

XÁC ĐỊNH HÀNH LANG THOÁT LŨ HỢP LÝ CHO HẠ DU SÔNG EA H'LEO TRONG BỐI CẢNH BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU VÀ VẬN HÀNH HỒ CHỨA Ở THƯỢNG NGUỒN

FLOODWAY DELINEATION FOR THE LOWER EA H'LEO RIVER UNDER CLIMATE CHANGE AND UPSTREAM RESERVOIR OPERATIONS

Nguyễn Ngọc Vinh, Hồ Văn Duy, Bùi Danh Hoàng, Nguyễn Văn Lực* -

Viện Khoa học Thủy lợi miền Trung và Tây Nguyên. Email: nvluc.wr@gmail.com

Tóm tắt: Lưu vực sông Ea H'leo (tỉnh Đắk Lắk) chịu lũ lụt nghiêm trọng do tác động kép của biến đổi khí hậu (BĐKH) và vận hành hệ thống hồ chứa thượng nguồn. Bài báo trình bày phương pháp và kết quả xác định hành lang thoát lũ (HLTL) hợp lý cho hạ du sông Ea H'leo bằng mô hình thủy lực 2D (MIKE FLOOD) theo ba kịch bản: hiện trạng (KB1), quy hoạch đến 2030 với RCP 4.5 (KB2) và RCP 8.5 (KB3), tần suất thiết kế $P=10\%$. Lưu lượng lũ thiết kế trên sông Ea H'leo đạt $2.930 \text{ m}^3/\text{s}$ và sông Ea Súp $1.292 \text{ m}^3/\text{s}$ ở KB1; mực nước lũ tăng $0,30-0,60\text{m}$ dưới kịch bản RCP 8.5. HLTL được xác định theo KB1 với chiều rộng $300-1.200\text{m}$ trên 6 nhánh sông. Kết quả cung cấp cơ sở pháp lý và khoa học phục vụ quy hoạch không gian ven sông và quản lý rủi ro thiên tai tại Tây Nguyên.

Từ khóa: Hành lang thoát lũ, sông Ea H'leo, biến đổi khí hậu, hồ chứa.

Abstract: The Ea H'Leo River Basin in Dak Lak Province, Vietnam, is increasingly exposed to flood hazards due to the combined impacts of climate change and upstream reservoir operations. This study presents a methodology for floodway delineation and its application to the lower Ea H'Leo River using the two-dimensional hydrodynamic model MIKE FLOOD. Three scenarios were evaluated, including current conditions (S1), the 2030 planning scenario under RCP 4.5 (S2), and the RCP 8.5 scenario (S3), all based on a design flood with a 10% annual exceedance probability. Under S1, the design flood discharge reaches $2,930 \text{ m}^3/\text{s}$ on the Ea H'Leo River and $1,292 \text{ m}^3/\text{s}$ on the Ea Sup River, while flood water levels increase by $0.30-0.60 \text{ m}$ under the RCP 8.5 scenario. The floodway delineated under S1 has widths ranging from 300 to $1,200 \text{ m}$ along six river reaches. The results provide a scientific and regulatory basis for river corridor planning and flood risk management in the Central Highlands of Vietnam.

Keywords: Floodway, Ea H'Leo River, climate change, reservoir operation, flood risk management.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lũ lụt là thiên tai gây thiệt hại kinh tế - xã hội lớn nhất, đặc biệt tại các nước đang phát triển châu Á - Thái Bình Dương [1]. Hành lang thoát lũ (HLTL) - vùng không gian lòng sông và bãi sông được duy trì thoát lũ theo tần suất thiết kế - ngày càng được thừa nhận là công cụ quản lý lũ chủ động và bền vững hơn các biện pháp công trình đơn thuần [2], [3].

Về phương diện quốc tế, FEMA (Mỹ) đã xây dựng 5 phương pháp phân tích xâm lấn bãi sông trong HEC-RAS, trong đó phương pháp 4 và 5 được khuyến nghị cho các nghiên cứu tổng thể lưu vực [4]. Hà Lan triển khai chương trình "Room for the River" (2007), là hình mẫu của cách tiếp cận "sống chung với lũ" thay vì phòng chống triệt để [5]. Ứng dụng mô hình thủy lực 2D (MIKE FLOOD, HEC-RAS 2D) để xác định HLTL đã được khẳng định ưu thế so với mô hình 1D trong vùng bãi ngập rộng [6], [7], [8].

