

## NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN CÔNG TRÌNH ĐIỀU HOÀ NGUỒN NƯỚC CHO HẠ DU SÔNG MÃ

Lương Ngọc Chung, Nguyễn Nguyên Hoàn,  
Lê Thị Tươi, Nguyễn Văn Tuấn  
Viện Quy hoạch Thủy lợi

**Tóm tắt:** Xây dựng các công trình điều hoà nguồn nước nhằm ứng phó với tình hình hạn hán, thiếu nước, xâm nhập mặn hạ du đã được thực hiện ở nhiều lưu vực sông trên thế giới và Việt Nam. Đối với lưu vực sông Mã, tình trạng hạ thấp mực nước, thiếu nước phục vụ dân sinh và sản xuất ngày càng nghiêm trọng đặt ra yêu cầu cấp thiết cần xây dựng công trình điều hoà nguồn nước phía hạ du các bậc thang thủy điện. Bài báo này sẽ trình bày các nội dung tính toán nhằm lựa chọn vị trí, quy mô, các thông số kỹ thuật và hiệu quả công trình mang lại nhằm tạo cơ sở dữ liệu và luận cứ khoa học vững chắc, làm nền tảng cho việc ra quyết định đầu tư và thiết kế chi tiết công trình Cẩm Hoàng trên sông Mã.

**Từ khoá:** Công trình điều hoà nguồn nước; Sông Mã; Tiêu chí (TC); Mô hình thủy lực, Cẩm Hoàng.

**Summary:** Construction of water regulation infrastructure to address drought, water shortages, and saline intrusion downstream has been implemented in various river basins worldwide, including in Vietnam. In the Ma River basin, the declining water levels and increasing water scarcity for both daily living and agricultural production have become pressing issues. This situation highlights the urgent need to develop water regulation works downstream of hydropower cascades. This article will outline the calculations necessary for selecting the location, scale, technical parameters, and effectiveness of these projects. The goal is to create a robust scientific database and rationale that will support investment decisions and provide a foundation for the detailed design of the Cam Hoang project on the Ma River.

**Keywords:** Water regulation works; Ma River; Standards (TC); Hydraulic model; Cam Hoang.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lưu vực sông Mã là một trong những hệ thống sông lớn ở khu vực Bắc Trung Bộ, chảy qua nhiều tỉnh của Việt Nam trước khi đổ ra biển tại tỉnh Thanh Hóa. Với đặc điểm địa hình, khí hậu và hệ thống phụ lưu phức tạp, sông Mã giữ vai trò đặc biệt quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội, đảm bảo an ninh nguồn nước, và duy trì cân bằng sinh thái cho toàn khu vực.

Những năm gần đây, trên lưu vực sông tình hình khai thác mạnh mẽ tài nguyên của con

sông, đặc biệt do sự hình thành và vận hành của các công trình thủy điện bậc thang trên dòng chính và phụ lưu. Hệ thống hồ chứa này đã phát huy hiệu quả trong phát điện và cắt giảm lũ, song cũng làm thay đổi đáng kể chế độ dòng chảy tự nhiên, nhất là trong mùa kiệt. Ở vùng hạ du thuộc tỉnh Thanh Hóa, nơi tập trung các hoạt động sản xuất nông nghiệp, công nghiệp và dân sinh quan trọng đã có các biểu hiện như tình trạng hạ thấp mực nước, thiếu nước trong mùa khô và gia tăng xâm nhập mặn ngày càng rõ rệt. Những biến động này không chỉ ảnh hưởng đến sản xuất và sinh hoạt mà còn tiềm ẩn nguy cơ mất cân bằng sinh thái và suy giảm bền vững tài nguyên nước.

