ỨNG DỤNG ĐƯỜNG CONG RỦI RO TRONG QUẢN LÝ THIÊN TAI LŨ LỤT CHO KHU VỰC NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH HẠ LƯU SÔNG VŨ GIA-THU BỒN

Phạm Hồng Nga
Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: *Đánh giá rủi ro do lũ lụt tại hạ lưu sông Vũ Gia – Thu Bồn hiện là một nhiệm vụ trọng điểm và cấp bách nhằm bảo vệ an toàn cộng đồng trước những diễn biến thiên tai ngày càng phức tạp tại miền Trung Việt Nam. Nghiên cứu thực hiện đánh giá rủi ro lũ lụt đối với an toàn cộng đồng thông qua việc xây dựng đường cong rủi ro lũ lụt và xác định chỉ số tổn thất trung bình hàng năm (AAL). Công thức Penning-Rowsell cải tiến được áp dụng để phân tích tổn thất trực tiếp và gián tiếp đến con người tại vùng hạ lưu sông Vũ Gia – Thu Bồn, thuộc địa bàn thị xã Điện Bàn, tỉnh Quảng Nam (cũ). Bằng cách tích hợp mô hình thủy động lực học, dữ liệu ảnh vệ tinh và khảo sát thực địa, bốn kịch bản ngập lụt với xác suất vượt ngưỡng (10%, 5%, 2% và 1%) đã được mô phỏng chi tiết. Kết quả thực nghiệm cho thấy mức độ rủi ro đối với cộng đồng gia tăng phi tuyến tính và đặc biệt nghiêm trọng trong các kịch bản lũ tần suất thấp. Các chỉ số rủi ro bán định lượng được xác lập trong nghiên cứu này cung cấp luận cứ khoa học quan trọng, hỗ trợ các cơ quan quản lý trong việc hoạch định chính sách phòng chống thiên tai và xây dựng các phương án ứng phó chiến lược dài hạn tại địa phương.*
Từ khóa: *Tính dễ tổn thương xã hội, đường cong rủi ro lũ lụt, rủi ro lũ lụt trung bình hàng năm, tổn hại gián tiếp.*

Summary: *Assessing flood risks in the downstream Vu Gia – Thu Bon river basin is a critical and urgent task to ensure community safety against increasingly complex natural disasters in Central Vietnam. This study evaluates flood risks to public safety by constructing flood risk curves and determining the Average Annual Loss (AAL) index. An improved Penning-Rowsell formula is applied to analyze both direct and indirect impacts on human in the downstream area of the Vu Gia – Thu Bon river, specifically within Dien Ban town, Quang Nam province. By integrating hydrodynamic modeling, satellite imagery, and field surveys, four flood scenarios with exceedance probabilities of 10%, 5%, 2%, and 1% were comprehensively simulated. The empirical results indicate that risk levels to the community increase non-linearly and become particularly severe during low-frequency flood events. The semi-quantitative risk indices established in this study provide crucial scientific evidence, supporting authorities in natural disaster prevention policy-making and the formulation of long-term strategic response plans at the local level.*
Keywords: *Social vulnerability, flood risk curve, annual flood risk, indirect loss.*

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Việt Nam nằm trong khu vực ổ bão Tây Thái Bình Dương hoạt động mạnh mẽ nhất trên thế giới, do đó luôn thuộc nhóm mười quốc gia chịu ảnh hưởng nặng nề nhất bởi thiên tai bão và lũ lụt [1]. Dưới tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH), các hiện tượng thời tiết cực đoan đang diễn ra với tần suất dày đặc hơn, diễn biến bất thường và mức độ khốc liệt ngày càng gia tăng. Điều này đặt ra những thách thức lớn

