

TIẾP CẬN HIỆN ĐẠI TRONG THIẾT KẾ LŨ VÀ AN TOÀN ĐẬP: BÀI HỌC TỪ ICOLD BULLETIN 170 VÀ ĐỊNH HƯỚNG CẬP NHẬT TIÊU CHUẨN TRONG NƯỚC

Nguyễn Ngọc Tuấn, Đỗ Ngọc Ánh

Viện Thủy điện và năng lượng tái tạo

Nguyễn Quốc Dũng

Hội Đập lớn và Phát triển nguồn nước Việt Nam

Tóm tắt: Thiết kế thủy văn đóng vai trò nền tảng trong xây dựng công trình thủy lợi, thủy điện và phòng chống thiên tai, bảo đảm công trình vận hành an toàn và hiệu quả. Trong đó, tính toán lũ thiết kế là nội dung trung tâm, quyết định quy mô, chi phí đầu tư và mức độ an toàn cho hạ du. Trên thế giới, nhiều tổ chức đã ban hành hướng dẫn đánh giá lũ và an toàn đập; đặc biệt, ICOLD đã tổng hợp các phương pháp tiếp cận hiện đại trong Bản tin 170, thể hiện xu hướng thiết kế dựa trên đánh giá rủi ro và quản lý bất định. Bài báo trình bày kết quả phân tích, so sánh giữa các tiêu chuẩn thủy văn công trình trong nước và quốc tế, nhằm làm rõ sự khác biệt về cơ sở khoa học – kỹ thuật và đề xuất định hướng cập nhật tiêu chuẩn Việt Nam theo hướng hội nhập, hiện đại và phát triển bền vững.

Từ khóa: Lũ thiết kế, an toàn đập, phân tích rủi ro.

Summary: Hydrological design plays a fundamental role in the development of hydraulic, hydropower, and disaster prevention structures, ensuring their safe and efficient operation. Among these tasks, the determination of the design flood is central, as it directly influences the scale, investment cost, and downstream safety of the project. Globally, numerous organizations have issued guidelines on flood estimation and dam safety; notably, the International Commission on Large Dams (ICOLD) has compiled modern approaches in Bulletin 170, reflecting a contemporary design philosophy based on risk assessment and uncertainty management. This paper presents an analysis and comparison between national and international standards on hydrological design for hydraulic structures. The comparison highlights scientific and technical differences and proposes directions for updating Vietnamese standards toward integration, modernization, and sustainable development.

Keywords: Design flood, dam safety, risk analysis.

1. BỐI CẢNH LŨ LỤT CỰC ĐOAN VÀ TẦM QUAN TRỌNG CỦA AN TOÀN ĐẬP

Sự an toàn của các đập, hồ chứa và công trình thủy lợi là yếu tố then chốt bảo đảm phát triển bền vững và an ninh quốc gia, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu làm gia tăng tần suất và cường độ của các hiện tượng thời tiết cực đoan. Thực tế cho thấy, khi công trình xả lũ

không đủ năng lực thiết kế, hậu quả có thể hết sức nghiêm trọng, dẫn đến vỡ đập và gây tổn thất lớn về người, tài sản và môi trường hạ du. Do đó, việc xác định chính xác lũ thiết kế là nhiệm vụ cốt lõi trong thiết kế và quản lý an toàn đập.

Các sự kiện lũ đặc biệt năm 2024 tại hồ Thác Bà và thủy điện Bản Vẽ là minh chứng cho những hạn chế của hệ thống tiêu chuẩn thiết kế thủy văn theo hướng truyền thống trong điều kiện khí hậu biến đổi.

Trước đây, công trình Thác Bà được thiết kế

Ngày nhận bài: 29/12/2025

Ngày thông qua phản biện: 05/02/2026

Ngày duyệt đăng: 11/3/2026

dựa trên trận lũ lịch sử năm 1961 với lưu lượng đỉnh khoảng 4.000 m³/s. Tuy nhiên, bão số 3 (Yagi) năm 2024 đã tạo ra lưu lượng lên tới 5.600 m³/s, vượt xa giá trị thiết kế và gần gấp đôi năng lực xả lũ của đập chính, buộc hồ phải vận hành khẩn cấp để bảo đảm an toàn.

Tình huống tương tự xảy ra tại thủy điện Bản Vẽ (Nghệ An), khi lưu lượng đỉnh lũ ngày 23/7/2024 đạt 12.800 m³/s¹ – vượt tần suất lũ kiểm tra 10.500 m³/s. Mặc dù hồ đã cắt giảm 74% lưu lượng đỉnh để giảm ngập hạ du, song mực nước dâng nhanh buộc đơn vị vận hành phải chuyển sang chế độ vận hành bất thường. Đây là dấu hiệu cảnh báo về giới hạn của phương pháp thiết kế dựa hoàn toàn vào dữ liệu lịch sử.

Những sự kiện này cho thấy phương pháp thiết kế thủy văn truyền thống, vốn phụ thuộc vào chuỗi số liệu quá khứ và giả định tần suất lặp lại cố định (như 1/100 hay 1/10.000), cần có sự điều chỉnh đáp ứng yêu cầu trong bối cảnh

biến đổi khí hậu. Việc thiếu xem xét đến các kịch bản vượt chuẩn và rủi ro động dẫn đến sai lệch trong đánh giá an toàn công trình.

