính hiệu quả và đúng đắn của phương pháp tối ưu.

Nguyễn Hưu Hiếu và Hoàng Dũng [11] đã ứng dụng thuật toán NSGA II để giải bài toán cực tiểu tổn thất công suất trên lưới điện phân phối. Các tác giả sử dụng thuật toán đề xuất và chương trình đã xây dựng đểtối ưu hóa hệ thống điện phân phối mẫu IEEE16 nút với hai mục tiêu cực tiểu tổn thất công suất và cực tiểuthiết bị sử dụng.

Như vậy, với những ưu điểm của NSGA-II, trong nghiên cứu của mình, tác giả sử dụng cách tiếp cận tối ưu ngẫu nhiên hiện thiết lập khung tối ưu hóa ứng dụng thuật toán di truyền NSGA-II (Deb 2000) với ngôn ngữ lập trình MATLAB. Mục tiêu xây dựng được hàm chính sách vận hành thời gian thực đánh giá được trao đổi “trade off” giữa các mục tiêu mâu thuẫn nhau. Ngoài ra, dự báo mưa mùa vẫn là một vấn đề hết sức khó khăn, tuy nhiên chỉ số ENSO sẽ là một tiêu chí tốt về thông tin về mưa mùa.Vì vậy, trong nghiên cứu này,chỉ số ENSO sẽ được thí điểm lồng ghép vào hàm vận hành để tăng hiệu quả tối ưu của bài toán.

Để tính toán được lượng nước tích trữ, tác giả xây dựng ***hàm quyết định lượng nước lấy vào hệ thống*****:**

$$[\boldsymbol{uI_t}] = \mathbf{f}(\boldsymbol{s_t}, \boldsymbol{SYS}, \textbf{ENSO index}, \textbf{WLNĐ}_t, \mathbf{t}); \qquad (2.5)$$

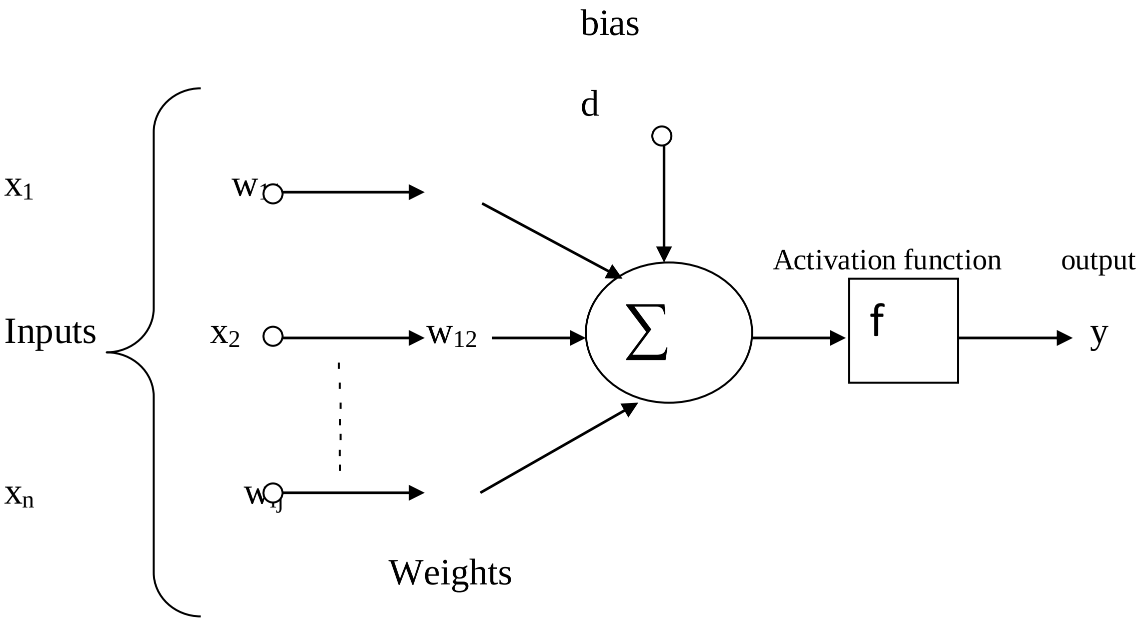
Trong đó, uI_t được tính như sau:

$$\boldsymbol{uI_t} = \boldsymbol{uI_t}\mathbf{min} + (\boldsymbol{uI_t}\mathbf{max} - \boldsymbol{uI_t}\mathbf{min})\ \mathbf{x_1}; \qquad (2.6)$$

Hàm tang hyperbolic: **Tanh (x)** $= \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \mathbf{x_1}$ (2.7)

$$\mathbf{x} = \mathbf{s_t.w_{11}} + \textbf{(ENSO index)}.\mathbf{w_{12}} + \textbf{WLNĐ}_t.\mathbf{w_{13}} + \mathbf{t.w_{14}} + \mathbf{d_1} \qquad (2.8)$$

Trong đó, mô hình dạng trí tuệ nhân tạo được Luận án sử dụng có dạng:



Hình ảnh một tế bào nơ-ron nhân tạo

uI_t: Giá trị biến quyết định lấy vào hệ thống trong bước thời gian t;

x: Biến trung gian

W_{ij}: trọng số của lớp đầu vào; $\mathbf{0 < w_{ij} < 1}$

Y: Đầu vào của hàm kích hoạt mạng

d: Độ lệch của đầu vào lớp ẩn

t: thời điểm tính toán

$WLNĐ_{t}$: Mực nước Nam Đàn tại thời điểm t;

s_t : Dung tích trên kênh tại thời điểm t;

SYS: các đặc điểm vật lý của hệ thống (năng lực bơm, năng lực kênh mương);

ENSO index: Số liệu về chỉ số ENSO được cung cấp bởi tổ chức IRI.

Quá trình tìm lời giải tối ưu là đi tìm bộ tham số W_{ij} và d_i.

Như vậy, khung tối ưu hóa sẽ đảm trách về chiến lược tìm kiếm hàm vận hành mà dựa trên bài toán tối ưu được thiết lập như sau:

2.3.4.1 Xây dựng hàm mục tiêu cụ thể áp dụng cho khu vực nghiên cứu

Hàm mục tiêu 1: Lượng nước thiếu hụt cho cây trồng trong khu vực nghiên cứu phải là nhỏ nhất

$$\mathbf{Min}\sum_{i=1}^{N}(W_{thiếu_i}) \quad (2.9)$$

$$\textbf{if Wd > Ir then } W_{thiếu_i} = \mathbf{Wd_i - Ir_i}, \textbf{ else } W_{thiếu_i} = \mathbf{0}$$

Trong đó:

$W_{thiếu_i}$: Lượng nước thiếu hụt

Wd_i: Nhu cầu nước của cây trồng

Ir_i: Lượng nước tưới

Hàm mục tiêu 2: Lượng nước tiêu phải là nhỏ nhất

$$\mathbf{Min}\sum \mathbf{W_{tiêu}} \quad (2.10)$$

$$\mathbf{W_{tiêu_t}} = \mathbf{f}(s_t, \mathbf{R}, \mathbf{T_{NT}}, \mathbf{SYS}) + uI_{t-1} \quad \textbf{if } uI_t < \mathbf{0} \quad (2.11)$$

$$\textbf{Else} \quad \mathbf{W_{tiêu_t}} = \mathbf{f}(s_t, \mathbf{R}, \mathbf{T_{NT}}, \mathbf{SYS})$$

$\mathbf{T_{NT}}$: Ngưỡng tiêu

2.3.4.2 Ràng buộc

Ràng buộc:

$\boldsymbol{I_t}$ **+** $\boldsymbol{R_t}$ **+** $\boldsymbol{S_t}$ **= IR +** $\boldsymbol{W_{tt}}$**+W$_{\text{tiêu}}$+** $\boldsymbol{E_t}$ **+** $\boldsymbol{S_{t+1}}$ (2.12)

$\boldsymbol{I_t}$: Lượng nước đến hệ thống, phụ thuộc vào *uI (giá trị quyết định lấy vào) và* $I_{\text{vùng\_tiêu}}$

It = uI+ $I_{\text{vùng\_tiêu}}$;

$I_{\text{vùng_tiêu}}$được tính từ mưa vượt nhu cầu bằng mô hình Mike Nam tích hợp sẵn trong Mike 11 (trong chương 3 tính toán ma trận tiêu) sẽ tính tại từng bước. Và uI là lượng nước lấy vào chủ động, được tính ra từ hàm vận hành ở trên và giao động trong khoảng khả thi :

$uI_{min} \leq uI \leq uI_{max}$;

uI_{min}phụ thuộc vào mực nước trong kênh và năng lực bơm ra của hệ thống

uI_{max}phụ thuộc vào mực nước cống Nam Đàn và năng lực lấy vào của hệ thống

s_t : Dung tích trên kênh tại thời điểm tính toán t;

s_{t+1} : Dung tích trên kênh tại thời điểm t + 1;

R_t : Lượng mưa tại thời điểm tính toán;

IR = uIR x S; (2.13)

S: Diện tích cây trồng;

E_t : Lượng bốc hơi tại thời điểm tính toán;

W_{tt} : Lượng nước tổn thất tại thời điểm tính toán;

W_{tt} = s_t x K_{th}; (2.14)

K_{th}: Hệ số thấm;

$W_{tiêu}$: Lượng nước tiêu;

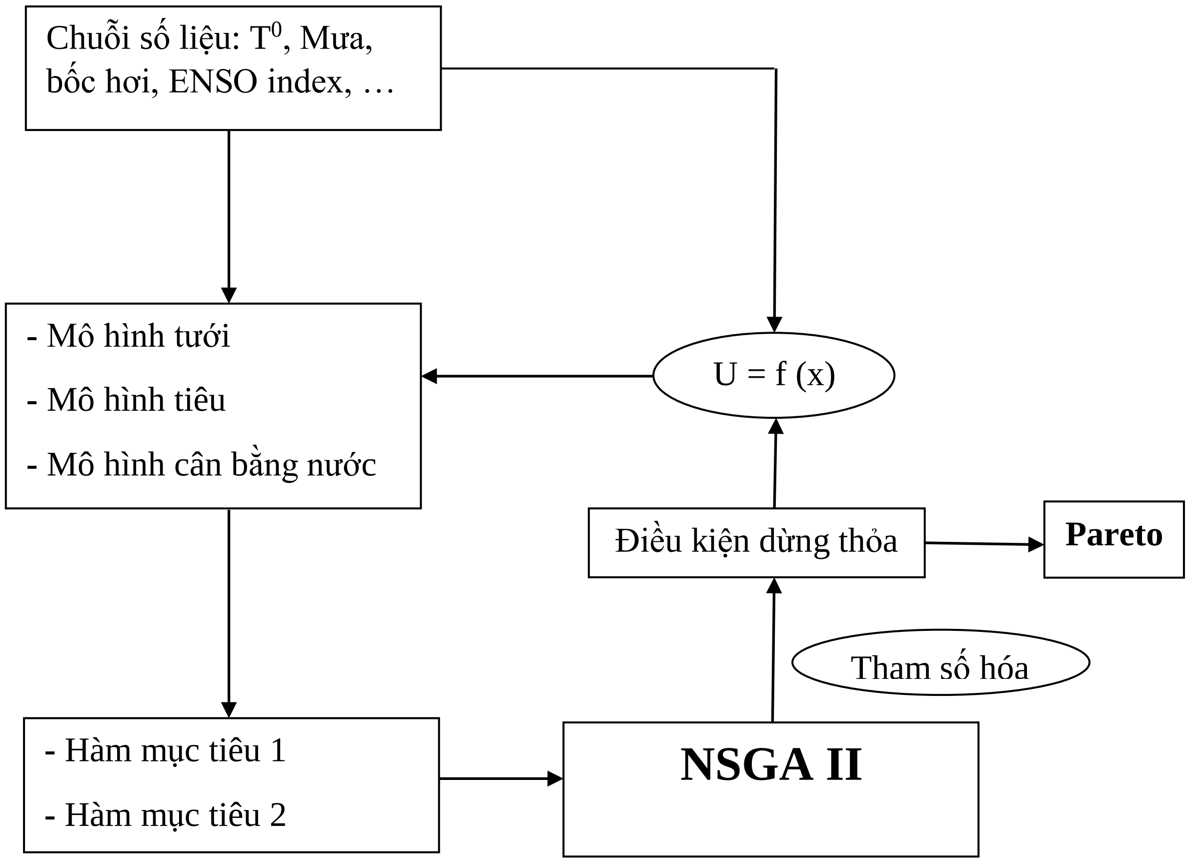
$W_{tiêu}$= f(s_t , R) (2.15)

Các ràng buộc khác như năng lực bơm và các đặc điểm vật lý khác của hệ thống đã được xử lý trong hàm ra quyết định.

2.3.4.3 Khung xây dựng giải pháp tối ưu và thuật toán di truyền NSGA II

a. Sơ đồ:

Sơ đồ hình 2.16 thể hiện khung xây dựng giải pháp tối ưu



Hình 2.16. Sơ đồ khung xây dựng giải pháp tối ưu

b. Thuật toán tối ưu NSGA II (Nondominated Sorting Genetic Algorithm II)

NSGA [26] là viết tắt của ***thuật toán di truyền sắp xếp các nghiệm không trội.*** Các ký hiệu và thuật toán trong thuật toán NSGA II được cải tiến từ thuật toán NSGA.

Mục tiêu của bài toán là đi tìm hàm vận hành để tối thiểu hóa giờ bơm tiêu và tối đa lượng nước cấp cho cây trồng (tối thiểu hóa lượng nước thiếu hụt). Hàm vận hành ở đây đã được định trước về dạng ($\boldsymbol{uI_t}$) bài toán ở đây là đi tìm bộ tham số hàm vận hành để nhằm tối đa hóa các hàm mục tiêu nêu trên.

Mỗi 1 bộ tham số của hàm vận hành được coi là một cá thể nằm trong giải thuật tối ưu NSGA II, các cá thể này tập hợp thành một quần thể, các quần thể này sinh ra các quần thể tiếp theo theo các quy luật tiến hóa của chọn lọc tái tạo "lai ghép và đột biến", quần thể trước sinh quần thể sau.

Quần thể trước được gọi là quần thể "cha mẹ", quần thể sau được gọi là quần thể "con". Mỗi lần quần thể trước sinh quần thể sau thì được gọi là một "thế hệ". Sau quá trình lai ghép, tái tạo sẽ sinh ra quần thể con ưu tú hơn quần thể cha mẹ. Quá trình cứ lặp đi lặp lại (thế hệ này qua thế hệ khác) để tìm ra quần thể ưu việt nhất, quá trình tính toán sẽ kết thúc ở đây. Cụ thể quá trình tối ưu hóa của thuật toán di truyền sắp xếp các nghiệm không trội NSGA II như sau:

Các biến:

P_t: Quần thể cha;

Q: Quần thể con được tạo thành từ các cá thể trong P_t;

F_j: Biến chứa nghiệm không trội, với j=1, …, R;

N: Số lượng cá thể trong quần thể P_t;

Thuật toán:

Bước 1: Tạo ngẫu nhiên quần thể cha P_0 với $|P_0| = N$; Gán t = 0;

Bước 2: Áp dụng toán tử chéo hóa và đột biến đối với các cá thể trong quần thể P_0 để tạo quần thể con Q_0 với $|Q_0| = N$;

Bước 3: Nếu điều kiện dừng thỏa mãn thì dừng và xuất các cá thể trong quần thể P_t.

Bước 4: Đặt $R_t = P_t \cup Q_t$

Bước 5: Dùng thuật toán sắp xếp các nghiệm không trội – NSGA để nhận diện các biến chứa các nghiệm không trội F_1, F_2, …, F_k trong R_t

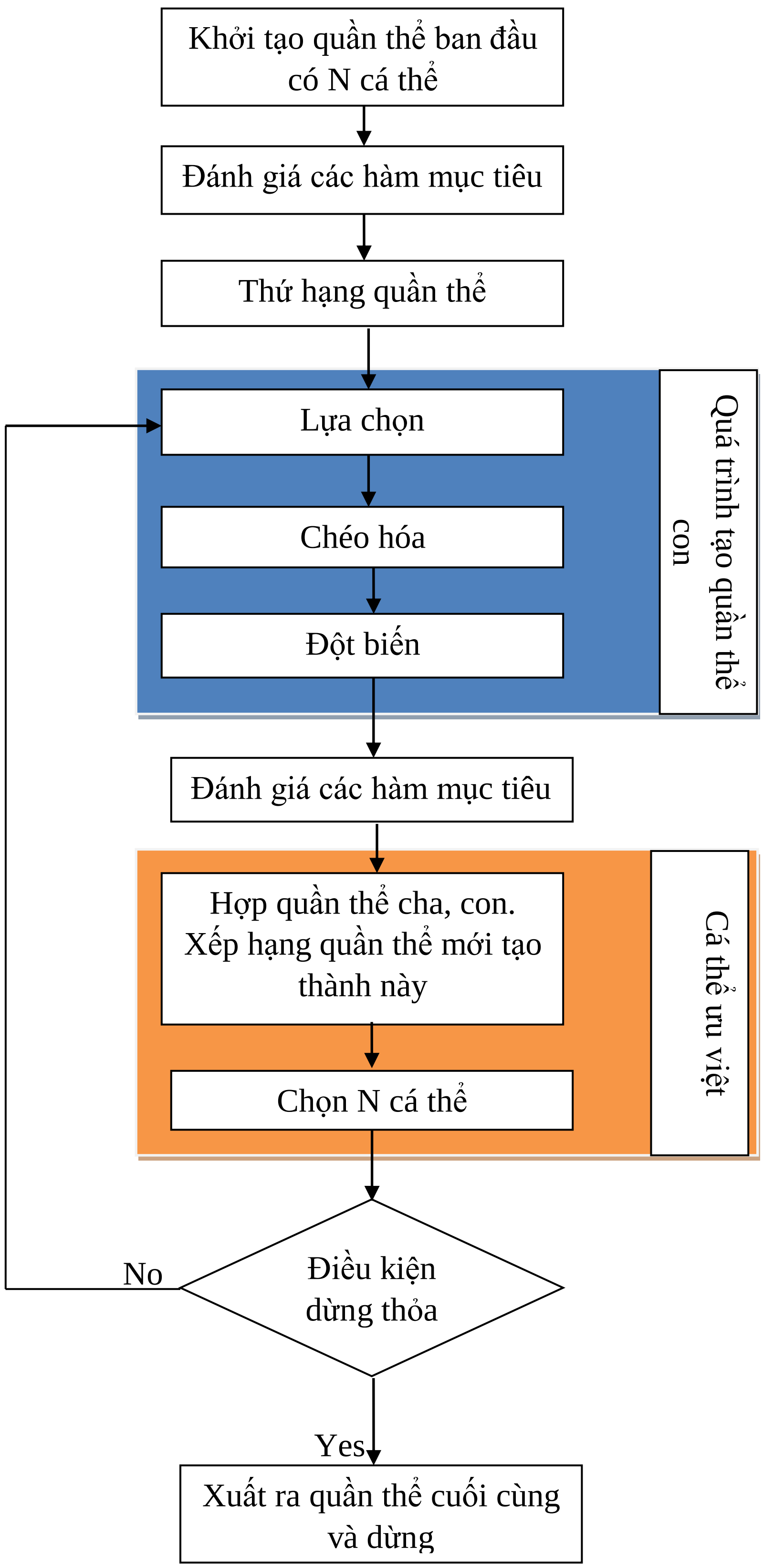
Bước 6: Với mỗi i = 1, …, k ta thực hiện các bước sau:

- Tính khoảng cách quy tụ của các nghiệm trong F_i
- Tạo quần thể P_{t+1} như sau :
  Nếu $|P_{t+1} + F_i| \leq N$ thì thiết lập $P_{t+1} = P_t \cup F_i$
  Nếu $|P_{t+1} + F_i| > N$ thì bổ sung N - P_{t+1} nghiệm mà có các cá thể khác quy tụ là ít nhất từ quần thể F_i vào P_{t+1}

Bước 7: Sử dụng toán tử lựa chọn vòng nhị phân dựa trên khoảng cách quy tụ trên nghiệm x để lựa chọn các cá thể cha từ quần thể P_{t+1}. Áp dụng toán tử chéo hóa và đột biến đối với quần thể P_{t+1} để tạo quần thể con Q_{t+1} với $|Q_{t+1}| = N$.

Bước 8: Gán t. Quay lại bước 3.

Cụ thể sơ đồ thiện hiện thuật toán di truyền sắp xếp các nghiệm không trội NSGA II được trình bày tại hình 2.17



Hình 2.17. Sơ đồ thể hiện thuật toán NSGA II

2.3.4.5 Số liệu đầu vào

a. Các đặc điểm vật lý của hệ thống

- Số liệu mực nước thượng lưu cống Nam Đàn.

- Các thông số kỹ thuật của trạm bơm 12/9 và trạm bơm Hưng Châu.

- Các thông số kỹ thuật của các kênh chính trong khu vực nghiên cứu: chiều dài, rộng, hệ số mái, …

b. Số liệu khí tượng

Số liệu mưa, nhiệt độ, độ ẩm, gió, bốc hơi, số giờ nắng được lấy với chuỗi số liệu 50 năm: Từ năm 1960 đến năm 2010. Các số liệu này được thu thập từ Trạm khí tượng Vinh, Nghệ An, vị trí địa lý: $105^0$40’ Kinh độ Đông, $18^0$40’ Vĩ độ Bắc, ở độ cao 6m.

c. Chỉ số ENSO

El Nino là khái niệm dùng để chỉ hiện tượng nóng lên không bình thường của lớp nước mặt thuộc vùng biển phía Đông Xích đạo Thái Bình Dương kéo dài từ 3 mùa trở lên.El Nino còn được gọi là “pha nóng”.

La Nina ngược với El Nino, là khái niệm dùng để chỉ hiện tượng lạnh đi không bình thường của lớp nước mặt thuộc vùng biển phía Đông Xích đạo Thái Bình Dương kéo dài từ 3 mùa trở lên. La Nina còn được gọi là “pha lạnh”.

Khi nhiệt độ mặt nước biển ở trạng thái nằm giữa “pha nóng” và “pha lạnh” được gọi là trạng thái trung gian

SO là khái niệm dùng để chỉ hiện tượng dao động của chênh lệch khí áp giữa Tây và trung tâm xích đạo Thái Bình Dương.

Do 2 hiện tượng El Nino/La Nina (đại dương) và SO (khí quyển) xảy ra trên xích đạo Thái Bình Dương có quan hệ mật thiết với nhau nên chúng được liên kết lại thành một hiện tượng kép, gọi tắt là ENSO.

Chỉ số ENSO trong nghiên cứu được tham khảo từ Website của Viện Nghiên cứu Quốc tế về khí hậu và xã hội (International Rresearch Institute for Climate and Society) thuộc đại học Colombia (Địa chỉ website: http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/) Tại đây, họ đưa ra một mô hình dự báo ENSO tập hợp từ rất nhiều dự báo của các tổ chức khác nhau như: NASA, Viên khí tượng của Pháp (MeteoFrance), …

Bộ chỉ số được sử dụng để tính toán dự báo ENSO cho mô hình là bộ chỉ số NINO 3.4 SST.

2.3.4.6 Ngôn ngữ lập trình

Matlab viết tắt từ "MATrix LABoratory", được Cleve Moler phát minh vào cuối thập niên 1970, và sau đó là chủ nhiệm khoa máy tính tại Đại học New Mexico. Matlab là phần mềm cung cấp môi trường tính toán số và lập trình, do công ty MathWorks thiết kế. MATLAB cho phép tính toán số với ma trận, vẽ đồ thị hàm số hay biểu đồ thông tin, thực hiện thuật toán, tạo các giao diện người dùng và liên kết với những chương trình máy tính viết trên nhiều ngôn ngữ lập trình khác.Với thư viện Toolbox, MATLAB cho phép mô phỏng tính toán, thực nghiệm nhiều mô hình trong thực tế và kỹ thuật.

Các thành phần của Matlab:

- Ngôn ngữ: Là ngôn ngữ ma trận/mảng cấp cao với các câu lệnh, hàm, cấu trúc dữ liệu, vào/ra, các tính năng lập trình hướng đối tượng. Nó cho phép lập trình các ứng dụng từ nhỏ đến các ứng dụng lớn và phức tạp.

- Môi trường làm việc: Bao gồm các phương tiện cho việc quản lý các biến trong không gian làm việc workspace cũng như xuất nhập khẩu dữ liệu. Nó cũng bao gồm các phương tiện cho việc quản lý, gỡ rối và định hình M-file, ứng dụng của Matlab.

- Xử lý đồ họa: Bao gồm các lệnh cao cấp cho trực quan hóa dữ liệu hai chiều và ba chiều, xử lý ảnh, ảnh động, …

Kết luận chương 2

Các phương pháp nghiên cứu đã được sử dụng trong luận án là các phương pháp có cơ sở khoa học chặt chẽ. Để giải quyết theo các phương pháp này, tác giả đã sử dụng một loạt các công cụ tiên tiến như Cropwat, Mike 11, Mike Basin và đặc biệt là kỹ thuật tối ưu đa mục tiêu NSGA II. Kết quả của một hàm tối ưu đa mục tiêu sẽ cho ta một mặt Pareto là tập hợp của các nghiệm tối ưu không trội, mỗi nghiệm là một giải pháp vận hành tối ưu cho hệ thống.

Chương 2 đã mô tả chi tiết các kỹ thuật được áp dụng trong nghiên cứu, đưa ra được khung giải pháp tối ưu và trình tự thực hiện cũng như giải thích rõ ràng thuật toán sẽ được sử dụng.

Việc ứng dụng kỹ thuật tối ưu trong xây dựng giải pháp vận hành cho một hệ thống tưới là mới và ***thuật toán di truyền sắp xếp các nghiệm không trội NSGA II*** là chưa được sử dụng để tính toán cho bất kỳ hệ thống thủy lợi nào ở Việt Nam.

CHƯƠNG III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1 Giải pháp thu trữ nước phục vụ cho sản xuất nông nghiệp trong mùa kiệt

3.1.1 Kết quả tính toán nhu cầu nước

3.1.1.1Nhu cầu nước cho trồng trọt

a. Cơ sở tính toán

- Căn cứ theo tiêu chuẩn ngành: Theo quy định trong Quy phạm kỹ thuật về lập Quy hoạch thuỷ lợi, ký hiệu 14 TCN-87-95 và các quy phạm hiện hành về lập, trình duyệt thiết kế quy hoạch, dự án tiền khả thi, dự án khả thi và thiết kế kỹ thuật bản vẽ thi công tần suất tính toán.

- Căn cứ các yếu tố:

+ Thuỷ văn: Lượng nước đến tại tuyến công trình, mưa dùng trong tính toán tưới, các chỉ tiêu khí tượng liên quan tính với tần suất 75%, 85%.

+ Dòng chảy môi trường tính với P = 90% tháng mùa kiệt.

+ Thuỷ nông: Tính hệ số tưới mặt ruộng cho các loại cây trồng với tần suất 75%, 85%.

+ Tần suất thiết kế công trình, tính toán lũ công trình theo cấp công trình trên cơ sở quy phạm xây dựng các công trình thuỷ lợi hiện hành.

b.Tiêu chuẩn tính toán

❖ Tài liệu về nông nghiệp

+ Vùng nghiên cứu mang đặc điểm khí hậu vùng Bắc Trung Bộ trong một năm gieo trồng 2 vụ chính trong năm là Đông Xuân và Hè Thu, tuy nhiên những vùng cao không bị lũ uy hiếp thường sản xuất vụ mùa. Tập đoàn cây trồng chính trong các vụ là cây lương thực như lúa (Giống lúa VN10, XI23, XI21, IR38) ngô, khoai, sắn, rau , đậu…

Chế độ canh tác: Vụ Đông Xuân: Làm ải.

Vụ Mùa: Làm dầm.

+ *Thời vụ gieo trồng:* Theo tài liệu thu thập của tỉnh, địa phương kết hợp với tài liệu khí tượng thuỷ văn ở các vùng có tính tới việc tránh lũ chính vụ chúng tôi đưa ra thời vụ gieo trồng cụ thể như bảng 3.1:

Bảng 3.1. Thời vụ cây trồng vùng sông Cả

TT	**Loại cây trồng**	**Thời vụ**	
		Từ ngày	**Đến ngày**
I	**Vụ Đông Xuân**		
1	Mạ Đông Xuân	1/12	30/12
2	Lúa Đông Xuân	1/1	5/5
3	Ngô đông xuân	10/1	20/4
4	Lạc Đông Xuân	5/1	21/4
II	**Vụ hè thu**		
1	Mạ Hè Thu	15/4	9/5
2	Lúa Hè Thu	10/5	5/9
3	Ngô Hè Thu	10/6	25/9
4	Lạc Hè Thu	15/6	22/9
III	**Vụ Mùa**		
1	Mạ Mùa	10/6	20/6
2	Lúa Mùa	1/7	5/11
IV	**Mía**	**5/1**	**20/11**
V	**Vụ Đông**	**1/10**	**31/12**
V	**Vụ Đông**	1/10	31/12

+ Hệ số sinh lý của cây trồng theo các giai đoạn phát triển (bảng 3.2)

Bảng 3.2. Hệ số sinh lý cây trồng theo các giai đoạn phát triển

Hạng mục	Đầu	Phát triển	Giữa	Sau
Lúa	1,1÷1,5	1,1÷1,5	1,1÷1,3	0,95÷1,5
Ngô	0,3÷0,5	0,7÷0,9	1,05÷1,2	1,0÷1,15
Mía	0,4÷ 0,5	0,7÷1,0	1,0÷1,3	0,75÷0,80

❖ Các chỉ tiêu của đất dùng trong tính toán

- Lượng nước làm đất:

Vụ Đông Xuân: 100 mm.

Vụ Hè Thu: 180 mm.

Vụ Mùa: 180 mm.

- Cường độ ngấm ổn định tại ruộng: 2,5mm/ngày đêm

❖ Tài liệu khí tượng: Luận án sử dụng tài liệu khí tượng tại trạm Vinh, như bảng 3.3.

Bảng 3.3. Đặc trưng khí hậu tram Vinh

Yếu tố	ĐV	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Vinh (cao độ trạm 6m, ở toạ độ $18^0$40’ Vĩ độ Bắc và $105^0$40’ Kinh độ Đông)													
Độ ẩm	%	88,1	90,0	90,2	87,3	81,2	73,9	73,7	80,0	85,3	86,2	85,2	85,8
Tốc độ gió	m/s	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	0,8	0,9	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6
Số giờ nắng	Giờ	74,3	54,5	70,3	128,3	206,7	195,2	212,5	177,8	147,6	122,8	105,4	69,4

Nguồn: Trung Tâm số liệu-Cục quản lý mạng lưới KTTV-Bộ TN&MT; Viện QHTL

+ Tài liệu mưa (xem phụ lục 1)

+ Mức tưới cho cây trồng (xem phụ lục 2)

c. Kết quả tính toán nhu cầu nước cho cây trồng

Trên cơ sở các tài liệu về khí tương và cơ cấu cây trồng, sử dụng chương trình CROPWAT.7, tính toán nhu cầu nước cho các loại cây trồng ứng với tần suất 75% và 85% được kết quả như bảng 3.4.

Bảng 3.4. Nhu cầu nước cho trồng trọt vùng nghiên cứu

Đơn vị: $10^6 m^3$

Vùng	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Tổng**
Tần suất 75%													
Vùng VII	23.18	18.34	28.16	45.99	34.12	37.08	41.59	12.26	3.14	0.00	0.49	29.72	274.07
Tần suất 85%													
Vùng VII	22.94	20.52	30.25	45.24	34.85	41.22	44.70	10.76	5.20	0.01	0.65	31.04	287.37

3.1.1.2 Nhu cầu nước cho chăn nuôi

a. Tiêu chuẩn cấp nước chăn nuôi

Tiêu chuẩn dùng nước của mỗi loại gia súc gia cầm được lấy theo tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 4454-1987. Chỉ tiêu cấp nước cho các vật nuôi chủ yếu trong khu vực nghiên cứu được trình bày trong bảng 3.5.

Bảng 3.5. Chỉ tiêu cấp nước cho chăn nuôi

TT	Vật nuôi	l/con/ngày	TT	Vật nuôi	l/con/ngày
1	Trâu, bò sữa	80 – 100	9	Lợn sữa, lợn nái đã lớn	25
2	Trâu bò thịt	60 – 70	10	Lợn nái đang nuôi con	5
3	Trâu bò cày kéo	70 – 80	11	Lợn thịt đang vỗ béo	15
4	Bê, nghé con đến 6 tháng tuổi	20 – 25	12	Lợn con đã cách ly mẹ	5
5	Ngựa lớn	50 – 70	13	Gà	1
6	Ngựa dưới 1,5 tuổi	30 – 40	14	Vịt, ngan, ngỗng	2
7	Dê lớn	10	15	Thỏ	2
8	Dê con	6			

b. Nhu cầu nước cho chăn nuôi

Căn cứ vào chỉ tiêu cấp nước cho chăn nuôi và số lượng đàn gia súc, tính toán được nhu cầu cấp nước cho chăn nuôi theo các tháng vùng nghiên cứu như bảng 3.6.

Bảng 3.6. Nhu cầu nước cho chăn nuôi

Đơn vị: $10^6 m^3$

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Tổng
Nhu cầu	0.40	0.36	0.40	0.39	0.40	0.39	0.40	0.40	0.39	0.40	0.39	0.40	4.71

3.1.1.3 Nhu cầu nước cho thủy sản

a. Tiêu chuẩn tính toán

Nhu cầu nước cho nuôi trồng thuỷ sản chủ yếu là cho vùng nước lợ (cung cấp nước ngọt để pha loãng tạo môi trường). Thời vụ nuôi trồng thủy sản: hai vụtừ tháng 3 đến tháng 7 và thời gian nuôi từ 105-110 ngày. Nhu cầu nước ngọt cho thủy sản khoảng 10.000 m3/ha-vụ.Định mức cấp nước cho thủy sản như bảng 3.7.

Bảng 3.7. Mức cấp nước cho nuôi trồng thủy sản lưu vực sông Cả

Tháng	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Tổng**
Mức cấp (m^3/ha)	1500	1500	1500	1500	1000	1500	1500	1500	1000	0	0	0	12500

b. Kết quả tính toán nhu cầu nước cho thủy sản

Căn cứ diện tích nuôi trồng thủy sản vùng nghiên cứu là 4.282 ha, trong đó: Thủy sản nước ngọt là 3.942 ha và nước lợ là 340 ha và tiêu chuẩn cấp nước, kết quả tính toán nhu cầu cấp nước cho thủy sản như bảng 3.8.

Bảng 3.8. Nhu cầu nước cho nuôi trồng thủy sản

Đơn vị: $10^6 m^3$

Tháng	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Tổng**
Nhu cầu	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	4.250

Từ kết quả tính toán nhu cầu nước, tổng hợp nhu cầu nước cả năm cho toàn vùng với tần suất 75% là: 525,46 triệu m^3 và với tần suất 85% là 547,62m^3.

3.1.1.4 Nhu cầu nước cho sinh hoạt

a. Tiêu chuẩn cấp nước cho sinh hoạt

Theo quyết định số 1590/QĐ-TTg ngày 09 tháng 10 năm 2009 của Thủ tướng chính phủ phê duyệt Chiến lược phát triển thủy lợi Việt Nam. Chỉ tiêu cấp nước sinh hoạt như bảng 3.9.