Ngày nhận bài: 08/4/2026
Ngày thông qua phản biện: 14/5/2026
Ngày duyệt đăng: 02/6/2026

và đe dọa nghiêm trọng đến tính mạng, tài sản của cộng đồng, đặc biệt là các nhóm đối tượng dễ bị tổn thương trong xã hội. Số liệu thống kê giai đoạn 1990–2025 cho thấy, Việt Nam có gần 9.000 trường hợp tử vong do thiên tai [2]. Trong đó, báo cáo của Cơ quan Hợp tác Quốc tế Nhật Bản (JICA) ước tính có đến gần 50% số ca tử vong bắt nguồn từ nguyên nhân mưa lớn và ngập lụt [3]. Không chỉ tổn thất về người, thiệt hại về kinh tế cũng là gánh nặng lớn; theo Chương trình Phát triển Liên Hợp Quốc (UNDP), nguồn lực hiện tại của Việt Nam mới chỉ bù đắp được khoảng 30% thiệt hại do thiên tai và BĐKH gây ra. Khoảng trống rủi ro 70% còn lại chủ yếu nằm ở các tổn thất gián tiếp – nguyên nhân chính khiến quá trình phục hồi và tái thiết sau lũ bị kéo dài [4].

Xuất phát từ thực trạng trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đề xuất một phương pháp luận tổng hợp để phân tích, đánh giá các yếu tố trực tiếp và gián tiếp làm gia tăng mức độ dễ bị tổn thương của cộng đồng. Trên cơ sở đó, nghiên cứu tiến hành xây dựng đường cong rủi ro lũ lụt (Flood Risk Curve) và tính toán rủi ro lũ lụt trung bình hàng năm cho ba chỉ số an toàn cộng đồng cốt lõi, bao gồm: tỷ lệ người dân có nguy cơ bị ảnh hưởng bởi lũ lụt, số người bị thương, và số người tử vong.

Thị xã Điện Bàn (cũ) – khu vực hạ lưu lưu vực sông Vũ Gia – Thu Bồn (VG–TB) – được lựa chọn làm địa bàn nghiên cứu thí điểm. Đây là một trong những lưu vực sông lớn và quan trọng nhất miền Trung Việt Nam. Do đặc điểm địa hình dốc kết hợp với khí hậu nhiệt đới gió mùa, lưu vực sông VG-TB là vùng có lượng mưa lớn bậc nhất cả nước. Hệ quả là tài nguyên nước tại đây rất dồi dào tạo sinh kế nông – ngư nghiệp cho 70–80% dân số toàn vùng. Tuy nhiên, lưu vực này cũng là một trong những "rốn lũ" khốc liệt nhất, thường xuyên gánh chịu ngập lụt diện rộng vào mùa mưa bão, gây rủi ro cao cho an toàn cộng đồng [5].

Về điều kiện kinh tế xã hội, hạ lưu VG-TB là khu vực đông dân cư với mật độ lên tới 1.000 người/km^2. Thị xã Điện Bàn có dân số hơn 190.000 người. Từ khi trở thành đô thị loại 3 năm 2015, sản xuất kinh doanh phát triển nhanh chóng, thường ở mức 10-12%/năm [6]. Tuy nhiên, do các hoạt động kinh tế chính gồm nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản, đánh bắt cá và du lịch, đều phụ thuộc nhiều vào tài nguyên thiên nhiên và chịu ảnh hưởng mạnh mẽ bởi điều kiện tự nhiên, do đó rất dễ bị tổn thương trước các thảm họa thiên nhiên.

Các nội dung cốt lõi được trình bày trong bài báo này bao gồm: mô phỏng phạm vi ngập lụt tương ứng với bốn kịch bản lũ có xác suất vượt ngưỡng lần lượt là 10%, 5%, 2% và 1% (tương đương với các sự kiện có chu kỳ lặp lại là 10 năm, 20 năm, 50 năm và 100 năm); đồng thời phân tích rủi ro xã hội đối với các tần suất tương ứng. Trong bối cảnh nguồn dữ liệu và thông tin về hậu quả của lũ lụt đối với an toàn con người tại Việt Nam còn rất hạn chế và thiếu tính đồng bộ, phương pháp luận và kết quả của nghiên cứu này sẽ đóng góp một công cụ hữu ích cho công tác quản lý thiên tai. Nghiên cứu không chỉ giúp định lượng số lượng người dân đối mặt với hiểm họa và dự báo các thương vong tiềm tàng hàng năm, mà còn cung cấp cơ sở khoa học tin cậy giúp các nhà hoạch định chính sách và cộng đồng địa phương chủ động xây dựng chiến lược quản lý rủi ro thiên tai và kế hoạch hành động hàng năm một cách hiệu quả.