Do đó, việc đối chiếu và so sánh giữa các tiêu chuẩn thiết kế thủy văn trong nước với các thực tiễn quốc tế có ý nghĩa đặc biệt quan trọng. Nghiên cứu này tập trung phân tích các hệ thống tiêu chuẩn theo các khía cạnh phương pháp, phạm vi áp dụng và triết lý thiết kế lũ, qua đó làm rõ những điểm tương đồng, khác biệt và đề xuất định hướng hoàn thiện nhằm nâng cao tính linh hoạt, thích ứng và an toàn trong thiết kế – vận hành đập tại Việt Nam.

2. CƠ SỞ PHÁP LÝ VÀ PHẠM VI ÁP DỤNG

Trong phần này, các tiêu chuẩn chính trong nước liên quan đến thiết kế lũ và an toàn đập sẽ được so sánh với một số tiêu chuẩn và hướng dẫn quốc tế. Phạm vi bài báo tập trung vào một số tiêu chuẩn quốc tế nổi bật được khuyến nghị trong Bản tin ICOLD 170.

Bảng 1: Cơ sở pháp lý và nội dung áp dụng của một số tiêu chuẩn trong và ngoài nước

Nội dung	Việt Nam	Quốc tế
Hệ thống tiêu chuẩn	- TCVN 13615:2022: tính toán các đặc trưng thủy văn thiết kế; - QCVN 04 05:2022/ BNNPTNT: Công trình thủy lợi – Các quy định chủ yếu về thiết kế;	- USACE, Regulation No. 1110-2-1156, Safety of Dams – Policies and Procedures, 2014; - FEMA, Federal Guidelines for Dam Safety - Selecting and Accommodating Inflow Design Floods for Dams, 2013;
Cơ quan ban hành	Bộ Khoa học & Công nghệ; Bộ NN&PTNT	USACE, FEMA,...
Phạm vi áp dụng	Thiết kế công trình thủy, hồ chứa, cống, đập, tràn xả lũ	Công trình thủy, hồ chứa, đê, cầu, hạ tầng giao thông thủy
Cách tiếp cận	Xác định tần suất thiết kế theo cấp công trình	Phân tích rủi ro, đánh giá hậu quả sau vỡ đập

Các hậu quả sau sự cố vỡ đập theo tiêu chuẩn quốc tế có thể hiện dưới nhiều dạng khác nhau, bao gồm:

- Nguy cơ tử vong hoặc bị thương đối

với những người nằm trong khu vực chịu ảnh hưởng;

- Tác động kinh tế

- Thiệt hại tài sản, hạ tầng giao thông, hệ thống sản xuất năng lượng, cung cấp nước, hoạt động điều hướng, tưới tiêu, và các hoạt động kinh tế khác,

¹ <https://www.evn.com.vn/d/vi-VN/news/Thuy-dien-Ban-Ve-van-hanh-an-toan-giua-tran-lu-lich-su-giam-74-luu-luong-lu-cho-ha-du-60-14-503792>

- Tác động xã hội
 - Ảnh hưởng đến đời sống và kinh tế của người dân sau sự cố vỡ đập;
 - Thiệt hại di sản văn hóa – công trình kiến trúc;
 - Tâm lý lo sợ về khả năng xảy ra sự kiện tương tự trong tương lai;
 - Di dời, tái định cư người dân khỏi khu vực bị ảnh hưởng;
- Tác động môi trường
 - Ảnh hưởng đến hệ sinh vật, đặc biệt là động vật hoang dã,
 - Thay đổi địa hình/địa mạo dọc khu vực sông;
 - Ô nhiễm môi trường do các nguồn liên quan đến hoạt động của con người (nhiên liệu, hóa chất, chất thải khai thác, ...).

3. PHÂN CẤP CÔNG TRÌNH VÀ TẦN SUẤT THIẾT KẾ

Ở nhiều quốc gia, việc xác định lũ thiết kế (IDF) dựa trên hậu quả đối với con người, thiệt hại kinh tế, tác động môi trường. Cách tiếp cận

này được áp dụng tại Úc, Canada, Cộng hòa Séc, Phần Lan, New Zealand, Tây Ban Nha, Thụy Điển, Vương quốc Anh và Hoa Kỳ.

Một số quốc gia khác lại xác định lũ thiết kế (IDF) dựa trên kết hợp đặc tính công trình và yếu tố rủi ro bao gồm đặc điểm của công trình và các hậu quả khác nhau như Brazil, Trung Quốc, Bồ Đào Nha,...

Phân cấp công trình đóng vai trò quan trọng trong thiết kế lũ ở Việt Nam, trong đó công trình được phân cấp dựa trên loại công trình và năng lực phục vụ. Nhằm nâng cao độ an toàn, cấp công trình được xem xét nâng lên một cấp nếu một trong các hạng mục công trình chính xảy ra sự cố rủi ro có thể gây thiệt hại to lớn về kinh tế - xã hội và môi trường ở hạ lưu.