Tại Việt Nam, nghiên cứu HLTL tập trung ở hệ thống sông có đê vùng Bắc Bộ và sông không đê miền Trung - Tây Nguyên. Các nghiên cứu về HLTL của Hoàng Thái Bình [9] cho hạ du sông

Vu Gia - Thu Bồn hay Trần Hữu Tuyên [10] cho các lưu vực sông chính tỉnh Thừa Thiên Huế đều khẳng định vai trò của HLTL trong bối cảnh BĐKH và phát triển thủy điện ở thượng nguồn. Tuy nhiên, các lưu vực Tây Nguyên như Ea H'leo còn rất thiếu các nghiên cứu về HLTL.

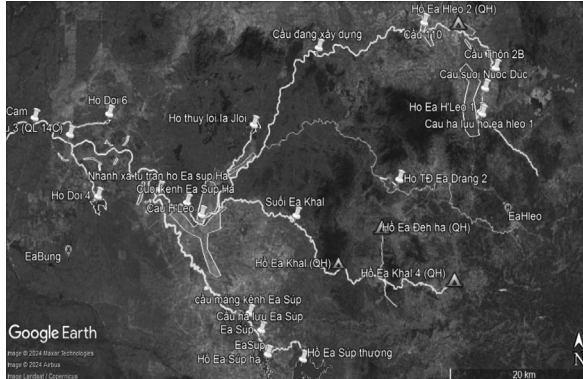
Sông Ea H'leo là phụ lưu của hệ thống sông Sêrêpôk, chảy qua huyện Ea H'leo và Ea Súp, tỉnh Đắk Lắk, đang chịu áp lực kép: hệ thống hồ chứa lớn (tổng dung tích >196 triệu m^3) vừa vận hành tạo nguy cơ xả lũ lớn, đồng thời BĐKH làm tăng mưa cực đoan ở Tây Nguyên [11]. Nghiên cứu của Tran và cộng sự năm 2023 [11] trên lưu vực Sêrêpôk chỉ ra dòng chảy lũ tăng $9,2-14,9\%$ đến cuối thế kỷ 21 dưới RCP 8.5. Bài báo này sẽ xác định HLTL hợp lý cho hạ du sông Ea H'leo bằng mô hình 2D theo các kịch bản BĐKH, phân tích tác động hệ thống hồ chứa và các công trình quy hoạch tương lai đến không gian thoát lũ.

2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ HIỆN TRẠNG LŨ LỤT

2.1. Đặc điểm lưu vực và hệ thống hồ chứa

Sông Ea H'leo bắt nguồn từ độ cao 800m trên

địa phận huyện Krông Năng, dài 143km, diện tích lưu vực 3.080km², độ dốc trung bình 6,1%. Địa hình cao (>900m) hạ nhanh xuống dưới 200m tại hạ du, tạo thời gian tập trung lũ ngắn, đỉnh lũ cao, đây là đặc trưng thủy văn nguy hiểm điển hình của lưu vực cao nguyên (Hình 1). Mưa tập trung 80-85% vào tháng 6-10. Theo kịch bản BĐKH [12], lượng mưa Tây Nguyên tăng 5-10% (RCP 4.5) và >10% (RCP 8.5) đến cuối thế kỷ.



Hình 1. Sơ đồ lưu vực sông Ea H'leo

Lưu vực có 43 hồ chứa với tổng dung tích ~196,6 triệu m³. Sáu hồ lớn trên dòng chính (Bảng 1) có tác động chi phối đến chế độ lũ hạ du. Hồ Ea Súp Thượng lớn thứ hai Tây Nguyên với dung tích hữu ích 135,9 triệu m³, khi xả lũ ứng với tần suất P=10% sẽ chiếm tới 70,8% lưu lượng lũ sông Ea Súp. Hệ số an toàn thoát lũ thực tế rất mỏng: trong trận lũ tháng 8/2022, hai hồ Ea Súp chỉ xả ở mức 6-32% lưu lượng thiết kế (tổng 23,9 triệu m³/4 ngày) đã chia cắt Quốc lộ 14C, ngập trên 4km đường. Các nghiên cứu về lưu vực Sêrêpôk [11] và Vu Gia - Thu Bồn [9] cũng chỉ ra hồ chứa bậc thang vận hành đồng loạt có thể tăng lưu lượng trung lưu tới 27,8%.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật các hồ chứa chính trên lưu vực sông Ea H'leo