2. PHƯƠNG PHÁP LUẬN

Dựa trên khái niệm cơ bản "*Rủi ro thiên tai (R) là hàm số của Hiểm họa (H) và Tính dễ bị tổn thương (V)* (bao gồm các yếu tố phơi nhiễm, đặc điểm kinh tế – xã hội, và năng lực thích ứng), nghiên cứu này xây dựng một khung phương pháp luận tích hợp kết hợp giữa kết quả mô phỏng thủy động lực học, khảo sát thực địa, phân tích không gian (GIS), và công thức thực nghiệm Penning-Rowsell cải tiến [7] nhằm định lượng rủi ro lũ lụt thành phần cho

từng chỉ số an toàn cộng đồng cũng như rủi ro lũ lụt trung bình năm (EAR).

Nghiên cứu kế thừa kết quả mô phỏng ngập lụt vùng hạ lưu sông VG–TB từ các mô hình MIKE NAM và MIKE 11 đã được công bố và kiểm định trong [8]. Do đó, trọng tâm của phần phương pháp luận này là thiết lập quy trình phân tích Tính dễ bị tổn thương thông qua 3 bước chính sau:

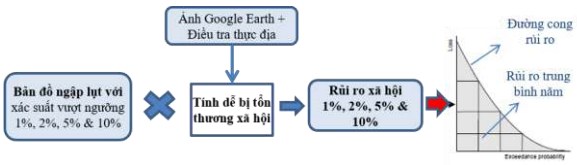
Bước 1: Lựa chọn chỉ số đánh giá rủi ro an toàn cộng đồng

Để đánh giá toàn diện các tác động của hiểm họa lũ lụt đến an toàn cộng đồng, nghiên cứu lựa chọn 03 chỉ số định lượng chính: (1) Số người dân phơi nhiễm trực tiếp với hiểm họa ngập lụt, (2) Số người có nguy cơ bị thương và (3) Số người có nguy cơ tử vong.

Bước 2: Mức độ dễ bị tổn thương xã hội

1. Các yếu tố giã tăng tính dễ bị tổn thương:

Tính dễ bị tổn thương được định nghĩa là "các đặc điểm và hoàn cảnh của một cộng đồng, hệ thống hoặc tài sản khiến nó dễ bị ảnh hưởng bởi các tác động gây hại của một mối nguy hiểm" [7]. Trong nghiên cứu này, thay vì tiếp cận toàn diện cả 4 khía cạnh (vật chất, kinh tế, xã hội và môi trường), tác giả tập trung chuyên sâu vào tính dễ bị tổn thương xã hội – cụ thể là quy mô dân số tiếp xúc với hiểm họa và tỷ lệ thương vong tiềm tàng tại thị xã Điện Bàn. Đây là vùng đồng bằng ngập lũ điển hình ở hạ lưu lưu vực VG–TB nên người dân địa phương có năng lực thích ứng bản địa (như kinh nghiệm thu hoạch nông sản sớm, tôn cao nền nhà, xây gác lửng chống lũ...). Tuy nhiên, các biện pháp này chủ yếu ứng phó với tổn thất trực tiếp. Cộng đồng vẫn thiếu hụt các giải pháp giảm thiểu tổn thất gián tiếp và chưa có một kế hoạch quản lý rủi ro thiên tai mang tính chiến lược dài hạn [4][7]. Nhằm làm rõ cả hai khía cạnh trực tiếp (hữu hình) và gián tiếp (vô hình), nghiên cứu áp dụng phương pháp tích hợp: khảo sát thực địa, tham vấn cộng đồng, phân tích không gian, kết hợp hiệu chỉnh công thức thực nghiệm Penning-Rowsell để phù hợp với bối cảnh thực tế địa phương.