Bảng dưới đây đưa ra ví dụ về phân cấp công trình/ mức độ rủi ro tương ứng với tần suất thiết kế giữa tiêu chuẩn trong nước và quốc tế đại diện là FEMA của Hoa Kỳ:

Bảng 2: Phân cấp công trình tại Việt Nam và FEMA-Hoa Kỳ

Tiêu chuẩn trong nước ¹			Tiêu chuẩn quốc tế (FEMA-Hoa Kỳ) ²			
Cấp công trình	Tần suất thiết kế	Ghi chú	Mức độ rủi ro	Tần suất thiết kế	Ghi chú	
Đặc biệt	0,1% (1000 năm)	Dựa trên diện tích được tưới, tiêu, dung tích hồ chứa, lưu lượng, loại và chiều cao đập.	Nguy cơ cao	PMF ³	Tùy thuộc vào khả năng tổn thất về người, thiệt hại kinh tế, hư hại môi trường hoặc gián đoạn các cơ sở hạ tầng.	
I	0,5% (200 năm)		Nguy cơ vừa	0,1% (1.000 năm)		
II	1,0% (100 năm)		Nguy cơ thấp	1% (100 năm) hoặc nhỏ hơn nếu có căn cứ hợp lý		
III	1,5% (67 năm)					
IV	2,0% (50 năm)					

Nhận xét: Việt Nam quy định tần suất cố định cho từng cấp, còn FEMA xác định linh hoạt dựa trên phân tích rủi ro, hậu quả và chi phí – lợi ích.

¹ QCVN 04 05:2022/ BNNPTNT: Công trình thủy lợi – Các quy định chủ yếu về thiết kế

² Cơ quan Quản lý Khẩn cấp Liên bang (FEMA)

³ Lũ cực hạn. Phân tích hậu quả gia tăng hoặc ra quyết định dựa trên rủi ro có thể được sử dụng để đánh giá khả năng lựa chọn IDF thấp hơn. Tuy nhiên, không khuyến nghị chọn IDF thấp hơn lũ có xác suất vượt 0,2% hàng năm (lũ 500 năm)

Bảng dưới đây trình bày các loại thông số dùng để phân loại đập ở mỗi quốc gia, cũng như giá trị tối thiểu và tối đa của lũ thiết kế (IDF). Trong đó cũng chỉ ra liệu lũ kiểm tra an toàn có được yêu cầu trong thiết kế công trình hay không, và các tiêu chí để xác định chiều cao an toàn tối thiểu có được quy định hay không.

Trong số 30 quy định được trình bày, có 15 trường hợp: phân loại đập dựa trên hậu quả tiềm ẩn của sự cố vỡ đập, 8 trường hợp: phân loại dựa trên đặc điểm công trình, và 7 trường hợp: sử dụng phương pháp kết hợp.

Bảng 2: Phân loại đập và quy định lũ thiết kế tại một số quốc gia trên Thế Giới

Quốc gia	Đặc điểm công trình				Hậu quả vỡ đập						Lũ thiết kế		Lũ kiểm tra	Chiều cao an toàn
	Chiều cao	Dung tích	Loại đập	Cố định/tạm thời	LOL	PAR	Kinh tế	Xã hội	Môi trường	Diện tích ngập	Min	Max		
Úc						X	X				100-năm	PMF		
Áo	X	X										5 000-năm		
Brazil	X	X			X						1000-năm	PMF		
Bulgaria			X	X							33-năm	10 000-năm		
Canada					X		X		X		100-năm	PMF		
Canada-Quebec						X	X				100-năm	PMF		X
Trung Quốc	X	X	X	X			X				100-năm	10 000-năm	X	
CH Séc					X	X	X		X		20-năm	10 000-năm		
Phần Lan					X	X			X		100-năm	10 000-năm		
Pháp	X	X	X								1000-năm	10 000-năm		
Đức	X	X									1000-năm	10 000-năm		X
Ấn Độ	X	X									100-	PMF		

Quốc gia	Đặc điểm công trình				Hậu quả vỡ đập						Lũ thiết kế		Lũ kiểm tra	Chiều cao an toàn
	Chiều cao	Dung tích	Loại đập	Cổ định/tạm thời	LOL	PAR	Kinh tế	Xã hội	Môi trường	Diện tích ngập	Min	Max		
											năm			
Ireland					X						1000-năm	10 000-năm		
Ý			X								1000-năm	3 000-năm		X
Nhật Bản			X								200-năm	1 000-năm		X
New Zealand					X		X				100-năm	10 000-năm		
Na Uy						X					500-năm	1 000-năm	X	X
Panama					X		X				100-năm	5 000-năm		
Ba Lan	X	X				X				X	200-năm	1 000-năm		
Bồ Đào Nha	X	X			X		X					1 000-năm		
Romania	X	X					X				100-năm	10 000-năm		
Nga	X	X	X				X				20-năm	1 000-năm	X	
Nam Phi	X				X		X				1200-năm	6 000-năm	X	
Tây Ban Nha						X	X	X			100-năm	1 000-năm	X	
Thụy Điển						X	X		X		100-năm	SDF		
Thụy Sĩ	X	X	X								1000-năm	1.5x1 000-năm	X	X
Thổ Nhĩ Kỳ	X	X	X								500-năm	PMF	X	X
Vương Quốc Anh					X	X	X				150-năm	PMF		