Bảng 3.9. Chỉ tiêu cấp nước cho sinh hoạt

Năm / Chỉ tiêu	Đơn vị	Năm 2010	Năm 2020
Cấp nước đô thị loại IV trở lên	l/người/ngày	80	120
Cấp nước đô thị loại V	l/người/ngày	60	80
Cấp nước nông thôn	l/người/ngày	60	80

b. kết quả tính nhu cầu nước cho sinh hoạt

Căn cứ vào chỉ tiêu cấp nước cho sinh hoạt, tính toán được nhu cầu sử dụng nước trong khu vực nghiên cứu như bảng 3.10.

Bảng 3.10. Nhu cầu nước cho sinh hoạt

Đơn vị: $10^6 m^3$

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Tổng
Nhu cầu	3.20	2.89	3.20	3.10	3.20	3.10	3.20	3.20	3.10	3.20	3.10	3.20	37.67

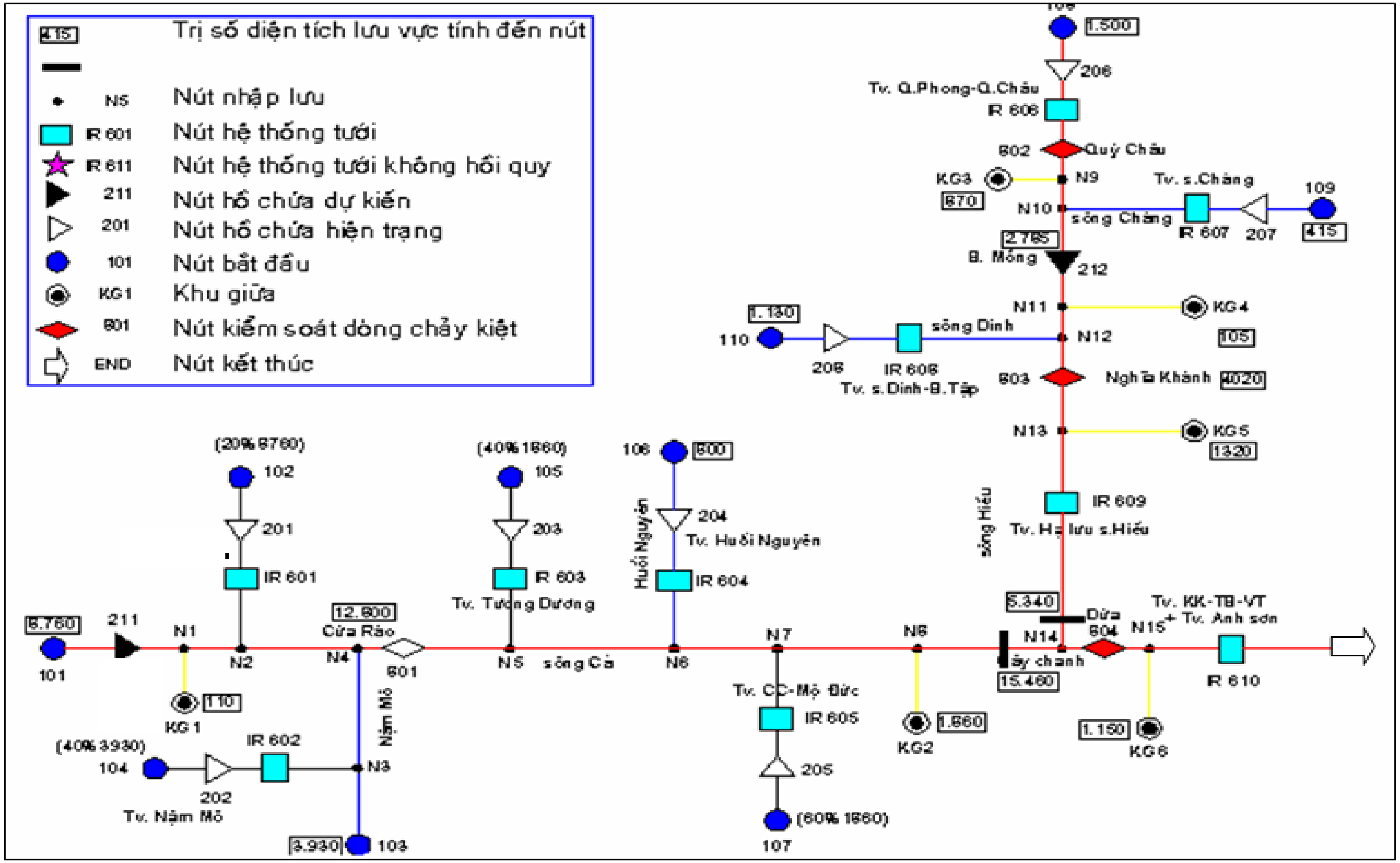
Như vậy, tổng nhu cầu nước cho sinh hoạt toàn vùng là vào khoảng 37,67 triệu m^3

3.1.2 Kết quả tính toán lượng nước thiếu hụt/cân bằng nước

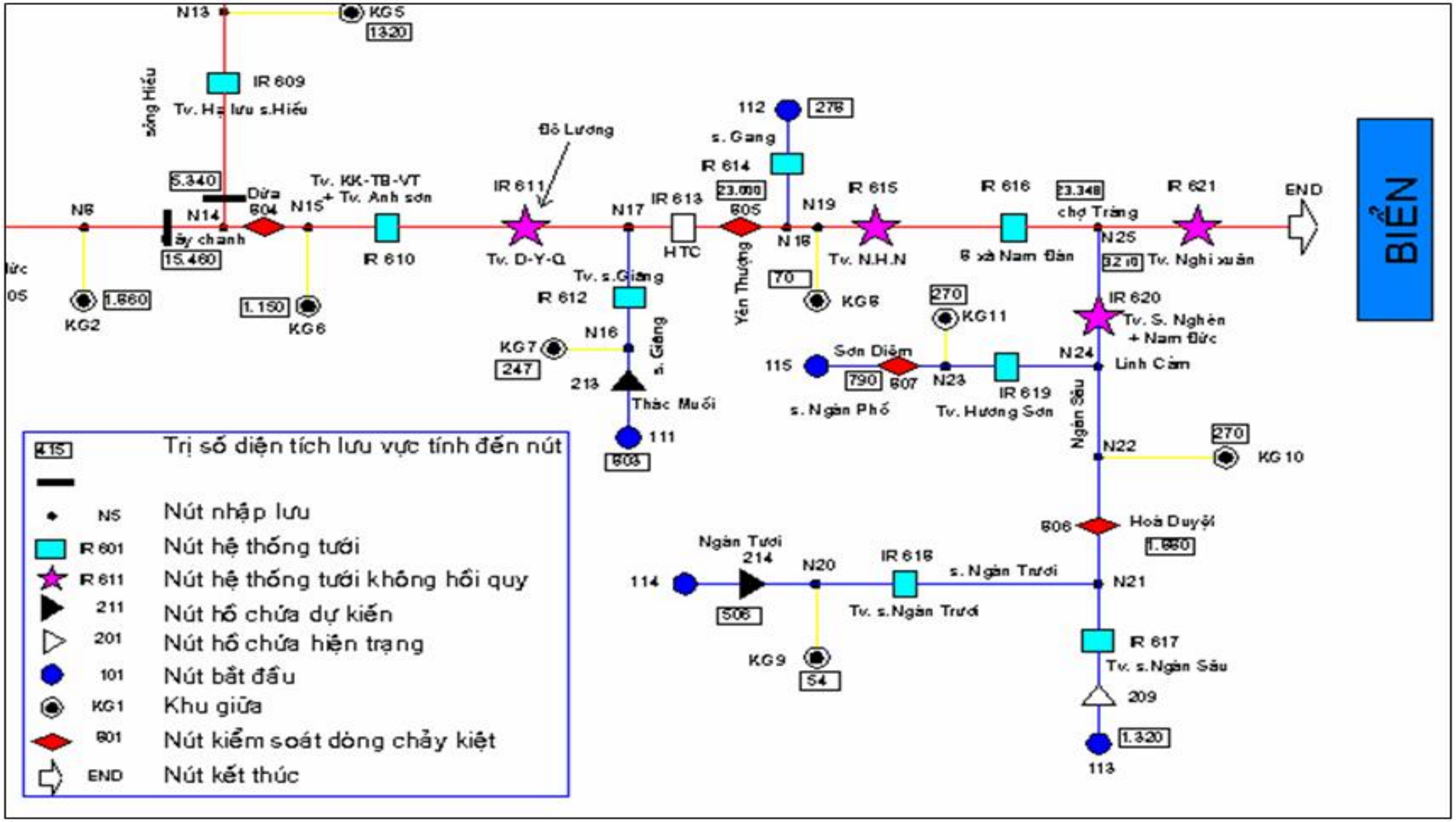
Để tính toán cân bằng nước, xác định lượng nước thiếu hụt làm cơ sở cho việc đề xuất giải pháp thu trữ nước, luận án sử dụng mô hình MIKE BASIN được giới thiệu trong chương 2 để tính toán. Do yêu cầu về các số liệu đầu vào của mô hình như thủy văn, hệ thống hồ chứa, các khu sử dụng nước cần đồng bộ nên mô hình được tính toán cho toàn lưu vực sau đó kết quả được chiết tính cho khu vực nghiên cứu.

3.1.2.1 Sơ đồ tính toán

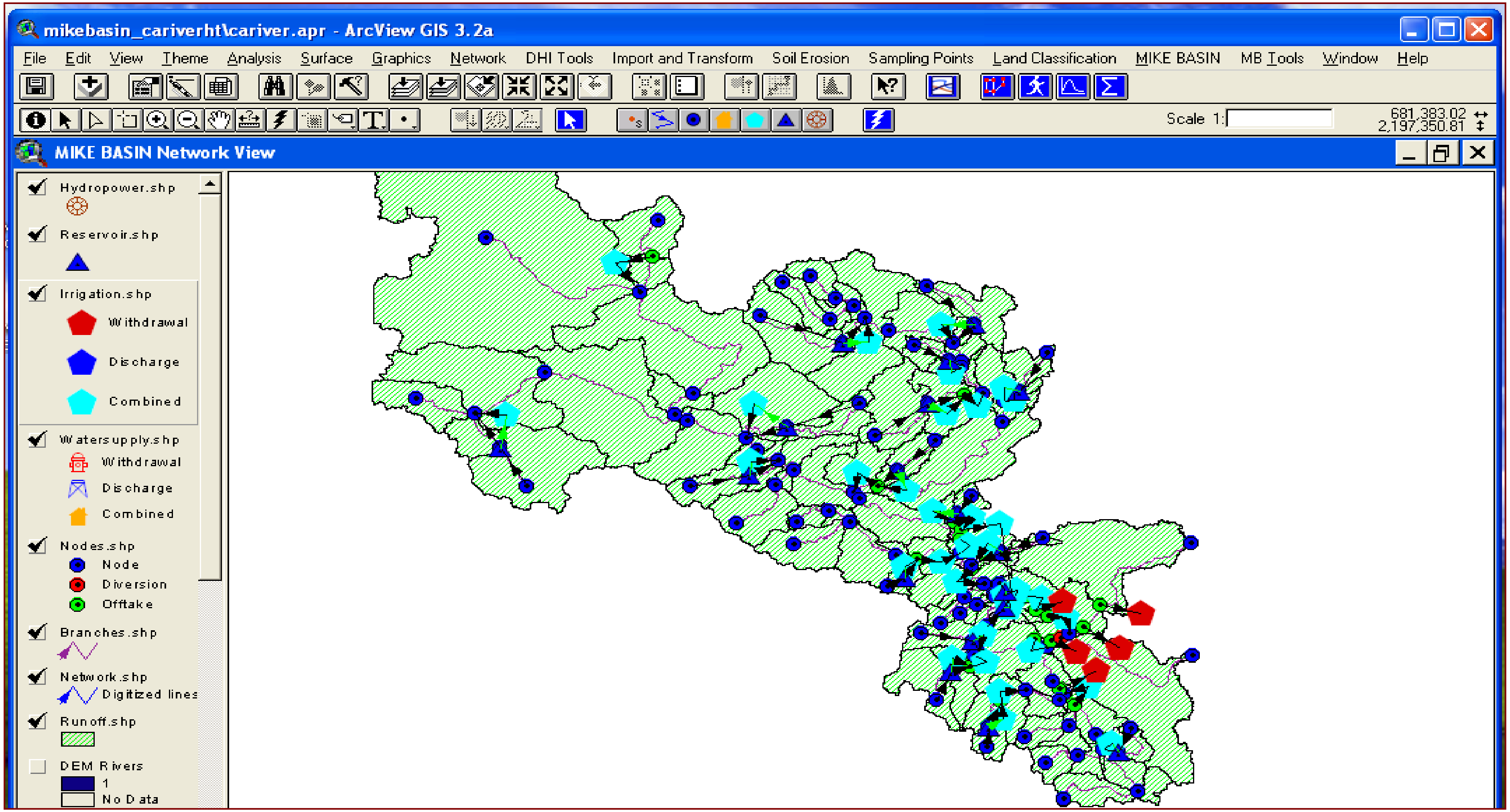
Sơ đồ tính toán như hình 3.1a, 3.1b và 3.2



Hình 3.1a. Sơ đồ tính toán cân bằng nước lưu vực sông Cả



Hình 3.1b. Sơ đồ tính toán cân bằng nước lưu vực sông Cả (tiếp)



Hình 3.2. Sơ đồ tính toán mô hình Mike Basin lưu vực sông Cả

a. Dữ liệu đầu vào

Dữ liệu đầu vào phục vụ tính toán bao gồm các số liệu: Số liệu thủy văn, nhu cầu sử dụng nước, số liệu về hồ chứa.

- Số liệu mưa, nhiệt độ, độ ẩm, gió, bốc hơi, số giờ nắng được lấy với chuỗi số liệu 50 năm: Từ năm 1960 đến năm 2010. Các số liệu này được thu thập từ Trạm khí tượng Vinh, Nghệ An, vị trí địa lý: 105040’ Kinh độ Đông, 18040’ Vĩ độ Bắc, ở độ cao 6m. (Phụ lục 1)

- *Số liệu về nhu cầu nước cho các vùng nghiên cứu ứng với các tần suất 75% và 85% (Phụ lục 4)*

- Số liệu về hồ chứa bảo gồm 6 hồ lớn trên thượng nguồn là hồ Bản Vẽ, Khe Bố, Nhạn Hạc, Bản Cộc, Bản Mồng, Ngàn Trươi, gồm các thông số cơ bản về: Dung tích làm việc, dung tích chết, dung tích tổng cộng; Quan hệ dung tích - mực nước hồ W - Z; Khả năng xả của đập tràn; Lưu lượng thiết kế xả xuống hạ du và quan hệ Q~h; Biểu đồ điều phối. (Phụ lục 6)

b. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Tác giả đã tiến hành kiểm định mô hình MIKEBASIN với năm 2010. Kết quả kiểm định mô hình thể hiện qua đường quá trình lưu lượng tính toán và lưu lượng thực đo tại một số nút kiểm tra có trạm đo đạc sau đây:

+ *Trạm Cửa Rào, Dừa và Yên Thượng trên sông Cả.*

+ *Trạm Quỳ Châu trên sông Hiếu.*

+ *Trạm Hoà Duyệt trên sông Ngàn Sâu.*

+ *Trạm Sơn Diệm trên sông Ngàn Phố.*

Qua kết quả tính toán ta thấy quá trình kiểm định mô hình tương đối tốt. Hệ số kiểm định mô hình RRStat là 7.5. Liệt dòng chảy mô phỏng và liệt dòng chảy thực đo tại các nút kiểm tra tương đối trùng khớp nhất là ở các khu vực miền núi và các tháng mùa kiệt, sự sai lệch nằm trong giới hạn cho phép.

Kết quả kiểm định cho các trạm xem phụ lục 5

3.1.2.2 Kết quả tính toán lượng nước thiếu hụt

Tính toán cân bằng nước trên cơ sở:

- Nhu cầu nước hiện trạng tần suất P=75% và P=85%.
- Dòng chảy môi trường đã được tính toán trong nhu cầu nước.
- Công trình tưới hiện trạng và dự kiến.
- Liệt số liệu tính toán: 1960 -2010.

Kết quả tính toán cân bằng nước cho thấy, lưu vực sông Cả thiếu nước nghiêm trọng. Tổng lượng nước thiếu hụt năm 2010 với tần suất P=75% là $579x10^6m^3$, P=85% là $785x10^6m^3$. Trong đó vùng thiếu nước tập trung phần lớn ở khu vực hạ du nơi nguồn nước nội tại kém, nguồn cấp phụ thuộc rất nhiều vào lưu lượng từ thượng nguồn.Kết quả tính toán cân bằng nước cho các tiểu vùng như **phụ lục 8.**

Riêng khu vực Nam Hưng Nghi, kết quả tính toán lượng nước thiếu hụt như sau, dựa trên các cơ sở tính toán, tính toán được lượng nước thiếu hụt của khu vực nghiên cứu, ứng với từng tần suất P = 75% và P = 85%. Chi tiết kết quả tính toán như bảng 3.11 và 3.12:

Bảng 3.11. Tổng lượng nước thiếu hụt vùng Nam Hưng Nghi - P=75%

Vùng/Tháng	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Tổng**
Lượng nước đến(m^3/s)	24,24	24,19	24,26	24,06	25,09	25,77	24,89	27,05	27,44	25,58	24,47	24,20	
Lượng nước cần (m^3/s)	17,14	13,93	20,34	31,75	24,17	26,02	28,98	10,12	4,20	2,24	2,50	21,34	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	0,00	-7,70	0,00	-0,25	-4,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	0,00	-19,95	0,00	-0,65	-10,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-31,21**

Bảng 3.12. Tổng lượng nước thiếu hụt vùng Nam Hưng Nghi- P=85%

Vùng/Tháng	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Tổng**
Lượng nước đến(m^3/s)	23,03	22,98	23,05	23,85	23,83	25,48	23,64	25,70	26,07	24,30	23,24	22,99	
Lượng nước cần (m^3/s)	16,99	15,33	21,69	31,27	24,64	28,68	30,98	9,15	5,52	2,24	2,60	22,19	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	0,00	-7,41	-0,81	-3,20	-7,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	0,00	-19,22	-2,10	-8,30	-19,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-48,63**

Đối với vùng Kênh Lê Xuân Đào, với tần suất 75%, lượng nước thiếu hụt thường xuất hiện từ tháng 12 đến tháng 7 năm sau, tập trung vào các tháng 1, 2, 3, 4 và 7, số năm thiếu nước chiếm từ 5 đến 18%, tháng thiếu hụt lớn nhất là tháng 7 thiếu hụt 0,83 triệu m^3, tháng thiếu ít nhất là tháng 12 thiếu hụt 0,35 triệu m^3, tổng hợp cả năm toàn vùng thiếu 2,31 triệu m^3.Với tần suất 85%, lượng nước thiếu hụt thường xuất hiện từ tháng 12 đến tháng 7 năm sau, tập trung vào các tháng 12, 1, 2, 3, 4 và 7, số năm thiếu nước chiếm từ 6 đến 20%. Tháng thiếu hụt lớn nhất là tháng 4 thiếu hụt 1,51 triệu m^3, tháng thiếu ít nhất là tháng 1 thiếu hụt 0,42 triệu m^3, tổng hợp cả năm toàn vùng thiếu 7,58 triệu m^3. Chín xã thuộc vùng nghiên cứu thiếu hụt cả năm là 1,65 triệu m^3.

3.1.3 Đề xuất phương án trữ nước cho mùa kiệt

Các nguyên tắc để đề xuất phương án trữ nước là (i) Căn cứ nhu cầu lượng nước cần trữ để bù đắp cho lượng nước thiếu hụt trong vùng nghiên cứu. (ii) Căn cứ điều kiện thực tế của hệ thống, khả năng cải tạo, mở rộng các kênh chìm trữ nước. (iii) Việc cải tạo nâng cấp các kênh không tăng thêm diện tích chiếm đất của hệ thống và hạn chế tối đa các ảnh hưởng đến hiện trạng các công trình, môi trường tự nhiên và sản xuất của địa phương.

Như vậy, với lượng nước thiếu hụt lớn nhất là 1,65 triệu m^3 cần phải có một giải pháp thích hợp để bổ sung. Hiện nay, có rất nhiều biện pháp thu trữ nước được áp dụng trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Một số biện pháp như xây dựng các hồ điều hòa trong khu vực, sử dụng các kênh sẵn có để trữ nước, … Qua nghiên cứu và khảo sát, tác giả nhận thấy, hiện tại, địa phương cũng đã sử dụng các kênh chính trong khu vực để trữ nước mùa mưa sử dụng cho các tháng thiếu nước với dung tích trữ là 865.794 m^3. Tuy nhiên, do nhiều đoạn bị bồi lấp nên khả năng trữ chỉ còn khoảng hơn 400.000 m^3. Các kênh trong hệ thống là liên kết chặt chẽ với nhau và là các kênh chìm. Trước đây, khi thi công các kênh này, để tiết kiệm chi phí, phần đất nạo vét được sử dung để đắp hai bên bờ. Hiện tại, hiện trạngcác kênh có một bờ là đường giao thông nông thôn, một bờ tương đối rộng, đảm bảo việc mở rộng kênh không làm mất đất của bà con. Vì vậy, giải pháp mở rộng các kênh chính để thu trữ một lượng nước đủ để đáp ứng nhu cầu của khu vực trong các tháng thiếu nước là rất phù hợp.

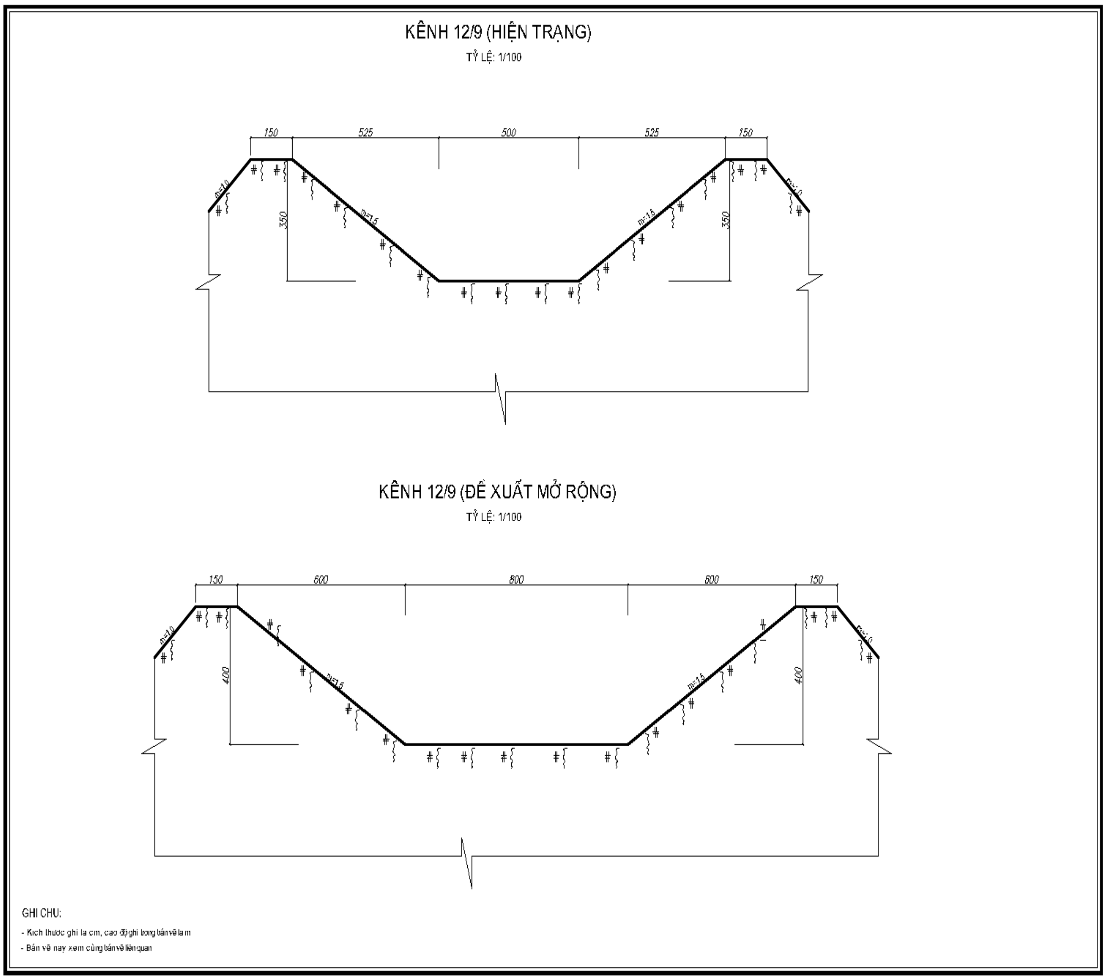
Cả hệ thống có 5 kênh chính và tác giả đề xuất mở rộng các kênh như sau:

- Hiện trạng các kênh trước khi mở rộng (bảng 3.13):

Bảng 3.13. Kích thước kênh hiện tại

<table>
<tr><th rowspan="2">Tên kênh</th><th colspan="3">Kích thước hiện trạng (m)</th><th rowspan="2">H.S Máim</th><th rowspan="2">Khả năng trữ (m^3)</th></tr>
<tr><th>L</th><th>B</th><th>H</th></tr>
<tr><td>Kênh 12/9 (đoạn 1)</td><td>2.500</td><td>5,0</td><td>3,5</td><td>1,5</td><td>67.971</td></tr>
<tr><td>Kênh 12/9 (đoạn 2)</td><td>1.800</td><td>3,0</td><td>3,5</td><td>1,5</td><td>35.801</td></tr>
<tr><td>Lê Xuân Đào</td><td>3.500</td><td>4,0</td><td>3,5</td><td>1,0</td><td>72.560</td></tr>
<tr><td>Hạnh Phúc</td><td>1.800</td><td>4,0</td><td>3,5</td><td>1,0</td><td>37.315</td></tr>
<tr><td>Tiến thắng</td><td rowspan="2">18.300</td><td>20,0</td><td>2,0</td><td>1,0</td><td rowspan="2">652.145</td></tr>
<tr><td>Hưng Nghĩa</td><td>20,0</td><td>2,0</td><td>1,0</td></tr>
<tr><td colspan="5">Tổng cộng</td><td>865.794</td></tr>
</table>

Hiện trạng nếu sử dụng các kênh trong khu vực để trữ nước mùa mưa phục vụ cho tưới mùa khô là không đủ đáp ứng nhu cầu nước trong khu vực.Mặt cắt hiện trạng và mặt cắt đề xuất của các kênh như sau:



Hình 3.3 Mặt cắt kênh 12/9 (đoạn 1) hiện trạng và mở rộng

Kích thước các kênh sau khi mở rộng sẽ đáp ứng được nhu cầu thiếu hụt nước trong khu vực. Hình 3.3 là mặt cắt hiện trạng và mặt cắt mở rộng được đề xuất của kênh 12/9 (đoạn 1). Mặt cắt các kênh còn lại theo **phụ lục 3**. Cụ thể kích thước các kênh được đề xuất mở rộng như bảng 3.14:

Bảng 3.14. Kích thước kênh đề xuất

<table>
<tr><th rowspan="2">Tên kênh</th><th colspan="3">Kích thước đề xuất (m)</th><th rowspan="2">H.S Máim</th><th rowspan="2">Khả năng trữ (m^3)</th></tr>
<tr><th>L</th><th>B</th><th>H</th></tr>
<tr><td>Kênh 12/9 (đoạn 1)</td><td>2.500</td><td>8,0</td><td>4,0</td><td>1,5</td><td>124.294</td></tr>
<tr><td>Kênh 12/9 (đoạn 2)</td><td>1.800</td><td>5,0</td><td>4,0</td><td>1,5</td><td>79.558</td></tr>
<tr><td>Lê Xuân Đào</td><td>3.500</td><td>6,0</td><td>4,0</td><td>1,5</td><td>124.385</td></tr>
<tr><td>Hạnh Phúc</td><td>1.800</td><td>6,0</td><td>4,0</td><td>1,5</td><td>63.969</td></tr>
<tr><td>Tiến thắng</td><td rowspan="2">18.300</td><td>22,0</td><td>3,5</td><td>1,5</td><td rowspan="2">1.255.380</td></tr>
<tr><td>Hưng Nghĩa</td><td>22,0</td><td>3,5</td><td>1,5</td></tr>
<tr><td colspan="5">Tổng cộng</td><td>1.647.586</td></tr>
</table>

Với việc đề xuất mở rộng các kênh chính trong hệ thống như bảng trên sẽ cung cấp được 1.647.586 m^3 nước, đảm bảo cấp bù đủ lượng nước thiếu hụt cho hệ thống trong tháng thiếu nước lớn nhất.

3.2 Xây dựng hàm vận hành thời gian thực cho hệ thống 9 xã kênh Lê Xuân Đào để trữ nước cho vùng nghiên cứu

Hệ thống kênh trong khu vực nghiên cứu là khép kín với 5 kênh chính liên kết chặt chẽ với nhau. Kênh Lê Xuân Đào nằm ở cuối nguồn, trạm bơm Hưng Châu đặt ở cuối kênh Lê Xuân Đào, có nhiệm vụ tiêu nước cho cả khu vực. Việc tính toán vận hành cho hệ thống phải phụ thuộc vào lượng nước đến, mưa và năng lực của cả hệ thống, đặc biệt là kênh Lê Xuân Đào nơi đặt trạm bơm Hưng Châu. Các bước tính toán cụ thể như sau:

3.2.1 Mô hình tiêu

Mô hình tiêu được viết trong chương trình Matlab đã giới thiệu trong chương II. Các số liệu được tính toán trong mô hình bao gồm: số liệu mưa trong 50 năm (1960 – 2010) của trạm Vinh; mặt cắt các kênh theo các kích thước được đề xuất mở rộng (bảng 3.14); mực nước ban đầu của hệ thống.

Để xây dựng mô hình tiêu cho hệ thống, nếu sử dụng Mike 11 trực tiếp thì quá trình tính toán sẽ mất rất nhiều thời gian. Vì thế, tác giả đề suất giải pháp xây dựng ma trận bảng tra là kết quả được tính độc lập từ Mike 11. Cụ thể việc xây dựng bảng tra thông qua 2 bước:

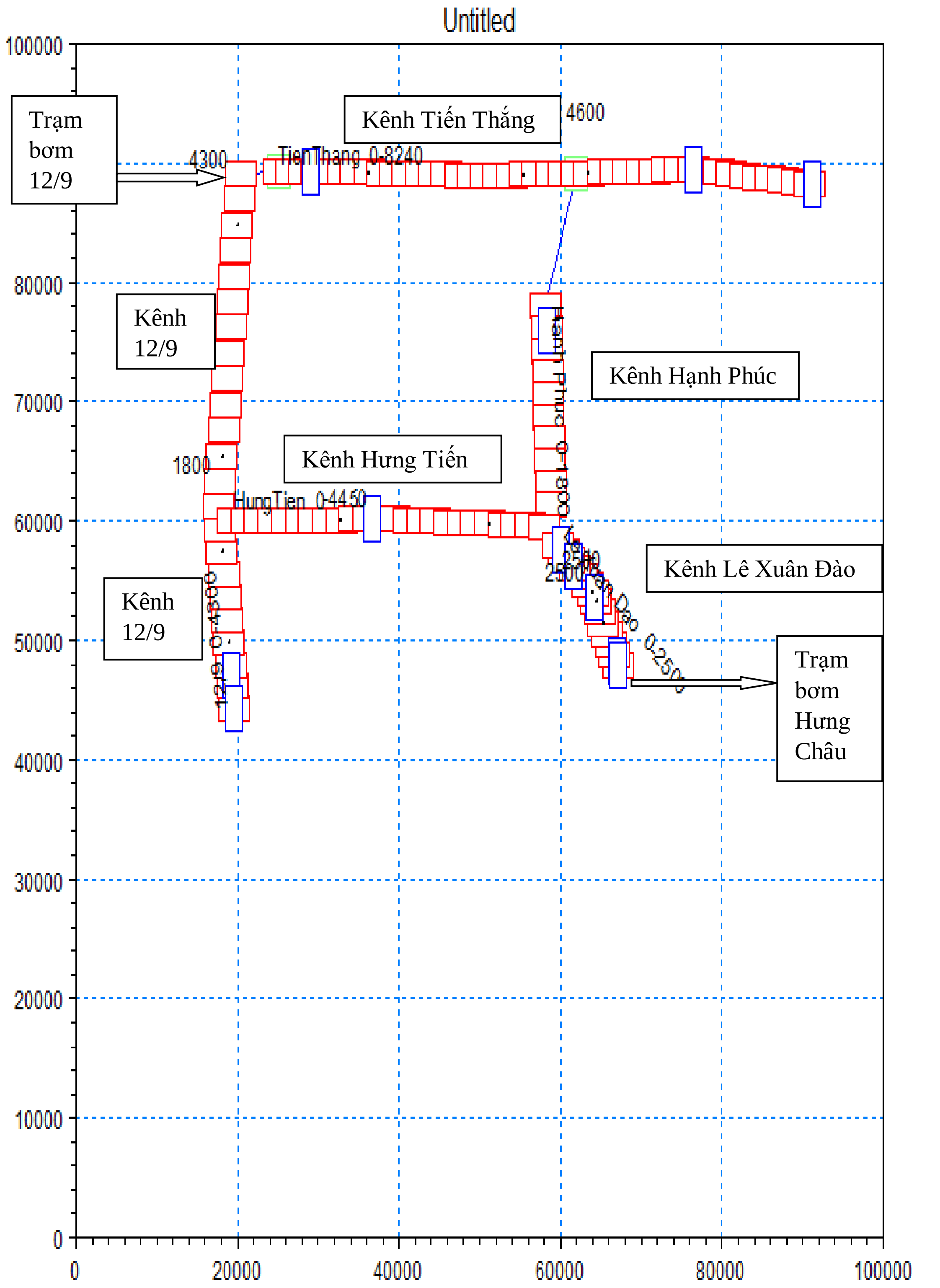
Bước 1: Thiết lập mô hình tiêu Mike 11 cho hệ thống:

Tác giả đã xây dựng hệ thống mạng sông, số hóa 5 kênh chính của hệ thống với tổng chiều dài là 21,5 km, với 114 mặt cắt kênh và thiết lập các biên tính toán. Tài liệu khí tượng được lấy theo ngày và được thu thập tại trạm Vinh. Tác giả cũng đã thiết lập Trạm bơm 12/9 và Hưng Châu trong mô hình tính toán.

- ❖ Sơ đồ mạng:

  Khu vực nghiên cứu là một khu vực là một hệ thống hoàn chỉnh. Vì vậy, khi tính toán thủy lực cho khu vực cần phải xem xét toàn bộ các kênh chính trong khu vực. hệ thống các kênh chính bao gồm 5 kênh với tổng chiều dài là 21,5 km. Gồm các kênh: Kênh 12/9; Kênh Tiến Thắng; Kênh Hạnh Phúc; Kênh Hưng Nghĩa; Kênh Lê Xuân Đào.

  Cụ thể sơ đồ mạng hệ thống như hình 3.4



Hình 3.4. Sơ đồ mạng lưới hệ thống kênh chính

❖ Nhiệm vụ tính toán:

Tính toán thuỷ lực để mô tả chế độ thuỷ lực trong mạng vùng 9 xã với trường hợp hiện trạng, tương lai với các tần suất thiết kế 85%. Từ đó xác định được mực nước và lưu lượng cho từng đoạn kênh để phục vụ cho nghiên cứu tác động của dòng chảy kiệt đến khu vực nghiên cứu.