Hình 1: Sơ đồ phương pháp luận

Một trong các yếu tố gia tăng tính dễ bị tổn thương là mức độ phơi nhiễm với hiểm họa thiên tai. Quá trình phân tích phơi nhiễm được thực hiện dựa trên hai nguồn dữ liệu đầu vào:

- Bản đồ hiểm họa ngập lụt: Để xây dựng đường cong rủi ro đạt độ chính xác cao, các nghiên cứu công trình thường yêu cầu từ 4–6 kịch bản tần suất, bao gồm cả các kịch bản lũ cực đoan với xác suất rất thấp (0.01%, 0.005%,...) [9]. Tuy nhiên, do nghiên cứu này hướng đến mục tiêu quản lý lũ lụt định kỳ hàng năm phục vụ cộng đồng, 04 kịch bản lũ với xác suất vượt ngưỡng 10%, 5%, 2% và 1% đã được lựa chọn.
- Bản đồ phân bố dân cư: Quy mô và mật độ dân số được giải đoán từ ảnh vệ tinh Google Earth, kết hợp hiệu chỉnh và kiểm định thông qua dữ liệu khảo sát thực địa.

2. Khung phân tích an toàn cộng đồng bằng phương pháp Penning-Rowsell cải tiến:

Phương pháp Penning-Rowsell phân tích rủi ro dựa trên sự tương tác giữa đặc tính của hiểm họa và đặc điểm của đối tượng phơi nhiễm thông qua các phương trình (1), (2), (3) và (4) trong Hình 2 [9]. Số người có nguy cơ bị thương hoặc tử vong trong một sự kiện lũ lụt đơn lẻ, ký hiệu là N(I), được xác định là một hàm số của tổng dân số trong vùng ngập lũ (N), số người có nguy cơ phơi nhiễm trực tiếp với lũ (X), và tỷ lệ người dễ bị tổn thương trong khu vực bị ảnh hưởng (Y).

- Số người dân phơi nhiễm trực tiếp (X): Được tính toán dựa trên chỉ số mức độ hiểm họa (HR) và chỉ số tổn thương khu vực (AV).

Trong đó, HR là hàm số của vận tốc dòng chảy lũ v (m/s), độ sâu ngập d (m), và hệ số bùn đá/vật cản DF (thang đo từ 0: không có, 1: trung bình, đến 2: nghiêm trọng gây mất an toàn).

- Tỷ lệ đối tượng dễ bị tổn thương (Y): gồm 3 nhóm chính: người cao tuổi (75 tuổi), trẻ em (dưới 6 tuổi), và người khuyết tật.
- Số người tử vong (N(D)): Được ước tính thông qua mối tương quan giữa số người bị thương N(I) và chỉ số mức độ hiểm họa HR. Chi tiết các hệ phương trình toán học quy đổi được thể hiện trong Hình 2.

$$N(I) = N * X * Y \quad (1)$$
$$X = HR * AV \quad (2)$$
$$HR = (v + 1.5) * d + D \quad (3)$$
$$\mathbf{N(D) = N(I) * 2*HR} \quad (4)$$

Hình 2: Tổng hợp các phương trình tính toán rủi ro xã hội theo Penning-Rowsel [7]

Điểm mới mang tính cốt lõi của nghiên cứu này là việc tái cấu trúc cấu phần Y (tỷ lệ đối tượng tổn thương) và chỉ số AV (tổn thương khu vực) bằng cách lồng ghép các yếu tố tổn thương gián tiếp đặc thù của vùng nông thôn thuộc các quốc gia đang phát triển, cụ thể hóa cho trường hợp thị xã Điện Bàn.

Bước 3: Thiết lập Đường cong rủi ro và tính toán Rủi ro lũ lụt trung bình hàng năm (EAD)

Rủi ro được định nghĩa là tổn thất có thể xảy ra trong tương lai, biểu diễn dưới dạng tích của Hiểm họa và Tính dễ bị tổn thương (R = H*V). Trong đó, Hiểm họa (H) là tập hợp các kịch bản ngập lụt tương ứng với các tần suất đã chọn. Quy trình định lượng chi tiết rủi ro xã hội được trình bày cụ thể tại Phần 3.