Quốc gia	Đặc điểm công trình				Hậu quả vỡ đập						Lũ thiết kế		Lũ kiểm tra	Chiều cao an toàn
	Chiều cao	Dung tích	Loại đập	Cổ định/tạm thời	LOL	PAR	Kinh tế	Xã hội	Môi trường	Diện tích ngập	Min	Max		
Hoa Kỳ/FE MA					X		X		X		100-năm	PMF		
Hoa Kỳ/U SBR					X						100 năm	PMF		

4. TÍNH TOÁN THỦY VĂN

Phần này tập trung trình bày và phân tích một số nội dung chính được quy định trong tiêu chuẩn thủy văn công trình của Việt Nam (đại diện là TCVN 13615:2022) và trong các hướng dẫn về tính toán thủy văn được tổng hợp trong Bản tin 170 của ICOLD.

Tiêu chuẩn TCVN 13615:2022

Tiêu chuẩn TCVN 13615:2022 – “Tính toán các đặc trưng thủy văn thiết kế” quy định các nguyên tắc, yêu cầu và phương pháp xác định các yếu tố thủy văn phục vụ thiết kế công trình thủy lợi và phòng chống thiên tai. Tiêu chuẩn được biên soạn bởi Trường Đại học Thủy lợi, do Bộ Khoa học và Công nghệ công bố, nhằm thống nhất cách tiếp cận trong tính toán các đặc trưng như mưa, dòng chảy, lũ, kiệt, bùn cát, mực nước và xem xét ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, nước biển dâng.

Tiêu chuẩn áp dụng cho việc thiết kế các loại công trình thủy lợi, hồ chứa, đê, cống, kênh và các công trình kiểm soát lũ, hạn, đảm bảo an toàn và hiệu quả sử dụng tài nguyên nước. Các phương pháp tính toán được lựa chọn tùy theo điều kiện dữ liệu, bao gồm: phương pháp thống kê xác suất, mô hình toán thủy văn – thủy lực, phương pháp trạm tương tự, lưu vực tương tự và phương pháp bản đồ đẳng trị. Ngoài ra, tiêu chuẩn còn hướng dẫn việc thu thập các yếu tố địa hình, thổ nhưỡng, thảm

phủ, cũng như các kịch bản biến đổi khí hậu mới nhất của Việt Nam. Phần tính toán các đặc trưng thủy văn bao gồm: Mưa và bốc hơi thiết kế; dòng chảy năm thiết kế: tính lưu lượng và phân phối dòng chảy trong năm, có xét đến tác động của biến đổi khí hậu và công trình thượng – hạ lưu; dòng chảy lũ thiết kế: xác định lưu lượng đỉnh lũ, tổng lượng và quá trình lũ; tính toán lũ lớn nhất khả năng (PMF) và dung tích phòng lũ an toàn; dòng chảy nhỏ nhất (kiệt) và dòng chảy bùn cát: xác định lưu lượng kiệt đặc trưng, tổng lượng bùn cát trung bình nhiều năm, phục vụ vận hành hồ và bảo vệ lòng dẫn; mực nước và lưu lượng thiết kế: tính toán cho các công trình trên sông, kênh và vùng triều, đồng thời xét đến ảnh hưởng của nước biển dâng và biến đổi khí hậu.

Phương pháp tất định (deterministic) hay phương pháp sự kiện thiết kế (design event) là cách tiếp cận truyền thống trong ước tính lũ dựa trên mưa. Phương pháp này sử dụng một trận mưa thiết kế, có thể là trận mưa có xác suất nhất định hoặc lượng mưa lớn nhất khả năng (PMP), làm đầu vào cho mô hình thủy văn để tạo ra thủy đồ lũ thiết kế. Tất cả các yếu tố sinh lũ như phân bố mưa, tổn thất, và quá trình truyền dòng chảy được cố định thông qua cấu trúc và tham số của mô hình, nên mỗi bộ dữ liệu đầu vào sẽ cho một kết quả lũ duy nhất. Phương pháp này có thể phục vụ cả thiết kế theo tiêu chuẩn (xác định một lũ thiết kế

duy nhất, như PMF) và thiết kế dựa trên rủi ro (liên hệ giữa quy mô lũ và xác suất vượt). Tuy nhiên, nó ngầm giả định rằng xác suất của trận lũ tương ứng bằng với xác suất của trận mưa đầu vào, điều khó đạt được trong thực tế vì mối quan hệ giữa mưa và lũ phi tuyến mạnh. Việc lựa chọn bộ dữ liệu đầu vào “trung hòa xác suất” là thách thức lớn, nhất là khi không có dữ liệu đủ cho các sự kiện cực đoan. Các yếu tố sinh lũ không dễ kết hợp đồng thời một cách hợp lý, và những tương tác phức tạp như biến đổi theo mùa khiến mô hình khó bảo vệ về mặt khoa học. Do đó, dù phương pháp này được sử dụng rộng rãi, nó mang tính chủ quan cao khi áp dụng cho ước tính lũ cực hạn (PMF), vì không lượng hóa được xác suất đồng thời của các yếu tố khí tượng – thủy văn.