❖ Các biên tính toán

- Biên trên của mô hình:Với sơ đồ mạng tính toán đã được xác định ở trên, biên trên của mô hình thuỷ lực là biên lưu lượng tại trạm bơm 12/9.
- Biên dưới của mô hình:Biên dưới của mô hình thuỷ lực là quá trình mực nước theo thời gian tạitrạm bơm Hưng Châu.

❖ Tính toán kiểm định mô hình:

Để kiểm định mô hình thủy lực với bộ thông số đã có sau khi tính toán mô phỏng trong mùa kiệt cho khu vực nghiên cứu, thời kỳ kiệt có số liệu thực đo từ 25-30/07/2011 đã được chọn để tính toán kiểm định.

Kết quả mô phỏng kiệt từ7-20/04/1989 và kiểm định từ 25-30/07/2011 cho thấy:

- Kết quả tính toán mô phỏng chế độ thuỷ lực kiệt và kiểm định tại tất cả các nút kiểm tra có số liệu quan trắc ở các vị trí cho kết quả mực nước và giá trị thực đo chênh nhau không đáng kể; Đường quá trình diễn biến mực nước trong thời kỳ kiệt năm 1989 và kiểm định 2011 giữa quá trình tính toán và quá trình thực đo tương đối sát nhau.

- Kết quả tính toán mô phỏng và kiểm định khá phù hợp với thực tế khảo sát, như vậy bộ thông số sử dụng trong mô hình thuỷ lực đã phản ánh khá chính xác chế độ thủy lực trong mùa kiệt của khu vực nghiên cứu, đủ độ tin cậy để tiến hành các tính toán thuỷ lực kiệt cho các trường hợp nghiên cứu trên hệ thống.

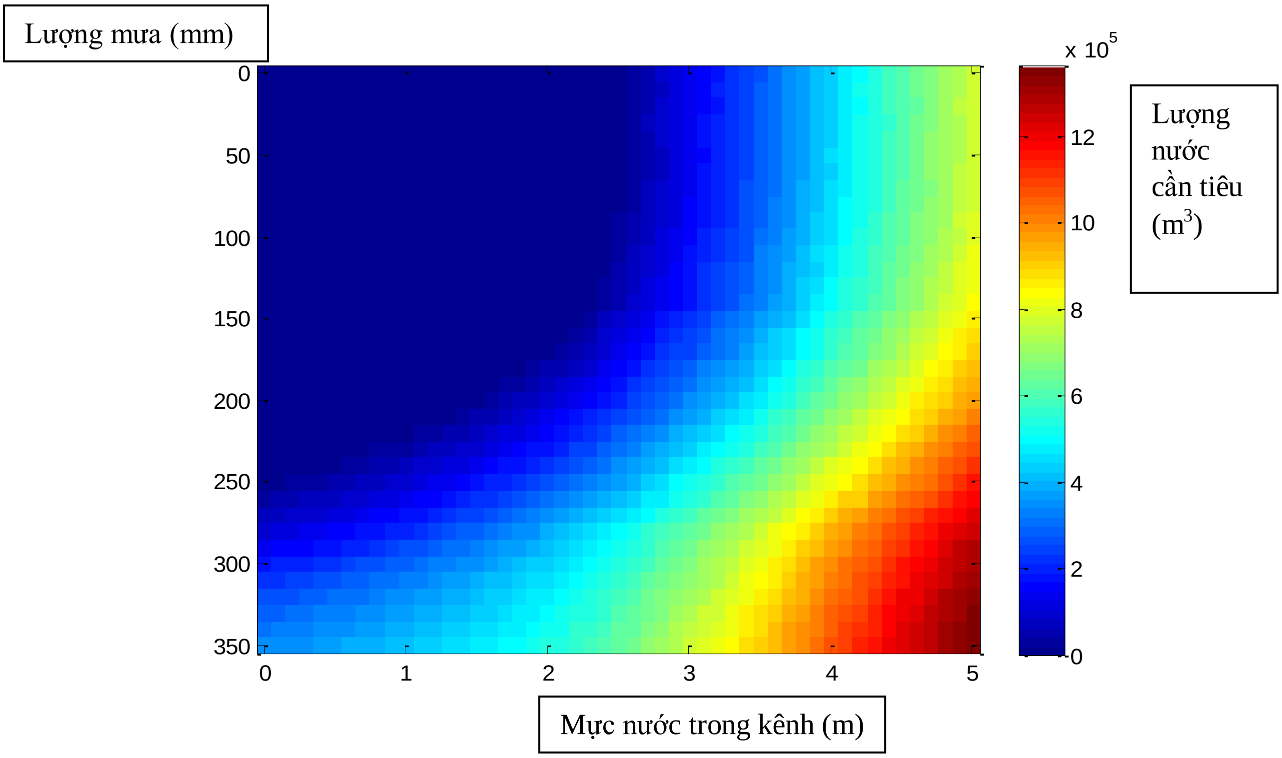
Bước 2: Ứng dụng mô hình Mike 11 xây dựng ma trận tiêu cho hệ thống

Để đơn giản tính toán, một đoạn Script được viết để tự động thiết lập ma trận đầu vào, kết hợp với mô hình Mike 11 đã thiết lập ở trên. Đồng thời tính toán đồng bộ cho ma trận đầu vào có dải mưa từ 0 đến 350 mm với bước tính toán là 10 mm và mực nước ban đầu hệ thống dao động từ 0 đến 5m với bước tính toán là 10 cm. Cụ thể như sau:

```
clear all;
% /muc nuoc kenh
tmpdir = 'D:\WORK\RESEARCH\ProposalForDocTor\Tool\MIKE_MrAn';
i = 1 ;
for inWL = 0 : 0.1: 5
    j = 1;
for Mua = 650:-10:0
%1 dua mo hinh mua ngay
            dayRainTemp =
[3.5;3.5;7;7;10.5;10.5;10.5;14;17.5;21;21;24.5;35;28;24.5;24.5;17.5;17.5;
14;10.5;10.5;7;7;3.5];
dayRain = dayRainTemp*(Mua)/350;
            v = taoDFS0(dayRain,tmpdir);
%2 dua muc nuoc ban dau
fid = fopen('HD_Temp.hd11','rt') ;
            X = fread(fid) ;
fclose(fid) ;
            X = char(X.') ;
            S1 = 'G_waterlevel = 3.5';
            S2 = strcat('G_waterlevel = ',num2str(inWL));
% replace string S1 with string S2
            Y = strrep(X, S1, S2) ;
            fid2 = fopen('HD.hd11','wt') ;
fwrite(fid2,Y) ;
fclose (fid2) ;
%3 chay Mike
            p = strcat('"C:\Program Files
(X86)\DHI\2012\bin\x64\Mike11.exe" -s "',tmpdir,'\Sim.sim11"');
status = system(p,'-echo');
%Tao dfs0
% cau truc duong dan thuc hien lenh : Chuong trinh '"program"'+ duong dan
file 'path\file'...

            q = ['"C:\Program Files
(X86)\DHI\2012\bin\x64\res11read.exe"',...
' -someres',tmpdir,'\someresFILE.txt',...
' -MakeDfs0 ',tmpdir,'\Result\HD_2016.res11 ',tmpdir,'\kq'];
status = system(q,'-echo');
%4 doc ket qua
            [WBom(i,j) WLendLXD(i,j)] = docDFS0(tmpdir);
            j = j + 1
end
        i = i+1
end
```

Tổng cộng đã có 1.836 kịch bản, ra được 2 kết quả về (i) quan hệ tổng lượng tiêu ngày theo lượng mưa ngày và mực nước trong kênh đầu ngày; (ii) quan hệ mực nước cuối ngày trên kênh, lượng mưa ngày và mực nước trong kênh đầu ngày, như hình 3.5:



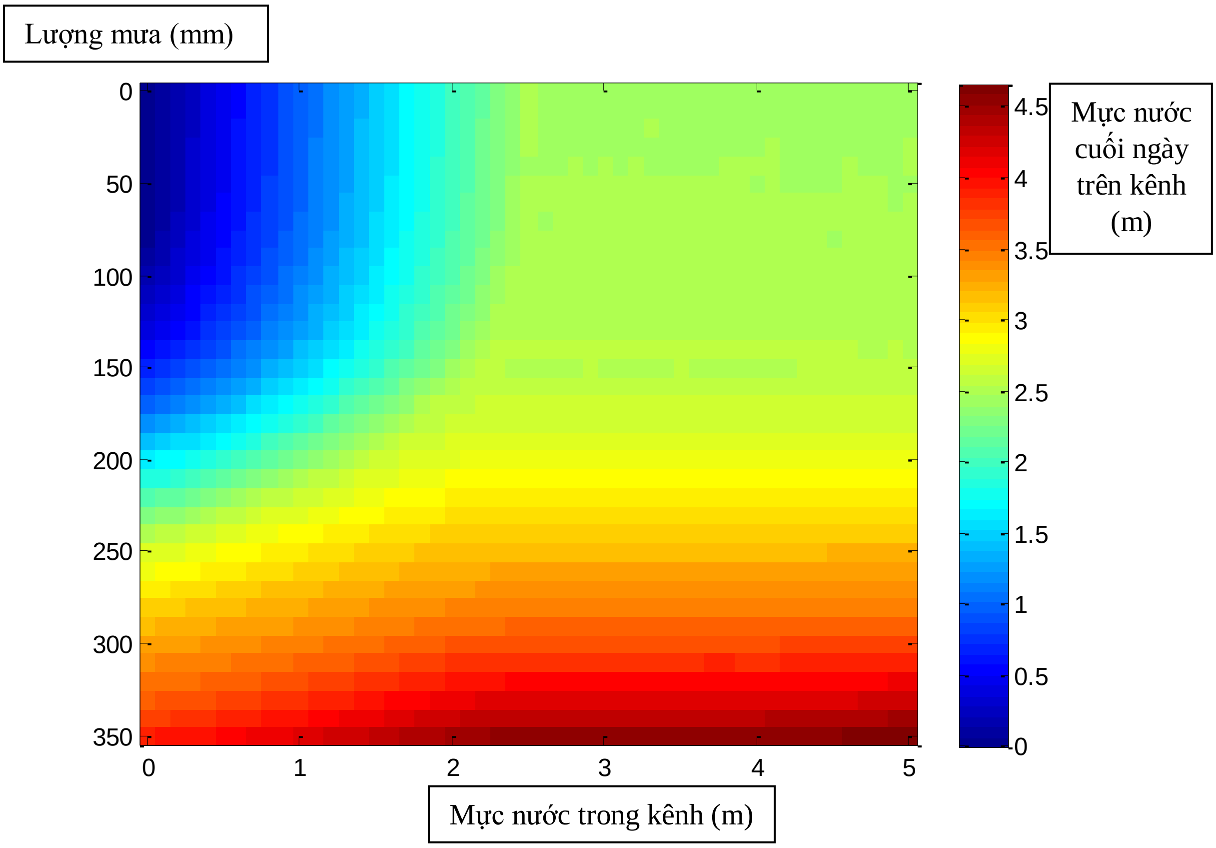
Hình 3.5. Ma trận quan hệ mưa, mực nước trên kênh và lượng nước cần tiêu

Ma trận tiêu này là một bảng tra ứng với từng trận mưa và mực nước đầu ngày trên kênh sẽ cho ta 1 kết quả về lượng nước cần tiêu.Ma trận tiêu thay thế sẽ đảm bảo yêu cầu về mặt khối lượng và giảm rất nhiều thời gian tính toán.

Bảng 3.15.Kết quả tính toán quan hệ mưa, mực nước trên kênh và lượng nước cần tiêutrên kênh Lê Xuân Đào

Lượng mưa / Mực nước trong kênh	350	300	250	200	150	100	50	0
0	-342650	-178890	-12460	0	0	0	0	0
10	-346210	-192240	-17800	0	0	0	0	0
20	-354220	-194020	-28480	0	0	0	0	0
30	-359560	-207370	-36490	0	0	0	0	0
40	-366680	-212710	-41830	0	0	0	0	0
50	-374690	-221610	-51620	0	0	0	0	0
60	-383590	-240300	-58740	0	0	0	0	0
70	-388930	-255430	-70310	0	0	0	0	0
80	-400500	-265220	-82770	0	0	0	0	0
90	-412960	-278570	-93450	0	0	0	0	0
100	-418300	-290140	-101460	0	0	0	0	0
110	-426310	-308830	-120150	0	0	0	0	0
120	-438770	-322180	-129940	0	0	0	0	0
130	-447670	-336420	-145960	-890	0	0	0	0
140	-458350	-341760	-158420	-8900	0	0	0	0
150	-470810	-360450	-172660	-19580	0	0	0	0
160	-482380	-374690	-194020	-32930	0	0	0	0
170	-492170	-392490	-209150	-44500	0	0	0	0
180	-507300	-409400	-227840	-66750	0	0	0	0
190	-517980	-425420	-252760	-82770	0	0	0	0
200	-534000	-439660	-267000	-102350	0	0	0	0
210	-543790	-455680	-289250	-120150	-1780	0	0	0
220	-566930	-477930	-306160	-139730	-10680	0	0	0
230	-582060	-497510	-335530	-164650	-40050	0	0	0
240	-599860	-520650	-358670	-186900	-70310	-890	0	0
250	-628340	-546460	-378250	-210040	-87220	-25810	-6230	0
260	-651480	-570490	-401390	-241190	-116590	-54290	-32040	-35600
270	-685300	-594520	-430760	-263440	-137950	-80990	-56960	-58740
280	-702210	-629230	-453900	-288360	-177110	-106800	-84550	-87220
290	-732470	-647030	-489500	-314170	-203810	-129940	-108580	-109470
300	-768960	-671950	-516200	-345320	-222500	-162870	-136170	-135280

Bảng 3.15 biểu thị một số kết quả điển hình của bảng tra quan hệ mưa, mực nước trên kênh Lê Xuân Đào và lượng nước cần tiêu. Với mực nước trữ lại trên kênh dưới 1,2 m thì khi lượng mưa dưới 250 mm thì không phải bơm tiêu. Trường hợp gặp cơn mưa cực đoan lên đến 350 mm/ngày thì ngay cả khi không trữ nước trong hệ thống kênh, toàn hệ thống vẫn phải tiêu 342650 m^3. Tổng cộng có 1.836 kịch bản (xem chi tiết tại phụ lục 9)



Hình 3.6. Ma trận quan hệ mưa, mực nước trên kênh và mực nước cuối ngày trên kênh

Hình 3.6 là ma trận quan hệ mưa, mực nước trên kênh và mực nước cuối ngày trên kênh là một bảng tra ứng với từng trận mưa và mực nước đầu ngày trên kênh sẽ cho ta 1 kết quả là mực nước cuối ngày trên kênh.Kết quả này sẽ là số liệu đầu vào cho việc tính toán lưu lượng tiêu ngày hôm sau.

Bảng 3.16. Kết quả tính toán quan hệ mưa, mực nước trên kênh và mực nước cuối ngày trên kênh Lê Xuân Đào

Lượng mưa / Mực nước trong kênh	350	300	250	200	150	100	50	0
0	3.92	3.30	2.69	1.61	0.68	0.18	0.00	0.00
10	3.94	3.32	2.72	1.67	0.73	0.27	0.10	0.08
20	3.96	3.33	2.75	1.74	0.81	0.36	0.20	0.17
30	3.98	3.35	2.78	1.80	0.89	0.45	0.30	0.27
40	4.00	3.36	2.81	1.87	0.97	0.55	0.40	0.37
50	4.03	3.38	2.84	1.94	1.06	0.64	0.50	0.47
60	4.05	3.40	2.87	2.01	1.15	0.74	0.60	0.57
70	4.08	3.41	2.89	2.08	1.23	0.84	0.70	0.67
80	4.11	3.43	2.92	2.16	1.32	0.93	0.80	0.77
90	4.13	3.45	2.95	2.23	1.41	1.03	0.90	0.87
100	4.16	3.46	2.97	2.31	1.50	1.13	1.00	0.97
110	4.19	3.48	3.00	2.39	1.59	1.22	1.10	1.07
120	4.22	3.50	3.02	2.47	1.68	1.32	1.20	1.17
130	4.25	3.52	3.04	2.54	1.77	1.42	1.30	1.27
140	4.28	3.54	3.06	2.60	1.86	1.52	1.40	1.37
150	4.32	3.56	3.08	2.64	1.96	1.62	1.50	1.47
160	4.34	3.58	3.10	2.68	2.05	1.71	1.60	1.58
170	4.38	3.59	3.12	2.70	2.14	1.81	1.70	1.68
180	4.40	3.61	3.13	2.72	2.23	1.91	1.80	1.78
190	4.44	3.63	3.15	2.74	2.33	2.01	1.90	1.88
200	4.46	3.65	3.17	2.76	2.42	2.11	2.00	1.98
210	4.49	3.67	3.18	2.78	2.51	2.21	2.10	2.08
220	4.51	3.69	3.19	2.80	2.57	2.30	2.20	2.18
230	4.53	3.70	3.19	2.81	2.55	2.40	2.30	2.28
240	4.54	3.71	3.20	2.81	2.54	2.50	2.40	2.38
250	4.54	3.71	3.20	2.81	2.54	2.48	2.47	2.48
260	4.54	3.71	3.20	2.81	2.54	2.48	2.48	2.45
270	4.54	3.71	3.20	2.81	2.54	2.49	2.48	2.46
280	4.55	3.71	3.20	2.81	2.54	2.49	2.48	2.46
290	4.54	3.71	3.19	2.81	2.55	2.48	2.48	2.46
300	4.54	3.71	3.20	2.81	2.55	2.48	2.48	2.46

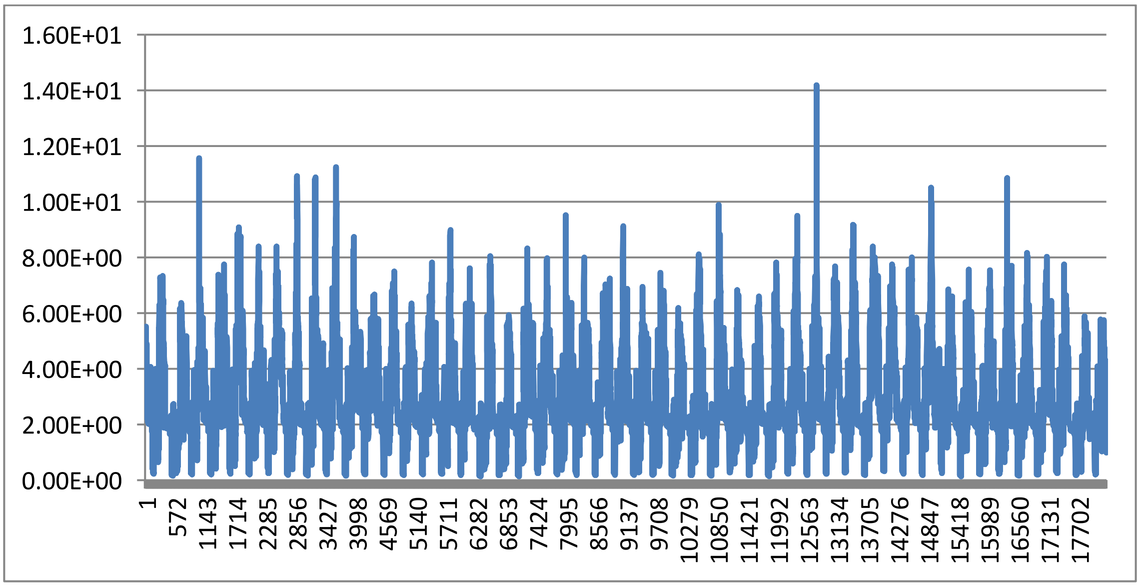
Bảng 3.16 biểu thị một số kết quả điển hình của bảng tra quan hệ mưa, mực nước trên kênh và mực nước cuối ngày trên kênh Lê Xuân Đào.Với từng trường hợp ứng với lượng mưa, mực nước trên kênh sẽ cho ra mực nước cuối ngày trên kênh Lê Xuân Đào. Tổng cộng có 1.836 kịch bản (xem chi tiết tại phụ lục 10)

Như vậy, tác giả đã thiết lập được một hệ thống mô hình tưới, tiêu, cân bằng nước trong đó đã ứng dụng mô hình Mike 11 cho hệ thống 9 xã Kênh Lê Xuân Đào trong việc xây dựng một ma trận tiêu thay thế để đảm bảo yêu cầu về mặt khối lượng và thời gian tính toán vốn là điểm cản trở chínhtrong các bài toán tối ưu.

3.2.2 Tính toán các số liệu đầu vào mô hình

Sau khi áp dụng các công thức, sử dụng Matlab để xây dựng mô hình, với chuỗi thời gian 50 năm (18.250 ngày), có các kết quả về tổng lượng xả, dung tích thật của hệ thống, dòng chảy đến, dòng chảy vào do mưa và tổng lượng bốc hơi mặt thoáng trên kênh. Các kết quả như sau:

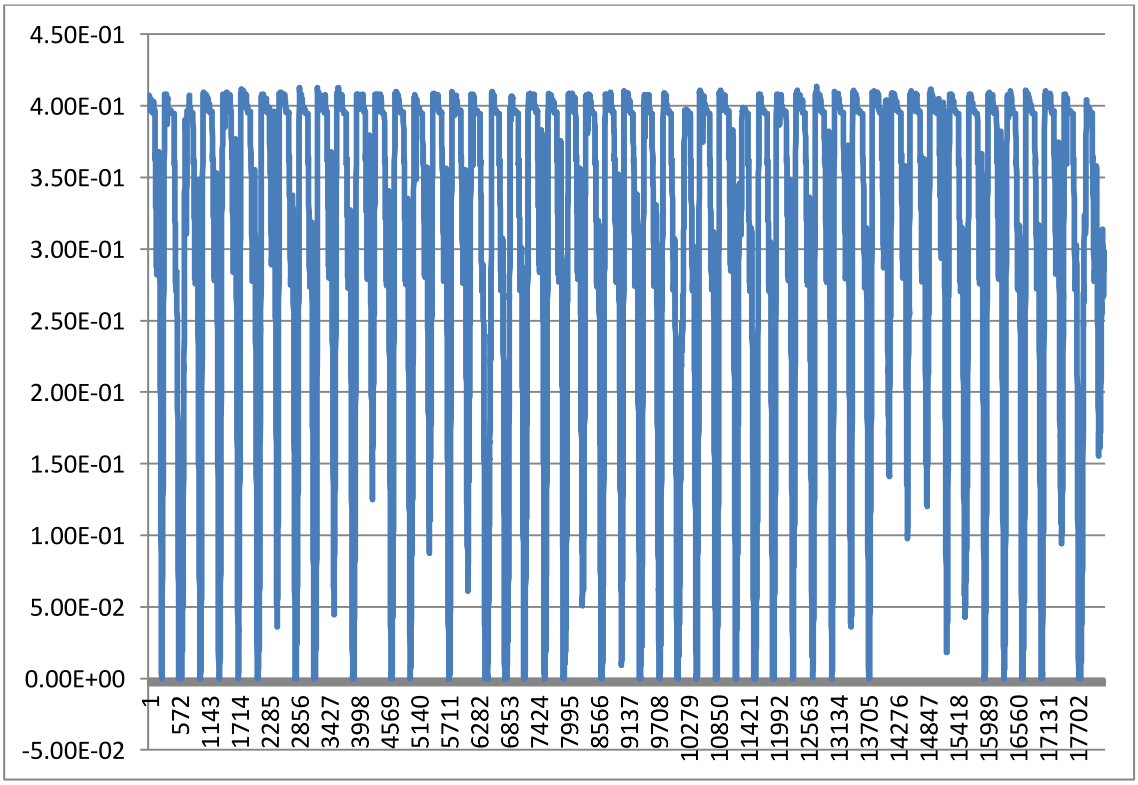
- Tổng lượng xả: Kết quả tính toán tổng lượng xả theo phụ lục 11 và được biểu thị dưới dạng đồ thị hình 3.7.



Hình 3.7. Biểu đồ tổng lượng xả (m^3/s)

Như vây, với chuỗi thời gian 50 năm, có ngày lượng nước xả lên tới hơn 14 m^3/s, trung bình ngày xả khoảng 2 m^3/s.

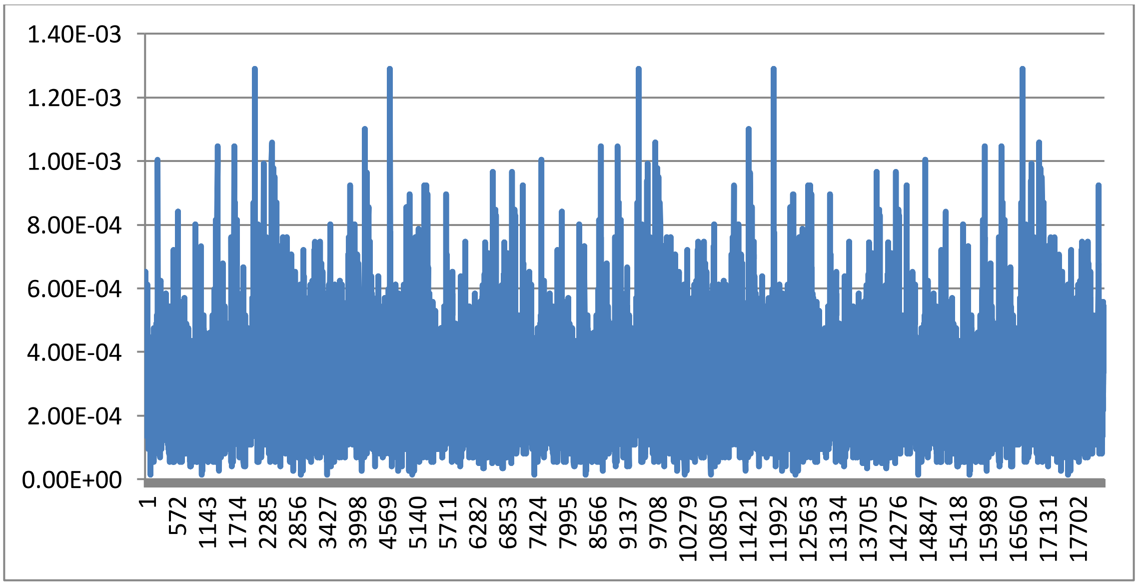
- Dung tích chứa trong hệ thống: Kết quả tính toán theo phụ lục 11 và được biểu thị dưới dạng đồ thị hình 3.8.



Hình 3.8. Biểu đồ dung tích của hệ thống (10^6m^3)

Dung tích trung bình trên hệ thống khoảng 0,27 triệu m^3.

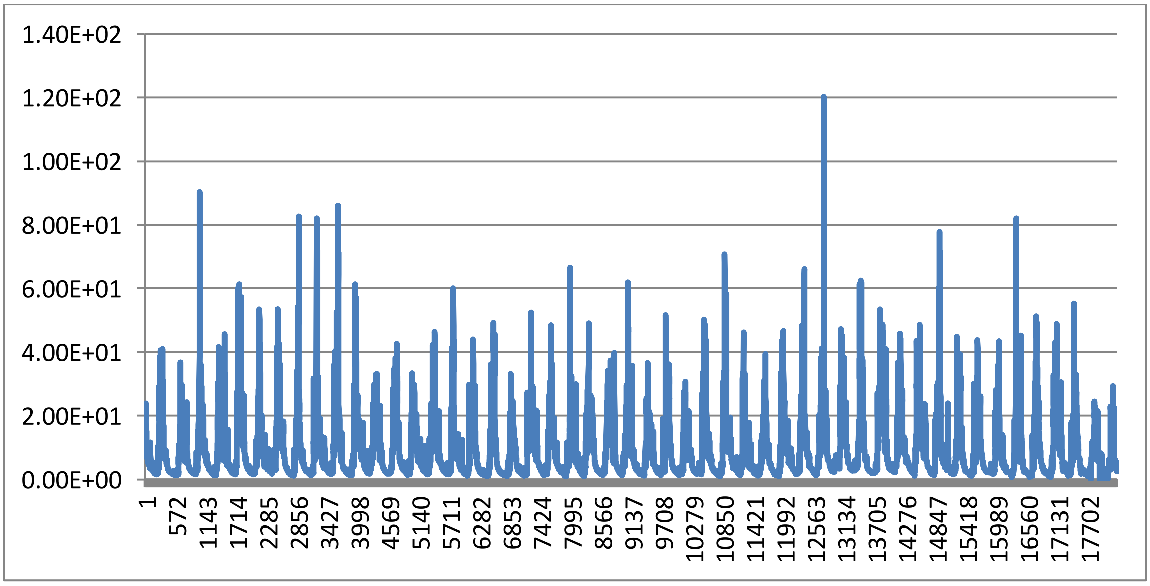
- Lượng bốc hơi mặt thoáng: Kết quả tính toán lượng bốc hơi mặt thoángtheo phụ lục 11 và được biểu thị dưới dạng đồ thị hình 3.9.



Hình 3.9. Biểu đồ lượng bốc hơi mặt thoáng trên kênh (10^6m^3/ngày)

Lượng bốc hơi mặt thoáng trung bình $2x10^{-4}$ triệu m^3 ngày.

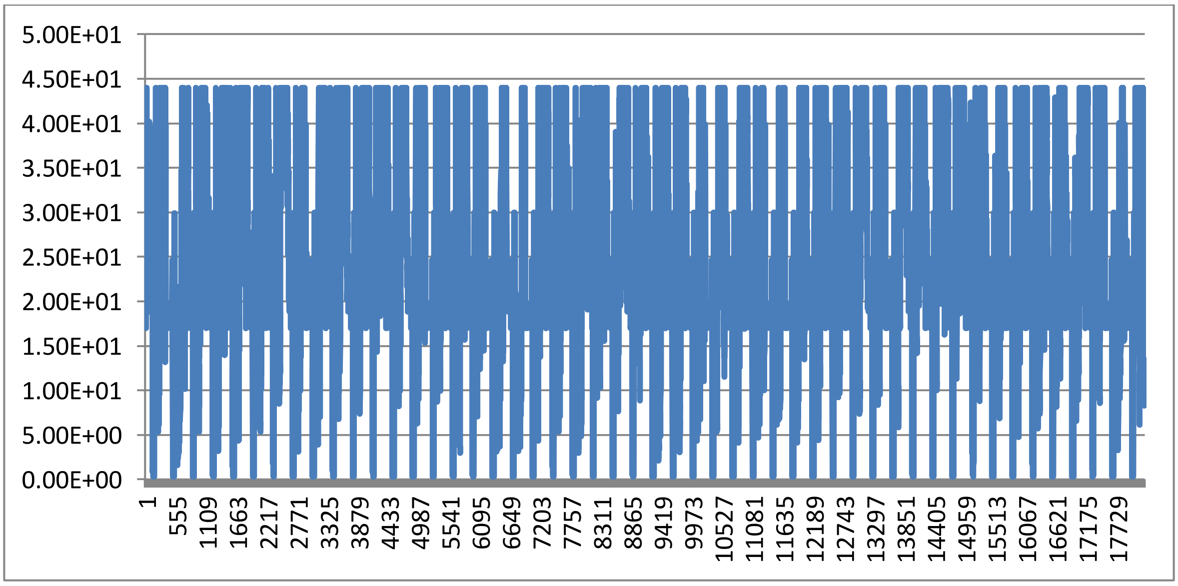
- Dòng chảy vào do mưa: Kết quả tính toán lượng dòng chảy vào do mưa theo phụ lục 11 và được biểu thị dưới dạng đồ thị hình 3.10.



Hình 3.10. Biểu đồ dòng chảy vào do mưa (m^3/s)

Khu vực có lượng mưa tương đối dồi dào nhưng lại khá chênh lệch giữa mùa mưa và mùa khô. Có những ngày dòng chảy vào do mưa lên tới 120 m^3/s, nhưng lại có rất nhiều ngày không có dòng chảy vào do mưa. Trung bình khoảng 15 m^3/s.

- Dòng chảy lấy vào: Kết quả tính toán dòng chảy vào theo phụ lục 11 và được biểu thị dưới dạng đồ thị hình 3.11.



Hình 3.11. Biểu đồ dòng chảy lấy vào (m^3/s)

Dòng chảy lấy vào của hệ thống phụ thuộc rất nhiều vào mực nước tại cống Nam Đàn, trung bình khoảng 20 m^3/s.

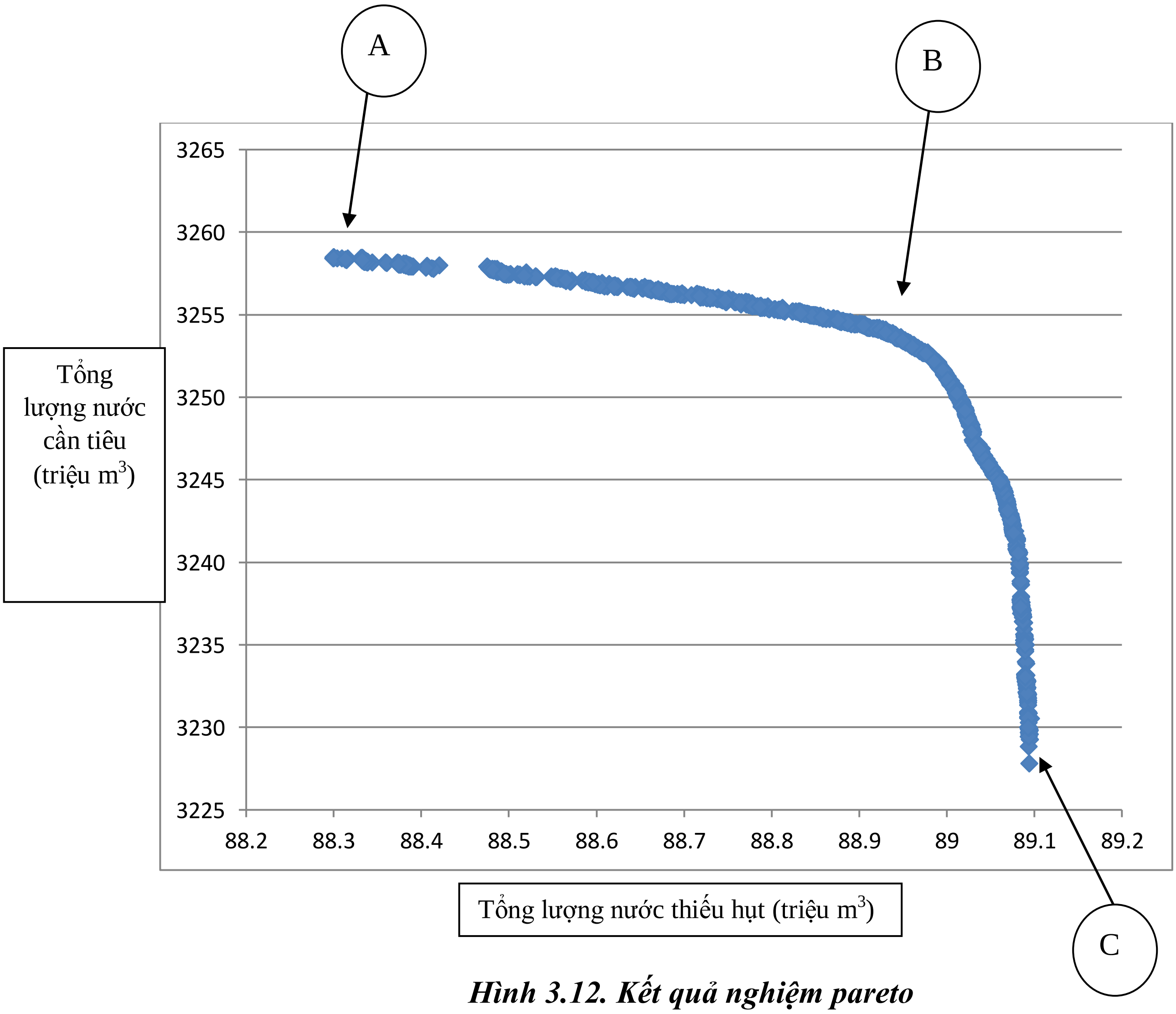
3.2.3 Mặt Pareto và giải pháp vận hành

Toàn bộ khung giải pháp đã được viết trên ngôn ngữ Matlab tính toán trên 1 chuỗi thời gian 50 năm, theo ngày, tổng cộng 18.250 bước. Bài toán được tính toán tối ưu trên 200 thế hệ, trong mỗi 1 thế hệ số lượng cá thể trong quần thể là 5.000. Tổng cộng có 5.000 x 200 = 1.000.000 lần đánh giá, với mỗi 1 giải pháp (1 cá thể) được đánh giá, thuật toán thực hiện trong 14 giây, tổng cộng là 14 x 1.000.000 = 14.000.000 giây = 3.888 giờ = 162 ngày. Thời gian tính toán như vậy là quá lớn, tác giả đã ứng dụng giải pháp tính toán song song trên 1 máy tính sử dụng chip Xeo E5

V2567, 32 lõi tính, RAM 128 G, CACHE 32 Mb, bộ nhớ 20 TB. Như vậy, tổng thời gian tính toán rút xuống còn 5,12 ngày.