Hồ chứa	Dung tích hữu ích (triệu m ³)	Qlũ xả TK (m ³ /s)	Đóng góp lũ P=10% (%)
Ea Súp Thượng	135,9	792	70,8 – sông Ea Súp
Ea Súp Hạ	7,0	173,5	7,9 – sông Ea Súp
Ea H'leo 1	24,2	637,5	16,9 – sông Ea H'leo
Hồ Đội 4	4,2	–	8,3 – sông Ea H'leo
Hồ Ya Jloi	1,7	70,4	4,3 – sông Ea H'leo
Ea Đrăng 2	1,8	663,6	Suối Ea Đrăng

2.2. Diễn biến và nguyên nhân lũ lụt

Lưu vực Ea H'leo chứng kiến xu thế lũ tăng mạnh từ sau năm 2013, với chu kỳ lũ lớn rút ngắn từ 10-15 năm (trước 2010) xuống còn 1-3 năm (2013-2025). Trận lũ lịch sử tháng 9/2013 - nghiêm trọng nhất từ năm 1990 - với lượng mưa 310,6mm/24h

kết hợp xả lũ đột ngột từ hồ Ea Đrăng đã cướp 12 sinh mạng, trôi 19 nhà, gãy 2 cầu, thiệt hại hơn 211 tỷ đồng toàn tỉnh. Đây là minh chứng điển hình của "lũ kép" (mưa tự nhiên chồng xả hồ không phối hợp). Tháng 9/2025, mực nước tại cầu sông Ea H'leo trên QL14C vượt 2,9m, cô lập hoàn toàn các xã Ia Lốp và Ia Rvê.

Bốn nguyên nhân cốt lõi tạo nên "cộng hưởng lũ" ở lưu vực này gồm: (i) Địa hình dốc, thời gian tập trung lũ ngắn; (ii) Suy thoái rừng đầu nguồn nghiêm trọng làm tăng dòng chảy mặt và rút ngắn đỉnh lũ; (iii) Xả lũ hồ chứa thiếu phối hợp, chồng lên lũ tự nhiên; và (iv) BĐKH gia tăng tần suất mưa cực đoan.

3. PHƯƠNG PHÁP VÀ DỮ LIỆU NGHIÊN CỨU

3.1. HLTL hợp lý và lựa chọn phương pháp xây dựng HLTL

HLTL là phạm vi lòng sông và bãi sông cần duy trì để tải lưu lượng lũ thiết kế mà không dâng mực nước quá ngưỡng cho phép Δh [3], [4]. HLTL "hợp lý" tích hợp hai ràng buộc: (i) Tính khả thi về kinh tế - xã hội, không quá rộng đến mức ảnh hưởng bất hợp lý đến sinh kế cộng đồng; và (ii) Bền vững khí hậu, có dư địa trước gia tăng lũ trong tương lai.

Nghiên cứu này áp dụng phương pháp 4 trong hướng dẫn của FEMA/HEC-RAS [4] trên nền mô hình thủy lực 2D (MIKE FLOOD). Phương pháp này xác định HLTL dựa trên mức gia tăng mực nước mục tiêu Δh cho phép - linh hoạt điều chỉnh phạm vi hai bên bờ theo yêu cầu bảo vệ dân cư và hạ tầng cụ thể, phù hợp hơn Phương pháp 3 (giảm cố định % diện tích mặt cắt) với địa hình bãi sông không đồng đều của lưu vực. Mô hình 2D tái hiện chính xác hướng chảy tràn và độ ngập trên bãi ngập rộng, khắc phục hạn chế của 1D. Ngưỡng thiết kế $\Delta h \leq 0,3\text{m}$ để tạo dư địa thích ứng BĐKH.