Điểm mới nổi bật của TCVN 13615:2022 là việc tích hợp các yếu tố biến đổi khí hậu và nước biển dâng vào quá trình tính toán thủy văn, áp dụng đồng bộ phương pháp thống kê hiện đại và mô hình toán phù hợp với chuẩn quốc tế (ICOLD, WMO). Việc ban hành tiêu chuẩn giúp chuẩn hóa công tác tính toán thủy văn thiết kế trong cả nước, góp phần nâng cao độ tin cậy, tính an toàn và bền vững cho các công trình thủy lợi trong điều kiện biến đổi khí hậu ngày càng rõ rệt.

Bản tin ICOLD 170 – Hướng dẫn đánh giá lũ và an toàn đập

Bản tin “Hướng dẫn đánh giá lũ và an toàn đập” (Flood Evaluation and Dam Safety – Bulletin 170) của ICOLD là một tài liệu kỹ thuật tổng hợp, cung cấp khung hướng dẫn toàn diện về các phương pháp thủy văn và xu hướng hiện đại trong đánh giá lũ phục vụ công tác an toàn đập. Tài liệu nhấn mạnh tầm quan trọng của việc xem xét kỹ lưỡng các yếu tố bất định trong thủy văn, đặc biệt khi đánh giá các sự kiện lũ cực đoan, đồng thời khuyến khích chuyển đổi từ các tiêu chuẩn thiết kế cố định sang các phương pháp

tiếp cận dựa trên rủi ro.

Để hiện thực hóa mục tiêu này, Bulletin 170 trình bày các phương pháp phân tích từ thủy văn truyền thống đến các kỹ thuật mô phỏng tiên tiến, đồng thời so sánh sự khác biệt trong tiêu chí an toàn đập giữa các quốc gia. Nội dung chính bao gồm quy trình xây dựng thủy đồ lũ và xác định các thông số đầu vào phục vụ tính toán. Lượng mưa thiết kế được xác định thông qua phân tích tần suất để xây dựng đường quan hệ cường độ–thời đoạn–tần suất (I–D–F) và ước tính lượng mưa cực hạn (PMP) cho các kịch bản cực đoan. Lượng mưa này sau đó được chuyển đổi thành dòng chảy bằng các phương pháp ước tính tổn thất, tiêu biểu là phương pháp Số đường cong dòng chảy (Curve Number – CN) của NRCS (Mỹ). Dòng chảy được mô phỏng dựa trên Thủy đồ đơn vị (Unit Hydrograph – UH) hoặc các biểu thể tổng hợp của nó (như Snyder, SCS), sau đó được diễn toán qua hồ chứa và hệ thống sông để mô phỏng quá trình lan truyền và biến đổi sóng lũ.

Đối với các trận lũ cực đoan có xác suất xảy ra rất thấp (ví dụ nhỏ hơn 1/100), Bulletin 170 giới thiệu nhiều phương pháp tiếp cận khác nhau. Phương pháp tất định (Deterministic) truyền thống sử dụng một sự kiện thiết kế cố định, giả định rằng lượng mưa và dòng chảy có cùng xác suất vượt quá hàng năm (AEP). Ngược lại, phương pháp ngẫu nhiên (Stochastic) áp dụng mô phỏng Monte Carlo, cho phép đánh giá sự biến động và tương tác giữa các yếu tố hình thành lũ (như đặc trưng mưa, điều kiện ẩm ban đầu), từ đó xây dựng phân bố tần suất lũ – một cơ sở thiết yếu cho phân tích rủi ro. Ngoài ra, các phương pháp mô phỏng liên tục (Continuous Simulation) và phương pháp kết hợp (Hybrid) cũng được khuyến nghị, đặc biệt hữu ích cho các hệ thống phức tạp như chuỗi đập bậc thang hoặc khu vực chịu ảnh hưởng tuyết tan.