Ngày nhận bài: 28/10/2025

Ngày thông qua phản biện: 10/11/2025

Ngày duyệt đăng: 17/11/2025

Trong điều kiện nguồn nước trên sông Mã đang ngày một bị suy thoái, giải pháp công trình điều hòa nguồn nước sau các bậc thang thủy điện nhằm khắc phục tình trạng hạ thấp mực nước, cũng như chủ động nguồn nước đáp ứng yêu cầu sản xuất, phát triển kinh tế - xã hội là hết sức cần thiết. Xuất phát từ thực tiễn đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đề xuất vị trí và quy mô hợp lý cho công trình điều hòa nguồn nước hạ du sông Mã, thông qua việc phân tích các đặc trưng tự nhiên, thủy văn và địa hình của khu vực nghiên cứu, đồng thời ứng dụng các công cụ mô hình toán hiện đại để mô phỏng và đánh giá khả năng điều tiết dòng chảy.

## 2. PHẠM VI VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi nghiên cứu tập trung vào đoạn dòng chính sông Mã sau đập thủy điện Cẩm Thủy 1 đến khu vực ngã ba Vĩnh Khang, thuộc tỉnh Thanh Hóa. Đây là vùng chuyển tiếp từ địa hình đồi núi sang đồng bằng, chịu ảnh hưởng trực tiếp của chế độ vận hành các hồ chứa thượng nguồn và có điều kiện thuận lợi để bố trí công trình điều hòa nguồn nước nhằm ổn định mực nước mùa kiệt. Khu vực hưởng lợi chính bao gồm các hệ thống thủy lợi ven phía Bắc sông Mã, nơi tập trung diện tích canh tác nông nghiệp lớn, đồng thời cung cấp nước sinh hoạt và công nghiệp cho các đô thị phía hạ du.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu được xây dựng trên cơ sở tiếp cận tổng hợp và hệ thống, kết hợp giữa phân tích lý thuyết, mô phỏng thủy lực bằng mô hình toán và đánh giá đa tiêu chí tổng hợp. Cách tiếp cận này cho phép xem xét đồng thời các yếu tố tự nhiên, kỹ thuật, kinh tế và môi trường, qua đó xác định cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc đề xuất công trình điều hòa nguồn nước hạ du sông Mã.

- Nghiên cứu thu thập, tổng hợp và xử lý dữ

liệu đầu vào gồm: Số liệu khí tượng - thủy văn (mưa, lưu lượng, mực nước), bản đồ địa hình, đặc điểm địa chất, hiện trạng sử dụng đất và thông tin vận hành hệ thống hồ chứa, đập dâng và công trình thủy lợi trên lưu vực. Nguồn dữ liệu này được kiểm định, chuẩn hóa nhằm bảo đảm tính chính xác và đại diện cho điều kiện tự nhiên khu vực nghiên cứu.

- Nghiên cứu ứng dụng mô hình toán thủy lực MIKE 11 để mô phỏng diễn biến dòng chảy và mực nước trên sông Mã sau các bậc thang thủy điện. Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định dựa trên chuỗi số liệu thực đo tại các trạm thủy văn, sau đó được sử dụng để phân tích các kịch bản bố trí và vận hành công trình với các cao trình, quy mô khác nhau. Kết quả mô phỏng cho phép đánh giá khả năng điều tiết dòng chảy, duy trì mực nước ổn định và đáp ứng nhu cầu cấp nước trong mùa kiệt.

Trên cơ sở kết quả mô phỏng và áp dụng bộ tiêu chí đánh giá tổng hợp, phản ánh toàn diện các khía cạnh kỹ thuật - kinh tế - môi trường - xã hội. Các tiêu chí được thiết lập dựa trên yêu cầu thực tiễn vùng hạ du và định hướng quy hoạch các ngành của tỉnh Thanh Hóa. Trên cơ sở đó để lựa chọn vị trí và quy mô hợp lý của công trình điều hòa nguồn nước, hướng tới mục tiêu điều tiết dòng chảy bền vững và đảm bảo an ninh nguồn nước vùng hạ du sông Mã.

## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Phân tích lựa chọn vị trí tuyến công trình

Việc xác định vị trí tuyến công trình điều hòa nguồn nước trên sông Mã giữ vai trò then chốt, quyết định hiệu quả điều tiết dòng chảy, khả năng cấp nước mùa kiệt và an toàn đê điều hạ du. Tuyến công trình hợp lý cần đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật, kinh tế, môi trường và phù hợp quy hoạch khai thác tổng hợp tài nguyên nước lưu vực. Trên cơ sở thực địa, phân tích phân tích tài liệu địa hình lòng dẫn, bản đồ, bình đồ khu vực từ TĐ. Cẩm Thủy 1 đến ngã ba Vĩnh Khang, quy hoạch PT KT-XH tỉnh Thanh Hóa, huyện Cẩm Thủy và nội dung bài

báo Lương Ngọc Chung, Nguyễn Nguyên Hoàn, Nguyễn Văn Tuấn (2025) Bài báo “Cơ sở khoa học đề xuất một số giải pháp xây dựng công trình điều tiết trên dòng chính sông Mã” [1] , nhóm nghiên cứu đề xuất 3 tuyến xây dựng công trình như sau:

- Tuyến 1: Vị trí trùng với vị trí quy hoạch xây dựng TĐ. Cẩm Thủy 2, cách công trình TĐ. Cẩm Thủy 1 khoảng 20,5km, gần khu vực thị

trấn Cẩm Thủy (cũ) có đông dân cư.

- Tuyến 2: Thuộc địa phận xã Cẩm Tân, cách tuyến 1 là 4,7km, địa hình ổn định, không có đê bao trực tiếp, thuận lợi thi công và vận hành.

- Tuyến 3: Thuộc xã Cẩm Vân, cách vị trí tuyến 2 khoảng 8,5km về hạ du, vùng thượng lưu tuyến đông dân cư, diện tích canh tác lớn và có tuyến đê chống lũ hữu sông Mã.



Để phân tích lựa chọn tuyến công trình phù hợp, nhóm nghiên cứu đề xuất bộ tiêu chí đánh giá sự phù hợp tuyến công trình gồm 7 tiêu chí, sử dụng thang điểm đánh giá cho mỗi tiêu chí với 3 mức tương ứng số điểm 3-

2-1. Từ kết quả mô phỏng thủy lực, đặc điểm địa hình, dân cư, các khu canh tác... cho thấy tuyến 2 đạt hiệu quả tốt nhất theo bộ 7 tiêu chí với số điểm đạt 20/24 (2,5/3), cao nhất trong ba tuyến.

**Bảng 1: Tổng hợp điểm đánh giá theo bộ tiêu chí**

TT	Tiêu chí	Điểm đánh giá		
		Tuyến 1	Tuyến 2	Tuyến 3
1	Phù hợp quy hoạch	2	2	2
2	Phù hợp vị trí xây dựng công trình	2	3	1
3	Khả năng đáp ứng nguồn nước	3	3	3
4	Khả năng đáp ứng cao trình tưới tự chảy	3	3	2
5	Hiệu quả khai thác đa mục tiêu	3	3	2
6	Tác động vùng thượng lưu	1	3	1
7	Tác động đến an toàn công trình đê điều	3	3	1
	Tổng điểm	17	20	12
	<b>Điểm trung bình</b>	<b>2.1</b>	<b>2.5</b>	<b>1.5</b>

Kết hợp kết quả mô hình và đánh giá đa tiêu chí, tuyến 2 (gọi là công trình Cẩm Hoàng) được xác định là phương án tối ưu, có điều kiện địa hình thuận lợi, phạm vi ngập nhỏ, không ảnh hưởng dân cư và đê điều, đồng thời tận dụng lòng dẫn tự nhiên để giảm khối lượng xây dựng. Tuyến này bảo đảm mục tiêu điều tiết dòng chảy mùa kiệt, duy trì mực đê cấp tự chảy và phát triển bền vững vùng hạ du sông Mã.

### 3.2. Tính toán xác định lưu lượng, mực nước yêu cầu tại đầu mỗi công trình

Sử dụng công thức tính toán theo Quy chuẩn Việt Nam QCVN 04-05:2022/BNNT, với công trình có diện tích được tưới,  $10^3$  ha ( $>10 \leq 50$ ) → công trình cấp II [2].

Mực nước thiết kế được xác định theo công thức:

$$Z_{yc} = A_0 + h_r + \sum_{j=1}^n l_j \times i_j + \sum_{k=1}^m \psi_k \quad (1)$$

Trong đó:  $A_0$  là cao trình mặt ruộng đại diện cho khu tưới do kênh cấp dưới phụ trách tưới tự chảy (m).