3.2. Quy trình và kịch bản tính toán HLTL

Quy trình xác định HLTL hợp lý được thực hiện theo 5 bước: (1) Thu thập dữ liệu địa hình DEM, 785 mặt cắt ngang, thủy văn, thông số hồ chứa, sử dụng đất và quy hoạch kinh tế - xã hội đến 2050; (2) Xây dựng và hiệu chỉnh mô hình MIKE FLOOD; (3) Mô phỏng lũ tần suất P=10% theo 3 kịch bản; (4) Xác định đường biên HLTL theo Phương pháp 4 của FEMA tại từng mặt cắt; và (5) Đối chiếu hiện trạng dân cư, quy hoạch, xuất bản đồ GIS và bảng mốc giới.

Ba kịch bản (KB) tính toán với tần suất P=10% gồm: KB1 - địa hình và công trình hiện trạng, không xét BĐKH bổ sung (kịch bản nền, cơ sở pháp lý HLTL); KB2 - địa hình quy hoạch tổng thể khu vực đến năm 2030 và kịch bản BĐKH RCP 4.5 (lượng mưa Tây Nguyên tăng 5-8%); KB3 - địa hình

quy hoạch tổng thể khu vực đến năm 2030 và kịch bản BĐKH RCP 8.5 (lượng mưa tăng 10-15%).

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Đặc trưng lũ thiết kế và ngập lụt theo các kịch bản

Kết quả mô phỏng thủy văn - thủy lực cho thấy lưu lượng lũ thiết kế $P = 10\%$ trên sông Ea H'leo đạt $2.930 \text{ m}^3/\text{s}$ với mực nước lũ lớn nhất $7,9 \text{ m}$, trong khi sông Ea Súp đạt $1.292 \text{ m}^3/\text{s}$ và mực nước $8,9 \text{ m}$. Hồ Ea Súp Thượng đóng góp khoảng $70,8\%$ lưu lượng lũ trên sông Ea Súp, thể hiện vai trò chi phối của công trình này đối với chế độ lũ lưu vực. Từ KB1 đến KB3, mực nước lũ trên các nhánh sông tăng từ $0,30\text{--}0,60 \text{ m}$, trong đó mức tăng lớn nhất ghi nhận trên sông Ea Súp (Bảng 2). Mặc dù không lớn tại từng vị trí, sự gia tăng này có thể làm mở rộng đáng kể phạm vi ngập trên các vùng địa hình thấp và bằng phẳng ở hạ lưu.

Bảng 2. Lưu lượng và mực nước lũ thiết kế $P=10\%$ theo các kịch bản

Nhánh sông	Q10%-KB1 (m^3/s)	Zmax-KB1 (m)	ΔZ KB2-KB1 (m)	ΔZ KB3-KB1 (m)
Sông Ea H'leo	2.930	7,9	$+0,15 \div 0,25$	$+0,30 \div 0,45$
Sông Ea Súp	1.292	8,9	$+0,20 \div 0,35$	$+0,40 \div 0,60$
Suối Ea Khal	226	5,86	$+0,10 \div 0,20$	$+0,20 \div 0,35$
Suối Ea Đrăng	507	3,5	$+0,15 \div 0,25$	$+0,25 \div 0,40$

Ngập lụt tập trung chủ yếu tại huyện Ea Súp, chiếm hơn 70% tổng diện tích ngập của lưu vực, đặc biệt tại các xã ven sông Ea Súp như Cư M'lan, Ea Bung, Ia Lốp và Ia Rvê. Diện tích ngập gia tăng từ KB1 đến KB3 do tác động đồng thời của biến đổi khí hậu làm tăng lưu lượng lũ và sự thay đổi địa hình do phát triển hạ tầng. Các khu vực ngập sâu trên 2 m chủ yếu phân bố dọc lòng dẫn và bãi ngập ven sông Ea Súp, trong khi vùng ngập $0,5\text{--}1,5 \text{ m}$ trải rộng trên đất nông nghiệp. Đáng chú ý, KB3 làm tăng đáng kể diện tích ngập sâu $1\text{--}2 \text{ m}$ so với KB1, cho thấy xu hướng gia tăng rủi ro đối với khu dân cư và hệ thống giao thông nông thôn trong tương lai.