Chúng ta có thể hiểu quần thể 5000 này chính là 5000 giải pháp vận hành. 5000 giải pháp đưa ra ban đầu được gọi là quần thể cha, 5000 giải pháp sau được gọi là quần thể con.

Trong quá trình chạy mô hình tính toán bằng thuật toán NSGA II đến thế hệ gần 200 và 200 thì mặt pareto không có sự phát triển thêm và gần như là dừng lại vì thế NCS cho dừng quá trình chạy tại lần chạy thứ 200 (thế hệ 200). Các bước tính toán của thuật toán NSGA II được thể hiện tại phụ lục 12. Sau khi tính toán, ra được nghiệm là mặt Pareto như hình 3.12.



Hình 3.12. Kết quả nghiệm pareto

Kết quả của của giải pháp vận hành là mặt pareto với trục tung biểu thị tổng lượng nước tiêu và trục hoành biểu thị tổng lượng nước thiếu.

Như vậy, với kết quả là một tập hợp các nghiệm tối ưu không trội sẽ cho ra 5.000 giải pháp tối ưu trên không gian hàm mục tiêu của tổng lượng nước tiêu và lượng nước thiếu hụt. Với tính toán này, tổng lượng nước thiếu hụt trong 50 năm dao đông từ 88,3 triệu m^3 đến 89,1 triệu m^3; tổng lượng nước cần tiêu dao động từ 3.228 triệu m^3 đến 3.258 triệu m^3.

Có 3 xu thế của giải pháp vận hành cho hệ thống nhưng luôn đảm bảo tính tối ưu:(1) Phương án ưu tiên tiêu chí cấp nước cho cây trồng, (2) Phương án ưu tiên tiêu chí về tiêu úng, và (3) phương án cân bằng giữa 2 tiêu chí trên. Chọn 3 phương án A, B, C điển hình cho 3 xu thế (bảng 3.17 và hình 3.13), có thể thấy trên mặt pareto:

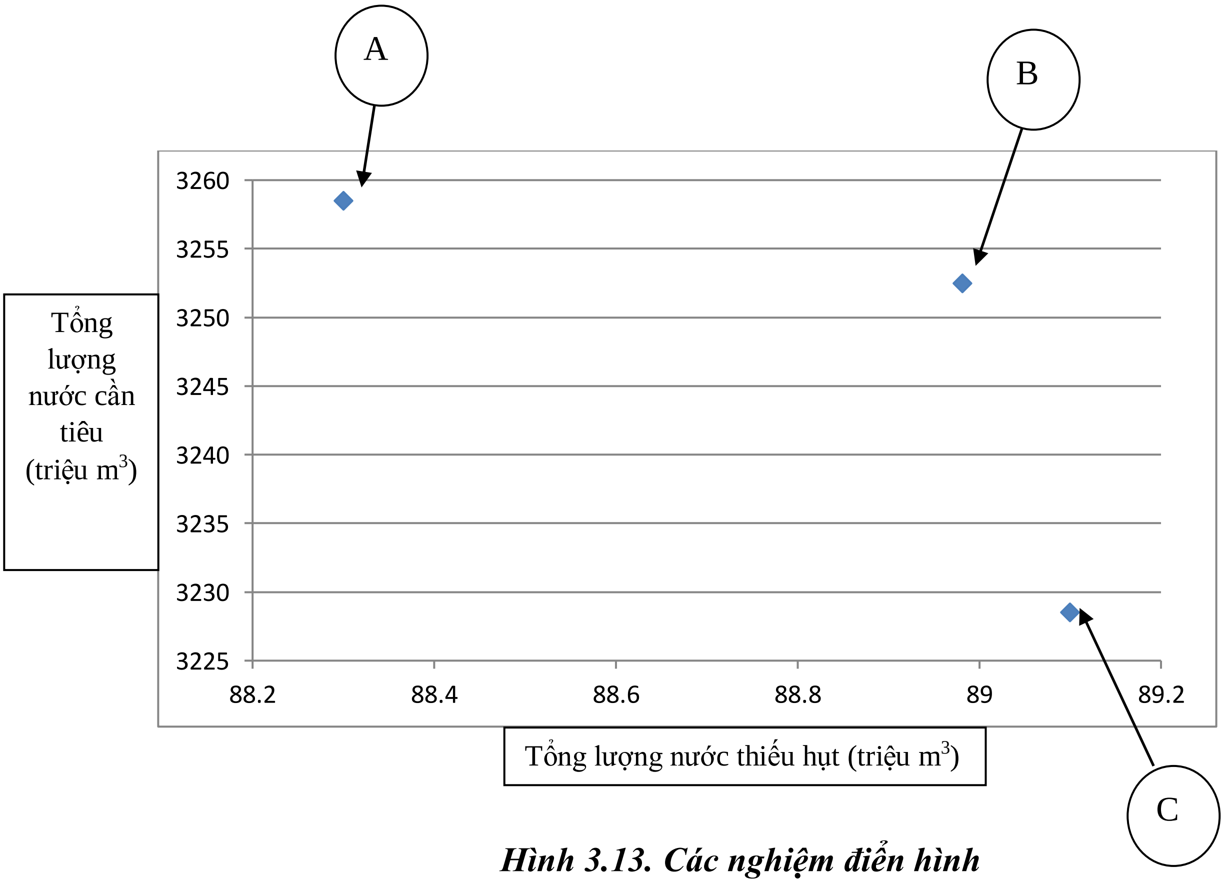
Phương án A là phương án đại diện cho các phương án theo xu thế ưu tiên tiêu chí cấp nước cho cây trồng, với phương án này thì lượng nước thiếu hụt chỉ 88,30014 triệu m^3 là nhỏ hơn so với các phương án B và C. Tuy nhiên lượng nước cần phải bơm tiêu lại lớn hơn 2 phương án còn lại, cụ thể là3258,487 triệu m^3.

Phương án B là phương án đại diện cho các phương án theo xu thế cân bằng giữa tiêu chí cấp nước cho cây trồng và tiêu chí về lượng nước tiêu. Với phương án này, lượng nước thiếu hụt cho cây trồng là 88.98166 triệu m^3, trong khi đó lượng nước tiêu là 3252,492 triệu m^3.

Phương án C là phương án đại diện cho các phương án theo xu thế ưu tiên tiêu chí về tiêu úng. Phương án này có tổng lượng nước tiêu là 3228,512 triệu m^3, nhỏ hơn 2 phương án A và B, nhưng lượng nước thiếu hụt là 89,10011triệu m^3, lại lớn hơn 2 phương án A và B.

Bảng 3.17: Các phương án tối ưu đại diện

Phương án	Tổng lượng nước thiếu	Tổng lượng nước tiêu
A	88.30014	3258.487
B	88.98166	3252.492
C	89.10011	3228.512



Hình 3.13. Các nghiệm điển hình

5000 phương án này là các phương án để hỗ trợ vận hành hệ thống theo thời gian thực dạng xấp xỉ hóa. Vơi mực nước thực và dung tích thực hàng ngày của hệ thống sẽ được nhà vận hành đưa vào mô hình tính toán đầu ngày. Mô hình sẽ gợi ý ngày hôm nay vận hành 1 lưu lượng bằng a, đương nhiên là giá trị này đã nằm trong giới hạn về vật lý của các công trình trên hệ thống. Việc vận hành cụ thể trong ngày hôm đó là linh hoạt, phụ thuộc người vận hành. Người vận hành có thể linh hoạt tùy theotình hình thực tế trong ngày cần ưu tiên tiêu chí nào thì sẽ đưa ra 1 giải pháp vận hành phù hợp.

Ví dụ 12 tiếng đầu ngày vận hành lưu lượng là a1, 12 tiếng sau vận hành lưu lượng là a2, (a1+a2)/2=a. Điều này giải thích luôn cho việc tại sao mà hàm mục tiêu không có các thông số chi tiết của các công trình trên hệ thống. Tuy vậy, các thông số của công trình trên hệ thống đã được ẩn trong mô hình Mike 11 nhằm xây dựng các cận trên và cận dưới cho a.

3.2.4 Ứng dụng tính toán cho năm điển hình

Tác giả lựa chọn năm 2014 là năm để tính toán thử nghiệm. Năm 2014, khu vực nghiên cứu xảy ra đầy đủ các loại hình thời tiết hạn hán và lũ lụt.

3.2.4.1 Các số liệu của năm 2014 được sử dụng để phục vụ tính toán bao gồm:

a. Các đặc điểm vật lý của hệ thống

- Số liệu mực nước thượng lưu cống Nam Đàn.

- Các thông số kỹ thuật của trạm bơm 12/9 và trạm bơm Hưng Châu.

- Các thông số kỹ thuật của các kênh chính trong khu vực nghiên cứu: chiều dài, rộng, hệ số mái, …

b. Số liệu khí tượng

Số liệu mưa, nhiệt độ, độ ẩm, gió, bốc hơi, số giờ nắng được lấy với chuỗi số liệu. Các số liệu này được thu thập từ Trạm khí tượng Vinh, Nghệ An, vị trí địa lý: $105^0$40’ Kinh độ Đông, $18^0$40’ Vĩ độ Bắc, ở độ cao 6m.

c. Chỉ số ENSO

Bộ chỉ số NINO 3.4 SST được chọn để đưa vào mô hình tính toán

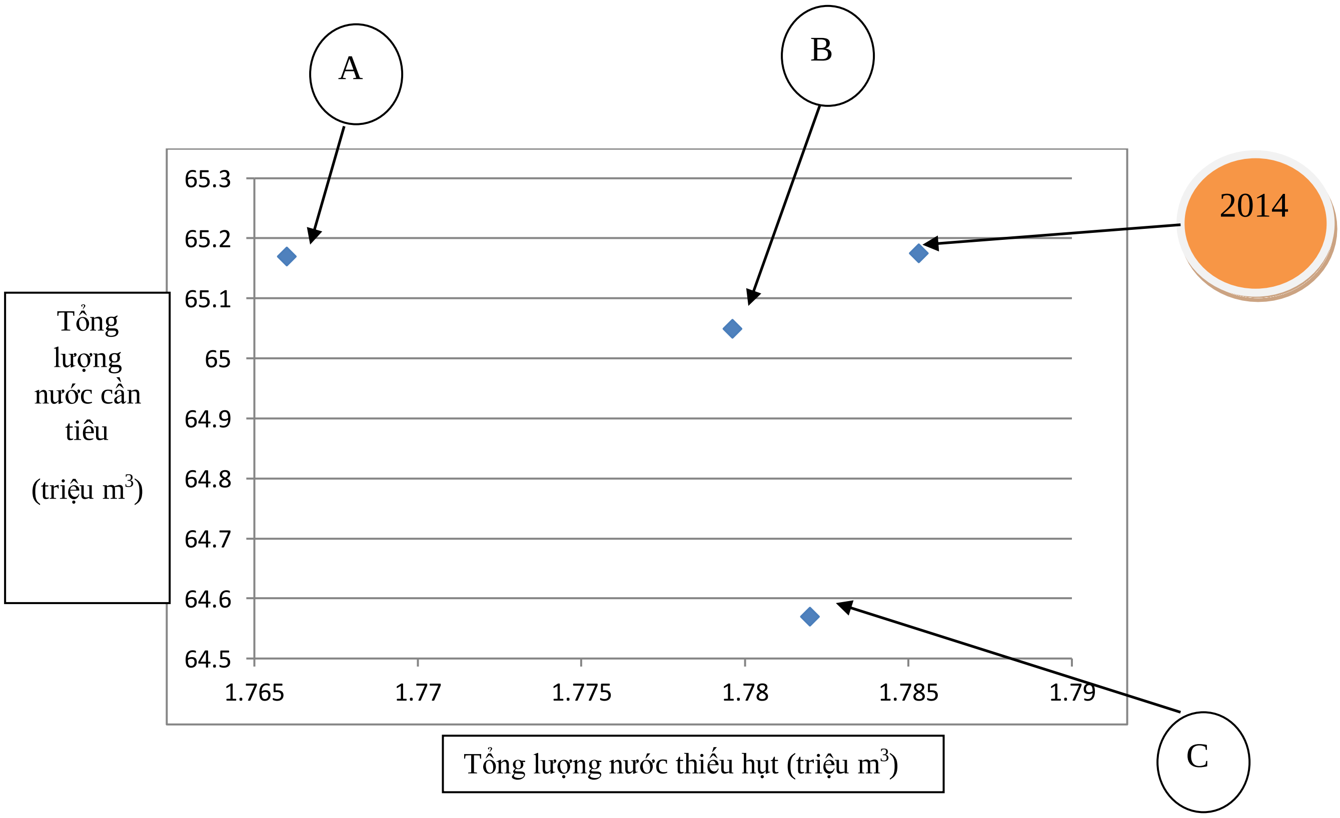
3.2.4.2 Kết quả tính toán

Sau khi áp dụng các công thức, sử dụng Matlab để xây dựng mô hình, với chuỗi thời gian 365 ngày, có các kết quả về tổng lượng xả, dung tích thật của hệ thống, dòng chảy đến, dòng chảy vào do mưa và tổng lượng bốc hơi mặt thoáng trên kênh.

Kết quả tính toán được tổng lượng nước tiêu cả năm là 65.17531 triệu m^3 và tổng lượng nước thiếu hụt là 1.785331 triệu m^3.

Bảng 3.18:Tương quan vận hành năm 2014 với các phương án tối ưu đại diện

Phương án	Tổng lượng nước thiếu	Tổng lượng nước tiêu
A	1.766003	65.16975
B	1.782002	64.57024
C	1.779633	65.04985
2014	1.785331	65.18531



Hình 3.14. Tương quan giữa các nghiệm điển hình và thực tế vận hành năm 2014

Từ bảng 3.18 và hình 3.14, so sánh giữa việc vận hành thực tế của năm 2014 với việc áp dụng các giải pháp vận hành tối ưu A, B và C vào vận hành hệ thống cho năm 2014 có thể nhận thấy:

Nếu áp dụng giải pháp vận hành A cho năm 2014 thì tổng lượng nước thiếu hụt nhỏ hơn 0,02 triệu m^3 và tổng lượng nước tiêu sẽ giảm được 0,016 triệu m^3.

Nếu áp dụng giải pháp vận hành B cho năm 2014 thì tổng lượng nước thiếu hụt nhỏ hơn 0,0033 triệu m^3 và tổng lượng nước tiêu sẽ giảm được 0,62 triệu m^3.

Nếu áp dụng giải pháp vận hành C cho năm 2014 thì lượng nước thiếu hụt nhỏ hơn 0,006 triệu m^3 và lượng nước tiêu sẽ giảm được 0,14 triệu m^3.

Như vậy, so sánh với cả 3 điển hình vận hành đại diện của mặt tối ưu pareto là A, B và C để thử nghiệm cho năm 2014 đều cho thấy các kết quả tốt hơn so với thực tế vận hành.

Kết luận chương 3

Trên cơ sở các nghiên cứu tổng quan về cả thực tiễn và phương pháp luận đã được đưa ra trong chương II, tác giả đã tính toán cân bằng nước tổng thể cho toàn vùng, chỉ ra lượng thiếu hụt ứng với các tần suất điển hình và đưa ra giải pháp quy hoạch cần thiết cho khu vực nghiên cứu, nâng dung tích trữ của kênh từ hơn 400.000 m^3 lên hơn 1,6 triệu m^3 đáp ứng nhu cầu bổ sung nước cho các tháng mùa kiệt. Mặc dù những yếu tố kinh tế chưa được xem xét đến nhưng giải pháp này cũng đã đưa ra được những cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo, đồng thời cũng đã tập hợp và hệ thống một bộ số liệu cần thiết để cho nghiên cứu giải pháp vận hành cho hệ thống.

Trong nội dung nghiên cứu về giải pháp vận hành, một thuật toán tìm kiếm giải pháp vận hành tối ưu đã được lập bằng ngôn ngữ lập trình Matlab. Thuật toán này lấy thuật toán tối ưu đa mục tiêu di truyền NSGA II làm cơ sở, bài toán được chuyển về tìm tham số của một dạng hàm vận hành đã được đề xuất với mục tiêu tối ưu hóa 2 chỉ tiêu về tổng lượng tiêu và lượng nước thiếu hụt mà luôn mâu thuẫn nhau trong thực tế.

Bài toán về tưới và tiêu trong hệ thống là một hệ thống các phương trình phi tuyến phức tạp mà không dễ xử lý với các thuật toán tối ưu thông thường, việc lựa chọn một thuật toán thuộc lớp tiến hóa đa mục tiêu như NSGA II đảm bảo cho việc xác định được một nghiệm gần đến toàn cục thì vẫn hơn là các thuật toán mạnh mẽ thuộc lớp phi tuyến vốn thông thường chỉ đảm bảo được nghiệm cục bộ và thuật toán này còn có lợi thế trong việc dễ dàng kết hợp những mô hình thủy động lực học tiêu như Mike 11. Tuy vậy, thời gian tính toán vẫn là rất lớn và để xử lý vấn đề này tác giả đã đưa ra một giải pháp tính toán “off line” với mô hình tiêu để tạo ra một ma trận tiêu được định sẵn trước và sau đó ma trận này được sử dụng trong quá trình tìm kiếm giải pháp tối ưu.

Kết quả sau 200 thế hệ, với một số lượng đủ lớn, khoảng 5.000 cá thể trong quần thể, quá trình tìm kiếm đã hội tụ đến một mặt pareto có mật độ nghiệm và tính đa dạng khá cao. Từ mặt pareto này, 3 nghiệm điển hình đã được lựa chọn để thử nghiệm cho năm 2014 với kết quả là tốt hơn so với thực tế vận hành.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Với tình hình khí hậu diễn bất thường, phát triển kinh tế nhanh, nhu cầu nước đòi hỏi ngày một cao về mức độ và yêu cầu.Trong khi đó, hạn hán xảy ra ở khắp nơi trên thế giới, ở cả những vùng mưa nhiều cũng như những vùng mưa ít.Các giải pháp cho hệ thống tưới tiêu mang tính truyền thống như quy trình vận hành (một giải pháp tĩnh) trong tương lai sẽ không còn phù hợp, điều này đòi hỏi các giải pháp phải mang tính thích ứng cao hơn trong cả thiết kế và vận hành. Vì thế, trong luận án này đã giải quyết và đạt được những kết quả sau:

1. Luận án đã tổng quan được tình hình hạn hán, các tác động của hạn hán đến sản xuất nông nghiệp và các giải pháp chống hạn trên Thế giới và ở Việt Nam. Luận án đã tổng quan được các kỹ thuật tối ưu, đặc biệt là các nghiên cứu về tính toán tối ưu cho các công trình thủy lợi trên Thế giới và ở Việt Nam. Trên cơ sở nghiên cứu tổng quan các kỹ thuật tối ưu, luận án đã đưa ra được những ưu nhược điểm của các kỹ thuật tối ưu làm cơ sở để lựa chọn kỹ thuật tối ưu phù hợp cho các nghiên cứu.
2. Mô tả chi tiết các kỹ thuật được áp dụng trong nghiên cứu, đưa ra được khung giải pháp tối ưu và trình tự thực hiện cũng như giải thích rõ ràng thuật toán sẽ được sử dụng. Các phương pháp nghiên cứu đã được sử dụng trong luận án là các phương pháp có cơ sở khoa học chặt chẽ. Để giải quyết theo các phương pháp này, tác giả đã sử dụng một loạt các công cụ tiên tiến như Cropwat, Mike 11, Mike Basin và đặc biệt là kỹ thuật tối ưu đa mục tiêu NSGA II. Việc ứng dụng kỹ thuật tối ưu trong xây dựng giải pháp vận hành cho một hệ thống tưới là mới và ***thuật toán di truyền sắp xếp các nghiệm không trội NSGA II*** là chưa được sử dụng để tính toán cho bất kỳ hệ thống thủy lợi nào ở Việt Nam.
3. Luận án đã tính toán cân bằng nước tổng thể cho toàn vùng, chỉ ra với tần suất 75%, lượng nước thiếu hụt thường xuất hiện từ tháng 12 đến tháng 7

năm sau, tập trung vào các tháng 1, 2, 3, 4 và 7, số năm thiếu nước chiếm từ 5 đến 18%, tháng thiếu hụt lớn nhất là tháng 7 thiếu hụt 0,83 triệu m^3, tháng thiếu ít nhất là tháng 12 thiếu hụt 0,35 triệu m^3, tổng hợp cả năm toàn vùng thiếu 2,31 triệu m^3. Với tần suất 85%, lượng nước thiếu hụt thường xuất hiện từ tháng 12 đến tháng 7 năm sau, tập trung vào các tháng 12, 1, 2, 3, 4 và 7, số năm thiếu nước chiếm từ 6 đến 20%. Tháng thiếu hụt lớn nhất là tháng 4 thiếu hụt 1,51 triệu m^3, tháng thiếu ít nhất là tháng 1 thiếu hụt 0,42 triệu m^3, tổng hợp cả năm toàn vùng thiếu 7,58 triệu m^3. Chín xã thuộc vùng nghiên cứu thiếu hụt cả năm là 1,65 triệu m^3. Từ đó, đưa ra giải pháp quy hoạch cần thiết cho khu vực nghiên cứu, nâng dung tích trữ của kênh từ hơn 400.000 m^3 lên hơn 1,6 triệu m^3 đáp ứng nhu cầu bổ sung nước cho các tháng mùa kiệt.

4. Trong nội dung nghiên cứu về giải pháp vận hành, một thuật toán tìm kiếm giải pháp vận hành tối ưu đã được lập bằng ngôn ngữ lập trình Matlab. Thuật toán này lấy thuật toán tối ưu đa mục tiêu di truyền NSGA II làm cơ sở, bài toán được chuyển về tìm tham số của một dạng hàm vận hành đã được đề xuất với mục tiêu tối ưu hóa 2 chỉ tiêu về tổng lượng tiêu và lượng nước thiếu hụt mà luôn mâu thuẫn nhau trong thực tế. Kết quả sau 200 thế hệ, với một số lượng đủ lớn, khoảng 5.000 cá thể trong quần thể, quá trình tìm kiếm đã hội tụ đến một mặt pareto có mật độ nghiệm và tính đa dạng khá cao. Từ mặt pareto này, 3 nghiệm điển hình đã được lựa chọn để thử nghiệm cho năm 2014 với kết quả là giải pháp vận hành A sẽ cho tổng lượng nước thiếu hụt nhỏ hơn 0,02 triệu m^3 và tổng lượng nước tiêu sẽ giảm được 0,016 triệu m^3; Giải pháp vận hành B thì tổng lượng nước thiếu hụt nhỏ hơn 0,0033 triệu m^3 và tổng lượng nước tiêu sẽ giảm được 0,62 triệu m^3; Giải pháp vận hành C thì lượng nước thiếu hụt nhỏ hơn 0,006 triệu m^3 và lượng nước tiêu sẽ giảm được 0,14 triệu m^3. Như vậy là với cả 3 giải pháp điển hình được lựa chọn, nếu áp dụng cho vận hành hệ thống vào năm 2014 thì đều cho kết quả

tốt hơn vận hành thực tế của năm 2014. Các giải pháp tối ưu này sẽ giúp các nhà quản lý, vận hành lựa chọn được một giải pháp vận hành phù hợp.

Kiến nghị

Việc ứng dụng các kỹ thuật tối ưu trong quản lý và vận hành các hệ thống công trình thủy lợi đã được sử dụng rộng rãi trên Thế giới và được chứng minh là hiệu quả. Tuy nhiên, lĩnh vực này mới được tiếp cận tại Việt Nam những năm gần đây. Vì vậy, kết quả đạt được của luận án mới chỉ là bước đầu, cần có những nghiên cứu sâu hơn.

Phương pháp sử dụng kỹ thuật tối ưu trong vận hành hệ thống để thu trữ nước mùa mưa phục vụ cho mùa kiệt đòi hỏi số liệu đầu vào chuẩn xác và các thiết bị hỗ trợ với cấu hình mạnh để xử lý. Vì vậy, để ứng dụng rộng rãi vào thực tiễn thì cần được tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện các thuật toán tối ưu và cải tiến kỹ thuật tính toán để đẩy nhanh quá trình tính toán nhằm đạt được hiệu quả cao hơn.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ ĐƯỢC CÔNG BỐ

1. **Nguyễn Quang An**, Sử dụng thuật toán NSGA II tối ưu vận hành trữ nước mùa mưa sử dụng cho mùa khô trên hệ thống kênh chính vùng 9 xã kênh Lê Xuân Đào, hệ thống thủy lợi Nam Nghệ An. Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi,Viện Khoa học Thủy lợi, số 39,tháng 8 năm 2017.
2. **Nguyễn Quang An,** Xâm nhập mặn hạ du sông Cả và vai trò điều tiết của các hồ chứa thượng nguồn. Tại chí Tài nguyên nước, số 3, tháng 7 năm 2017.
3. **Nguyễn Quang An**, Nguyễn Xuân Lâm, Đánh giá tác động điều tiết hồ chứa đến xâm nhập mặn hạ du lưu vực sông Mã, Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi,Viện Khoa học Thủy lợi, số 22, tháng 8 năm 2014.
4. Nguyễn Quang Trung, **Nguyễn Quang An**, Các giải pháp giảm thiểu tác động của dòng chảy kiệt, chống hạn và ngăn mặn vùng hạ lưu sông Cả, tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, Viện Khoa học Thủy lợi, số 21,tháng 6 năm 2014.
5. Hà Hải Dương, **Nguyễn Quang An**, Đinh Thùy Linh, Tác động của biến đổi khí hậu đến các lĩnh vực nông nghiệp và giải pháp ứng phó. Sách chuyên khảo, Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội, năm 2012.
6. Vũ Thế Hải, **Nguyễn Quang An**, Nghiên cứu xác định chế độ tưới nho và thanh long vùng Nam Trung Bộ bằng kỹ thuật tưới nhỏ giọt. Tạp chí khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường, số 34, tháng 9 năm 2011.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Danh mục tài liệu tiếng Việt

1. Bùi Thị Thu Hòa, Đào Văn Khiêm, Nguyễn Thị Thu Hà, (2012), Bài toán phân bổ tài nguyên nước bằng mô hình tối ưu hóa động áp dụng tại lưu vực sông Hồng – Thái Bình, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, số 39 – 2012.
2. Đại hội đồng Liên hợp quốc Phiên họp 47 Resolution 193 (1992). Observance of World Day for Water A/RES/47/193, Ngày 22 tháng 12, 1992.
3. Đào Xuân Học (2001), Nghiên cứu các giải pháp giảm nhẹ thiên tai hạn hán ở các tỉnh Duyên Hải Miền Trung từ Hà Tĩnh đến Bình Thuận.
4. Đoàn Văn Cánh (2005). Nghiên cứu xây dựng cơ sở khoa học và đề xuất các giải pháp bảo vệ và sử dụng hợp lý tài nguyên nước vùng Tây Nguyên. Đề tài nghiên cứu trọng điểm cấp Nhà nước KC.08.05 giai đoạn 2000-2005.
5. Hoàng Ngọc Thanh và Dương Tuấn Anh (2014), Ứng dụng thuật toán tiến hóa đa mục tiêu trong thiết kế tối ưu kiến trúc mạng viễn thông. Tập san Khoa học và Đào tạo trường Đại học Bà Rịa - Vũng Tàu, số 1 - 2014, 91-98.
6. Lê Hùng Nam (2015), Tối ưu hóa hệ thống và khả năng ứng dụng trong quản lý tài nguyên nước.
7. Luật tài nguyên nước 17/2012/QH13.
8. Lê Trung Tuân (2009), Đề tài cấp Nhà nước: "Nghiên cứu ứng dụng các giải pháp KHCN phòng chống hạn hán phục vụ phát triển nông nghiệp bền vững ở các tỉnh miền Trung", 2007 – 2009.
9. Mai Trọng Thông (2006), Đánh giá mức độ khô hạn của vùng Đông Bắc và Đồng bằng Bắc bộ bằng các chỉ số cán cân nhiệt. Tạp chí Khí tượng thủy văn, tháng 11/2006, tr. 8-17.

10. Nguyễn Hải Thanh (2006), Tối ưu hóa, Nxb. Bách Khoa Hà Nội.
11. Nguyễn Hưu Hiếu và Hoàng Dũng (2015), Ứng dụng thuật toán NSGA II để giải bài toán cực tiểu tổn thất công suất trên lưới điện phân phối. Tạp chí khoa học và công nghệ Đà Nẵng, quyển 2, số 11 – 2015.
12. Nguyễn Lập Dân (2010), Đề tài cấp nhà nước "Nghiên cứu cơ sở khoa học quản lý hạn hán và sa mạc hóa để xây dựng hệ thống quản lý, đề xuất các giải pháp chiến lược và tổng thể giảm thiểu tác hại: nghiên cứu điển hình cho đồng bằng sông Hồng và Nam Trung Bộ", 2008-2010.
13. Nguyễn Quang Kim (2005), Đề tài cấp Nhà nước:"Nghiên cứu dự báo hạn hán vùng Nam Trung Bộ và Tây Nguyên và xây dựng các giải pháp phòng chống", 2003 – 2005.
14. Nguyễn Quang Trung (2011 – 2014), Nghiên cứu đề xuất giải pháp giảm thiểu ảnh hưởng của dòng chảy kiệt phục vụ sản xuất nông nghiệp, thủy sản vùng hạ du sông Cả và sông Mã.
15. Nguyễn Thanh Hùng (2012), Định giá nước và phân phối tối ưu tài nguyên nước khan hiếm ở cấp độ lưu vực sông – Thử nghiệm ở vùng hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai. Tạp chí phát triển Khoa học và Công nghệ, tập 15, số M2 – 2012.
16. Nguyễn Thị Thu Hà, Nguyễn Văn Tuấn (2014), Phân bổ nước tối ưu trong nông nghiệp tại lưu vực Srepok, Tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên.
17. Nguyễn Thị Phương (2010), Quản lý tổng hợp lưu vực sông Bé trên cơ sở cân bằng tài nguyên nước. Luận án tiến sỹ ngành Sử dụng và Bảo vệ tài nguyên môi trường.
18. Nguyễn Thanh Tùng, Nguyễn Thị Minh Tâm và Nguyễn Thị Thu Nga (2015), Nghiên cứu phân bổ nguồn nước trên lưu vực sông Ba. Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường, số 48 (3/2015), trường Đại học Thủy Lợi.

19. Nguyễn Trọng Hiệu (1995), Phân bố hạn hán và tác động của chúng ở Việt Nam, Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Tổng cục.

20. Nguyễn Trọng Hiệu và Phạm Thị Thanh Hương (2003), Đặc điểm hạn và phân vùng hạn ở Việt Nam. Tuyển tập báo cáo Hội thảo khoa học lần thứ 8, Viện Khí tượng thủy văn, Bộ TN&MT, tr. 95-106.

21. Nguyễn Văn Thắng (2007), Đề tài “Nghiên cứu và xây dựng công nghệ dự báo và cảnh báo sớm hạn hán ở Việt Nam”. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường, 2005-2007.

22. Nguyễn Vũ Huy, Đỗ Huy Dũng, Ứng dụng mô hình phân tích kinh tế GAMS trong đánh giá tài nguyên nước – Trường hợp điển hình Lưu vực sông Lá Buông. Tập san Khoa học và Công nghệ quy hoạch thủy lợi, Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam.

23. Trần Thục (2008), Dự án “Xây dựng bản đồ hạn hán và mức độ thiếu nước sinh hoạt ở Nam Trung bộ và Tây Nguyên”. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường, 2005-2008.

24. Vũ Thế Hải (2012), Hạn hán miền Trung và các giải pháp khắc phục.

Danh mục tài liệu tiếng Anh

25. Ahmed, J.A. and Sharma, A.K. (2005), “Genetic algorithm for optimal operating policy of a multipurpose reservoir”, Water Resources Management, pp. 145-161.

26. Barnett, T.P., M. Latif, N. Graham, M. Flugel, S. Pazan and W. White, (1993), ENSO and ENSO - related predictability: Part 1 - Prediction of equatorial Pacific sea surface temperatures with a hybrid coupled ocean atmosphere model. J. Climate, 6, pp. 1545 - 1566.

27. Bhalme H. N. , Mooley D.A. (1980), Large-scale droughts/floods and monsoon circulationMon. Weather Rev., 108, pp. 1197–1211.

28. C. Kirda (2000). Deficit irrifation scheduling base on plant growth stages showing water stress tolerance.

29. Canon Julio, Gonzalez Javier (2009), Reservoir Operation and Water Allocation to Mitigate Drought Effects in Crops: A Multilevel Optimization Using the Drought Frequency Index. J Water Resource Planning Management Volume: 135, Issue: 6, pp.458-465.
30. Dantzig, G.B. (2002), “Linear programming”, Operations Research, pp. 42–47.
31. Dinar, A., Rosegrant, M.W., and Meinzen-Dick, R. (1997), Water Allocation Mechanism - Principles and Examples.
32. Donald A. Wilhite and Michael H. Glantz (1985), Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions.
33. Gibbs, W. J. and Maher, J. V. (1967), Rainfall deciles as drought indicators
34. Eric C. Schuck, W. Marshall Frasier, Robert S. Webb, Lindsey J. Ellingson and Wendy J. Umberger (2005), Adoption of More Technically Efficient Irrigation Systems as a Drought Response. International Journal of Water Resource Development. Volume 21, no. 4, pp. 651-662.
35. Feifei Zheng; Aaron C. Zecchin; Holger R. Maier; and Angus R. Simpson (2016), Comparison of the Searching Behavior of NSGA-II, SAMODE, and Borg MOEAs Applied to Water Distribution System Design Problems.
36. Jay R. Lund (2006), Rules of distributing drought discharging volume for the surface water reservoir systems. Water Resources Planning and Management magazine of U.S.A, volume 5, September.
37. John H. Holland (1975), "Adaption in Natural and Artificial Systems".
38. Julio Canon, Javier Gonzalez and Juan Valdes (2009), Reservoir operation and water allocation to mitigate drought effects in crops: A multilevel optimization using the drought frequency index.
39. Kang S. and Zhang J. (2004), Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency.