$h_r$  là độ sâu lớp nước lớn nhất trên mặt ruộng theo yêu cầu tưới (m), xác định như sau:

$l_j$  là chiều dài của đoạn kênh thứ  $j$  trong số  $n$  đoạn kênh, m, tính từ vị trí đầu kênh cấp dưới tính toán về đến điểm  $A_0$ .

$i_j$  là độ dốc đáy của đoạn kênh thứ  $j$  có chiều dài  $l_j$ .

$\psi_k$  là tổn thất cột nước cục bộ khi chảy qua công trình.

Lưu lượng thiết kế của hệ thống kênh phụ trách diện tích tưới  $\Omega$  ha theo công thức:

$$Q_{tk} = \frac{10^{-3} \times q_{tk} \times \Omega}{\eta_{ht}} \quad (2)$$

Trong đó:  $q_{tk}$  là hệ số tưới thiết kế, l/s/ha.

$\eta_{ht}$  là hệ số sử dụng nước của HT kênh khi tưới với  $q_{tk}$  ( $\eta=0,55 \div 0,65$  lấy theo bảng 10 TCVN 4118-2021). [3].

$\Omega$  là diện tích tưới phụ trách, ha.

Tính toán tổn thất:

- *Tổn thất lưu lượng trên kênh được xác định:*

$$Q_{t-kc} = K_{t-kc} \times Q_t \quad (3)$$

Trong đó:  $Q_{t-kc}$  là lưu lượng tổn thất trên 1 km chiều dài kênh ( $m^3/s/km$ ).

$Q_t$  là lưu lượng tổn thất do thấm trên 1 km chiều dài kênh đất ( $m^3/s/km$ ).

Từ các cơ sở trên, nghiên cứu đã tính toán xác định được: Mực nước thiết kế đầu mỗi là 17,3m, lưu lượng thiết kế là  $35,8m^3/s$ .

### 3.2. Nhiệm vụ công trình

Nghiên cứu xác định công trình Cẩm Hoàng là công trình khai thác đa mục tiêu với nhiệm vụ chính là cấp nước tưới thay thế cho hệ thống trạm bơm vùng Bắc sông Mã, hạ sông Bưởi tưới không ổn định do hạ thấp mực nước, cấp nước sinh hoạt, công nghiệp, thủy sản kết hợp phát điện. Với phương án chọn là tuyến 2, nhiệm vụ công trình như sau:

- Nhiệm vụ cấp nước với lưu lượng  $35,8 m^3/s$ : Cấp nước tưới tự chảy cho 21.166 ha, nước sinh hoạt cho 533.867 người dân, cho công nghiệp, dịch vụ  $123.500 m^3/ngày.đêm$ .

- Nhiệm vụ phát điện: 18 MW

- Nhiệm vụ kết hợp giao thông đường bộ: Kết hợp công trình Cẩm Hoàng với cầu giao thông nối hai bờ sông Mã.

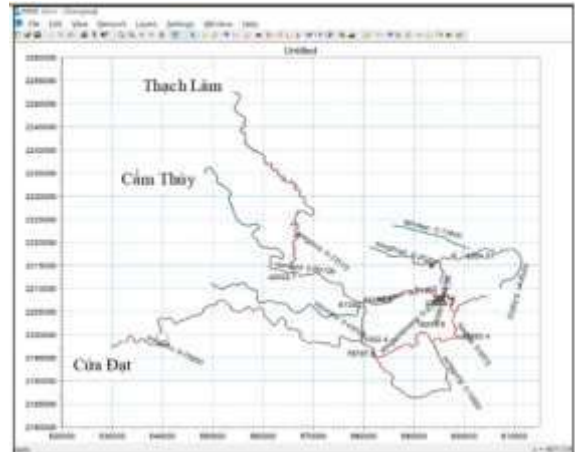
### 3.4. Khả năng đáp ứng về mực nước, lưu lượng trong mùa cạn của công trình