4.2. Ảnh hưởng của hệ thống hồ chứa đến thoát lũ hạ du

Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống hồ chứa thượng nguồn có tác động hai mặt đến chế độ lũ hạ du. Trong điều kiện còn dung tích phòng lũ, các hồ có khả năng cắt giảm đỉnh lũ đáng kể. Điển hình, hồ Ea H'leo 1 có thể giảm khoảng $15\text{--}20\%$ lưu lượng đỉnh lũ trên sông Ea H'leo. Ngược lại, khi hồ đã đầy và phải vận hành xả lũ theo thiết kế, lưu lượng tổng hợp xuống hạ du có thể vượt mức tự nhiên, làm gia tăng nguy cơ ngập lụt. Mô phỏng

cho thấy hồ Ea Súp Thượng trong điều kiện xả lũ thiết kế làm mực nước đỉnh lũ hạ lưu sông Ea Súp tăng khoảng $0,4\text{--}0,8 \text{ m}$ so với trường hợp không có hồ chứa. Kết quả này cho thấy vai trò quan trọng của quy trình vận hành hồ trong kiểm soát rủi ro ngập lụt và phù hợp với các nghiên cứu trước đây về tác động của hệ thống hồ chứa bậc thang đối với chế độ lũ ở miền Trung và Tây Nguyên.

5. XÁC ĐỊNH HÀNH LANG THOÁT LŨ HỢP LÝ

5.1. Lựa chọn kịch bản thiết kế và kết quả xác định HLTL

Trên cơ sở phân tích các kịch bản mô phỏng, nghiên cứu lựa chọn KB1 (địa hình hiện trạng, lũ thiết kế $P = 10\%$) làm cơ sở xác định hành lang thoát lũ cho lưu vực nghiên cứu, với ngưỡng dâng mực nước cho phép $\Delta h \leq 0,3 \text{ m}$. Lựa chọn này phù hợp với điều kiện hiện trạng và khung pháp lý hiện hành, đồng thời bảo đảm tính khả thi về kinh tế - xã hội do tránh mở rộng quá mức phạm vi HLTL. Việc áp dụng ngưỡng $\Delta h = 0,3 \text{ m}$ cũng tạo dư địa thích ứng với các biến động lũ trong tương lai và tương đồng với cách tiếp cận được sử dụng trong nghiên cứu HLTL lưu vực Vu Gia - Thu Bồn [13] cũng như các hướng dẫn kỹ thuật của FEMA [3].

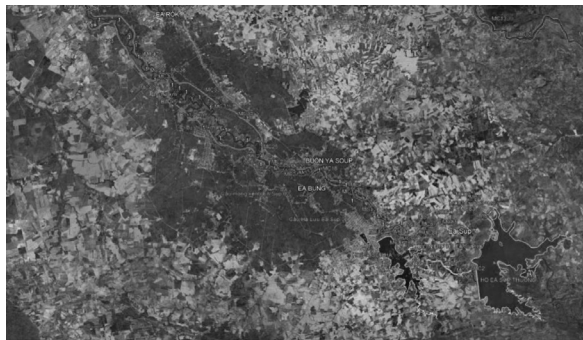
Kết quả xác định HLTL cho sáu nhánh sông chính cho thấy chiều rộng hành lang biến đổi đáng kể theo điều kiện địa hình và đặc trưng ngập lụt của từng đoạn sông. Trên sông Ea H'leo, HLTL dao động từ $300\text{--}700 \text{ m}$ ở thượng - trung lưu và mở rộng đến $600\text{--}1.200 \text{ m}$ ở hạ lưu do địa hình bằng phẳng và bãi ngập rộng. Đối với sông Ea Súp, chiều rộng HLTL đạt $300\text{--}800 \text{ m}$ ở thượng lưu và $400\text{--}1.000 \text{ m}$ ở hạ lưu, là khu vực có nguy cơ ngập lụt lớn nhất lưu vực. Các suối Ea Khal, Ea Del Hạ và Ea Đrăng có HLTL hẹp hơn, dao động từ $160\text{--}500 \text{ m}$ (Bảng 3). Sự gia tăng đáng kể chiều rộng HLTL ở các vùng hạ lưu phản ánh vai trò của các bãi ngập tự nhiên trong việc truyền tải và phân tán dòng lũ. Kết quả này lớn hơn so với nhiều nghiên cứu HLTL trên các sông miền Trung có địa hình thung lũng hẹp,