40. Kalyanmoy Deb, A Fast and Elitist. Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II.

41. Kitoh Akio (1997), Mountain uplift and surface temperature changes.

42. McKee, T. B., J. Nolan, and J. Kleist, (1993), The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor, Soc., pp. 179-184.

43. Md. Atiquzzaman, Shie-Yui Liong, M.ASCE, and Xinying Yu (2006), Alternative Decision Making in Water Distribution Network with NSGA-II.

44. M. Mohammad Rezapour Tabar (2012), Multi- Objective Optimal Model for Conjunctive Use Management Using SGAs and NSGA-II Models

45. Manne Janga Reddy (2006), “Swarm intelligence and evolutionary computation for single and multiobjective omptimization”.

46. Michael G. McCarthy (2000), Developmental variation in sensitivity of vitis vinifera L. (Shiraz) berries to soil water deficit.

47. Nur Evin Özdemirel, Deb et al. (2000), A fast and elitist multiobjective geneticalgorithm: NSGA-II, IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6.

48. Oladipo E. O. (1985), A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. International journal of climatology.

49. Palmer T. N. and D. A. Mansfield (1986), A study of wintertime circulation anomalies during part El Nino event using a high resolution general circulation model. II: Variability of the seasonal mean response. Quarterly journal of the royal meteorology society, vol 112, No 473, pp. 639 – 660.

50. Palmer, W.C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new Crop Moisture Index. Weather-wise 21, pp. 156–161.

51. Palmer, W. C, 1965: Meteorological Drought. Res. Paper No.45, 58pp.

52. Seth M. Siegel (2016), Let there be water. New York Time.

53. Smakhtin V. U. and Hughes D. A. (2004), Review, automated estimation and analyses of drought indices in South Asia. Working paper 83. Colombo, Sri Lanka: International water management institute.

54. Shafer, B.A. and L.E. Dezman, (1982), *Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas.* Proceedings of the Western Snow Conference, Colorado State University, Fort Collins, CO, pp. 164–175.

55. Stockdale, T.N. (2000), An overview of techniques for seasonal forecasting. Stochastic. Environmental Research and Risk Assessment, 14, pp. 305-318.

56. Shukla J., Anderson J. and Tribbia J. (2000), Dynamical seasonal prediction. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 81, No. 11.

57. Taesoon Kim, Jun-Haeng Heo (2006), Application of multi-objective genetic algorithms to multireservoir system optimization in the Han River basin.

58. Tarek Marabtene, Akira Kawanura, Kenji Jinno and Jonas Olsson (2002), risk assessment for optimal drought management of an integrated water resources system using a genetic algorithm.

59. Tushar Goel, Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm: NSGA-II.

60. Tsakiris G. , H Vangelis (2004). Towards a drought watch system based on spatial SPI. Water Resources Management No1, 1-12pp.

61. William M. Alley, (1984), The Palmer drought severity index: Limitation and Assumption.

62. Yakowiz (1982), Dynamic programming application in water resources.

63. http://www.unescap.org/

64. http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/

PHỤ LỤC

Phụ lục 1: Số liệu mưa tại trạm Vinh

LƯỢNG MƯA TRUNG BÌNH THÁNG TRẠM											Đơn vị : mm			X1max	Ngày xuất hiện
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year		
1960	32.7	21.0	143.9	29.2	218.9	93.0	41.9	179.0	282.9	596.5	130.0	29.8	1798.8	115.5	5/20
1961	43.9	39.6	63.5	76.2	257.0	274.2	70.5	144.8	732.4	347.5	167.3	207.5	2424.4	223.1	9/23
1962	21.8	9.4	56.9	111.4	36.0	124.2	117.2	142.0	809.3	328.8	123.0	15.7	1895.7	206.1	9/27
1963	10.1	40.3	50.8	24.7	42.5	214.3	113.5	157.4	508.9	699.0	178.4	47.8	2087.7	304.0	10/5
1964	54.1	42.7	26.9	19.9	223.1	37.8	74.8	169.5	545.1	876.5	187.1	75.9	2333.4	274.0	10/9
1965	24.4	84.1	58.6	106.1	190.4	307.8	115.6	392.5	285.9	358.1	229.2	183.3	2336.0	205.5	8/20
1966	58.1	44.3	52.2	44.5	330.2	1.7	21.1	158.2	99.7	814.3	190.8	77.7	1892.8	263.2	10/26
1967	39.3	35.0	16.2	94.5	189.7	64.9	13.8	140.0	858.3	311.5	294.1	62.2	2119.5	185.6	9/25
1968	8.9	42.1	47.1	85.9	75.4	41.6	m	224.0	324.5	215.8	206.3	133.8	m	87.2	12/15
1969	84.4	36.5	70.9	26.4	101.7	71.9	110.7	16.6	393.8	36.1	217.3	21.8	1188.1	107.5	9/20
1970	51.6	15.8	35.6	79.4	101.8	221.0	36.9	427.5	819.9	509.6	142.9	92.7	2534.7	216.6	9/6

1971	28.8	14.7	13.4	36.4	169.8	155.9	527.4	37.7	344.3	816.8	6.7	198.8	2350.7	298.0	10/26
1972	21.3	70.1	19.1	93.0	153.4	113.9	45.5	165.5	391.8	512.9	163.1	53.7	1803.3	152.8	10/3
1973	49.4	11.1	35.5	104.5	118.6	32.0	431.9	151.3	1618.1	430.3	43.1	15.9	3041.7	384.6	9/19
1974	83.8	41.6	54.5	49.7	124.5	78.9	4.7	356.2	77.8	421.5	176.3	58.6	1528.1	180.8	10/10
1975	115.1	31.2	43.9	4.0	112.1	100.5	22.3	483.5	499.2	149.8	93.7	25.2	1680.5	139.4	9/22
1976	53.4	59.9	68.7	51.8	73.7	118.6	35.2	70.7	91.3	321.8	462.7	44.1	1451.9	174.8	11/2
1977	60.8	24.2	29.7	48.4	77.6	0.1	30.9	241.0	220.9	244.3	137.3	70.6	1185.8	114.8	9/4
1978	61.2	68.3	61.5	85.9	50.2	85.5	58.9	423.3	1543.2	356.1	118.8	22.3	2935.2	309.8	9/17
1979	98.0	28.5	27.8	122.2	152.4	217.9	17.7	432.5	572.9	5.6	68.1	14.5	1758.1	227.6	9/22
1980	27.3	51.5	40.5	94.5	77.4	149.7	10.7	332.8	1071.4	315.8	56.2	168.8	2396.6	352.7	9/17
1981	63.9	42.3	30.3	117.3	187.2	33.5	351.7	93.8	779.3	694.9	135.7	2.9	2532.8	350.2	9/19
1982	86.5	72.3	104.5	42.6	130.6	74.9	19.7	44.9	393.4	843.4	710.8	20.2	2543.8	343.5	10/18
1983	61.6	58.1	43.4	38.8	25.4	102.6	159.2	176.2	136.2	1419.8	33.6	90.1	2345.0	366.3	10/3
1984	42.2	30.1	15.0	79.4	208.4	145.8	120.5	97.1	536.6	631.3	286.1	52.8	2245.3	329.1	10/14

1985	60.9	58.2	0.0	37.1	6.3	406.1	49.0	73.5	876.4	370.7	537.2	11.6	2487.0	387.9	9/10
1986	42.7	52.5	35.4	83.8	322.2	1.9	23.0	210.7	171.1	785.4	108.7	102.2	1939.6	362.7	10/23
1987	35.0	16.7	55.0	116.9	76.4	161.7	90.5	398.7	368.8	226.9	124.0	12.7	1683.3	202.6	8/22
1988	42.7	38.1	84.1	15.4	121.4	66.9	24.9	91.6	409.1	766.3	17.0	24.6	1702.1	252.4	9/17
1989	71.0	34.7	52.7	84.3	255.6	128.6	271.8	481.4	171.4	1592.8	289.4	86.8	3520.5	596.7	10/11
1990	58.2	68.9	54.6	43.7	144.1	58.1	391.2	345.0	389.6	939.1	162.2	23.4	2678.1	246.3	9/19
1991	92.6	15.9	46.8	62.5	92.1	62.3	48.5	247.9	326.7	1255.8	107.6	246.7	2605.4	301.1	10/20
1992	56.9	54.2	16.6	19.3	87.1	226.3	129.7	124.7	395.0	819.3	60.1	72.2	2061.4	182.3	10/6
1993	11.0	25.2	47.1	73.4	75.3	9.6	157.9	311.7	507.5	160.2	46.6	49.1	1474.6	223.4	8/29
1994	34.0	52.8	52.2	35.1	227.3	190.4	195.3	218.2	476.3	142.6	241.6	197.7	2063.5	107.0	11/16
1995	75.9	27.8	36.7	34.0	74.4	105.2	78.9	296.3	555.4	275.1	138.0	35.3	1733.0	186.5	8/30
1996	53.3	62.1	54.3	53.4	70.9	31.1	141.0	161.2	780.9	397.3	457.9	38.9	2302.3	208.9	9/22
1997	152.4	66.6	95.2	165.9	126.9	57.6	113.8	191.5	185.5	328.6	24.4	62.0	1570.4	93.8	5/29
1998	43.7	45.3	38.7	52.7	101.0	85.4	15.8	140.1	495.5	257.1	143.3	59.2	1477.8	208.7	9/26

1999	65.6	43.3	28.6	59.7	339.1	83.2	60.3	50.4	96.7	950.3	134.6	27.1	1938.9	221.3	10/15
2000	53.5	22.1	52.3	145.0	116.7	148.4	52.7	144.1	392.6	201.2	86.3	50.0	1464.9	143.5	9/8
2001	63.4	46.3	76.1	17.9	448.3	64.0	87.6	331.3	394.3	555.5	51.4	94.9	2231.0	259.0	10/23
2002	24.4	18.5	84.9	45.8	262.9	36.0	122.2	188.4	531.0	433.0	128.4	134.2	2009.7	150.6	9/19
2003	23.9	19.5	38.9	28.8	281.2	50.4	119.0	113.6	603.9	221.2	56.7	52.2	1609.3	156.6	5/30
2004	62.5	54.9	28.0	121.4	186.5	212.1	111.4	181.1	300.8	171.3	147.6	33.9	1611.5	125.7	9/19
2005	13.1	24.7	39.8	19.8	119.0	49.6	227.8	424.3	647.2	258.1	106.3	39.2	1968.9	196.7	9/18
2006	26.9	52.9	51.1	44.0	99.8	57.3	171.3	547.1	253.5	517.8	58.0	71.5	1951.2	162.0	10/3
2007	33.2	34.9	141.7	76.0	204.0	8.8	43.7	636.5	118.6	495.2	44.6	123.0	1960.2	166.5	8/7
2008	83.0	33.0	32.7	32.6	73.8	41.6	52.9	164.7	430.9	1037.6	75.5	58.7	2117.0	172.6	10/27
2009	37.2	19.6	92.4	84.7	123.3	3.5	108.5	339.9	373.8	108.6	61.1	56.6	1409.2	201.2	9/25
2010	61.3	28.6	11.7	78.6	26.3	70.6	110.2	868.5	94.4	1290.3	43.5	34.7	2718.7	391.5	10/17
Tr. Binh	**52.2**	**39.8**	**50.2**	**64.7**	**146.9**	**103.5**	**111.0**	**245.9**	**476.2**	**525.8**	**157.1**	**70.3**	**2043.4**	**231.8**	
Tỷlệ K%	**2.55**	**1.95**	**2.45**	**3.17**	**7.19**	**5.07**	**5.43**	**12.03**	**23.30**	**25.73**	**7.69**	**3.44**	**100.0**		

Phụ lục 2: Mức tưới cây trồng

Tần suất p=75%

Đơn vị: m³/ha

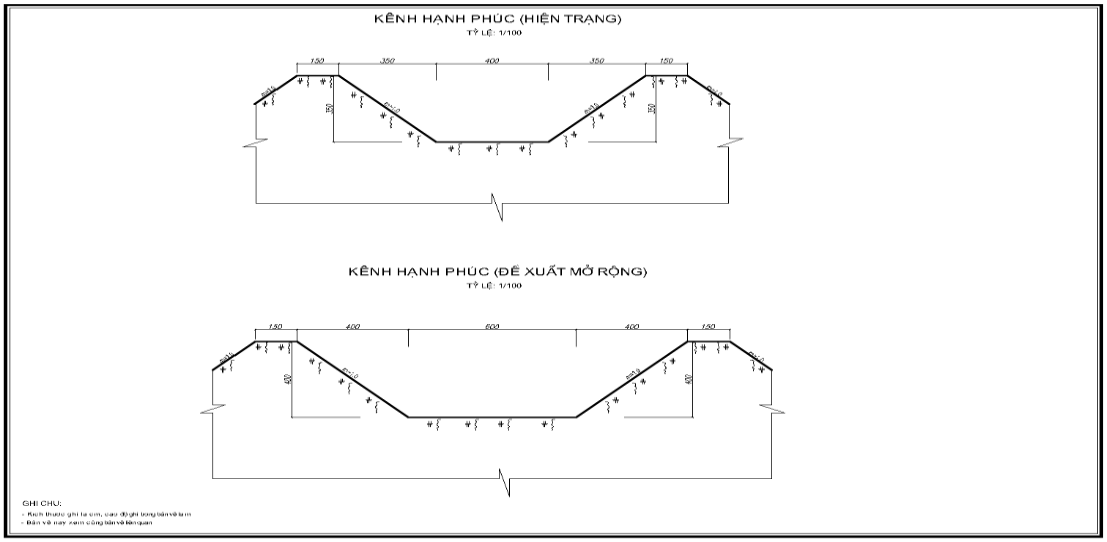
Vùng	Lúa			Màu			Cây HN
	Lúa ĐX	Lúa HT	Lúa Mùa	Đ.Xuân	Thu Mùa	Đông	
I	6384	0	5649	1664	1470	858	4226
II	6384	0	5649	1664	1470	858	4226
III	6392	7138	6105	1629	1030	989	4090
IV	6392	7138	6105	1629	1030	989	4090
V	6392	7138	6105	1629	1030	989	4090
VI	6530	7341	6166	1616	1954	1104	4376
VII	6162	7234	6190	1545	967	404	3711
VIII	6162	7234	6190	1545	967	404	3711
IX	6117	7361	5280	1271	1396	349	0
X	6002	7187	4595	1593	999	79	3889
XI	6030	7381	5142	1628	2142	478	3889
XII	6030	7381	5142	1628	2142	478	3889
XIII	6030	7381	5142	1628	2142	478	3889
XIV	6030	7381	5142	1628	2142	478	3889

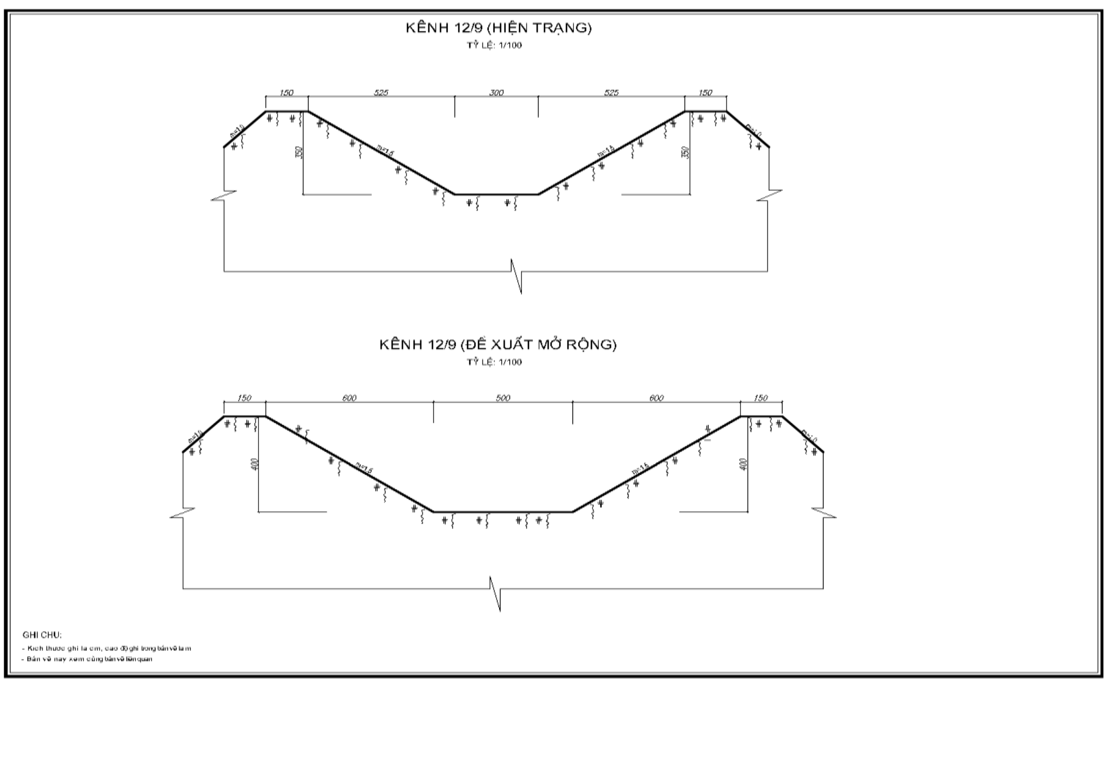
Tần suất p=85%

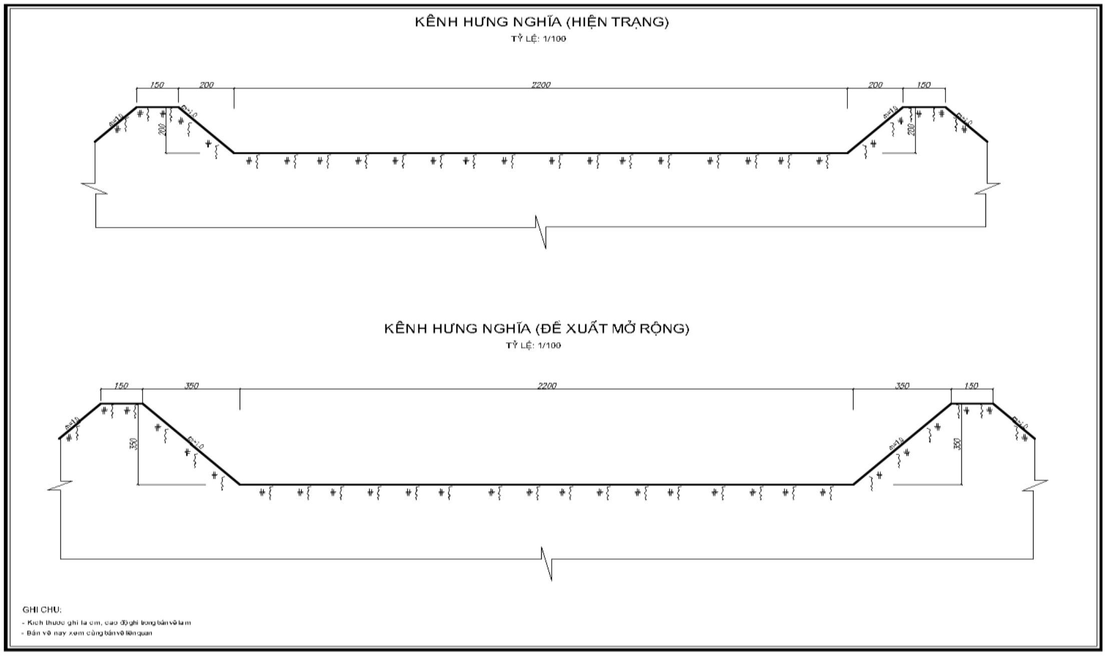
Đơn vị: m³/ha

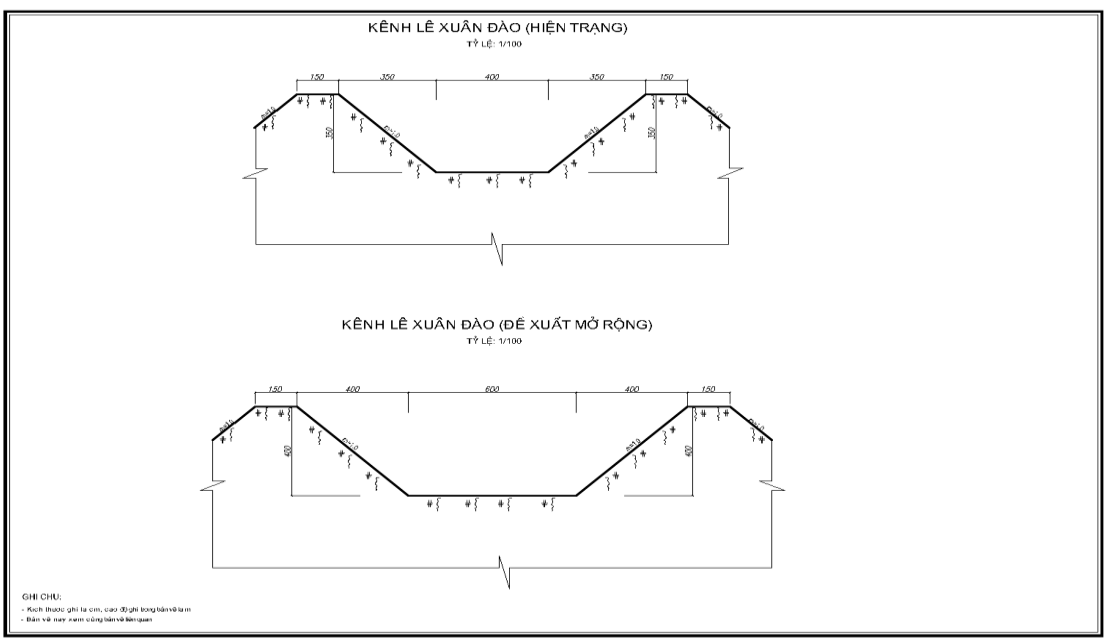
Vùng	Lúa			Màu			Cây HN
	Lúa ĐX	Lúa HT	Lúa Mùa	Đ.Xuân	Thu Mùa	Đông	
I	6578	0	5836	1820	1630	943	4508
II	6578	0	5836	1820	1630	943	4508
III	6541	7308	6387	1677	1236	1051	4334
IV	6541	7308	6387	1677	1236	1051	4334
V	6541	7308	6387	1677	1236	1051	4334
VI	6561	7528	6350	1639	2253	1171	4719
VII	6313	7669	6302	1629	1236	554	3946
VIII	6313	7669	6302	1629	1236	554	3946
IX	6270	7816	5462	1401	1812	424	3946
X	6207	7277	5113	1718	1220	118	3946
XI	6207	7277	5113	1718	1220	118	3946
XII	6205	7765	5544	1759	2250	482	4172
XIII	6205	7765	5544	1759	2250	482	4172
XIV	6205	7765	5544	1759	2250	482	4172

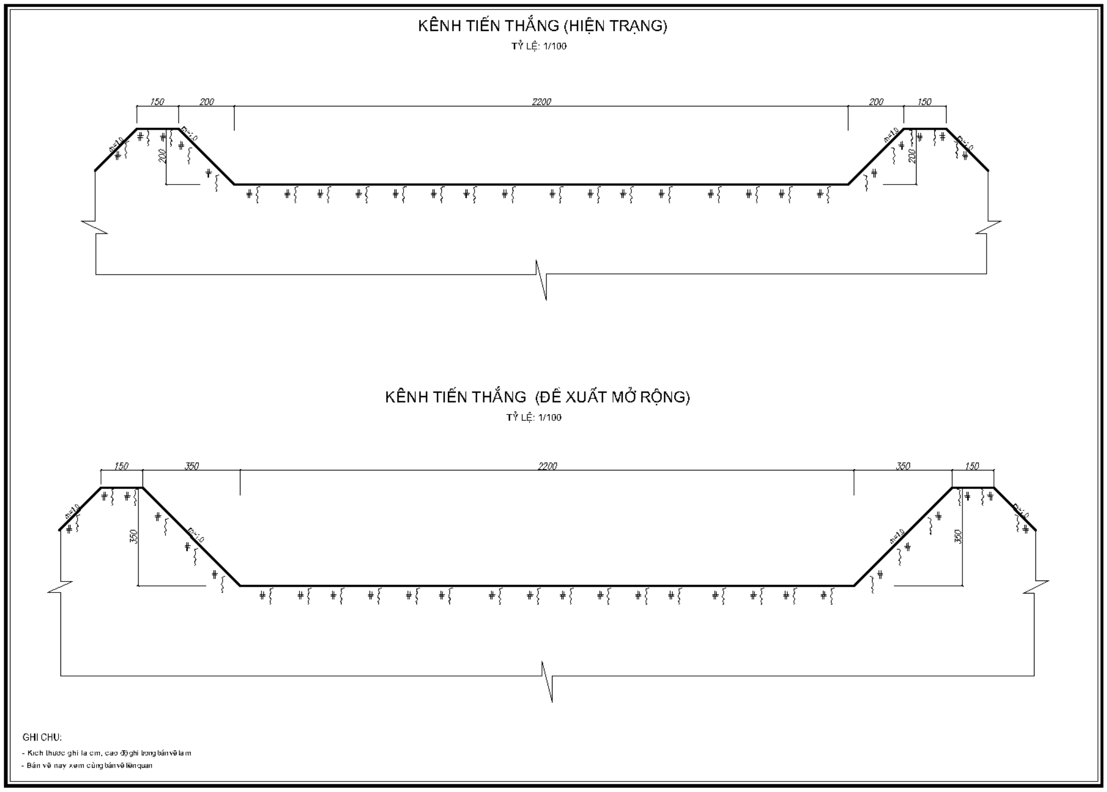
Phụ lục 3: Mặt cắt hiện trạng và mặt cắt đề xuất các kênh






KÊNH HƯNG NGHĨA (HIỆN TRẠNG)
TỶ LỆ: 1/100
150
200
2200
200
150
200
200
KÊNH HƯNG NGHĨA (ĐỀ XUẤT MỞ RỘNG)
TỶ LỆ: 1/100
150
350
2200
350
150
350
350
GHI CHU:
- Kich thước ghi la cm, cao độ ghi trong bản vẽ la m
- Bản vẽ nay xem cùng bản vẽ liên quan


KÊNH LÊ XUÂN ĐÀO (HIỆN TRẠNG)
TỶ LỆ: 1/100
150
350
400
350
150
350
350
KÊNH LÊ XUÂN ĐÀO (ĐỀ XUẤT MỞ RỘNG)
TỶ LỆ: 1/100
150
400
600
400
150
400
400
GHI CHU:
- Kich thước ghi la cm, cao độ ghi trong bản vẽ la m
- Bản vẽ nay xem cùng bản vẽ liên quan


KÊNH TIẾN THẮNG (HIỆN TRẠNG)
TỶ LỆ: 1/100
150
200
2200
200
150
200
200
KÊNH TIẾN THẮNG (ĐỀ XUẤT MỞ RỘNG)
TỶ LỆ: 1/100
150
350
2200
350
150
350
350
GHI CHU:
- Kich thước ghi la cm, cao độ ghi trong bản vẽ la m
- Bản vẽ nay xem cùng bản vẽ liên quan

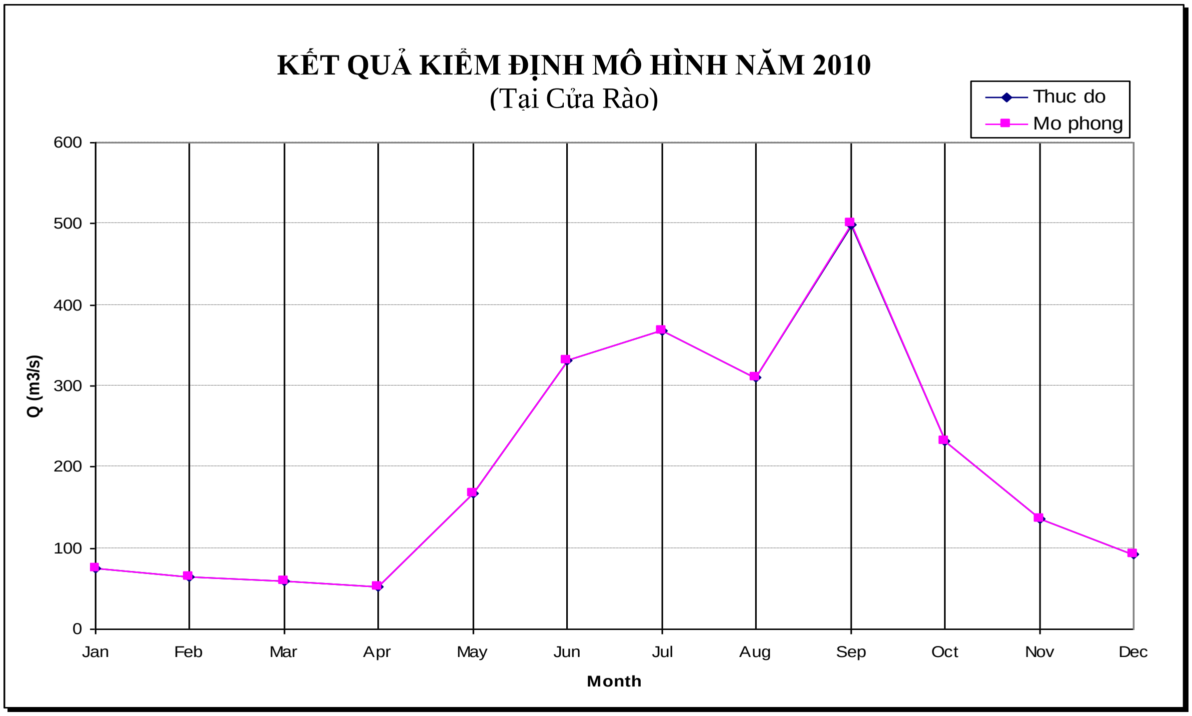
Phụ lục 4: Nhu cầu nước trên lưu vực sông Cả

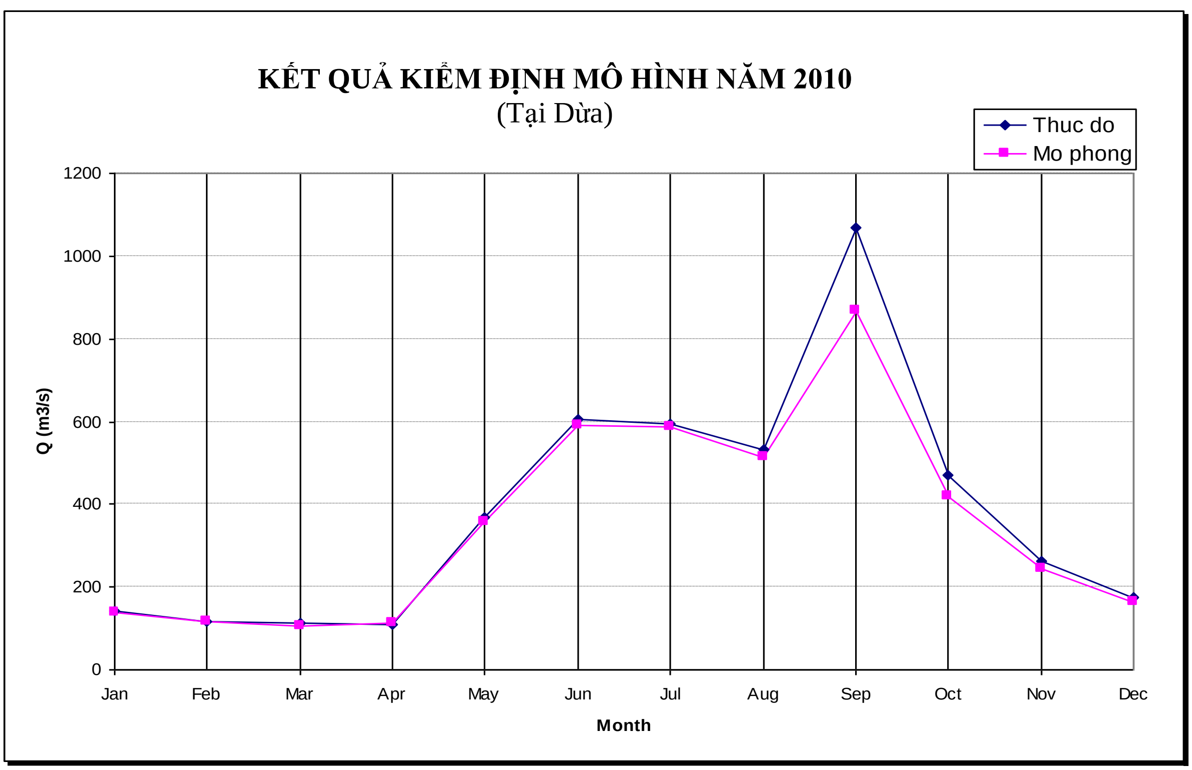
Đơn vị: $10^6 m^3$

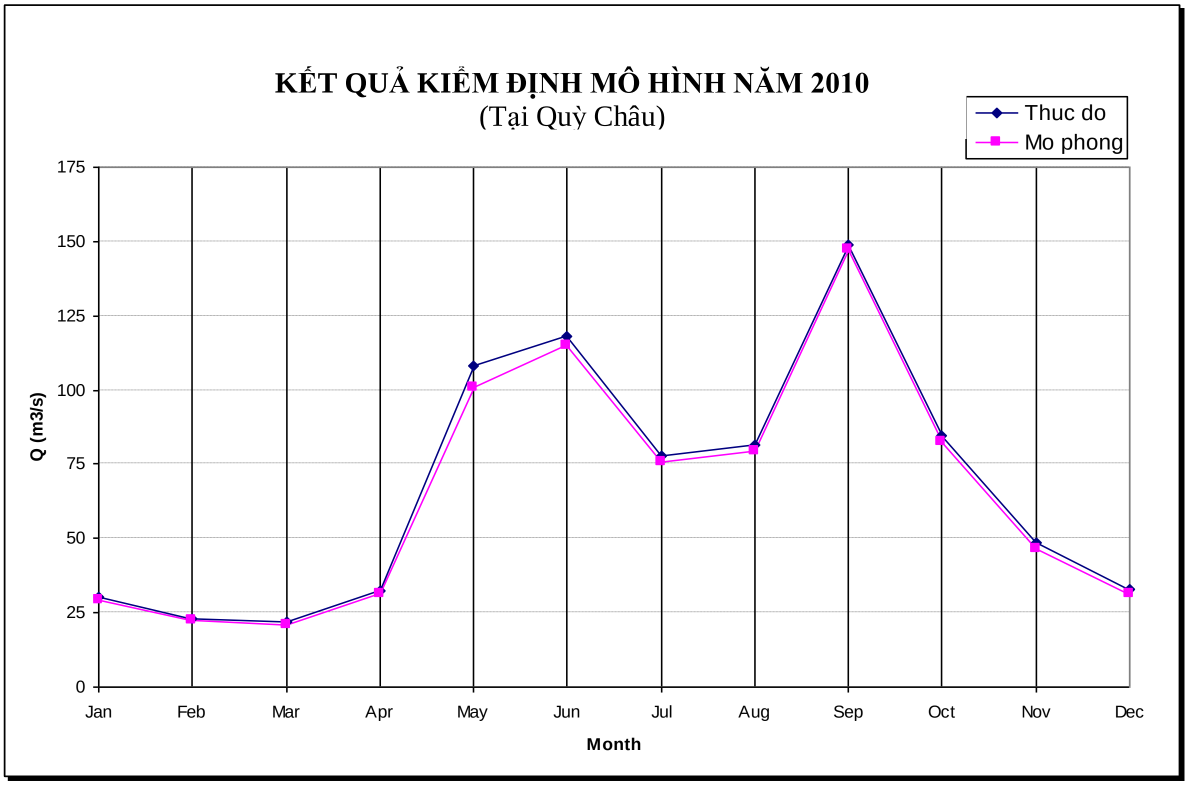
Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Năm
Tần suất 75%													
Vùng I	10,80	11,02	14,95	17,09	8,39	11,31	14,12	8,96	5,60	5,64	5,48	13,83	127,20
Vùng II	50,23	50,35	66,19	134,71	76,16	40,11	74,78	45,85	20,25	15,84	15,42	60,75	650,63
Vùng III	4,49	3,75	5,28	7,61	6,01	4,64	5,42	2,50	1,96	1,52	1,48	5,38	50,05
Vùng IV	31,10	31,30	39,13	46,56	33,77	30,04	36,65	31,37	25,41	26,30	24,68	35,51	391,81
Vùng V	48,13	42,63	46,72	45,20	47,42	45,53	46,98	46,81	45,22	46,72	45,20	49,40	555,95
Vùng VI	21,54	21,48	22,61	31,96	16,52	24,31	28,29	20,73	11,69	11,81	11,44	25,60	247,97
Vùng VII	44,43	36,10	52,72	82,30	62,66	67,45	75,11	26,24	10,88	5,79	6,47	55,32	525,46
Vùng VIII	76,39	72,44	81,11	99,07	66,30	46,51	58,47	53,89	44,22	44,82	47,17	73,48	763,87
Vùng IX	92,06	83,99	95,76	101,67	99,18	91,02	114,53	111,70	84,77	94,96	89,75	90,74	1150,12
Vùng X	56,92	45,39	41,48	40,15	55,25	47,53	49,23	43,20	40,15	41,48	40,15	78,33	579,26
Vùng XI	118,88	121,10	170,99	161,88	145,35	153,82	135,44	47,95	31,66	33,10	34,02	139,61	1293,79
Vùng XII	22,80	24,64	31,21	25,49	16,26	38,63	38,26	24,57	21,79	21,55	14,52	24,70	304,41
Vùng XIII	40,49	43,56	56,08	41,13	27,80	59,32	71,94	41,61	49,78	35,18	30,68	41,41	471,77
Vùng XIV	54,38	56,59	71,09	54,69	40,78	74,18	88,07	55,59	63,95	48,69	43,50	55,36	706,87
Tổng	**672,62**	**644,35**	**795,31**	**889,50**	**701,85**	**734,40**	**837,28**	**560,97**	**457,32**	**433,38**	**409,97**	**749,42**	**7819,17**
Tần suất 85%													
Vùng I	11,04	11,41	15,38	17,42	9,18	11,40	14,14	9,32	5,60	5,64	5,48	13,86	129,88