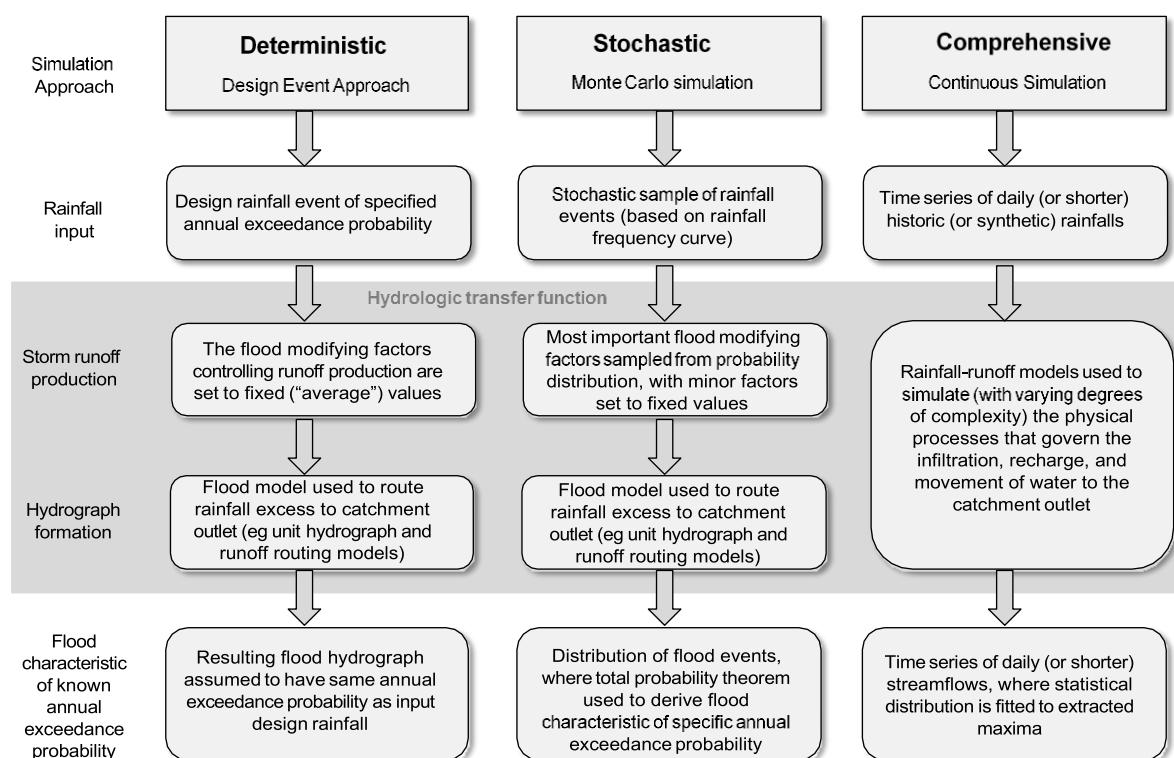
Tổng thể, các khung phương pháp được chia

thành ba nhóm chính:

(i) Phương pháp tất định (Deterministic methods),

(ii) Phương pháp ngẫu nhiên (Stochastic methods),

(iii) Phương pháp tổng hợp hoặc kết hợp (Comprehensive/Hybrid methods). Các thành phần cơ bản và mối liên hệ giữa ba nhóm phương pháp này được minh họa trong hình dưới đây.



Hình 1: Các phương pháp tiếp cận trên Thế Giới được sử dụng để ước tính lũ thiết kế

Việc lựa chọn lũ thiết kế (IDF) đã phát triển từ các tiêu chuẩn dựa trên đặc tính của đập sang các tiêu chí dựa trên hậu quả. Phân loại nguy cơ (Hazard Potential Classification) của đập hiện nay chủ yếu được xác định dựa trên hậu quả gia tăng (incremental consequences) trong trường hợp sự cố, bao gồm nguy cơ tổn thất nhân mạng (LOL), số người bị ảnh hưởng (PAR), thiệt hại kinh tế, và tác động môi trường.

5. SO SÁNH ƯU – NHƯỢC ĐIỂM

Đánh giá ưu nhược điểm hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam so với tiêu chuẩn quốc tế (chủ yếu tập trung vào nhóm phương pháp phân loại dựa trên rủi ro hoặc phân loại kết hợp). Các tiêu chí bao gồm: (i) Cách tiếp cận; (ii) Tích hợp biến đổi khí hậu; (iii) Yêu cầu dữ liệu; (iv) Mức độ phức tạp; (v) Độ an toàn; (vi) Tính thích ứng; và (vii) Chi phí thực hiện.

Bảng 4: So sánh tiêu chuẩn trong nước và quốc tế liên quan đến lũ thiết kế

Tiêu chí	Tiêu chuẩn Việt Nam	Tiêu chuẩn quốc tế
Cách tiếp cận	Định tính, tần suất cố định	Định lượng, dựa trên rủi ro
Cập nhật biến đổi khí hậu	Hạn chế	Bắt buộc tích hợp
Tần suất lũ và PMF	Phương pháp tất định	Phương pháp tất định, ngẫu nhiên, và tổng hợp.

Tiêu chí	Tiêu chuẩn Việt Nam	Tiêu chuẩn quốc tế
Yêu cầu dữ liệu	Quan trắc tại chỗ	Dữ liệu đa nguồn, liên vùng
Mức độ phức tạp	Đơn giản, dễ áp dụng	Phức tạp, yêu cầu chuyên môn cao
Độ an toàn	Cao nhưng thiếu linh hoạt	Linh hoạt, tối ưu theo rủi ro
Tính thích ứng	Thấp	Cao, cập nhật định kỳ
Chi phí thực hiện	Thấp	Cao hơn nhưng chính xác hơn

6. THẢO LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

6.1. Bất cập liên quan đến tiêu chuẩn hiện hành

Bên cạnh các sự kiện liên quan ở phần mở đầu, các nghiên cứu trong nước cũng cho thấy tiêu chuẩn thiết kế liên quan đến lũ của hồ chứa vẫn còn những điểm cần được xem xét, điều chỉnh để phù hợp hơn với điều kiện thực tế. Tác giả Vũ Đình Hùng (2007) chỉ ra rằng sự cố vỡ đập có liên quan đáng kể đến công trình xả lũ, trong đó các hư hỏng tràn chiếm khoảng 25,39%. Ngoài ra, năng lực thoát lũ của nhiều hồ chứa còn hạn chế, dẫn đến mực nước dâng vượt mức thiết kế và tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn công trình.