Từ kết quả định lượng tổn thất của từng kịch bản, Đường cong rủi ro lũ lụt được thiết lập dưới dạng đồ thị thể hiện mối tương quan giữa mức độ thiệt hại (trục tung) và xác suất vượt ngưỡng của kịch bản hiểm họa tương ứng (trục hoành). Bước cuối cùng trong tiến trình phân tích là xác định chỉ số Rủi ro trung bình hàng năm – chỉ số này được tính toán bằng cách tích phân toán học diện tích phía dưới Đường cong rủi ro (Hình 1) [10].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Kết quả mô phỏng

Trong nghiên cứu này, dữ liệu mô phỏng ngập lụt tại khu vực hạ lưu lưu vực sông VG-TB được kế thừa từ các kịch bản lũ lụt ứng với các tần suất xuất hiện 10%, 5%, 2% và 1% đã được công bố trong tài liệu [8]. Quy trình phân loại cấp độ ngập lụt từ kết quả mô phỏng được thực hiện dựa trên việc đánh giá đồng thời hai yếu tố: mức độ tổn thất về tài sản và nguy cơ đe dọa an toàn tính mạng của người dân. Trên cơ sở kết hợp giữa kết quả mô phỏng kỹ thuật, hoạt động khảo sát thực địa và tham vấn cộng đồng về các sự kiện lũ lụt lịch sử tại địa phương, bản đồ ngập lụt của khu vực nghiên cứu được chuẩn hóa và chia thành 5 cấp độ, gồm: (1) <0,5m; (2) 0,5-1,0m; (3) 1,0-2,0m; (4) 2,0 - 3,0m và (5) >3,0m (Bảng 1).

Bảng 1: Mức độ mất an toàn theo cấp ngập lụt

Cấp ngập	Độ sâu ngập	Phân tích sơ bộ tác động đến an toàn của người dân
1	<0,5m	Mức ngập đến khoảng đầu gối người trưởng thành nên nhìn chung không có nguy cơ đáng kể đến tính mạng. Tuy nhiên, cần chú ý giữ gìn an toàn cho các đối tượng yếu thế như trẻ em, người tàn tật, người già. Có thể có các tai nạn liên quan đến điện giật
2	0,5m-1,0m	Mức ngập khoảng ½ của tầng 1 hoặc gần bằng chiều cao người trưởng thành là mức bắt đầu gây mất an toàn đáng kể cho người dân, đặc biệt là các hộ chỉ có nhà 1 tầng

Cấp ngập	Độ sâu ngập	Phân tích sơ bộ tác động đến an toàn của người dân
3	1,0m – 2,0m	Mức ngập toàn bộ tầng 1 là mức nguy cơ mất an toàn cao cho người dân, đặc biệt là các hộ dân có nhà 2 tầng trở xuống
4	2,0m – 3,0m	Mức ngập toàn bộ tầng 2 là mức nguy cơ mất an toàn nghiêm trọng cho người dân, đặc biệt là các hộ dân có nhà 2 tầng trở xuống
5	>3,0m	Mức ngập hầu hết nhà dân, nguy cơ mất an toàn đặc biệt nghiêm trọng

3.2 Đánh giá mức độ dễ bị tổn thương về mặt xã hội

3.2.1 Kết quả khảo sát thực địa và đặc điểm dân cư

Để thu thập nguồn dữ liệu mang tính đại diện và phản ánh sát thực tế, nghiên cứu đã tiến hành hoạt động khảo sát thực địa tại các khu vực chịu ảnh hưởng bởi lũ lụt trên địa bàn thị xã Điện Bàn. Cỡ mẫu khảo sát gồm 400 hộ gia đình được xác định dựa trên công thức đơn giản hóa của Yamane với mức sai số cho phép <5% [11]. Phiếu điều tra được thiết kế toàn diện, tập trung vào ba nhóm chỉ số cốt lõi nhằm đánh giá tác động tiềm tàng của lũ lụt đến an toàn cộng đồng, bao gồm: (i) Cơ cấu dân số, (ii) Đặc điểm nhà ở, và (iii) Khả năng ứng phó.