Vùng II	51,64	52,11	68,17	136,05	78,17	43,04	76,79	49,14	20,30	15,84	15,42	60,89	667,57
Vùng III	4,42	4,12	5,64	7,41	6,10	5,21	5,98	2,05	2,38	1,52	1,50	5,59	51,91
Vùng IV	36,66	34,67	37,37	45,88	31,10	36,77	40,58	35,07	24,98	25,51	25,06	42,53	416,16
Vùng V	48,32	42,68	46,72	45,20	47,50	45,60	47,02	46,81	45,22	46,72	45,20	49,68	556,65
Vùng VI	21,36	21,79	23,67	32,64	16,62	25,07	29,13	21,97	11,72	11,81	11,82	25,86	253,46
Vùng VII	44,03	39,73	56,22	81,04	63,87	74,34	80,29	23,73	14,32	5,81	6,73	57,52	547,62
Vùng VIII	77,44	72,61	82,96	100,53	70,22	47,18	58,77	54,51	44,86	45,18	49,07	73,19	776,53
Vùng IX	92,28	84,08	96,62	102,40	100,54	91,51	116,21	112,45	86,43	96,84	89,89	90,77	1160,02
Vùng X	58,90	46,39	41,48	40,15	56,95	48,98	50,27	43,50	40,15	41,48	40,15	82,27	590,66
Vùng XI	120,04	120,70	171,31	164,10	147,34	158,71	142,13	51,62	32,89	33,30	34,73	140,55	1317,43
Vùng XII	23,17	24,84	31,61	26,58	16,55	40,88	38,71	25,60	22,12	21,75	14,61	24,29	310,69
Vùng XIII	36,64	37,97	47,78	37,84	27,41	52,17	59,50	38,75	43,34	32,66	29,43	36,61	480,09
Vùng XIV	54,91	56,88	71,61	56,68	41,05	78,17	89,19	58,06	64,94	48,93	44,06	54,86	719,33
Tổng	**680,83**	**649,98**	**796,52**	**893,91**	**712,60**	**759,03**	**848,68**	**572,59**	**459,25**	**432,98**	**413,15**	**758,48**	**7978,00**

Phụ lục 5: Kết quả kiểm định mô hình






KẾT QUẢ KIỂM ĐỊNH MÔ HÌNH NĂM 2010
(Tại Quỳ Châu)
Thuc do
Mo phong
Q (m3/s)
0
25
50
75
100
125
150
175
Jan
Feb
Mar
Apr
May
Jun
Jul
Aug
Sep
Oct
Nov
Dec
Month

Phụ lục 6: Số liệu về hồ chứa

- Dung tích làm việc, dung tích chết, dung tích tổng cộng;
- Quan hệ dung tích - mực nước hồ W - Z;
- Khả năng xả của đập tràn;
- Lưu lượng thiết kế xả xuống hạ du và quan hệ Q~h;
- Biểu đồ điều phối.

Thông số cơ bản các công trình lợi dụng tổng hợp đã xây dựng

Thôngsố	**BảnVẽ**	**KheBố**	**NhạnHạc**	**BảnCộc**	**BảnMồng**	**NgànTrươi**
Flưuvực (km^2)	8.760	14.300	540	145	2.785	408
Qbq (m^3/s)	132,1				93,4	26,3
Q_{tk}(m^3/s)	12.500				5.870	4.880
- $F_{tưới}$ (ha)	0		350	210	18.871	32.500
- $Q_{xảhạ\ du}$ (m^3/s)	80,0	95,5	14,5	7,4	22,0	4,0
- MNDBT (m)	200	65	135,5	385	76,4	52,0
- MNC (m)	145	63	135,5	385	71	25
- MNDGC (m)	203		137,5	387	76,56	54,56
- $W_{toànbộ}$ (10^6 m^3)	1.700	97,8			235,5	932,7
- $W_{hữuích}$ (10^6 m^3)	1.135				109,76	704,0
- Wc (10^6 m^3)	565				125,74	71,7
- $W_{phònglũ}$ ($10^6 m^3$)	300				-	157
- $F_{ngập}$(ha)	3.123		1035	730	2.572	4.310
- Nlm (MW)	320	100	25	16	42	15
Nbđ (MW)	95,0	26,4	8	5,5	8,5	5,13

Phụ lục 7

Kết quả tính toán ETo

Tháng	Nhiệt độ trung bình	Độ ẩm trùng bình	Tốc độ gió trung bình	Số giờ nắng trung bình	ETo
1	18.4	75	29	6.6	2.26
2	20.2	79	22	6	2.54
3	23.2	73	24	11.2	4.26
4	23.6	84	26	10	4.39
5	28.6	81	14	13.1	5.85
6	30.7	91	11	13	6.4
7	29.9	88	17	12	5.99
8	28.4	90	15	11.5	5.6
9	27.6	89	13	11.9	5.39
10	24.1	89	33	10	3.99
11	22.5	90	40	7	2.8
12	19.1	81	30	8.1	2.47
Trungbình	24.7	84	23	10	4.33

Etc = Kc x ETo. Tham khảo bảng 11 và bảng 12 trong FAO 56, hệ số Kc được lấy = 1.15. Như vậy ta có Etc:

Kết quả tính toán ETc

Tháng	Nhiệt độ trung bình	Độ ẩm trùng bình	Tốc độ gió trung bình	Số giờ nắng trung bình	ETo	ETc
1	18.4	75	29	6.6	2.26	2.486
2	20.2	79	22	6	2.54	2.794
3	23.2	73	24	11.2	4.26	4.686
4	23.6	84	26	10	4.39	4.829
5	28.6	81	14	13.1	5.85	6.435
6	30.7	91	11	13	6.4	7.04
7	29.9	88	17	12	5.99	6.589
8	28.4	90	15	11.5	5.6	6.16
9	27.6	89	13	11.9	5.39	5.929
10	24.1	89	33	10	3.99	4.389
11	22.5	90	40	7	2.8	3.08
12	19.1	81	30	8.1	2.47	2.717
Trung bình	24.7	84	23	10	4.33	4.763

Phụlục 8: Kếtquảtínhtoáncânbằngnước

Tổng lượng nước thiếu hụt trên lưu vực sông Cả - P=75%

Vùng/Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Tổng
Vùng I													
Lượng nước đến(m^3/s)	2,81	2,69	2,86	2,39	4,72	6,27	4,27	9,17	10,05	5,85	3,32	2,72	
Lượng nước cần (m^3/s)	4,17	4,25	5,77	6,59	3,24	4,36	5,45	3,46	2,16	2,18	2,11	5,34	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	-1,36	-1,57	-2,90	-4,21	0,00	0,00	-1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,61	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	-3,52	-4,06	-7,53	-10,90	0,00	0,00	-3,05	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,77	**-35,84**
Vùng II													
Lượng nước đến(m^3/s)	13,28	12,93	13,43	12,10	18,65	22,99	17,37	31,12	33,59	21,81	14,71	13,03	
Lượng nước cần (m^3/s)	19,38	19,42	25,54	51,97	29,38	15,47	28,85	17,69	7,81	6,11	5,95	23,44	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	-6,10	-6,49	- 12,11	-39,88	- 10,73	0,00	-11,48	0,00	0,00	0,00	0,00	- 10,41	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	- 15,81	- 16,82	- 31,39	- 103,36	- 27,81	0,00	-29,75	0,00	0,00	0,00	0,00	- 26,97	**- 251,92**
Vùng III													
Lượng nước đến(m^3/s)	2,27	2,20	2,09	2,06	3,16	1,43	1,19	4,08	3,53	2,49	2,31	1,69	

Lượng nước cần (m^3/s)	1,73	1,45	2,04	2,94	2,32	1,79	2,09	0,96	0,76	0,59	0,57	2,07	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	0,00	-0,87	0,00	-0,36	-0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,38	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	0,00	-2,27	0,00	-0,93	-2,34	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	**-6,54**
Vùng IV													
Lượng nước đến(m^3/s)	16,18	17,67	13,12	12,25	13,45	11,03	11,57	13,46	87,50	107,96	30,49	24,23	
Lượng nước cần (m^3/s)	12,00	12,08	15,09	17,96	13,03	11,59	14,14	12,10	9,80	10,15	9,52	13,70	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	-1,98	-5,71	0,00	-0,56	-2,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	-5,12	-14,81	0,00	-1,46	-6,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-28,04**
Vùng V													
Lượng nước đến(m^3/s)	27,5	29,26	25,85	17,71	28,49	30,69	20,35	31,79	73,7	95,04	62,04	30,69	
Lượng nước cần (m^3/s)	18,57	16,45	18,02	17,44	18,29	17,57	18,13	18,06	17,44	18,02	17,44	19,06	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,00**
Vùng VI													
Lượng nước đến(m^3/s)	41,40	40,80	37,90	28,10	49,20	36,30	22,20	27,50	154,30	231,50	137,60	63,60	
Lượng nước cần (m^3/s)	8,31	8,29	8,72	12,33	6,37	9,38	10,91	8,00	4,51	4,56	4,41	9,88	

Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,00**
Vùng VII													
Lượng nước đến(m^3/s)	24,24	24,19	24,26	24,06	25,09	25,77	24,89	27,05	27,44	25,58	24,47	24,20	
Lượng nước cần (m^3/s)	17,14	13,93	20,34	31,75	24,17	26,02	28,98	10,12	4,20	2,24	2,50	21,34	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	0,00	-7,70	0,00	-0,25	-4,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	0,00	-19,95	0,00	-0,65	-10,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-31,21**
Vùng VIII													
Lượng nước đến(m^3/s)	27,56	26,35	28,07	23,42	46,33	61,49	41,85	89,91	98,52	57,35	32,55	26,70	
Lượng nước cần (m^3/s)	29,47	27,95	31,29	38,22	25,58	17,94	22,56	20,79	17,06	17,29	18,20	28,35	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	-1,91	-1,59	-3,22	-14,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,65	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	-4,96	-4,13	-8,34	-38,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,28	**-60,07**
Vùng IX													
Lượng nước đến(m^3/s)	50,88	40,61	37,36	39,03	41,64	168,09	291,38	241,01	282,17	146,13	96,80	76,03	
Lượng nước cần (m^3/s)	35,52	32,40	36,94	39,22	38,26	35,12	44,18	43,09	32,70	36,64	34,63	35,01	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	0,00	-0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	0,00	-0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-0,52**
Vùng X													
Lượng nước đến(m^3/s)	41,30	35,20	31,40	37,20	42,70	98,30	105,40	292,20	179,60	115,20	71,60	52,50	
Lượng nước cần (m^3/s)	21,96	17,51	16,00	15,49	21,32	18,34	18,99	16,67	15,49	16,00	15,49	30,22	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,00**
Vùng XI													
Lượng nước đến(m^3/s)	58,67	57,33	55,71	52,95	56,73	58,57	54,31	62,80	67,05	48,36	57,39	45,14	
Lượng nước cần (m^3/s)	45,86	46,72	65,97	62,45	56,08	59,34	52,25	18,50	12,21	12,77	13,13	53,86	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	-10,26	-9,50	0,00	-0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,72	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	-26,59	-24,64	0,00	-2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-22,60	**-75,82**
Vùng XII													
Lượng nước đến(m^3/s)	12,80	10,11	8,51	9,95	15,85	21,63	53,34	56,03	61,16	59,56	21,11	14,37	
Lượng nước cần (m^3/s)	8,79	9,51	12,04	9,83	6,27	14,90	14,76	9,48	8,41	8,31	5,60	9,53	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	-3,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu	0,00	0,00	-9,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-9,16**

hụt(10^6m^3)													
Vùng XIII													
Lượng nước đến(m^3/s)	21,34	16,86	14,18	16,59	26,42	36,05	88,90	93,38	101,94	99,26	35,18	23,95	
Lượng nước cần (m^3/s)	15,62	16,81	21,64	15,87	10,72	22,88	27,75	16,05	19,20	13,57	11,84	15,97	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	-7,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	-19,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-19,32**
Vùng XIV													
Lượng nước đến(m^3/s)	23,2	23,2	22,8	21,9	22,8	21,9	21,9	21,9	27,7	27,7	27,7	27,7	
Lượng nước cần (m^3/s)	20,98	21,83	27,43	21,10	15,73	28,62	33,98	21,45	24,67	18,78	16,78	21,36	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	-4,63	0,00	0,00	-6,72	-12,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	-11,99	0,00	0,00	-17,42	-31,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-60,71**
Tổng lượng nước thiếu hụt toàn lưu vực													**-579,14**

Tổng lượng nước thiếu hụt trên lưu vực sông Cả - P=85%

Vùng/Tháng	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Tổng**
Vùng I													
Lượng nước đến(m^3/s)	2,20	2,10	2,24	1,87	3,70	4,91	3,34	7,17	7,86	4,58	2,60	2,13	
Lượng nước cần (m^3/s)	4,26	4,40	5,93	6,72	3,54	4,40	5,46	3,60	2,16	2,18	2,11	5,35	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	-2,06	-2,30	-3,69	-4,85	0,00	0,00	-2,12	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,22	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	-5,34	-5,96	-9,57	-12,58	0,00	0,00	-5,49	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,34	**-47,28**
Vùng II													
Lượng nước đến(m^3/s)	13,03	12,76	13,14	12,12	15,14	18,46	16,16	24,68	26,56	17,55	12,12	10,84	
Lượng nước cần (m^3/s)	19,92	20,11	26,30	52,49	30,16	16,61	29,62	18,96	7,83	6,11	5,95	23,49	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	-6,90	-7,34	- 13,16	-40,37	- 15,02	0,00	-13,47	0,00	0,00	0,00	0,00	- 12,66	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	- 17,88	- 19,03	- 34,11	- 104,63	- 38,94	0,00	-34,91	0,00	0,00	0,00	0,00	- 32,80	**-282,31**
Vùng III													
Lượng nước đến(m^3/s)	1,25	1,21	1,15	1,14	1,74	0,79	0,66	2,25	1,94	1,37	1,27	0,93	
Lượng nước cần (m^3/s)	1,70	1,59	2,17	2,86	2,35	2,01	2,31	0,79	0,92	0,59	0,58	2,16	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	-0,45	-0,38	-1,03	-1,72	-0,61	-1,22	-1,65	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,23	

Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	-1,18	-0,98	-2,66	-4,47	-1,59	-3,16	-4,28	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,18	**-21,50**
Vùng IV													
Lượng nước đến(m^3/s)	15,54	16,97	12,60	11,77	12,92	10,59	11,12	12,93	84,07	103,72	29,29	23,28	
Lượng nước cần (m^3/s)	14,14	13,37	14,42	17,70	12,00	14,18	15,66	13,53	9,64	9,84	9,67	16,41	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	-1,81	-5,93	0,00	-3,59	-4,54	-0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	-4,70	-15,37	0,00	-9,31	-11,76	-1,56	0,00	0,00	0,00	0,00	**-42,70**
Vùng V													
Lượng nước đến(m^3/s)	25,16	26,77	23,65	16,20	26,07	28,08	18,62	29,09	67,44	86,96	56,77	28,08	
Lượng nước cần (m^3/s)	18,64	16,47	18,02	17,44	18,33	17,59	18,14	18,06	17,44	18,02	17,44	19,17	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	0,00	-1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	0,00	-3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-3,20**
Vùng VI													
Lượng nước đến(m^3/s)	37,26	36,72	34,11	25,29	44,28	32,67	19,98	24,75	138,87	208,35	123,84	57,24	
Lượng nước cần (m^3/s)	8,24	8,41	9,13	12,59	6,41	9,67	11,24	8,48	4,52	4,56	4,56	9,98	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,00**

Vùng VII													
Lượng nước đến(m^3/s)	23,03	22,98	23,05	23,85	23,83	25,48	23,64	25,70	26,07	24,30	23,24	22,99	
Lượng nước cần (m^3/s)	16,99	15,33	21,69	31,27	24,64	28,68	30,98	9,15	5,52	2,24	2,60	22,19	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	0,00	-7,41	-0,81	-3,20	-7,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	0,00	-19,22	-2,10	-8,30	-19,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-48,63**
Vùng VIII													
Lượng nước đến(m^3/s)	26,46	25,30	26,95	22,49	44,48	59,03	40,18	86,31	94,58	55,06	31,25	25,63	
Lượng nước cần (m^3/s)	29,87	28,01	32,01	38,79	27,09	18,20	22,67	21,03	17,31	17,43	18,93	28,24	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	-3,42	-2,72	-5,06	-16,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,61	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	-8,86	-7,04	-13,11	-42,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,76	**-78,02**
Vùng IX													
Lượng nước đến(m^3/s)	48,34	38,58	35,49	37,07	39,56	159,68	276,81	228,96	268,07	138,82	91,96	72,22	
Lượng nước cần (m^3/s)	35,60	32,44	37,28	39,50	38,79	35,31	44,83	43,39	33,34	37,36	34,68	35,02	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	-1,78	-2,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	-4,63	-6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-10,93**
Vùng X													

Lượng nước đến(m^3/s)	37,17	31,68	28,26	33,48	38,43	88,47	94,86	262,98	161,64	103,68	64,44	47,25	
Lượng nước cần (m^3/s)	22,72	17,90	16,00	15,49	21,97	18,90	19,39	16,78	15,49	16,00	15,49	31,74	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,00**
Vùng XI													
Lượng nước đến(m^3/s)	55,74	54,47	52,92	50,30	53,90	55,65	51,60	59,66	63,69	45,94	54,52	42,89	
Lượng nước cần (m^3/s)	46,31	46,57	66,09	63,31	56,85	61,23	54,83	19,92	12,69	12,85	13,40	54,23	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	0,00	-13,17	-13,01	-2,95	-5,58	-3,23	0,00	0,00	0,00	0,00	-11,34	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	0,00	-34,13	-33,72	-7,64	-14,47	-8,38	0,00	0,00	0,00	0,00	-29,39	**-127,74**
Vùng XII													
Lượng nước đến(m^3/s)	11,65	9,20	7,74	9,06	14,43	19,69	48,54	50,98	55,66	54,20	19,21	13,07	
Lượng nước cần (m^3/s)	8,94	9,58	12,19	10,25	6,38	15,77	14,93	9,88	8,54	8,39	5,64	9,37	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	-0,38	-4,45	-1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	-0,99	-11,54	-3,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-15,62**
Vùng XIII													
Lượng nước đến(m^3/s)	18,14	13,99	11,77	13,77	22,46	30,65	75,56	79,37	86,65	84,37	29,91	20,35	

Lượng nước cần (m^3/s)	14,14	14,65	18,43	14,60	10,57	20,13	22,95	14,95	16,72	12,60	11,35	14,13	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	-0,66	-6,66	-0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	-1,71	- 17,27	-2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**-21,13**
Vùng XIV													
Lượng nước đến(m^3/s)	21,58	21,58	21,20	20,37	21,20	20,37	20,37	20,37	25,76	25,76	25,76	25,76	
Lượng nước cần (m^3/s)	21,18	21,94	27,63	21,87	15,84	30,16	34,41	22,40	25,05	18,88	17,00	21,17	
Lượng nước thiếu hụt (m^3/s)	0,00	-0,37	-6,42	-1,50	0,00	-9,79	-14,04	-2,03	0,71	0,00	0,00	0,00	
Tổng lượng nước thiếu hụt(10^6m^3)	0,00	-0,96	- 16,64	-3,89	0,00	-25,38	-36,39	-5,27	1,84	0,00	0,00	0,00	**-86,69**
Tổng lượng nước thiếu hụt toàn lưu vực													**-785,744**

Phụlục9: Bảngtraquanhệmưa, mựcnướctrênkênhvàlượngnướctiêu

Lượng mưa	350	340	330	320	310	300	290	280	270	260	250	240
Mực nước trong kênh												
0	-342650	-318620	-290140	-259880	-219830	-178890	-142400	-103240	-72980	-40940	-12460	-890
10	-346210	-322180	-294590	-266110	-226060	-192240	-153970	-115700	-79210	-48060	-17800	-890
20	-354220	-330190	-303490	-274120	-238520	-194020	-159310	-121930	-91670	-56070	-28480	-3560
30	-359560	-336420	-308830	-285690	-248310	-207370	-167320	-129940	-95230	-65860	-36490	-10680
40	-366680	-342650	-323070	-288360	-259880	-212710	-179780	-142400	-105910	-72090	-41830	-15130
50	-374690	-355110	-328410	-300820	-266110	-221610	-188680	-156640	-114810	-80990	-51620	-19580
60	-383590	-360450	-334640	-312390	-280350	-240300	-201140	-164650	-121930	-90780	-58740	-30260
70	-388930	-371130	-347100	-318620	-287470	-255430	-210040	-176220	-139730	-97010	-70310	-41830
80	-400500	-379140	-350660	-328410	-301710	-265220	-227840	-184230	-151300	-114810	-82770	-48060
90	-412960	-392490	-366680	-340870	-317730	-278570	-244750	-198470	-161090	-122820	-93450	-60520
100	-418300	-399610	-375580	-351550	-325740	-290140	-258990	-210040	-173550	-138840	-101460	-67640
110	-426310	-407620	-389820	-364010	-339090	-308830	-274120	-226950	-186900	-152190	-120150	-85440
120	-438770	-420970	-396050	-375580	-349770	-322180	-289250	-242080	-201140	-167320	-129940	-99680
130	-447670	-428980	-410290	-389820	-365790	-336420	-298150	-256320	-217160	-180670	-145960	-110360
140	-458350	-440550	-420970	-398720	-378250	-341760	-317730	-276790	-234070	-192240	-158420	-126380
150	-470810	-453010	-434320	-412070	-388930	-360450	-332860	-292810	-251870	-216270	-172660	-142400
160	-482380	-462800	-445000	-427200	-405840	-374690	-344430	-306160	-273230	-226950	-194020	-153970
170	-492170	-476150	-457460	-437880	-419190	-392490	-364010	-332860	-285690	-250090	-209150	-178000
180	-507300	-485050	-470810	-453010	-430760	-409400	-380920	-341760	-308830	-266110	-227840	-190460
190	-517980	-504630	-485940	-469920	-446780	-425420	-395160	-356890	-323070	-282130	-252760	-208260
200	-534000	-510860	-500180	-482380	-461020	-439660	-412070	-383590	-351550	-299040	-267000	-230510
210	-543790	-527770	-516200	-500180	-477930	-455680	-434320	-405840	-364900	-322180	-289250	-249200
220	-566930	-553580	-534000	-519760	-499290	-477930	-450340	-427200	-388930	-344430	-306160	-273230

230	-582060	-571380	-549130	-536670	-523320	-497510	-474370	-448560	-410290	-371130	-335530	-291920
240	-599860	-588290	-572270	-555360	-542900	-520650	-500180	-475260	-434320	-386260	-358670	-318620
250	-628340	-624780	-598970	-584730	-558030	-546460	-525990	-501960	-464580	-416520	-378250	-344430
260	-651480	-637240	-628340	-605200	-591850	-570490	-545570	-519760	-483270	-443220	-401390	-369350
270	-685300	-664830	-654150	-640800	-618550	-594520	-573160	-552690	-509080	-472590	-430760	-399610
280	-702210	-683520	-678180	-662160	-641690	-629230	-599860	-581170	-535780	-487720	-453900	-420970
290	-732470	-722680	-703100	-694200	-663050	-647030	-625670	-599860	-557140	-519760	-489500	-454790
300	-768960	-745820	-735140	-717340	-690640	-671950	-648810	-631010	-591850	-546460	-516200	-481490
310	-792100	-773410	-767180	-736920	-718230	-701320	-684410	-647920	-630120	-572270	-541120	-501070
320	-809010	-798330	-784090	-772520	-739590	-734250	-712000	-679960	-648810	-602530	-566930	-534890
330	-844610	-827700	-809900	-786760	-774300	-752050	-728020	-707550	-667500	-635460	-597190	-559810
340	-873090	-858850	-849950	-826810	-810790	-789430	-771630	-740480	-703100	-664830	-616770	-593630
350	-905130	-890890	-873980	-855290	-837490	-817020	-792100	-770740	-728020	-694200	-658600	-618550
360	-934500	-924710	-895340	-889110	-868640	-854400	-824140	-812570	-764510	-729800	-685300	-644360
370	-976330	-962980	-940730	-920260	-908690	-882880	-864190	-833040	-796550	-756500	-716450	-686190
380	-996800	-986120	-966540	-955860	-936280	-923820	-892670	-863300	-830370	-797440	-757390	-720010
390	-1035070	-1019050	-1010150	-985230	-973660	-957640	-925600	-903350	-865970	-827700	-786760	-752940
400	-1066220	-1054650	-1041300	-1026170	-1005700	-988790	-960310	-937170	-906910	-858850	-818800	-788540
410	-1094700	-1084910	-1077790	-1060880	-1035070	-1023500	-995910	-973660	-935390	-894450	-848170	-814350
420	-1128520	-1110720	-1093810	-1082240	-1072450	-1058210	-1031510	-999470	-971880	-910470	-880210	-848170
430	-1161450	-1146320	-1133860	-1122290	-1096480	-1079570	-1054650	-1032400	-1003030	-967430	-919370	-885550
440	-1193490	-1173910	-1169460	-1150770	-1136530	-1118730	-1087580	-1064440	-1025280	-990570	-944290	-921150
450	-1226420	-1213960	-1200610	-1191710	-1164120	-1149880	-1124070	-1100040	-1066220	-1034180	-984340	-945180
460	-1253120	-1240660	-1228200	-1206840	-1197050	-1180140	-1151660	-1128520	-1096480	-1053760	-1007480	-979000
470	-1274480	-1269140	-1256680	-1239770	-1227310	-1199720	-1182810	-1164120	-1129410	-1083130	-1040410	-1015490
480	-1304740	-1297620	-1286050	-1279820	-1253120	-1232650	-1217520	-1193490	-1158780	-1121400	-1079570	-1045750
490	-1337670	-1326100	-1315420	-1300290	-1280710	-1263800	-1255790	-1223750	-1184590	-1155220	-1111610	-1079570
500	-1359920	-1346570	-1344790	-1333220	-1309190	-1294060	-1277150	-1251340	-1222860	-1187260	-1151660	-1110720

Lượng mưa	230	220	210	200	190	180	170	160	150	140	130	120
Mực nước trong kênh												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-3560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	-6230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	-12460	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	-22250	-2670	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	-32040	-7120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-41830	-16020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	-54290	-25810	-2670	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	-64080	-37380	-10680	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	-74760	-48060	-18690	-890	0	0	0	0	0	0	0	0
140	-96120	-59630	-33820	-8900	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-105910	-73870	-44500	-19580	-890	0	0	0	0	0	0	0
160	-125490	-89890	-61410	-32930	-8900	0	0	0	0	0	0	0
170	-137060	-108580	-78320	-44500	-21360	-2670	0	0	0	0	0	0
180	-155750	-123710	-98790	-66750	-34710	-13350	0	0	0	0	0	0
190	-172660	-139730	-107690	-82770	-52510	-28480	-5340	0	0	0	0	0
200	-189570	-161980	-129940	-102350	-72090	-42720	-18690	-2670	0	0	0	0
210	-210930	-185120	-152190	-120150	-90780	-61410	-39160	-13350	-1780	0	0	0
220	-236740	-202920	-171770	-139730	-115700	-82770	-59630	-38270	-10680	-890	0	0
230	-253650	-227840	-200250	-164650	-135280	-105910	-80990	-62300	-40050	-16020	-4450	0
240	-285690	-253650	-230510	-186900	-162870	-133500	-103240	-88110	-70310	-39160	-32040	-20470

250	-303490	-280350	-234960	-210040	-181560	-157530	-133500	-113920	-87220	-60520	-53400	-45390
260	-326630	-307050	-274120	-241190	-218050	-182450	-154860	-145070	-116590	-87220	-80990	-77430
270	-365790	-331080	-297260	-263440	-240300	-216270	-176220	-166430	-137950	-108580	-106800	-100570
280	-387150	-348880	-310610	-288360	-268780	-234070	-214490	-195800	-177110	-136170	-131720	-127270
290	-420970	-383590	-348880	-314170	-288360	-259880	-240300	-221610	-203810	-167320	-158420	-153970
300	-441440	-407620	-372910	-345320	-314170	-279460	-254540	-245640	-222500	-190460	-187790	-183340
310	-470810	-439660	-397830	-367570	-347100	-325740	-282130	-274120	-250090	-225170	-214490	-212710
320	-496620	-459240	-425420	-400500	-375580	-339980	-315060	-301710	-282130	-243860	-238520	-234070
330	-526880	-495730	-462800	-423640	-399610	-369350	-335530	-331080	-307940	-274120	-263440	-262550
340	-542900	-515310	-488610	-447670	-422750	-397830	-368460	-355110	-330190	-299930	-295480	-291030
350	-582950	-550020	-514420	-481490	-460130	-433430	-407620	-388040	-367570	-333750	-338200	-326630
360	-613210	-582950	-552690	-522430	-493950	-465470	-440550	-429870	-398720	-367570	-356000	-346210
370	-644360	-614990	-579390	-548240	-529550	-500180	-467250	-448560	-424530	-397830	-391600	-392490
380	-680850	-647030	-617660	-584730	-561590	-532220	-504630	-491280	-464580	-439660	-437880	-424530
390	-720010	-681740	-649700	-629230	-588290	-561590	-525990	-517980	-494840	-468140	-458350	-441440
400	-742260	-718230	-689750	-650590	-623000	-598080	-571380	-554470	-536670	-499290	-496620	-481490
410	-776080	-750270	-712890	-689750	-662160	-624780	-599860	-582950	-563370	-535780	-531330	-526880
420	-821470	-780530	-752050	-720900	-696870	-655930	-631010	-620330	-601640	-566930	-558920	-551800
430	-849060	-818800	-793880	-748490	-732470	-701320	-660380	-648810	-629230	-597190	-592740	-591850
440	-878430	-844610	-815240	-779640	-752940	-731580	-699540	-689750	-660380	-631010	-624780	-620330
450	-916700	-872200	-846390	-824140	-793880	-762730	-732470	-720010	-691530	-673730	-661270	-655930
460	-942510	-906910	-880210	-851730	-826810	-794770	-769850	-750270	-722680	-698650	-683520	-685300
470	-985230	-944290	-912250	-885550	-857070	-832150	-801000	-784980	-764510	-734250	-738700	-713780
480	-1016380	-980780	-943400	-913140	-891780	-863300	-834820	-825920	-790320	-775190	-755610	-757390
490	-1042190	-1008370	-976330	-948740	-925600	-903350	-865970	-853510	-823250	-804560	-787650	-789430
500	-1072450	-1045750	-1011040	-975440	-954080	-927380	-902460	-883770	-853510	-833040	-822360	-820580

Lượngmưa	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Mực nước trong kênh												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	-13350	-890	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

250	-36490	-25810	-21360	-11570	-9790	-6230	-6230	-8900	0	0	0	0
260	-66750	-54290	-47170	-40050	-39160	-32930	-32040	-32930	-32040	-32040	-34710	-35600
270	-92560	-80990	-74760	-70310	-64080	-56960	-56960	-56960	-64080	-57850	-57850	-58740
280	-116590	-106800	-100570	-93450	-89000	-84550	-84550	-87220	-87220	-85440	-84550	-87220
290	-147740	-129940	-124600	-120150	-113030	-108580	-108580	-108580	-107690	-107690	-108580	-109470
300	-169990	-162870	-154860	-149520	-137060	-137950	-136170	-136170	-138840	-139730	-136170	-135280
310	-196690	-193130	-181560	-178890	-171770	-171770	-169100	-169990	-171770	-163760	-165540	-166430
320	-230510	-221610	-210040	-209150	-196690	-199360	-194910	-191350	-191350	-188680	-194910	-190460
330	-253650	-237630	-232290	-226950	-225170	-218050	-218940	-221610	-220720	-219830	-220720	-216270
340	-273230	-274120	-267000	-258990	-256320	-248310	-249200	-249200	-246530	-248310	-244750	-243860
350	-326630	-308830	-296370	-288360	-281240	-285690	-279460	-278570	-282130	-280350	-280350	-275900
360	-344430	-336420	-332860	-323070	-315950	-313280	-314170	-312390	-315060	-312390	-316840	-314170
370	-381810	-369350	-356890	-355110	-351550	-347990	-350660	-348880	-348880	-346210	-345320	-345320
380	-412960	-396940	-390710	-391600	-383590	-376470	-378250	-375580	-377360	-380030	-374690	-372020
390	-450340	-432540	-425420	-416520	-412070	-411180	-412960	-411180	-417410	-420970	-407620	-408510
400	-483270	-464580	-461910	-455680	-458350	-444110	-447670	-443220	-442330	-440550	-444110	-443220
410	-516200	-501960	-493950	-489500	-483270	-478820	-483270	-476150	-477040	-480600	-471700	-475260
420	-544680	-541120	-522430	-527770	-518870	-509970	-511750	-513530	-515310	-509080	-517090	-505520
430	-583840	-570490	-558030	-547350	-546460	-543790	-549130	-541120	-544680	-550020	-541120	-541120
440	-609650	-598970	-597190	-591850	-585620	-584730	-578500	-575830	-573160	-574050	-574940	-581170
450	-655040	-636350	-629230	-621220	-622110	-614100	-613210	-614100	-614990	-612320	-607870	-606090
460	-678180	-665720	-660380	-653260	-645250	-642580	-647920	-641690	-642580	-636350	-640800	-647030
470	-709330	-695090	-691530	-685300	-678180	-680850	-679960	-680850	-675510	-679070	-670170	-671950
480	-743150	-734250	-721790	-720010	-715560	-716450	-712000	-713780	-709330	-706660	-709330	-703990
490	-782310	-763620	-767180	-757390	-753830	-749380	-741370	-742260	-743150	-745820	-736920	-743150
500	-814350	-800110	-790320	-784090	-776080	-773410	-776970	-781420	-770740	-772520	-769850	-773410