Bên cạnh đó, nghiên cứu của giáo sư Phạm Ngọc Quý và cộng sự (2005) về tính toán lũ vượt thiết kế và giải pháp tràn sự cố cho các hồ chứa vừa và nhỏ đã nhấn mạnh sự cần thiết phải bổ sung, cập nhật các tiêu chí thiết kế lũ trong điều kiện biến đổi khí hậu và các hình thái lũ cực đoan ngày càng gia tăng. Tiếp theo, tác giả Phạm Ngọc Quý (2008) đã đề xuất các nguyên tắc kỹ thuật hỗ trợ việc hoàn thiện tiêu chuẩn và quy định về thiết kế tràn sự cố, nhằm nâng cao mức độ an toàn cho các hồ chứa hiện có.

6.2. Sự tương đồng và khác biệt trong triết lý thiết kế

Phân tích cho thấy, phần lớn các hướng dẫn trình bày trong ICOLD 170 tiếp cận về thủy văn và an toàn đập theo triết lý dựa trên rủi ro, trong khi hệ thống tiêu chuẩn trong nước chú trọng vào tần suất cố định. Bên cạnh đó, các

thực hành quốc tế cũng đưa ra hướng dẫn cụ thể về bất định, và biến đổi khí hậu, giúp đảm bảo độ an toàn cao cho đập lớn – điều mà TCVN chưa đề cập chi tiết.

ICOLD: Rủi ro là chủ đạo. Nhấn mạnh triết lý “rủi ro là chủ đạo” và các phương pháp định lượng bất định.

TCVN: Tiêu chuẩn là chủ đạo. Dựa vào phân cấp công trình.

Phương pháp tất định (deterministic) trong tính toán lũ dựa trên một kịch bản duy nhất của các điều kiện khí tượng – thủy văn, thường sử dụng trận mưa thiết kế hoặc lượng mưa lớn nhất khả năng (PMP) làm đầu vào cho mô hình mưa – dòng chảy. Trong cách tiếp cận này, các yếu tố sinh lũ như lượng mưa, độ ẩm ban đầu, tổn thất, hay mực nước hồ được giữ cố định, nên mô hình chỉ cho một kết quả duy nhất về lũ thiết kế. Phương pháp này có ưu điểm là đơn giản và an toàn, song không phản ánh được tính biến động tự nhiên và xác suất xảy ra của các yếu tố cực trị.

Theo TCVN 13615:2022, lũ lớn nhất khả năng (PMF) được xác định từ PMP thông qua mô hình mưa – dòng chảy theo một trình tự tính toán cố định, bao gồm lựa chọn thời đoạn mưa, xác định lượng mưa PMP, xây dựng quá trình mưa, chọn mô hình diễn toán lũ, hiệu chỉnh thông số và mô phỏng thủy đồ tương ứng. Toàn bộ quá trình này chỉ xét một kịch bản duy nhất của các yếu tố đầu vào, nên bản chất vẫn là phương pháp tất định, với kết quả cuối cùng là một giá trị PMF duy nhất, không thể hiện được sự không chắc chắn hay xác suất

của các hiện tượng cực đoan.

Ngược lại, ICOLD Bulletin 170 (2015) khuyến nghị phương pháp mô phỏng ngẫu nhiên (Monte Carlo hoặc stochastic), trong đó các yếu tố sinh lũ quan trọng được xem như các biến ngẫu nhiên và được lấy mẫu từ các phân bố xác suất phù hợp. Mô hình thủy văn được chạy lặp lại nhiều lần để tạo ra phổ kết quả lũ, từ đó xây dựng đường tần suất lũ và xác định xác suất vượt hàng năm (AEP). Cách tiếp cận này cho phép đánh giá định lượng rủi ro, bất định và khả năng xuất hiện của các tổ hợp cực trị, cung cấp bức tranh toàn diện hơn về tính ngẫu nhiên của quá trình hình thành lũ so với phương pháp tần suất truyền thống.