Hình 2. Bản đồ HLTL KB1 trên sông Ea H'leo

Bảng 3. Chiều rộng HLTL hợp lý tại các đoạn sông đặc trưng (KB1, P=10%)

Nhánh sông	Đoạn	Bờ trái (m)	Bờ phải (m)	Tổng chiều rộng HLTL (m)
Ea H'leo	Thượng - trung lưu	150-350	150-350	300-700
Ea H'leo	Hạ lưu (biên giới)	300-600	300-600	600-1.200
Ea Súp Thượng	Toàn tuyến	150-400	150-400	300-800
Ea Súp Hạ	Toàn tuyến	200-500	200-500	400-1.000
Ea Khal và Ea Del Hạ	Toàn tuyến	80-200	80-200	160-400
Ea Đăng	Toàn tuyến	100-250	100-250	200-500

**Hình 3. Bản đồ HLTL KB1 trên sông Ea Súp**

nhưng tương đồng với HLTL vùng đồng bằng hạ du sông Vu Gia – Thu Bồn [9], cho thấy đặc trưng chung của các lưu vực Tây Nguyên và ven đồng bằng chưa được đề hóa, nơi dòng lũ lan truyền trên các bãi ngập rộng trong mùa lũ.

5.2. Tác động của phát triển hồ chứa và biến đổi khí hậu đến hành lang thoát lũ

Kết quả nghiên cứu cho thấy sự phát triển các công trình thủy lợi, thủy điện theo quy hoạch có thể tác động theo hai hướng đến khả năng thoát lũ của lưu vực. Một mặt, các hồ chứa mới có thể góp phần giảm đỉnh lũ nếu được bố trí dung tích phòng lũ hợp lý và vận hành liên hồ hiệu quả. Nghiên cứu của Shrestha và cộng sự [12] trên lưu vực Sêrêpôk cho thấy các hồ chứa quy mô lớn có thể cắt giảm 15-25% lưu lượng đỉnh lũ. Mặt khác, nếu các hồ chứa vận hành xả lũ đồng thời hoặc thiếu sự phối hợp, nguy cơ gia tăng ngập lụt hạ du là đáng kể. Kinh nghiệm tại lưu vực Vu Gia - Thu Bồn cho thấy hệ thống hồ chứa bậc thang có thể làm tăng lưu lượng trung lưu tới 27,8% trong điều kiện xả lũ đồng thời [13]. Đối với lưu vực Ea H'leo, hồ Ea Súp Thượng hiện đã đóng góp tới 70,8% lưu lượng lũ trên sông Ea Súp, cho thấy yêu cầu cấp thiết về quy trình vận hành liên hồ đồng bộ trong tương lai.

Phân tích độ nhạy cho thấy khi lưu lượng lũ

thiết kế tăng thêm 10–15%, tương ứng với các kịch bản biến đổi khí hậu đến giữa thế kỷ XXI, chiều rộng HLTL cần mở rộng thêm khoảng 8–12% để duy trì ngưỡng dâng mực nước cho phép $\Delta h \leq 0,3$ m. Tốc độ mở rộng HLTL từ KB2 đến KB3 lớn hơn đáng kể so với từ KB1 đến KB2, phản ánh mối quan hệ phi tuyến giữa lưu lượng lũ và không gian thoát lũ trên địa hình bãi ngập. Kết quả này cho thấy các kịch bản khí hậu cực đoan có thể tạo áp lực ngày càng lớn lên quỹ đất dành cho thoát lũ.

Từ các kết quả trên, nghiên cứu đề xuất xác lập HLTL dựa trên kịch bản hiện trạng (KB1), đồng thời dự phòng quỹ đất mở rộng hành lang trong tương lai nhằm thích ứng với biến đổi khí hậu và sự phát triển của hệ thống hồ chứa. Bên cạnh đó, việc vận hành liên hồ chứa và cập nhật định kỳ ranh giới HLTL là những giải pháp cần thiết để duy trì hiệu quả thoát lũ và giảm thiểu rủi ro ngập lụt trong dài hạn.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xác định được hành lang thoát lũ hợp lý cho toàn bộ hệ thống sông Ea H'leo theo kịch bản hiện trạng (KB1, P=10%, $\Delta h \leq 0,3$ m), với chiều rộng dao động 300-1.200m trên 6 nhánh sông. Mô hình thủy lực 2D cho thấy lưu lượng lũ thiết kế đạt $2.930 \text{ m}^3/\text{s}$ trên dòng chính và $1.292 \text{ m}^3/\text{s}$ trên sông Ea Súp. Trong đó hồ Ea Súp Thượng chiếm tới 70,8% lưu lượng lũ sông Ea Súp.