Phụ lục 10: Bảng tra quan hệ mưa, mực nước trên kênh và mực nước cuối ngày trên kênh

Lượng mưa	350	340	330	320	310	300	290	280	270	260	250	240
Mực nước Trong kênh												
0	3.915253	3.76667	3.630126	3.512601	3.408818	3.301224	3.192152	3.078443	2.957809	2.828905	2.693758	2.511951
10	3.935169	3.784786	3.646819	3.5257	3.421336	3.315251	3.207543	3.09533	2.975902	2.852878	2.72082	2.554838
20	3.95653	3.804326	3.663433	3.541717	3.435859	3.329618	3.225107	3.116005	2.997225	2.879185	2.753517	2.601684
30	3.979896	3.824812	3.683037	3.557585	3.450179	3.345552	3.243752	3.133913	3.021564	2.904923	2.781041	2.638948
40	4.002339	3.846482	3.703877	3.575607	3.465667	3.363314	3.263241	3.152538	3.045024	2.929807	2.80623	2.679871
50	4.027392	3.869173	3.725231	3.594067	3.48055	3.380364	3.277782	3.170851	3.068918	2.954742	2.838848	2.714217
60	4.052265	3.893787	3.745401	3.612315	3.498013	3.39669	3.296811	3.19134	3.087052	2.975915	2.86776	2.747677
70	4.080038	3.918674	3.768944	3.634891	3.51497	3.413479	3.314048	3.211488	3.109128	3.002179	2.892234	2.780868
80	4.106897	3.944772	3.793197	3.654591	3.533061	3.430413	3.329861	3.233831	3.130784	3.029294	2.920461	2.813077
90	4.134902	3.970972	3.818583	3.678036	3.553273	3.445431	3.346673	3.252909	3.149611	3.051072	2.945645	2.843705
100	4.162379	3.998778	3.84347	3.700521	3.572961	3.464053	3.366181	3.270544	3.171487	3.074214	2.969669	2.872699
110	4.192482	4.024967	3.869375	3.724043	3.593596	3.478961	3.384381	3.289303	3.191236	3.096338	2.996179	2.89556
120	4.222483	4.053186	3.895738	3.749073	3.617183	3.498639	3.401547	3.30525	3.213417	3.114249	3.020349	2.921036
130	4.252874	4.082887	3.920944	3.772951	3.638085	3.517494	3.415554	3.321074	3.232261	3.135074	3.041377	2.943626
140	4.284155	4.111354	3.949697	3.797731	3.659913	3.536685	3.431587	3.337072	3.249777	3.155872	3.06423	2.968358
150	4.315225	4.141213	3.977745	3.823911	3.68159	3.555167	3.446803	3.355172	3.264364	3.175007	3.082661	2.989332
160	4.344973	4.16977	4.004519	3.847236	3.705164	3.575968	3.464632	3.372034	3.28135	3.194228	3.100874	3.013606
170	4.376063	4.198596	4.032646	3.872944	3.725903	3.594914	3.477729	3.383759	3.295373	3.20885	3.11693	3.031907
180	4.40471	4.228202	4.058892	3.89894	3.751094	3.61304	3.496109	3.398903	3.308716	3.22283	3.131117	3.049816
190	4.435189	4.254828	4.084309	3.923082	3.772341	3.63396	3.513006	3.410664	3.319867	3.236268	3.148602	3.064239
200	4.462636	4.282189	4.10993	3.946381	3.793291	3.653579	3.529512	3.423161	3.332659	3.247904	3.165134	3.080209
210	4.487034	4.305987	4.130942	3.967767	3.813395	3.672376	3.544672	3.433057	3.34637	3.259893	3.177338	3.092462

220	4.510516	4.328328	4.153184	3.98561	3.829461	3.688248	3.556871	3.443549	3.352947	3.268822	3.186228	3.097146
230	4.530889	4.345432	4.169675	4.003056	3.842503	3.696973	3.565541	3.453078	3.360839	3.275529	3.192464	3.105911
240	4.543817	4.358322	4.183051	4.012622	3.851962	3.706847	3.574307	3.457302	3.366794	3.280498	3.199672	3.108933
250	4.544618	4.358064	4.181192	4.015037	3.85593	3.708153	3.576118	3.457598	3.365346	3.2807	3.200463	3.110576
260	4.54377	4.358278	4.181933	4.013105	3.852978	3.708346	3.574257	3.458335	3.36751	3.280602	3.198397	3.110307
270	4.541457	4.360808	4.18284	4.010808	3.85492	3.708709	3.576671	3.458692	3.368736	3.279553	3.197986	3.110117
280	4.545217	4.358629	4.18067	4.014511	3.854878	3.708702	3.57509	3.458123	3.366603	3.278997	3.197641	3.109825
290	4.543703	4.360895	4.184008	4.014096	3.856056	3.706189	3.575708	3.45931	3.368029	3.279207	3.193073	3.110204
300	4.543453	4.360095	4.184302	4.01436	3.854735	3.708545	3.574948	3.457424	3.365415	3.279693	3.199809	3.110444
310	4.54393	4.360069	4.183136	4.014818	3.85464	3.70739	3.573805	3.457871	3.367269	3.279965	3.199689	3.108467
320	4.543875	4.359444	4.18307	4.014761	3.856694	3.707858	3.575295	3.457218	3.366762	3.279594	3.197333	3.109227
330	4.546105	4.360052	4.183655	4.01321	3.854624	3.711055	3.576384	3.458346	3.36775	3.280555	3.197356	3.109917
340	4.546103	4.36218	4.18314	4.016386	3.857266	3.707875	3.575287	3.459382	3.369676	3.279623	3.197743	3.109563
350	4.546353	4.364043	4.186026	4.016592	3.855871	3.709639	3.57706	3.460127	3.36758	3.279804	3.198015	3.110692
360	4.546433	4.361972	4.187191	4.015611	3.857006	3.710226	3.576068	3.457481	3.365779	3.279949	3.199767	3.110266
370	4.54579	4.360774	4.18384	4.016561	3.858456	3.711655	3.576447	3.46054	3.368279	3.28119	3.199542	3.108617
380	4.54686	4.360758	4.185956	4.014406	3.860001	3.710561	3.5769	3.459939	3.368574	3.281588	3.200489	3.111048
390	4.539266	4.358021	4.182736	4.015958	3.85679	3.710514	3.578389	3.458792	3.367004	3.281013	3.199848	3.112019
400	4.54799	4.359168	4.183812	4.012176	3.855685	3.708371	3.575743	3.460346	3.369549	3.282521	3.199706	3.112275
410	4.555681	4.369532	4.188768	4.018688	3.856807	3.708393	3.573165	3.456022	3.367637	3.281045	3.19695	3.112031
420	4.55964	4.374009	4.196965	4.022577	3.861179	3.714292	3.580548	3.459285	3.366595	3.278011	3.201801	3.110443
430	4.562	4.375785	4.198187	4.029674	3.866605	3.718585	3.582199	3.463736	3.369597	3.280798	3.197163	3.107014
440	4.565967	4.381899	4.202652	4.031956	3.869899	3.720792	3.585409	3.465963	3.372022	3.283381	3.200435	3.112166
450	4.579722	4.386418	4.206624	4.035881	3.874827	3.722498	3.589162	3.46715	3.374227	3.286022	3.204911	3.112082
460	4.593459	4.40338	4.217603	4.045158	3.878706	3.728418	3.59085	3.468886	3.37351	3.287689	3.206483	3.114568
470	4.604568	4.415001	4.233473	4.055603	3.893287	3.739681	3.597806	3.471744	3.37812	3.287431	3.204684	3.116758
480	4.617897	4.426683	4.241852	4.066067	3.901522	3.747818	3.605296	3.48105	3.381759	3.291686	3.207786	3.116973
490	4.634546	4.441643	4.254625	4.078758	3.910362	3.753387	3.612856	3.488232	3.389254	3.295413	3.213327	3.119604

500	4.65932	4.465827	4.278725	4.09363	3.925106	3.763735	3.620432	3.491709	3.391815	3.299925	3.220961	3.128248
Lượng mưa	**230**	**220**	**210**	**200**	**190**	**180**	**170**	**160**	**150**	**140**	**130**	**120**
Mực nước trong kênh												
0	2.284402	2.058506	1.835	1.614593	1.401602	1.197319	1.004843	0.829952	0.67649	0.538197	0.414652	0.331528
10	2.335592	2.111806	1.890786	1.673507	1.463784	1.261565	1.070457	0.893839	0.734825	0.594681	0.475634	0.398705
20	2.390417	2.168819	1.950279	1.735938	1.529652	1.330801	1.142298	0.967511	0.809502	0.670637	0.554536	0.480601
30	2.448074	2.228702	2.012634	1.8011	1.59801	1.402678	1.217578	1.045756	0.890366	0.754127	0.6412	0.569729
40	2.508138	2.291014	2.077407	1.868603	1.668533	1.476534	1.294921	1.126487	0.974217	0.84094	0.730991	0.661574
50	2.561317	2.355429	2.144267	1.938138	1.740962	1.552111	1.373813	1.2087	1.05963	0.92936	0.822073	0.754468
60	2.61824	2.421704	2.212968	2.009459	1.815074	1.629212	1.454052	1.292115	1.146124	1.018703	0.913894	0.847923
70	2.65577	2.489638	2.283304	2.082363	1.890686	1.707692	1.535512	1.37657	1.233483	1.108763	1.006275	0.941826
80	2.698465	2.550578	2.355107	2.156685	1.96764	1.787401	1.618058	1.461964	1.32163	1.199453	1.099153	1.036136
90	2.728805	2.610573	2.428234	2.232283	2.045798	1.868218	1.701595	1.548211	1.410483	1.290716	1.19249	1.130823
100	2.76316	2.649425	2.50256	2.309033	2.125043	1.950036	1.786024	1.635227	1.499983	1.382504	1.286244	1.225852
110	2.793601	2.691748	2.564506	2.386833	2.205274	2.03276	1.871262	1.722946	1.590071	1.474769	1.380379	1.321193
120	2.825748	2.728082	2.618097	2.465586	2.286401	2.116307	1.957236	1.8113	1.680693	1.567468	1.474855	1.416814
130	2.856631	2.75427	2.662704	2.539526	2.368349	2.200604	2.043878	1.900234	1.771801	1.660561	1.569645	1.512688
140	2.883346	2.786466	2.699026	2.59603	2.451045	2.285585	2.131132	1.989696	1.863349	1.754011	1.664716	1.608795
150	2.904216	2.816093	2.725963	2.638638	2.528645	2.371197	2.218944	2.079641	1.955301	1.847782	1.760039	1.705101
160	2.922545	2.842345	2.749724	2.678178	2.584461	2.457383	2.307268	2.170027	2.047622	1.941852	1.855584	1.801584
170	2.939717	2.86369	2.773664	2.702732	2.623784	2.535278	2.396063	2.260817	2.140278	2.036191	1.951347	1.898246
180	2.963409	2.881671	2.79859	2.72476	2.661326	2.581321	2.485289	2.35198	2.233243	2.130779	2.047301	1.995058
190	2.98375	2.899477	2.822583	2.744475	2.685691	2.611178	2.553206	2.443485	2.326493	2.225584	2.143418	2.092008
200	2.997256	2.911452	2.841573	2.764619	2.700468	2.646485	2.593874	2.523404	2.419999	2.320607	2.239709	2.189092
210	3.008676	2.922324	2.854605	2.777564	2.710088	2.665309	2.604802	2.573427	2.50741	2.415819	2.336131	2.286267
220	3.02014	2.931368	2.864686	2.796856	2.719401	2.677959	2.625474	2.583498	2.5663	2.504652	2.432707	2.383593
230	3.028469	2.943088	2.870001	2.807134	2.728642	2.687137	2.651318	2.579196	2.549478	2.547934	2.510955	2.480972

240	3.032931	2.94733	2.876342	2.808485	2.731311	2.686062	2.648935	2.577487	2.543119	2.557356	2.502969	2.498413
250	3.033081	2.951158	2.877874	2.807637	2.72933	2.684115	2.651621	2.579218	2.54419	2.571409	2.510773	2.488251
260	3.034587	2.947276	2.877475	2.812809	2.731213	2.687049	2.646405	2.570497	2.539965	2.563252	2.511294	2.490367
270	3.034367	2.951985	2.875699	2.812542	2.731929	2.686511	2.649766	2.576827	2.543477	2.562839	2.509965	2.490334
280	3.030546	2.949724	2.877945	2.812518	2.730238	2.687252	2.649942	2.573765	2.540695	2.568576	2.509496	2.488114
290	3.032673	2.946049	2.877769	2.814934	2.733156	2.685843	2.651099	2.579845	2.547501	2.56968	2.511924	2.48907
300	3.03346	2.950367	2.87837	2.808539	2.729987	2.687062	2.648176	2.581332	2.545674	2.568518	2.512255	2.489218
310	3.033228	2.948448	2.878232	2.814841	2.730504	2.689912	2.651575	2.580527	2.542086	2.568772	2.511871	2.487669
320	3.032802	2.948651	2.876956	2.808251	2.729317	2.685367	2.648102	2.577912	2.541086	2.569794	2.511609	2.490027
330	3.031019	2.947375	2.87737	2.808216	2.733861	2.685792	2.651926	2.574351	2.544636	2.554206	2.509899	2.490982
340	3.033606	2.951231	2.87742	2.810658	2.729581	2.688582	2.648358	2.574446	2.545108	2.565414	2.51151	2.488748
350	3.031134	2.951685	2.87702	2.813168	2.730073	2.689097	2.648127	2.58256	2.547295	2.571861	2.512269	2.488355
360	3.034497	2.94803	2.876826	2.810084	2.731016	2.685819	2.645656	2.570437	2.543761	2.565309	2.51171	2.490934
370	3.035437	2.950586	2.877182	2.809102	2.72982	2.689421	2.645553	2.573894	2.542477	2.567029	2.511711	2.48889
380	3.034085	2.950739	2.877847	2.808444	2.731528	2.685482	2.65135	2.579763	2.544352	2.563383	2.509757	2.491064
390	3.033593	2.948449	2.877074	2.808255	2.729969	2.686239	2.649921	2.581474	2.544827	2.559238	2.509492	2.4884
400	3.035153	2.948308	2.877466	2.814013	2.731687	2.692081	2.646145	2.578486	2.538257	2.569515	2.510019	2.491098
410	3.035329	2.952292	2.877256	2.813401	2.732653	2.68748	2.648717	2.577547	2.544842	2.562925	2.512175	2.488703
420	3.035356	2.951936	2.876686	2.814894	2.730491	2.692467	2.647939	2.574794	2.544869	2.568248	2.513826	2.489677
430	3.032015	2.949643	2.87719	2.808397	2.731448	2.686264	2.646112	2.571836	2.54956	2.568844	2.510404	2.489201
440	3.032652	2.951307	2.877606	2.808278	2.730035	2.686484	2.647609	2.574709	2.551514	2.564611	2.510803	2.489191
450	3.038796	2.951354	2.872225	2.8083	2.730915	2.685144	2.65168	2.576663	2.560223	2.551074	2.509429	2.48811
460	3.039213	2.95279	2.877923	2.807051	2.729168	2.684459	2.650815	2.571365	2.552616	2.550617	2.518019	2.492185
470	3.042181	2.958148	2.879141	2.812897	2.727804	2.687013	2.637774	2.570626	2.557934	2.544598	2.506978	2.49054
480	3.043241	2.959945	2.883353	2.813908	2.732911	2.687007	2.640522	2.573657	2.555453	2.54519	2.517074	2.490624
490	3.043263	2.965097	2.882018	2.821943	2.738264	2.690596	2.646358	2.57352	2.551191	2.553097	2.524339	2.493687
500	3.049615	2.963987	2.886658	2.819283	2.740744	2.689112	2.640657	2.577863	2.57069	2.546824	2.540195	2.509946
Lượng mưa	**110**	**100**	**90**	**80**	**70**	**60**	**50**	**40**	**30**	**20**	**10**	**0**

Mực nước trong kênh												
0	0.254567	0.180482	0.119515	0.070417	0.037156	0.015059	0.004056	-1.54E-05	-0.0008	-0.00132	-0.00183	-0.00234
10	0.330366	0.266967	0.213546	0.169387	0.136137	0.115094	0.102654	0.096717	0.091432	0.086173	0.080964	0.07584
20	0.416144	0.357695	0.309059	0.268314	0.236511	0.215324	0.202608	0.196515	0.19106	0.185615	0.180179	0.174756
30	0.507946	0.452214	0.405878	0.366807	0.335875	0.315043	0.302589	0.296446	0.290906	0.285375	0.279847	0.274322
40	0.601731	0.547881	0.503047	0.465131	0.435017	0.414743	0.402579	0.396421	0.390839	0.385263	0.379685	0.374108
50	0.696251	0.643901	0.600311	0.563436	0.534162	0.514428	0.50252	0.496384	0.49079	0.485196	0.4796	0.474002
60	0.791172	0.74017	0.697716	0.661832	0.633362	0.614157	0.602506	0.596385	0.590785	0.585186	0.579581	0.573973
70	0.886423	0.836677	0.795295	0.760342	0.732624	0.713912	0.702497	0.69639	0.690782	0.68518	0.679581	0.673983
80	0.981998	0.933426	0.893048	0.858963	0.831948	0.813679	0.802471	0.796395	0.790804	0.785216	0.77963	0.774044
90	1.077874	1.030408	0.99097	0.957693	0.931293	0.913393	0.902383	0.896362	0.890807	0.885251	0.879694	0.874136
100	1.174026	1.127597	1.089037	1.056511	1.030714	1.013202	1.002381	0.996398	0.99087	0.985337	0.979796	0.974246
110	1.270426	1.224974	1.187243	1.155433	1.130223	1.11309	1.102428	1.096468	1.090947	1.085421	1.079891	1.074359
120	1.367048	1.322515	1.285561	1.254419	1.229733	1.212933	1.202433	1.196505	1.191005	1.185502	1.179997	1.174492
130	1.463869	1.420208	1.383983	1.353456	1.32924	1.312716	1.302362	1.29648	1.291016	1.285551	1.280087	1.274622
140	1.560877	1.518033	1.482488	1.452531	1.428752	1.412508	1.402306	1.396473	1.391052	1.385632	1.380213	1.374792
150	1.658045	1.615989	1.581101	1.5517	1.528351	1.512374	1.502307	1.496514	1.49112	1.485723	1.480321	1.474918
160	1.755339	1.714023	1.67976	1.650891	1.627966	1.612259	1.602325	1.59657	1.591205	1.585838	1.580467	1.575093
170	1.852778	1.812165	1.778484	1.750095	1.727538	1.71207	1.702271	1.696568	1.691247	1.685924	1.680597	1.675268
180	1.950336	1.910402	1.877284	1.849363	1.827171	1.811928	1.802241	1.796569	1.791274	1.785979	1.780685	1.775392
190	2.048022	2.008743	1.976164	1.9487	1.926857	1.911829	1.902253	1.896619	1.891356	1.886092	1.880829	1.875567
200	2.145776	2.107095	2.075005	2.047951	2.026436	2.01163	2.002184	1.996606	1.991388	1.986167	1.980943	1.975714
210	2.243603	2.205524	2.173949	2.147336	2.12616	2.111562	2.102217	2.096671	2.091478	2.086283	2.081084	2.075883
220	2.341572	2.304061	2.272942	2.246703	2.225821	2.211415	2.202179	2.196676	2.191523	2.186369	2.181212	2.176055
230	2.439555	2.402595	2.371944	2.346104	2.325529	2.311318	2.302187	2.296723	2.291601	2.286475	2.281346	2.276213
240	2.489343	2.501235	2.471023	2.445539	2.425236	2.411197	2.402159	2.396732	2.391644	2.386554	2.381461	2.376367
250	2.484021	2.484309	2.481906	2.483566	2.482286	2.481622	2.474388	2.469571	2.491715	2.486653	2.481587	2.476519

260	2.484392	2.482638	2.481104	2.488636	2.471281	2.484422	2.476711	2.472841	2.47264	2.468456	2.455971	2.451783
270	2.490472	2.490444	2.482946	2.476634	2.478851	2.490551	2.47686	2.470788	2.466554	2.469253	2.463412	2.456618
280	2.484781	2.487631	2.483027	2.480048	2.478059	2.487713	2.481839	2.476928	2.473382	2.466703	2.465362	2.45792
290	2.48507	2.483913	2.484396	2.487896	2.484985	2.489387	2.477073	2.472165	2.469075	2.46849	2.459218	2.457961
300	2.496381	2.482412	2.488715	2.484451	2.483962	2.487264	2.478217	2.475739	2.468994	2.465595	2.460986	2.464824
310	2.489231	2.490103	2.480921	2.479682	2.480786	2.487932	2.479619	2.472224	2.469677	2.468888	2.46301	2.456577
320	2.485435	2.490026	2.48352	2.483026	2.482513	2.48908	2.479811	2.474764	2.470481	2.468272	2.460606	2.459246
330	2.482801	2.48431	2.486167	2.488693	2.477915	2.485247	2.477379	2.47386	2.471464	2.474881	2.464171	2.460382
340	2.487893	2.485565	2.483685	2.482513	2.483541	2.486002	2.476853	2.473584	2.472436	2.469908	2.463079	2.463933
350	2.485437	2.483774	2.485384	2.484694	2.479887	2.484661	2.474726	2.473339	2.471085	2.4685	2.463215	2.462034
360	2.486741	2.485033	2.485577	2.488539	2.484616	2.484858	2.480782	2.473653	2.469242	2.469644	2.465912	2.460533
370	2.487693	2.48035	2.483648	2.484193	2.481192	2.485614	2.478173	2.472073	2.466368	2.466975	2.465794	2.464711
380	2.485593	2.490086	2.487788	2.474902	2.485703	2.480761	2.475249	2.475965	2.469538	2.470279	2.463968	2.462982
390	2.488373	2.487117	2.491062	2.479055	2.493691	2.482742	2.475223	2.474602	2.469156	2.466769	2.464618	2.460248
400	2.48643	2.483031	2.489757	2.484818	2.483616	2.481075	2.47298	2.474801	2.472434	2.467173	2.467646	2.459719
410	2.487882	2.48854	2.483845	2.477078	2.484064	2.479004	2.475925	2.474945	2.4753	2.466244	2.465882	2.46348
420	2.483165	2.485561	2.485617	2.479014	2.487124	2.481584	2.47389	2.471438	2.469369	2.46658	2.465165	2.46505
430	2.489346	2.481226	2.478909	2.482309	2.480496	2.478491	2.472074	2.472545	2.46899	2.47106	2.469976	2.462639
440	2.483391	2.487549	2.481195	2.486194	2.487501	2.483625	2.473817	2.470206	2.470789	2.467137	2.465716	2.464937
450	2.484564	2.483465	2.484919	2.472386	2.485661	2.480882	2.47294	2.473477	2.469212	2.467275	2.470273	2.466383
460	2.486461	2.492025	2.483657	2.48193	2.485008	2.477748	2.474441	2.475023	2.468607	2.471067	2.471427	2.465994
470	2.486074	2.485373	2.484054	2.485065	2.486901	2.48053	2.475037	2.471111	2.469285	2.468475	2.470112	2.468069
480	2.486718	2.480333	2.480826	2.487072	2.485244	2.480178	2.475468	2.470122	2.468209	2.471592	2.469093	2.466099
490	2.487173	2.48262	2.488213	2.480154	2.480579	2.473724	2.46872	2.471009	2.473911	2.466264	2.469253	2.468341
500	2.484834	2.487433	2.486485	2.481435	2.481634	2.477	2.471519	2.475973	2.479989	2.472442	2.47385	2.473732

Phụ lục 11: Kết quả tính toán lượng nước xả, dung tích hệ thống, bốc hơi mặt thoáng trên kênh, dòng chảy vào do mưa và dòng chảy đến cho năm đầu tiên của chuỗi số liệu 50 năm

Lượng nước xả m^3/s	Dung tích hệ thống $(10^6m^3)/S$	Bốc hơi mặt thoáng trên kênh (10^6 m^3/ngày)	Dòng chảy vào do mưa (m^3/s)	Dòng chảy đến (m^3/s)
4.26572678	0.399770224	0.000434532	9.488234369	0.133054732
4.302684111	0.402605556	0.000543165	9.900722413	0.133054732
4.308526337	0.404122525	0.000529586	9.959937663	0.133054732
4.273312859	0.404913465	0.000516007	9.547113168	0.133054732
4.248105426	0.405249846	0.000651798	9.252719172	0.133054732
4.314169626	0.405358019	0.000190108	10.01881646	0.133054732
4.405761495	0.405592799	0.000244424	11.0796442	0.133054732
4.690482632	0.405891227	0.000298741	14.379885	0.133054732
4.736561662	0.406609322	0.000380216	14.91013064	0.133054732
4.513187007	0.40706161	0.000325899	12.31710833	0.133054732
4.40639554	0.406851426	0.000461691	11.0796442	0.133054732
4.940128552	0.406515808	0.000420953	17.26763776	0.133054732
5.510674064	0.407089822	0.000380216	23.86811937	0.133054732
4.838878668	0.407399935	0.000448111	16.08905243	0.133054732
4.925399291	0.40739406	0.000407374	17.09066491	0.133054732
2.815215608	0.407406881	0.000488849	15.55847034	0.056500842
2.597054585	0.400944933	0.000420953	13.08320562	0.056500842
2.463362041	0.398781139	0.000448111	11.55101104	0.056500842
2.371270423	0.397928275	0.00047527	10.49018331	0.056500842
2.325225713	0.397511514	0.000285162	9.959937663	0.056500842
2.350487606	0.397326239	0.000407374	10.25433166	0.056500842
2.26410614	0.397314713	0.000339478	9.252719172	0.056500842
2.304627227	0.397145334	0.000339478	9.724086016	0.056500842
2.355487596	0.397180963	0.000407374	10.31354691	0.056500842
3.268277837	0.397285644	0.000380216	11.72798389	0.087110345
4.799009809	0.400205766	0.000448111	15.20486109	0.13463593
4.904482436	0.404659268	0.000434532	12.78847517	0.160637184
4.227305807	0.406701086	0.000271583	11.72798389	0.123968188
4.062106871	0.405948512	0.000176529	10.78491375	0.120742852
3.810436095	0.405312922	0.000298741	9.42935557	0.115542897
3.168936714	0.404445046	0.000298741	8.72213708	0.093095974
3.011299674	0.402148626	0.000190108	8.191891437	0.088829076
2.879458658	0.401078032	0.000285162	7.838282192	0.084935738

3.434928658	0.400381297	0.000230845	7.720188143	0.10685164
2.577327218	0.402071401	0.000217266	7.95603979	0.072819614
2.871790519	0.399630422	0.000176529	10.13657406	0.077008988
3.231863654	0.399712867	0.000135791	10.43130451	0.089961241
3.388759903	0.40090928	0.00016295	9.193503923	0.100132215
3.135518446	0.401895127	0.000325899	9.075746325	0.090693998
3.433316221	0.401309592	0.000325899	9.900722413	0.099484469
3.984674168	0.402053234	0.000434532	9.370476771	0.122574694
3.181722082	0.40412433	0.000597482	9.311597972	0.091631273
3.277923334	0.402006914	0.000611061	9.252719172	0.095611418
3.348565252	0.401766479	0.000488849	9.42935557	0.097763607
3.215204956	0.401930252	0.000543165	8.250770236	0.096530363
3.369507274	0.401658858	0.000516007	7.425794148	0.105264663
2.573240602	0.402200272	0.000556744	6.954090854	0.076004704
2.437257531	0.399835034	0.000298741	6.482724011	0.072383822
2.38175274	0.398873528	0.000217266	6.246872364	0.071050696
2.341420505	0.398484612	0.000325899	6.187993565	0.069696845
2.32725759	0.398248985	0.000217266	5.893263119	0.070139614
2.279135187	0.39818813	0.00031232	6.011357167	0.067884052
2.593725167	0.397988836	0.000353057	5.834384319	0.080657923
2.124347878	0.399007834	0.000393795	5.716626721	0.062852008
2.100503591	0.397700545	0.000353057	5.4515039	0.062852008
2.120512684	0.397330931	0.000135791	5.687019096	0.062852008
2.765039336	0.397300737	0.000271583	9.782964815	0.074130099
3.255886012	0.398961734	0.000244424	8.133012638	0.098589555
3.158133764	0.401209288	0.000230845	6.600481609	0.099855782
2.317349122	0.401619011	0.000434532	6.129114765	0.068870263
2.361518922	0.398942621	0.000285162	7.012969653	0.067708118
2.737132709	0.398338695	0.000448111	7.484672947	0.080690288
2.806559383	0.399373997	0.000407374	7.072184903	0.084724679
2.537602991	0.399915058	0.000393795	6.187993565	0.07724918
2.546417106	0.399253462	0.000407374	5.657747922	0.079379352
2.096491262	0.399178575	0.000217266	5.39228865	0.062852008
2.07761173	0.397705092	0.000298741	5.186044628	0.062852008
2.056988728	0.397291657	0.000244424	4.950529432	0.062852008
2.046686721	0.397152712	9.50539E-05	4.832435383	0.062852008
2.036508102	0.397112448	0.00014937	4.714677785	0.062852008
2.0313988	0.397076547	9.50539E-05	4.655798986	0.062852008
2.039023905	0.397062819	0.00014937	4.74428541	0.062852008
2.397288943	0.397069213	0.00016295	8.899109927	0.062852008
3.401413864	0.397787408	0.000298741	9.959937663	0.0981575
4.053683475	0.40115456	0.000122212	6.777454457	0.133915684

2.226130976	0.404137677	0.000217266	5.77550552	0.066447358
2.174889153	0.399325898	9.50539E-05	5.363017476	0.065939446
2.303037133	0.396951887	0.000135791	5.127165829	0.07174372
2.294728647	0.396499093	0.000217266	4.891650633	0.072218702
2.243808405	0.396317806	0.000135791	4.714677785	0.07084296
2.209180477	0.396107088	0.000217266	4.567312562	0.069999128
2.165636824	0.395919826	0.000135791	4.419947339	0.068810248
2.134776944	0.395728075	0.000271583	4.36106854	0.067816262
2.12818616	0.395544957	0.000244424	4.302189741	0.067762141
2.177034837	0.395462682	0.00016295	4.243310942	0.069851844
2.082008388	0.395609704	0.000122212	4.213703317	0.06626891
2.074903419	0.395355425	9.50539E-05	4.184432142	0.06609776
2.082631631	0.395240891	0.000203687	4.184432142	0.066399228
2.118123686	0.395212182	0.000244424	4.007459295	0.068364326
2.045402968	0.395336308	0.000244424	3.889701696	0.065939446
2.04021626	0.395153998	0.000271583	3.830822897	0.065939446
2.017269972	0.395071268	0.000217266	3.565363626	0.065939446
2.151908904	0.394999144	0.000353057	5.127165829	0.065939446
2.334548984	0.3952278	0.000271583	5.304138677	0.072413468
2.525223402	0.395913483	0.000135791	4.302189741	0.083122786
2.048917489	0.3969419	0.000244424	3.918972871	0.065939446
2.032966167	0.395774098	0.000244424	3.742336473	0.065939446
2.02505774	0.395296234	0.000407374	3.65385005	0.065939446
2.01983203	0.395081571	0.000244424	3.59497125	0.065939446
2.042640452	0.395005488	0.000190108	3.860094072	0.065939446
2.040140997	0.395027595	0.000298741	3.830822897	0.065939446
2.024873798	0.395020129	0.000271583	3.65385005	0.065939446
2.012672874	0.394989407	0.000298741	3.512540932	0.065939446
2.004488577	0.394950501	0.000217266	3.417998403	0.065939446
2.116291525	0.394927418	0.000298741	4.714677785	0.065939446
2.350196686	0.395134485	0.000353057	7.425794148	0.065939446
3.094839505	0.395676845	0.000285162	11.49213224	0.081178749
4.082836785	0.397910738	0.000217266	7.779403393	0.131776095
2.676282529	0.402850796	1.35791E-05	6.011357167	0.083112584
2.456355048	0.400227706	8.14748E-05	5.292362917	0.077068795
2.357955782	0.398755978	0.000108633	5.162493109	0.073732397
2.322849984	0.397983341	0.000217266	4.838491488	0.073475082
2.252621448	0.397653134	0.000190108	4.549817147	0.07172902
2.205283658	0.397352096	0.000135791	4.384620059	0.070456231
2.194907411	0.397125112	0.00016295	4.384620059	0.070060513
2.23488954	0.397017375	0.00014937	4.903426392	0.069879447
2.26473216	0.39705913	0.000217266	4.514489868	0.072331446

2.196559592	0.397209986	0.000230845	4.255086701	0.070554299
2.157769483	0.397057319	0.000190108	4.125216893	0.069490465
2.132938288	0.39689942	0.000217266	3.995683535	0.068965722
2.099275861	0.396779709	0.000339478	3.866150177	0.068097743
2.069604094	0.39663272	0.000285162	3.736280368	0.067386774
2.051889744	0.396508442	0.000353057	3.671681914	0.066919727
2.040752935	0.396411343	0.000325899	3.60674701	0.06670806
2.027535345	0.396354265	0.000244424	3.541812106	0.066414992
2.015392006	0.396308087	0.00031232	3.477213652	0.066161515
2.641568702	0.396253808	0.000353057	3.477213652	0.09012402
2.431508646	0.391130958	0.000271583	3.417998403	0.082194834
2.428995226	0.385427469	0.000380216	3.388727228	0.082194834
2.426419304	0.37970837	0.00014937	3.359119604	0.082194834
2.426420556	0.374007096	0.00016295	3.359119604	0.082194834
2.426415194	0.368304569	0.000108633	3.359119604	0.082194834
1.752895238	0.362607404	0.00016295	3.329848429	0.05656022
1.750340954	0.363451966	0.00014937	3.300240804	0.05656022
1.740192318	0.364292713	0.000203687	3.182483206	0.05656022
1.740198915	0.36510784	0.000271583	3.182483206	0.05656022
1.735129884	0.36591637	0.000353057	3.123604407	0.05656022
1.740197634	0.366706802	0.000258004	3.182483206	0.05656022
0.420661023	0.367516612	0.000176529	3.995683535	0.002883272
0.465172146	0.366817047	0.000298741	4.319685155	0.003524356
0.436715231	0.366217005	0.000298741	3.866150177	0.003936616
2.431509242	0.365574226	0.000285162	3.417998403	0.082194834
2.431507789	0.359870142	0.000271583	3.417998403	0.082194834
2.421335498	0.35416751	8.14748E-05	3.300240804	0.082194834
2.411186735	0.348462913	0.000135791	3.182483206	0.082194834
2.406103265	0.342732821	6.78957E-05	3.123604407	0.082194834
2.395920311	0.336999073	6.78957E-05	3.005510358	0.082194834
0.286145571	0.331244952	0.000176529	2.976239184	0.001078991
0.278513069	0.330213899	0.00014937	2.88775276	0.001078991
0.273447563	0.329170122	0.000271583	2.828873961	0.001078991
0.268368039	0.328104722	0.000244424	2.769995162	0.001078991
0.265820118	0.327031717	0.000298741	2.740387537	0.001078991
0.260734248	0.325948536	0.000203687	2.681508738	0.001078991
2.362911875	0.324864097	0.000135791	2.622629939	0.082194834
2.362909282	0.319037544	0.000108633	2.622629939	0.082194834
2.362906718	0.313213584	8.14748E-05	2.622629939	0.082194834
2.362919146	0.307392188	0.000217266	2.622629939	0.082194834
2.360368527	0.301558364	0.000244424	2.593022314	0.082194834
2.360367163	0.29571706	0.000230845	2.593022314	0.082194834