6.3. Khuyến nghị cho tiêu chuẩn Việt Nam

Các khuyến nghị đề xuất cho hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam liên quan đến thủy văn và an toàn đập bao gồm:

- Bổ sung nội dung về phân tích rủi ro, hậu quả và an toàn công trình theo cấp độ nguy hiểm. Áp dụng phân tích hậu quả gia tăng vào quy trình thiết kế, đặc biệt cho các đập cấp cao.
- Nâng cao Phương pháp đánh giá lũ lụt cực đoan. Đề xuất nghiên cứu áp dụng các phương pháp Stochastic/Hybrid để ước tính lũ lụt với AEP rất nhỏ, vượt qua giới hạn của phương pháp truyền thống.
- Tích hợp yếu tố biến đổi khí hậu, sử dụng kịch bản mưa – lũ tương lai vào tính toán thiết kế.
- Ứng dụng mô hình thủy văn – thủy lực tiên tiến, như HEC-HMS, MIKE NAM, HEC-RAS, kết hợp phân tích xác suất cực trị.
- Xây dựng cơ sở dữ liệu thủy văn – khí hậu quốc gia, đảm bảo chia sẻ, cập nhật và đồng bộ giữa các ngành.

7. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đưa ra so sánh giữa các hướng dẫn trình bày trong ICOLD Bulletin 170 và tiêu chuẩn trong nước liên quan đến thủy văn công trình, làm rõ sự khác biệt căn bản trong

triết lý thiết kế và phạm vi áp dụng. Các quy định tại nhiều nước phát triển trên Thế Giới đặt trọng tâm vào đánh giá lũ dựa trên rủi ro và quản lý an toàn đập theo vòng đời công trình, trong khi TCVN tập trung vào phương pháp thiết kế truyền thống dựa trên tần suất xác suất và cấp công trình.

Tiêu chuẩn thủy văn công trình của Việt Nam hiện nay đã đáp ứng yêu cầu thiết kế cơ bản, nhưng vẫn mang tính truyền thống, ít tích hợp yếu tố rủi ro và biến đổi khí hậu. Trong khi đó, các tiêu chuẩn quốc tế đã phát triển mạnh theo hướng “risk-based design”, mô hình hóa hiện đại và thích ứng khí hậu.

Do đó, việc hài hòa hóa TCVN với các chuẩn quốc tế là cần thiết nhằm nâng cao tính an toàn, hiệu quả kinh tế và khả năng thích ứng của công trình thủy lợi – thủy điện trong điều kiện khí hậu ngày càng cực đoan.

Sự khác biệt lớn nhất nằm ở tính linh hoạt của lũ thiết kế (IDF). Xu hướng quốc tế đang chuyển mạnh sang thiết kế dựa trên rủi ro, cho phép điều chỉnh mức lũ thiết kế tùy theo hậu quả tiềm ẩn của sự cố đập và giá trị của công trình, không chỉ dựa trên quy mô vật lý. Đây là một điểm mà TCVN có thể kế thừa: việc tích hợp cấu trúc phân loại nguy hại dựa trên phân loại nguy cơ có thể giúp TCVN trở nên linh hoạt hơn, đặc biệt đối với các hồ chứa lớn hoặc nằm trong khu vực nhạy cảm ở hạ du.

ICOLD nhấn mạnh sự cần thiết của việc cập nhật định kỳ và đánh giá lại hồ sơ thiết kế khi điều kiện khí hậu hoặc dữ liệu quan trắc thay đổi. Cơ chế này là thiết yếu cho quản lý an toàn đập toàn vòng đời. Để đáp ứng yêu cầu này, Việt Nam cần ưu tiên xây dựng bộ dữ liệu quốc gia chi tiết.

Việc hài hòa giữa các hệ thống này, không chỉ giúp nâng cao mức độ an toàn và bền vững của các công trình đập tại Việt Nam mà còn góp phần thực hiện hiệu quả chiến lược quốc gia

về quản lý rủi ro thiên tai và thích ứng với biến đổi khí hậu. Sự đồng bộ này không chỉ tăng

cường hiệu quả kỹ thuật mà còn định vị Việt Nam gần hơn với chuẩn mực quốc tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] FEMA, Federal Guidelines for Dam Safety - Selecting and Accommodating Inflow Design Floods for Dams, 2013.
- [2] Guido Felder & Rolf Weingartner, Assessment of deterministic PMF modelling approaches, 2017.
- [3] Hoàng Ngọc Tuấn, Nghiên cứu dự báo dòng chảy lũ và xây dựng đường quá trình xả lũ về hạ du cho các hồ chứa thuộc lưu vực sông Ba tỉnh Đắk Lắk ứng với các cấp độ mưa, áp dụng điển hình cho hồ chứa nước Ea Knop huyện Ea Kar, 2017.
- [4] ICOLD Bulletin 170 – Flood Evaluation and Dam Safety.
- [5] Nguyễn Văn Lợi, Nghiên cứu nguy cơ sự cố do mưa lũ nhằm nâng cao an toàn các hồ chứa nhỏ vùng Bắc Trung Bộ, 2017.
- [6] Phạm Ngọc Quý và cộng sự, Nghiên cứu công nghệ cảnh báo, dự báo lũ và tính toán lũ vượt thiết kế ở các hồ chứa vừa và nhỏ-giải pháp tràn sự cố, 2005.
- [7] QCVN 04 05:2022/ BNNPTNT: Công trình thủy lợi – Các quy định chủ yếu về thiết kế.
- [8] TCVN 13615:2022 – Tính toán các đặc trưng thủy văn thiết kế.
- [9] USACE, Regulation No. 1110-2-1156, Safety of Dams – Policies and Procedures, 2014.