Kết quả tổng hợp từ cuộc khảo sát chỉ ra rằng, các khía cạnh làm gia tăng mức độ tổn thương và rủi ro an toàn của khu vực nghiên cứu đan xen giữa cả yếu tố hữu hình lẫn vô hình. Yếu tố hữu hình bao gồm đặc điểm hình thái lũ, điều kiện địa hình đặc thù và kết cấu/kiểu dáng nhà ở. Trong khi đó, yếu tố vô hình tập trung vào khía cạnh nhân khẩu học, đặc biệt là tỷ lệ phân bổ của các nhóm đối tượng yếu thế, dễ bị tổn thương trong cộng đồng như người già và trẻ em.

3.2.2 Thành phần và tham số hóa các phương trình rủi ro

Hình 3 trình bày các phương trình sử dụng để phân tích các thông số đầu vào trong tính toán rủi ro. Cụ thể như sau:

- Mức độ hiểm họa (HR): Chỉ số HR được tính toán dựa trên hai thông số động lực học dòng chảy chính là độ sâu ngập trung bình và vận tốc dòng lũ. Các trường dữ liệu này được trích xuất trực tiếp từ kết quả mô phỏng thủy lực và các nghiên cứu liên quan đã thực hiện trên lưu vực [6]. Ngoài ra, hệ số ảnh hưởng của bùn đá và vật chất cuốn theo dòng lũ được thiết lập thông qua kết quả khảo sát thực tế phối hợp với các hướng dẫn kỹ thuật của Penny Rowsel [7]. Giá trị HR sau đó được xác định theo phương trình (3) và được tổng hợp chi tiết trong Bảng 2.

Bảng 2: Xác định mức độ hiểm họa ngập lụt

Phân cấp hiểm họa (m)	Độ sâu ngập lụt trung bình (m)	Vận tốc nước (m/s)	Hệ số bùn đá	HR
<0,5	0.25	0	0	0.1
0,5 - 1,0	0.75	1	0.5	1.6
1,0 - 2,0	1.5	1.5	0.5	3.5
2,0 - 3,0	2.5	1.7	1	6.5
>3,0	3.5	2	1	9.8

- Mức độ dễ bị tổn thương của khu vực (AV): Địa giới hành chính thị xã Điện Bàn bao gồm 12 phường và 08 xã. Kết quả đánh giá cho thấy, các khu vực nội thị (các phường) có lợi thế hơn hẳn về hệ thống cơ sở vật chất, hạ tầng kỹ thuật và năng lực cảnh báo, truyền tin thiên tai so với các khu vực nông thôn ngoại thành (các xã). Do đó, để phản ánh đúng thực trạng này, trọng số tổn thương khu vực AV được gán mức 5,0 đối với các phường và 7,5 đối với các xã (theo thang chuẩn [7], chi tiết tại Bảng 3).

Bảng 3: Xác định mức độ dễ bị tổn thương AV

Khu vực	Thông tin cảnh báo	Mức độ nước dâng	Đặc điểm khu vực	AV
Phường	2	1	2	5
Xã	2.5	2	3	7.5

- Tính dễ bị tổn thương của người dân: Theo khung lý thuyết của DEFRA [13], tính dễ bị tổn thương về mặt con người thường được tính toán dựa trên tỷ lệ nhóm dân cư từ 75 tuổi trở lên hoặc những người mắc bệnh mãn tính. Tuy nhiên, qua quá trình rà soát niên giám thống kê địa phương và kết quả tham vấn cộng đồng, nghiên cứu này đã điều chỉnh định nghĩa mở rộng nhằm bao quát đầy đủ các nhóm đối tượng có rủi ro cao tại thực địa, cụ thể:

i. Nhóm cư dân cao tuổi: Khoảng 85% người dân được phỏng vấn đồng thuận rằng người từ 70

ii. tuổi trở lên đã bắt đầu cần sự trợ giúp đặc biệt từ gia đình khi có ngập lụt xảy ra. Đồng thời, đối chiếu với các chính sách an sinh xã hội và trợ cấp hiện hành của tỉnh Quảng Nam dành cho đối tượng từ 70 tuổi trở lên, nghiên cứu quyết định lựa chọn ngưỡng tuổi này để đại diện cho nhóm người cao tuổi có mức độ dễ bị tổn thương cao (chiếm khoảng 8% tổng dân số toàn thị xã [6]).