0.24802179	0.289877121	0.00014937	2.534143515	0.001078991
0.248026671	0.288772784	0.000203687	2.534143515	0.001078991
0.263293858	0.287663566	0.000285162	2.711116363	0.001078991
0.281077674	0.286577614	0.000285162	2.917360385	0.001078991
0.263281603	0.28552733	0.00014937	2.711116363	0.001078991
0.250566168	0.284453634	5.43165E-05	2.56375114	0.001078991
0.240402719	0.283363017	0.000271583	2.445657091	0.001078991
2.792871302	0.282232525	0.000380216	2.386778292	0.099854946
2.787791968	0.283819076	0.000353057	2.327899493	0.099854946
2.785236597	0.285397833	0.000325899	2.298291868	0.099854946
2.785236645	0.286973862	0.000325899	2.298291868	0.099854946
2.795433071	0.288549844	0.00047527	2.416385917	0.099854946
2.800490484	0.290132725	0.000258004	2.475264716	0.099854946
2.810635837	0.291745321	0.00016295	2.593022314	0.099854946
2.800479494	0.293386821	0.000135791	2.475264716	0.099854946
2.787768929	0.295010407	9.50539E-05	2.327899493	0.099854946
2.780141474	0.296612204	0.000122212	2.239413069	0.099854946
2.775067009	0.298196229	0.00014937	2.18053427	0.099854946
2.769997503	0.29976759	0.000230845	2.121655471	0.099854946
2.764918102	0.301321329	0.000203687	2.062776672	0.099854946
2.764924339	0.302867341	0.000271583	2.062776672	0.099854946
2.759852398	0.304407115	0.000325899	2.003897872	0.099854946
2.754746478	0.305931702	0.000325899	1.944682623	0.099854946
2.749658344	0.307446012	0.000203687	1.885803824	0.099854946
2.749659622	0.308961327	0.000217266	1.885803824	0.099854946
2.747126923	0.310475365	0.000122212	1.856532649	0.099854946
2.74457521	0.311993072	0.000135791	1.826925025	0.099854946
2.739494511	0.313504393	9.50539E-05	1.768046226	0.099854946
2.739502063	0.315009285	0.000176529	1.768046226	0.099854946
2.739503345	0.316506625	0.000190108	1.768046226	0.099854946
2.739495809	0.318002683	0.000108633	1.768046226	0.099854946
2.742019794	0.319506278	0.000108633	1.7973174	0.099854946
2.7420236	0.321014916	0.00014937	1.7973174	0.099854946
2.742021089	0.322519748	0.000122212	1.7973174	0.099854946
2.742040116	0.324027092	0.000325899	1.7973174	0.099854946
2.747144855	0.325515408	0.00031232	1.856532649	0.099854946
2.754742008	0.327015184	0.000271583	1.944682623	0.099854946
2.75473568	0.328533963	0.000203687	1.944682623	0.099854946
3.95684912	0.330059071	0.000135791	1.885803824	0.20814417
3.956855739	0.337743401	0.000203687	1.885803824	0.208142904
3.95729743	0.345421112	0.00016295	1.885803824	0.202987435
3.958990601	0.352657132	0.000190108	1.885803824	0.183421875

4.006055146	0.358199981	0.000190108	2.416385917	0.168215346
4.009939521	0.362520578	0.000217266	2.445657091	0.152501176
3.807815516	0.36548583	0.000271583	2.121655471	0.139904323
3.38877066	0.367301402	0.000217266	2.003897872	0.124076652
3.080625291	0.367734348	0.000190108	1.826925025	0.112739368
2.766765563	0.367159802	0.000203687	1.738438601	0.100885383
2.540472345	0.365544473	0.000108633	1.679559802	0.09232262
2.283669846	0.363188393	0.000217266	1.591073378	0.082676924
2.198115412	0.359973145	0.000135791	1.768046226	0.078774781
2.136198568	0.356459255	0.000285162	2.534143515	0.073820396
2.012086691	0.352635363	0.000203687	2.298291868	0.069803645
1.797264705	0.348431574	0.00014937	1.944682623	0.062668519
1.587236723	0.343555467	0.000380216	1.826925025	0.054930691
1.511926528	0.337968585	0.000488849	1.738438601	0.052310447
1.365473473	0.332129938	0.000366637	1.768046226	0.046542985
1.292228087	0.325809843	0.000353057	1.650288627	0.044100817
1.15175938	0.319259869	0.000258004	1.591073378	0.038861373
1.139793763	0.31225601	0.000244424	1.650288627	0.038200599
1.053050921	0.305206705	0.000244424	1.591073378	0.0350405
1.043327708	0.297874294	0.000271583	1.591073378	0.034664033
0.989450325	0.290507051	0.000176529	1.768046226	0.031988119
0.990271634	0.282947957	0.000190108	1.768046226	0.032019869
0.931377747	0.275390512	0.000271583	1.650288627	0.030132904
1.183496983	0.267642573	0.000353057	2.18053427	0.038122137
1.641606187	0.26066954	0.000325899	3.359119604	0.051921441
2.153308978	0.25509503	0.000366637	5.492550834	0.064608004
2.495494977	0.250981917	0.000380216	4.255086701	0.081857521
2.498748619	0.244873385	0.000516007	4.125216893	0.082416502
2.565339579	0.238779231	0.000407374	4.608695946	0.083380807
2.325211683	0.232861506	0.000448111	3.671681914	0.077213062
2.118996479	0.226245711	0.00014937	2.828873961	0.072044726
1.986330914	0.219063231	0.000271583	2.445657091	0.068188043
1.880840518	0.211471154	0.000285162	2.18053427	0.064989474
1.874141516	0.203555952	0.000461691	2.003897872	0.065319179
1.800195403	0.195624332	0.000393795	1.885803824	0.062851179
1.791216188	0.187464941	0.000217266	1.709167426	0.063093742
1.744651385	0.179310601	0.000135791	1.650288627	0.061488037
1.772307686	0.171014074	0.000298741	1.650288627	0.062558095
1.726800722	0.162797148	0.000420953	1.650288627	0.06079619
1.850300859	0.154418611	0.000393795	1.738438601	0.06528266
2.022028239	0.146445399	0.000353057	2.946631559	0.067897539
1.869233337	0.138910337	0.000611061	2.50453589	0.063457829

0.65511714	0.130895837	0.001004856	2.121655471	0.017737109
0.985085543	0.118835606	0.000339478	1.974290248	0.031003785
1.17836041	0.107946837	0.00014937	4.190151797	0.031089783
1.222452858	0.097462711	8.14748E-05	3.005510358	0.036750853
0.742171783	0.087268066	0.000176529	2.298291868	0.020519807
1.709033413	0.075542103	0.000135791	5.386568996	0.047638415
1.453293084	0.066695979	0.00016295	4.938753672	0.03923354
2.70609201	0.05704458	0.000244424	5.598869123	0.085524948
3.659931539	0.051501526	0.000380216	10.43130451	0.106317376
2.970766812	0.04858108	0.000298741	9.841843614	0.081608021
3.604972922	0.043429457	0.000258004	10.07769526	0.105370569
3.262158886	0.040374564	0.000339478	8.486621883	0.097410956
2.606414605	0.036351801	0.000407374	6.364966412	0.079109053
1.51369105	0.030376952	0.000529586	4.968024846	0.041472928
1.748111483	0.020901539	0.000488849	4.089889613	0.053478336
1.277155282	0.01231499	0.000271583	3.512540932	0.037210073
1.183527302	0.003128337	0.000407374	3.241362005	0.034733606
1.136111664	-5.02334E-05	0.000325899	3.123604407	0.03341943
1.099555733	-5.0855E-05	0.000353057	3.152875581	0.031911523
1.756914449	-5.14666E-05	0.000285162	3.866150177	0.05497682
2.05582424	0.002068632	0.000285162	5.757673655	0.06004404
2.44528721	4.89187E-05	0.000135791	10.49018331	0.059369568
5.448215732	-2.72484E-05	0.000434532	19.21232038	0.212239721
5.413036009	0.0133015	0.000488849	18.74095354	0.214433687
6.25061278	0.021083877	0.000434532	28.46503956	0.224863781
6.17436606	0.031450514	0.000339478	27.58084822	0.224863937
5.813580173	0.041669741	0.000285162	23.39675253	0.224864068
5.971106625	0.051168986	0.000217266	25.22367755	0.224864116
6.29125253	0.060988101	0.000325899	28.9364064	0.224864202
5.526955154	0.071441084	0.000298741	29.34889444	0.115688973
4.584535826	0.078888583	0.000339478	23.63260417	0.09828827
3.914260703	0.083841707	0.000230845	19.68402368	0.085549362
4.102622806	0.087720106	0.00016295	24.51645906	0.076745603
4.322371717	0.092565388	8.14748E-05	23.10202208	0.089971715
4.7036755	0.098275223	0.000271583	19.80178128	0.115729192
4.230885049	0.10517429	0.000325899	17.50348941	0.10506711
3.782636733	0.10993021	0.000407374	16.56041927	0.090888872
3.751191864	0.113953272	0.000271583	15.67622793	0.092650278
3.533811461	0.118682703	0.000420953	13.79042411	0.090529446
3.195721385	0.122887126	0.000407374	16.38344642	0.068797357
4.13808422	0.125923006	0.000190108	23.21977968	0.082485559
5.279046797	0.132053444	0.000298741	26.46114168	0.115786012

5.113116406	0.140422711	0.000366637	24.51645906	0.11579896
5.707982215	0.147037403	0.000122212	31.41167112	0.115811719
6.318329596	0.154863322	6.78957E-05	38.48385602	0.115832499
5.73412781	0.16391725	0.000190108	31.70640156	0.115839832
5.729063976	0.171790972	0.000353057	31.64752276	0.115839832
6.100039846	0.1796414	0.00047527	35.9497125	0.115839832
7.28545389	0.188225151	0.000611061	40.54629624	0.231343213
7.0262993	0.207571255	0.00062464	37.54078588	0.231343213
6.391098536	0.226395854	0.000597482	30.17420698	0.231343213
6.040405267	0.243948801	0.000176529	26.10753244	0.231343213
6.021382455	0.260834337	0.000258004	25.81313844	0.231343213
5.579272975	0.271307043	0.000488849	20.68563616	0.231343213
5.436991723	0.280873032	0.000366637	19.03568399	0.231343213
5.422471445	0.290164406	0.000285162	18.85871114	0.222701593
5.635937332	0.298685603	0.00031232	21.33397586	0.222376997
5.564033767	0.307603784	0.000380216	20.50899977	0.231343213
5.264859787	0.317147597	0.000108633	17.03178611	0.22345811
5.103047869	0.32543413	0.00016295	15.14598229	0.214308678
5.251935103	0.332599131	0.000258004	16.85514972	0.196930596
5.494999061	0.338548963	0.00031232	19.68402368	0.206967592
5.494188766	0.345849547	0.000380216	19.68402368	0.216423177
5.184052476	0.353960427	0.000434532	16.08905243	0.218245721
5.149266394	0.36160208	0.000488849	15.67622793	0.208927684
5.221210874	0.368361779	0.000244424	16.50154047	0.199627172
5.068572473	0.374484002	9.50539E-05	14.73349425	0.2015977
5.099299639	0.380485432	0.000203687	15.08710349	0.198985419
5.323007919	0.386311535	0.000190108	17.68012581	0.197591645
5.372650519	0.392466485	0.000108633	18.2695867	0.211214066
5.487182862	0.399908257	0.000176529	19.56592963	0.220306237
5.896924736	0.404821714	9.50539E-05	24.28060741	0.231343213
6.010698865	0.407341459	0.000108633	25.5772868	0.231343213
6.235473144	0.408120173	0.000135791	28.17030911	0.231343213
6.067518939	0.408161736	0.000203687	26.22562649	0.231343213
5.695839116	0.408136926	0.000258004	21.92343675	0.231343213
5.665237916	0.408082744	0.00031232	21.5698275	0.231343213
5.624484228	0.408077924	0.000366637	21.09812421	0.231343213
5.38012755	0.408071627	0.000353057	18.2695867	0.231343213
5.196885895	0.408036368	0.000393795	16.14793123	0.218893884
5.095018208	0.407931731	0.000393795	14.96934589	0.210576145
5.089895035	0.407865007	0.000434532	14.91013064	0.201183562
5.074459799	0.407805259	0.000366637	14.73349425	0.219711949
5.151007487	0.407919363	0.000434532	15.61734913	0.207061581

5.227327269	0.407850841	0.000203687	16.50154047	0.20595365
5.237462749	0.407856668	0.000230845	16.61929807	0.212886244
5.232433527	0.407901272	0.000325899	16.56041927	0.210987814
6.18442157	0.40788797	0.000271583	27.58084822	0.215075534
7.345286401	0.408051687	0.000393795	41.01799953	0.231343213
6.922977596	0.408320445	0.000380216	36.1263489	0.231343213
6.347630454	0.408259394	0.000298741	29.46698849	0.231343213
5.85370372	0.408176746	0.000434532	23.75036177	0.231343213
5.563445715	0.408104282	0.000488849	20.39124217	0.231343213
5.61429591	0.40806189	0.000434532	20.98036661	0.231343213
6.072515049	0.408069655	0.000448111	26.28450529	0.231343213
6.271125443	0.408135862	0.000516007	28.58279716	0.231343213
6.301699892	0.408164093	0.000353057	28.9364064	0.231343213
6.322080547	0.408169713	0.000407374	29.17225805	0.231343213
6.474819187	0.408172262	0.000271583	30.94030427	0.231343213
6.14390718	0.408195364	0.000285162	27.10948138	0.231343213
5.756944402	0.408147375	0.000258004	22.63065524	0.231343213
5.563431018	0.408091585	0.000217266	20.39124217	0.231343213
5.431016503	0.40806389	0.000217266	18.85871114	0.230590809
5.33432047	0.408040029	0.000325899	17.73900461	0.221683504
5.313930739	0.407969557	0.000380216	17.50348941	0.217538152
5.257899884	0.407940303	0.000407374	16.85514972	0.21647526
5.247709064	0.407925354	0.000570324	16.73705567	0.212510911
5.150989549	0.407897899	0.000556744	15.61734913	0.206641408
5.008407967	0.407847315	0.000556744	13.96739696	0.205962275
4.911753089	0.407822444	0.000461691	12.84769042	0.190069317
4.840373752	0.407709807	0.000488849	12.02237788	0.185303754
2.791036515	0.407669504	0.000448111	11.66876864	0.068538997
4.748992201	0.401345391	0.00031232	11.0207654	0.179968863
2.558983925	0.406147319	0.000285162	10.31354691	0.064090697
4.646315559	0.39948472	0.000203687	9.841843614	0.168536273
2.159970846	0.405104449	0.00016295	9.42935557	0.051596918
4.57486559	0.397222028	0.000244424	9.016867526	0.165164873
2.038343424	0.403013791	0.000448111	8.72213708	0.049248242
1.913760949	0.394777441	0.000366637	8.486621883	0.04537159
4.508919287	0.390292245	0.000271583	8.250770236	0.159723838
1.8821534	0.395839506	0.000244424	8.486621883	0.043989146
4.498770583	0.387128892	0.000325899	8.133012638	0.159104069

Phụ lục 12: Code thuật toán NSG II

```
function result = nsga2(opt, varargin)
% Function: result = nsga2(opt, varargin)
% Description: The main flowchart of of NSGA-II. Note:
%   All objectives must be minimization. If a objective is maximization,
the
%   objective should be multipled by -1.
%
% Syntax:
%   result = nsga2(opt): 'opt' is generated by function nsgaopt().
%   result = nsga2(opt, param): 'param' can be any data type, it will be
%       pass to the objective function objfun().
%
%   Then ,the result structure can be pass to plotnsga to display the
%   population:  plotnsga(result);
%
% Parameters:
%   opt : A structure generated by funciton nsgaopt().
%   varargin : Additional parameter will be pass to the objective
functions.
%       It can be any data type. For example, if you call: nsga2(opt,
param),
%       then objfun would be called as objfun(x,param), in which, x is
the
%       design variables vector.
% Return:
%   result : A structure contains optimization result.
%
%         LSSSSWC, NWPU
%   Revision: 1.2  Data: 2011-07-26
%*********************************************************************
*

tStart = tic();
%*********************************************************************
*
% Verify the optimization model
%*********************************************************************
*
opt = verifyOpt(opt);

%*********************************************************************
*
% variables initialization
%*********************************************************************
*
nVar    = opt.numVar;
nObj    = opt.numObj;
nCons   = opt.numCons;
popsize = opt.popsize;

% pop : current population
% newpop : new population created by genetic algorithm operators
% combinepop = pop + newpop;
pop = repmat( struct(...
```

```
    'var', zeros(1,nVar), ...
    'obj', zeros(1,nObj), ...
    'cons', zeros(1,nCons),...
    'rank', 0,...
    'distance', 0,...
    'prefDistance', 0,...       % preference distance used in R-NSGA-II
    'nViol', 0,...
    'violSum', 0),...
    [1,popsize]);

% state: optimization state of one generation
state = struct(...
'currentGen', 1,...         % current generation number
'evaluateCount', 0,...      % number of objective function evaluation
'totalTime', 0,...          % total time from the beginning
'firstFrontCount', 0,...    % individual number of first front
'frontCount', 0,...         % number of front
'avgEvalTime', 0 ...        % average evaluation time of objective
function (current generation)
);

result.pops     = repmat(pop, [opt.maxGen, 1]);     % each row is the
population of one generation
result.states   = repmat(state, [opt.maxGen, 1]);   % each row is the
optimizaiton state of one generation
result.opt      = opt;                              % use for output

% global variables
global STOP_NSGA;   %STOP_NSGA : used in GUI , if STOP_NSGA~=0, then stop
the optimizaiton
STOP_NSGA = 0;


%**********************************************************************
*
% initialize the P0 population
%**********************************************************************
*
ngen = 1;
pop = opt.initfun{1}(opt, pop, opt.initfun{2:end});
[pop, state] = evaluate(opt, pop, state, varargin{:});
[opt, pop] = ndsort(opt, pop);

% state
state.currentGen = ngen;
state.totalTime = toc(tStart);
state = statpop(pop, state);

result.pops(1, :) = pop;
result.states(1)  = state;

% output
plotnsga(result, ngen);
opt = callOutputfuns(opt, state, pop);
```

```
%*********************************************************************
*
% NSGA2 iteration
%*********************************************************************
*
while( ngen < opt.maxGen && STOP_NSGA==0)
% 0. Display some information
ngen = ngen+1;
    state.currentGen = ngen;
fprintf('\n\n*********************************************************
\n');
fprintf('*      Current generation %d / %d\n', ngen, opt.maxGen);
fprintf('*********************************************************\n')
;

% 1. Create new population
newpop = selectOp(opt, pop);
newpop = crossoverOp(opt, newpop, state);
newpop = mutationOp(opt, newpop, state);
    [newpop, state] = evaluate(opt, newpop, state, varargin{:});

% 2. Combine the new population and old population : combinepop = pop +
newpop
combinepop = [pop, newpop];

% 3. Fast non dominated sort
    [opt, combinepop] = ndsort(opt, combinepop);

% 4. Extract the next population
pop = extractPop(opt, combinepop);

% 5. Save current generation results
    state.totalTime = toc(tStart);
state = statpop(pop, state);

result.pops(ngen, :) = pop;
result.states(ngen)  = state;

% 6.plot current population and output
if( mod(ngen, opt.plotInterval)==0 )
plotnsga(result, ngen);
end
if( mod(ngen, opt.outputInterval)==0 )
opt = callOutputfuns(opt, state, pop);
end

end

% call output function for closing file
opt = callOutputfuns(opt, state, pop, -1);

% close worker processes
if( strcmpi(opt.useParallel, 'yes'))
matlabpool close
end
```

```
toc(tStart);


function defaultopt = nsgaopt()
% Function: defaultopt = nsgaopt()
% Description: Create NSGA-II default options structure.
% Syntax:  opt = nsgaopt()
%         LSSSSWC, NWPU
%   Revision: 1.3  Data: 2011-07-13
%*************************************************************************
*



defaultopt = struct(...
... % Optimization model
    'popsize', 50,...           % population size
    'maxGen', 100,...           % maximum generation
    'numVar', 0,...             % number of design variables
    'numObj', 0,...             % number of objectives
    'numCons', 0,...            % number of constraints
    'lb', [],...                % lower bound of design variables
[1:numVar]
    'ub', [],...                % upper bound of design variables
[1:numVar]
    'vartype', [],...           % variable data type [1:numVar]£¬1=real,
2=integer
    'objfun', @objfun,...       % objective function
... % Optimization model components' name
    'nameObj',{{}},...
    'nameVar',{{}},...
    'nameCons',{{}},...
... % Initialization and output
    'initfun', {{@initpop}},...         % population initialization
function (use random number as default)
    'outputfuns',{{@output2file}},...   % output function
    'outputfile', 'populations.txt',... % output file name
    'outputInterval', 1,...             % interval of output
    'plotInterval', 5,...               % interval between two call of
"plotnsga".
... % Genetic algorithm operators
    'crossover', {{'intermediate', 1.2}},...         % crossover operator
(Ratio=1.2)
    'mutation', {{'gaussian',0.1, 0.5}},...          % mutation operator
(scale=0.1, shrink=0.5)
    'crossoverFraction', 'auto', ...                 % crossover fraction
of variables of an individual
    'mutationFraction', 'auto',...                   % mutation fraction
of variables of an individual
... % Algorithm parameters
    'useParallel', 'no',...                          % compute objective
function of a population in parallel. {'yes','no'}
    'poolsize', 0,...                                % number of workers
use by parallel computation, 0 = auto select.
... % R-NSGA-II parameters
```

```
    'refPoints', [],...                             % Reference point(s)
used to specify preference. Each row is a reference point.
    'refWeight', [],...                             % weight factor used
in the calculation of Euclidean distance
    'refUseNormDistance', 'front',...               % use normalized
Euclidean distance by maximum and minumum objectives possiable.
{'front','ever','no'}
    'refEpsilon', 0.001 ...                         % parameter used in
epsilon-based selection strategy
);


function opt = callOutputfuns(opt, state, pop, type)
% Function: opt = callOutputfuns(opt, state, pop, type)
% Description: Call output function(if exist).
% Parameters:
%   type : output type.
%       -1 = the last call (close file for instance)
%       other values(or no exist) = normal output
%
%         LSSSSWC, NWPU
%    Revision: 1.1  Data: 2011-07-13
%*********************************************************************
*


if(nargin <= 3)
type = 0;   % normal output
end


if( ~isempty(opt.outputfuns) )
fun = opt.outputfuns{1};
opt = fun(opt, state, pop, type, opt.outputfuns{2:end});
end
```

Phụ lục 13: Lưới trạm khí tượng thủy văn

LƯỚI TRẠM KHÍ TƯỢNG, ĐO MƯA

TT	Trạm	Yếu tố đo	Cao độ	Vĩ độ	Kinh độ	Tài liệu trước 1954	Sau 1954	Tình trạng hoạt động
1	Mường Xén	X		19^0 24’	1040 07’	1931 - 1942	1960- 2008	
2	Mường Lống	X					1965- 1983	Ngừng đo
3	Bản Phông	X					1962- 1986	Ngừng đo
4	Tương Dương	X, T, R, V, Z	97	19^0 17’	$104^0$26’	1930 - 1948	1960- 2008	
5	Nà Tổng	X					1960- 1978	Ngừng đo
6	Huổi Giảng	X		19^0 20’	$104^0$07’		1962- 1979	Ngừng đo
7	Khe Bo	X					1960- 1987	Ngừng đo
8	Cốc Nà	X		19^0 05’	104^0 45’		1962- 1987	Ngừng đo
9	Đồn Phục	X					1960- 1987	Ngừng đo
10	Khe Nóng	X					1960- 2000	Ngừng đo
11	Dừa	X		18^0 59’	$105^0$01’		1960- 2008	
12	Môn Sơn	X					1961- 1983	Ngừng đo
13	Thanh Đồng	X					1960- 1976	Ngừng đo
14	Thanh Minh	X					1962- 1982	Ngừng đo
15	Nam Đàn	X		18^0 42’	$105^0$29’		1960- 2008	
16	Nam Phúc	X					1960- 1982	Ngừng đo
17	Chợ Tràng	X		$18^0$35’	$105^0$38’		1960- 2008	
18	Bến Thuỷ	X		18^0 38’	105^0 41’		1960- 1985	Ngừng đo
19	Vinh	X, T, R, V, Z	6	18^0 40’	$105^0$40’	1906 - 1954	1956- 2010	
20	Cửa Hội	X		18^0 46’	$105^0$45’		1960- 2008	
21	Nghi Lộc	X					1960- 1987	Ngừng đo
22	Nghi Xuân	X		18^0 39’	$105^0$44’		1960- 1990	Ngừng đo
23	Nghi Lâm	X		18^0 50’	$105^0$31’		1960- 1987	Ngừng đo
24	Đại Sơn	X		18^0 50’	$105^0$27’		1960- 1982	Ngừng đo
25	Đô Lương	X, T, R, V, Z		18^0 54’	$105^0$18’	1935 - 1944	1958- 2008	
26	Quỳ Châu	X, T, R, V, Z	87	19^0 33’	$105^0$07’		1961- 2008	

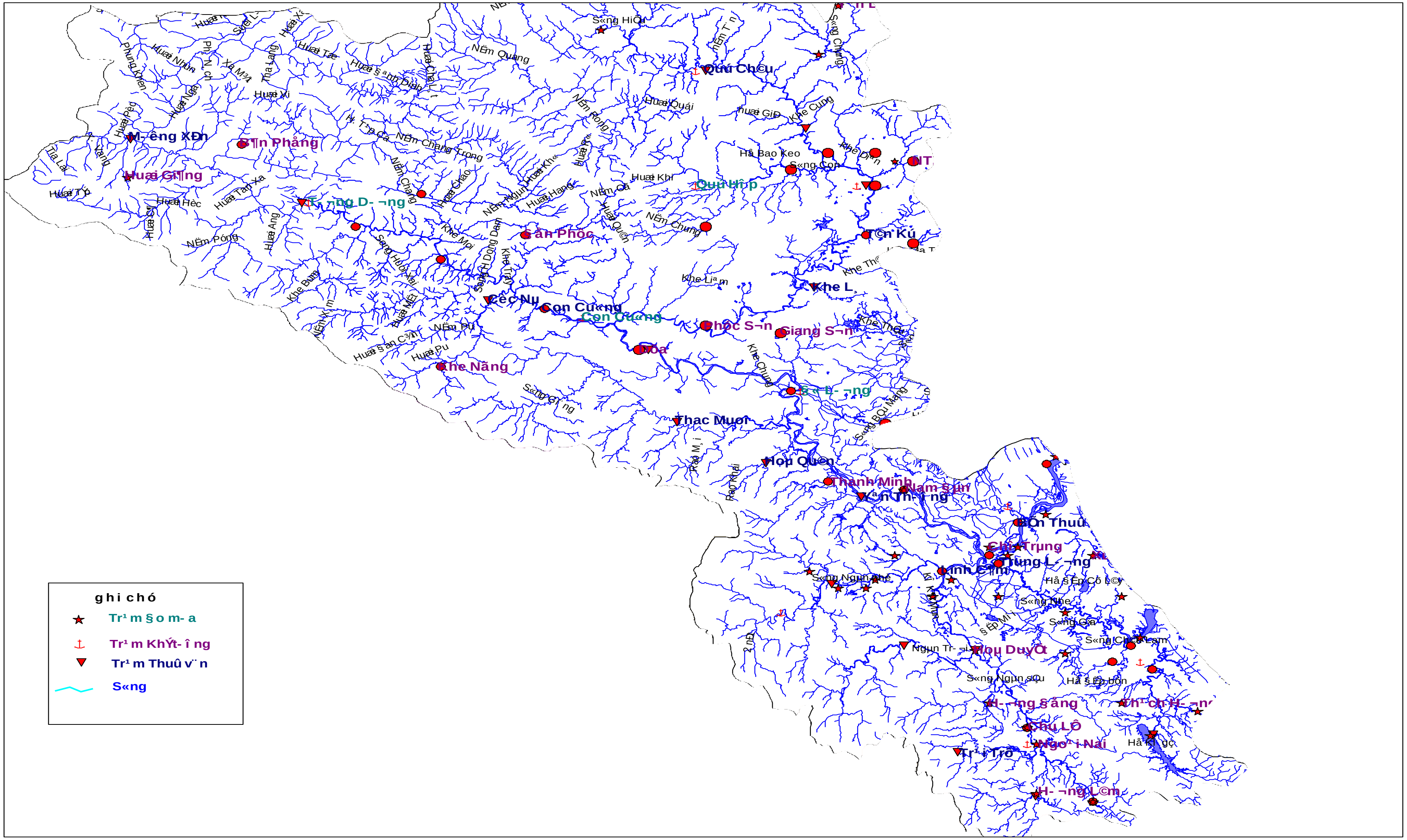
TT	Trạm	Yếu tố đo	Cao độ	Vĩ độ	Kinh độ	Tài liệu trước 1954	Sau 1954	Tình trạng hoạt động
27	Châu Tiến	X		19^{0} 01’	105^{0}16’		1962- 1987	Ngừng đo
28	Con Cuông	X		19^{0} 02’	104^{0}55’		1960 -2008	
29	Giang Sơn	X					1975 -1981	Ngừng đo
30	Khe Lá	X		19^{0} 00’	105^{0} 19’		1969-1993	Ngừng đo
31	Nông Trường3/2	X					1960 -2008	
32	Nghĩa Đàn	X,		19^{0} 19’	105^{0}16’		1960 -2000	
33	NT – 1/5	X		19^{0} 22’	105^{0}30’		1960 -1987	
34	Tây Hiếu	X, T, R, V, Z	72	19^{0} 19’	105^{0}24’		1961-2008	
35	Đông Hiếu	X					1960 -1987	Ngừng đo
36	Quỳ Hợp	X, T, R, V, Z	88	19^{0} 20’	105^{0}14’		1960 -1982	Ngừng đo
37	Nghĩa Khánh	X		19^{0} 26’	105^{0} 20’		1976 -2008	
38	Sông Con	X					1960 -1987	Ngừng đo
39	Phú Sơn	X		19^{0} 02’	105^{0}08’		1963 -1982	Ngừng đo
40	Tiểu Đồng	X					1960 -1982	Ngừng đo
41	Yên Lý	X		19^{0} 06’	105^{0}36’		1960 -1981	Ngừng đo
42	Phúc Tăng	X					1961 -1983	Ngừng đo
43	Yên Thành	X					1960 -1982	Ngừng đo
44	Kim Cương	X, T, R, V, Z		18^{0} 27’	105^{0}16’		1960 -2008	
45	Sơn Diệm	X		18^{0} 30’	105^{0}22’		1960 -2008	
46	Hương Sơn	X					1962 -2008	
47	Chúc A	X					1960 -1982	Ngừng đo
48	Phúc Trạch	X					1962 -1976	Ngừng đo
49	Hương Khê	X, T, R, V, Z	10	18^{0} 11’	105^{0}42’		1961 -2008	
50	Chu Lễ	X		18^{0} 13’	105^{0}45’	1932 - 1943	1960 -2010	
51	Rào Nổ	X					1962 -1987	Ngừng đo
52	Hoà Duyệt	X		18^{0} 23’	105^{0}36’		1960 -2010	
53	Linh Cảm	X		18^{0} 31’	105^{0}34’	1936 - 1942	1958 -2008	
54	Sông Chàng	X					1978 -1985	Ngừng đo

TT	Trạm	Yếu tố đo	Cao độ	Vĩ độ	Kinh độ	Tài liệu trước 1954	Sau 1954	Tình trạng hoạt động
55	Hoà Quân	X		180 43’	1050 13’		1967-1999	Ngừng đo
56	Đại Lộc	X		18^0 27’	$105^0$46’		1961 -2008	
57	Hộ Độ	X		18^0 24’	$105^0$54’		1961 -1987	Ngừng đo
58	Yên Hoà	X					1960 -1977	Ngừng đo
59	Hà Tĩnh	X, T, R, V, Z	3	$18^0$21'	$105^0$54'	1911-1914, 32-44	1958-2010	
60	Cẩm Xuyên	X					1960-2008	
61	Kỳ Anh	X, T, R, V, Z	3	$18^0$05'	$106^0$17'	1927-1944	1960-2008	

LƯỚI TRẠM THUỶ VĂN

TT	Trạm	F Km^2	Sông	Trạm thủy văn cấp I		Trạm thủy văn cấp II	
				Yếu tố đo	Thời kỳ đo	Yếu tố đo	Thời kỳ đo
1	Mường Xén	2.620	Nậm Mô	H, Q	1969 - 2010		
2	Cửa Rào	12.800	Cả	H, Q, S	1957 - 1977		
3	Thạch Giám		Cả			H	1978 - 2010
4	Dừa	20.800	Cả	H, Q, S	1959 - 2010		
5	Yên Thượng	23.000	Cả	H, Q, S	1968 - 2010		
6	Con Cuông		Cả			H	1957 - 2010
7	Đô Lương		Cả			H	1957 - 2004
8	Nam Đàn		Cả			H	1960 - 2010
9	Chợ Tràng		Cả			H	1962 - 2010
10	Trung Lương		Cả			H	1962 - 1989
11	Bến Thuỷ		Cả			H	1960 - 1989
12	Cửa Hội		Cả			H	1962 - 2010
14	Thác Muối	785	Giăng	H, Q, S	1967 - 1983		
15	Quỳ Châu	1500	Hiếu	H, Q, S	1960 - 2010		
17	Nghĩa Khánh	4020	Hiếu	H, Q, S	1978 - 2010		
22	Hòa Duyệt	1880	Ngàn Sâu	H, Q, S	1959 - 1981	H	1982 - 1995

TT	Trạm	F Km^2	Sông	Trạm thủy văn cấp I		Trạm thủy văn cấp II	
				Yếu tố đo	Thời kỳ đo	Yếu tố đo	Thời kỳ đo
					1996 - 2010		
23	Sơn Diệm	790	Ngàn Phố	H, Q, S	1961 - 1981 1996 - 2010	H	1982 - 1995
25	Chu Lễ		Ngàn Sâu			H	1960 - 2000
26	Linh Cảm		La			H	1959 - 2010
27	Hộ Độ		Nghèn			H	1960 - 1989


ghi chó
Tr¹m §o m- a
Tr¹m KhÝt- î ng
Tr¹m Thuû v¨n
S«ng