Biến đổi khí hậu làm tăng mực nước lũ 0,15-0,35m (RCP 4.5) và 0,30-0,60m (RCP 8.5) so với hiện trạng, kéo theo mở rộng diện tích ngập 10-25% trên địa hình bãi ngập bằng phẳng ở hạ du. Việc chọn ngưỡng $\Delta h = 0,3$ m đã tích hợp sẵn dự địa thích ứng tương đương kịch bản RCP 4.5 đến giữa thế kỷ. Đây là căn cứ để HLTL theo KB1 vừa khả thi về kinh tế - xã hội trong giai đoạn trước mắt, vừa bền vững về dài hạn.

Kết quả phân tích độ nhạy và đối chiếu kinh nghiệm từ các lưu vực tương tự khẳng định: các công trình hồ chứa quy hoạch tương lai chỉ phát huy hiệu quả cắt lũ khi đi kèm quy trình vận hành liên hồ đồng bộ; thiếu điều kiện đó, nguy cơ xả đồng loạt sẽ vô hiệu hóa HLTL hiện tại. □

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài khoa học công nghệ tỉnh Đắk Lắk "Nghiên cứu xác định hành lang thoát lũ hợp lý cho khu vực hạ du sông Ea H'leo khi có các công trình thủy lợi, thủy điện lớn ở thượng nguồn đi vào hoạt động và phù hợp với quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội tới năm 2050". Các tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ này.

Xem tiếp trang 87

- [4] H.H. Zhu, D.Y. Wang, B. Shi, X. Wang và G.Q. Wei, 2022. Performance monitoring of a curved shield tunnel during adjacent excavations using a fiber optic nervous sensing system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 124, p. 104483.
- [5] X. Zhang và W. Broere, 2023. Monitoring of Tidal Variation and Temperature Change-Induced Movements of an Immersed Tunnel Using Distributed Optical Fiber Sensors (DOFSs)," *Structural Control and Health Monitoring*, vol. 2023, p. 2419495.
- [6] X. Zhang và W. Broere, 2022. Sensing Fiber Selection for Point Displacement Measuring with Distributed Optic Fiber Sensor. *Measurement*, vol. 197, p. 111275.
- [7] Đại học Giao thông Vận tải, 2026. Trustworthy Cyber-Physical Edge-SHM Architecture for Operational Underground Tunnel Crack Monitoring Under Resource-Constrained Conditions. *Journal of Visualized Experiments*.
- [8] K. Glab, G. Wehmeyer, M. Thewes và W. Broere, 2024. Predictive Machine Learning in Earth Pressure Balanced Tunnelling for Main Drive Torque Estimation of Tunnel Boring Machines. *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 146.
- [9] C.Y. Gue, M. Wilcock, M.M. Alhaddad, M.Z.E.B. Elshafie, K. Soga và R.J. Mair, 2015. The monitoring of an existing cast iron tunnel with distributed fibre optic sensing (DFOS)," *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, vol. 5, pp. 573-586, 2015.
- [10] H.H. Zhu, D.Y. Wang, B. Shi, X. Wang và G.Q. Wei, 2022. Performance monitoring of a curved shield tunnel during adjacent excavations using a fiber optic nervous sensing system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 124, p. 104483.
- [11] V. Di Murro, L. Pelecanos, K. Soga, C. Kechavarzi, R.F. Morton và L. Scibile, 2019. Long-term deformation monitoring of CERN concrete-lined tunnels using distributed fibre-optic sensing. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, vol. 50, no. 2, pp. 1-7.
- [12] Nguyễn Duyên Phong, Nông Thị Thanh Huyền và Ưông Quang Tuyến, 2025. Ứng dụng công nghệ IoT để giám sát chuyển vị của thân đập nhà máy thủy điện: kinh nghiệm quốc tế và định hướng phát triển tại Việt Nam", *Tạp chí Người Xây dựng*, số 408, tr. 40-54.