Nghiên cứu sử dụng mô hình thủy lực MIKE11 để tính toán mực nước, lưu lượng trong mùa cạn với tần suất 75%, 85% và 90%. Kết quả như sau:

MN tại vị trí (m)	P=75%		P=85%		P=90%	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
TL tuyến 2	17.5	17.7	17.5	17.7	17.5	17.6
HL tuyến 2	7.02	7.68	6.99	7.58	6.95	7.51

Ghi chú: MN (mực nước), TL (thượng lưu), HL (hạ lưu)

Q tại vị trí (m³/s)	P=75%		P=85%		P=90%	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
TL tuyến 2	77.7	171.	73.5	154.	69.2	144.
HL tuyến 2	41.9	135.	37.7	118.	33.4	108.



Kết quả tính toán cho thấy: Công trình Cẩm Hoàng tại tuyến 2 có khả năng điều tiết và duy trì mực nước mùa cạn ổn định ở +17,3m, đảm bảo lưu lượng cấp 35,8 m³/s cho tưới và dân sinh - công nghiệp vùng hạ du, cũng như kết hợp phát điện 18MW tăng hiệu quả của công trình.

Với các ưu thế về địa hình, thủy văn và hiệu quả vận hành, tuyến 2 được lựa chọn đáp ứng mục tiêu điều hòa nguồn nước bền vững trong mùa cạn cho toàn khu vực hạ lưu sông Mã.

### 3.5. Quy mô công trình và đảm bảo khả năng thoát lũ

Nghiên cứu đã lựa chọn phương án công trình dạng đập dâng hai bên bãi sông, kết hợp công có cửa van điều tiết phần lòng chính:

- Đập dâng:

Bãi Tả 3 khoang ×32m, Zngưỡng=+17,3m; bãi hữu 6 khoang ×32m, Zngưỡng=+17,3m.

- Phần công:

7 khoang ×32m, Zđáy=+8,0m.



**Đánh giá về khả năng thoát lũ khi có công trình Cẩm Hoàng:** Nghiên cứu đã tiến hành

tính toán thủy lực với trận lũ thiết kế: Tổ hợp lũ trên sông Mã tần suất 1%, trên sông Chu 0,6% (Quyết định số 847/QĐ-TTg của Thủ

tướng Chính phủ: Phê duyệt Quy hoạch phòng, chống thiên tai và thủy lợi thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050) [4].

Địa điểm	Mức nước (m)		Lưu lượng (m <sup>3</sup> /s)	
	Hiện trạng	Có công trình	Hiện trạng	Có công trình
Cắm Thủy	22.03	22.05	8047.5	8047.1
TL công trình	19.61	19.66	7771.1	7775.5
Lý Nhân	13.03	13.03	7453.4	7456.0
Ngã ba Bông	7.95	7.95	8594.7	8595.6
Giàng	7.32	7.32	11224.5	11224.5

Kết quả tính toán thủy lực cho thấy:

- Về mức nước: So với phương án hiện trạng, phương án có công trình làm tăng mức nước khu vực thượng lưu từ 1,7÷5,0cm, chênh lệch thượng hạ lưu công trình là 9,2cm.

- Về lưu lượng: Khi có công trình lưu lượng thay đổi không đáng kể, chỉ từ 4÷7m<sup>3</sup>/s (chiếm 0,067÷0,092% lưu lượng lũ thiết kế).

Như vậy, có thể kết luận: Vị trí và hình thức, quy mô công trình Cắm Hoàng tại tuyến chọn cơ bản không ảnh hưởng đến khả năng thoát lũ và hạ tầng công trình chống lũ thượng và hạ lưu.

### 3.6. Đánh giá hiệu quả của công trình mang lại

#### a. Hiệu quả kinh tế

Tổng kinh phí xây dựng công trình Cắm Hoàng và hệ thống kênh dự kiến khoảng: 5.900 × 10<sup>9</sup> đồng. Nghiên cứu tính toán các chỉ số hiệu ích kinh tế gồm chỉ số NPV, EIRR, B/C để phân tích hiệu quả kinh tế công trình.

Chỉ tiêu	Phương án gốc	Vốn tăng 10%, lợi nhuận không đổi	Vốn không đổi, lợi nhuận giảm 10%	Vốn tăng 10%, lợi nhuận giảm 10%
EIRR (%)	15,46%	13,77%	13,55%	12,02%
B/C	1,40	1,28	1,24	1,15
NPV (10 <sup>6</sup> d)	1.617.417	1.235.251	966.952	667.317

Kết quả tính toán cho thấy: Trong mọi giả thiết bất lợi đưa ra để tính toán kinh tế, các trường hợp tính đều đáp ứng được các chỉ tiêu kinh tế cho phép. Vì vậy, việc đầu tư vào xây dựng công trình phục vụ cấp nước, và phát điện sẽ đem lại hiệu quả kinh tế.

#### b. Hiệu quả xã hội

Công trình Cắm Hoàng là công trình đa mục tiêu, sau khi đầu tư xây dựng sẽ tạo tỷ trọng GDP đầu người của khu vực tăng lên đáng kể. Một bộ phận lao động nông nhân sẽ có

công ăn việc làm và được đào tạo để trở thành lao động có kỹ thuật. Đời sống vật của nhân dân trong vùng dự án và lân cận tăng lên đồng thời kéo theo sự phát triển của khối dịch vụ. Các mặt văn hoá, xã hội và ổn định dân cư tốt hơn cũng là những lợi ích không thể tính đếm được.

Công trình đưa vào khai thác sẽ thay thế cho 175 trạm bơm, giúp giảm chi phí điện năng và thuận lợi cho công tác quản lý, vận hành hệ thống. Đồng thời việc chuyển từ công trình

động lực sang tưới tự chảy sẽ cải thiện chất lượng nước và môi trường sinh thái vùng hạ du theo hướng tích cực.

## 5. KẾT LUẬN

Công trình điều hoà nguồn nước trên sông Mã (công trình Cẩm Hoàng) là công trình khai thác đa mục tiêu. Kết quả phân tích bằng phương pháp đa tiêu chí và tính toán mô hình thủy lực đã khẳng định: Phương án tuyến công trình tại vị trí thuộc địa phận xã Cẩm Tân, huyện Cẩm Thủy dạng đập dâng kết hợp công có cửa van điều tiết có phần đập gồm: Bãi Tả 3 khoang×32m,  $Z_{ngưỡng}=+17,3m$ , Bãi hữu 6 khoang×32m,  $Z_{ngưỡng}=+17,3m$ ; Phần cống: 7 khoang x 32m,  $Z_{đáy}=+8,0m$  sẽ đảm bảo tối ưu được quy mô, nhiệm vụ công trình đáp ứng yêu cầu cấp nước và phát triển các ngành kinh tế khác. Công trình mang lại hiệu quả kinh tế - xã hội lớn, không ảnh hưởng đến vấn đề thoát lũ, an toàn đê điều và dòng chảy mùa cạn ở hạ du.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lương Ngọc Chung, Nguyễn Nguyên Hoàn, Nguyễn Văn Tuấn (2025) Bài báo “Cơ sở khoa học đề xuất một số giải pháp xây dựng công trình điều tiết trên dòng chính sông Mã”.
- [2] Quy chuẩn Việt Nam QCVN 04-05:2022/BNNPTNT. Quy định kỹ thuật Quốc Gia về công trình thủy lợi.
- [3] TCVN 4118-2021. Tiêu chuẩn Quốc gia về thiết kế kênh tưới.
- [4] Viện Quy hoạch Thủy lợi và Viện Quy hoạch Thủy lợi Miền Nam, Dự án “Quy hoạch phòng, chống thiên tai và thủy lợi thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050”, năm 2021.

## LỜI CẢM ƠN

Bài báo là một phần của kết quả nghiên cứu từ Đề tài nghiên cứu cấp nhà nước mã số ĐTĐL.CN-03/23 “Nghiên cứu giải pháp công trình điều hòa nguồn nước ở hạ du dòng chính sông Mã sau các bậc thang thủy điện đảm bảo nguồn nước bền vững vùng hạ du”. Nhóm tác giả xin cảm ơn Đề tài.