XÁC ĐỊNH HÀNH LANG THOÁT LŨ HỢP LÝ CHO HẠ DU SÔNG EA H'LEO...

Tiếp theo trang 80

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] UNISDR. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Geneva, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015.
- [2] P. J. Ward, B. Jongman, J. C. J. H. Aerts, P. D. Bates, W. J. W. Botzen, A. Diaz Loaiza, S. Hallegatte, J. M. Kind, J. Kwadijk, P. Scussolini, and H. C. Winsemius. A global framework for future costs and benefits of river-flood protection in urban areas. *Nature Climate Change*, vol. 7, no. 9, pp. 642-646, Sep. 2017. doi: 10.1038/nclimate3350.
- [3] FEMA. Flood Insurance Study Guidelines and Specifications for Study Contractors. Federal Emergency Management Agency, 2021.
- [4] US Army. HEC-RAS User's Manual. US Army Corps of Engineers, 2023. Accessed: Oct. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasum/latest>
- [5] F. Klijn, K. M. de Bruijn, J. Knoop, and J. Kwadijk. Assessment of the Netherlands' Flood Risk Management Policy Under Global Change. *Ambio*, vol. 41, no. 2, pp. 180-192, Mar. 2012. doi: 10.1007/s13280-011-0193-x.
- [6] M. S. Tehrany, B. Pradhan, and M. N. Jebur. Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 29, no. 4, pp. 1149-1165, May 2015. doi: 10.1007/s00477-015-1021-9.
- [7] H. D. Nguyen, D. Fox, D. K. Dang, L. T. Pham, Q. V. Viet Du, T. H. T. Nguyen, T. N. Dang, V. T. Tran, P. L. Vu, Q.-H. Nguyen, T. G. Nguyen, Q.-T. Bui, and A.-I. Petrisor. Predicting Future Urban Flood Risk Using Land Change and Hydraulic Modeling in a River Watershed in the Central Province of Vietnam. *Remote Sensing*, vol. 13, no. 2, p. 262, Jan. 2021. doi: 10.3390/rs13020262.
- [8] L. A. Tuan, C. T. Van, D. V. Binh, S. A. Kantoush, T. Sumi, L. V. Quyen, and T. T. Huong. Flood modeling in the Ba River basin using a coupled hydrodynamic model - MIKE FLOOD. *River*, vol. 3, no. 2, pp. 199-207, 2024. doi: 10.1002/rvr2.82.
- [9] Hoàng Thái Bình. Xác định hành lang thoát lũ trên sông vùng hạ du Vu Gia - Thu Bồn (thuộc thành phố Đà Nẵng) khi hệ thống công trình thủy điện ở thượng du đi vào vận hành trong bối cảnh BĐKH. Báo cáo tổng kết đề tài VAST. NĐP.12/15-16, 2017.
- [10] Trần Hữu Tuyên. Nghiên cứu đánh giá diễn biến lũ và tính toán xác định hành lang thoát lũ hạ lưu trên hệ thống các sông chính thuộc địa bàn tỉnh Thừa Thiên Huế. Thừa Thiên Huế, Báo cáo tổng kết đề tài, 2023.
- [11] T. N. D. Tran, B. Nguyen, M. Grodzka-Lukaszewska, G. Sinicyn, and V. Lakshmi. The role of reservoirs under the impacts of climate change on the Srepok River basin, Central Highlands of Vietnam. *Frontiers in Environmental Science*, vol. 11, Nov. 2023. doi: 10.3389/fenvs.2023.1304845.
- [12] S. Shrestha, Tran Viet Bach, and V. P. Pandey. Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. *Environmental Science & Policy*, vol. 61, no. C, pp. 1-13, 2016.
- [13] Nguyen Quang Binh, S. A. Kantoush, M. Saber, Doan Van Binh, Vo Ngoc Duong, and T. Sumi. Quantifying the impacts of hydraulic infrastructure on tropical streamflows. *Hydrological Processes*, vol. 37, no. 3, p. e14834, 2023. doi: 10.1002/hyp.14834.
- [14] Thủ tướng Chính phủ. Quy hoạch tỉnh Đắk Lắk thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Quyết định số 72/QĐ-TTg ngày 17/01/2023.