iii. Phụ nữ mang thai và trẻ sơ sinh: Đây là nhóm đối tượng có tính cơ động thấp, chịu rủi ro rất cao trước các cú sốc thiên tai và gặp nhiều rào cản trong việc tiếp cận các dịch vụ chăm sóc y tế khẩn cấp khi giao thông bị chia cắt do ngập lụt.

iv. Nhóm người khuyết tật và người bệnh cần điều trị y tế: Nhóm này bao gồm các bệnh nhân mắc bệnh mãn tính lẫn các bệnh nhân điều trị ngắn hạn. Số liệu được lượng hóa gián tiếp thông qua quy mô giường bệnh tại 2 bệnh viện và 6 phòng khám đa khoa trên địa bàn. Kết quả phỏng vấn sâu với ban quản lý các cơ sở y tế này ghi nhận tình trạng quá tải thường xuyên. Khi lũ lớn xảy ra, phần lớn bệnh nhân phải xuất viện trở về nhà do chính các cơ sở y tế này cũng nằm trong vùng nguy cơ ngập lụt. Việc điều trị bị gián đoạn tại nhà trong điều kiện ngập lụt tiềm ẩn rủi ro rất lớn đối với tính mạng của họ.

Tỷ lệ các đối tượng dễ bị tổn thương trên đây là thông số Y như trong Bảng 4.

Bảng 4: Tổng hợp các thông số của tính dễ bị tổn thương

Phân cấp hiểm họa (m)	Độ sâu ngập lụt trung bình (m)	HR	AV	X	Y
Thị trấn, thị xã					
<0,5	0.25	0.1	5	0.6	36.7%
0,5 - 1,0	0.75	1.6	5	8.1	
1,0 - 2,0	1.5	3.5	5	17.5	
2,0 - 3,0	2.5	6.5	5	32.5	
>3,0	3.5	9.8	5	48.8	
Nông thôn					
<0,5	0.25	0.1	7.5	0.9	39.2%
0,5 - 1,0	0.75	1.6	7.5	12.2	
1,0 - 2,0	1.5	3.5	7.5	26.3	
2,0 - 3,0	2.5	6.5	7.5	48.8	
>3,0	3.5	9.8	7.5	73.1	

3.2.3 Quy mô dân số bị ảnh hưởng và thương vong

Để phục vụ cho các bước tính toán rủi ro tiếp theo, việc xác định quy mô dân số chịu tác động trực tiếp (N) là bắt buộc. Nghiên cứu áp dụng phương pháp giải đoán ảnh tinh vi thông qua việc tích hợp dữ liệu không gian từ ảnh vệ tinh Google Earth vào công cụ GIS nhằm số hóa và đếm tổng số lượng nhà ở trong vùng

ngập. Quy mô dân số sau đó được nội suy bằng cách nhân số lượng nhà ở với quy mô hộ gia đình trung bình tại địa phương là 4,0 người/hộ. Quy trình đếm nhà và tích hợp bản đồ ngập lụt được minh họa tại Hình 3.

Từ số lượng dân cư phơi nhiễm (N) đã xác định, quy mô số người bị thương (N(I)) và số ca tử vong (N(D)) tiềm tàng được tính toán một cách hệ thống bằng cách áp dụng lần lượt phương pháp luận theo phương trình (1) và (4). Kết quả dự báo thương vong tương ứng với từng kịch bản ngập lụt (tần suất 10%, 5%, 2% và 1%) được tổng hợp và cấu trúc trực quan trong Bảng 5.

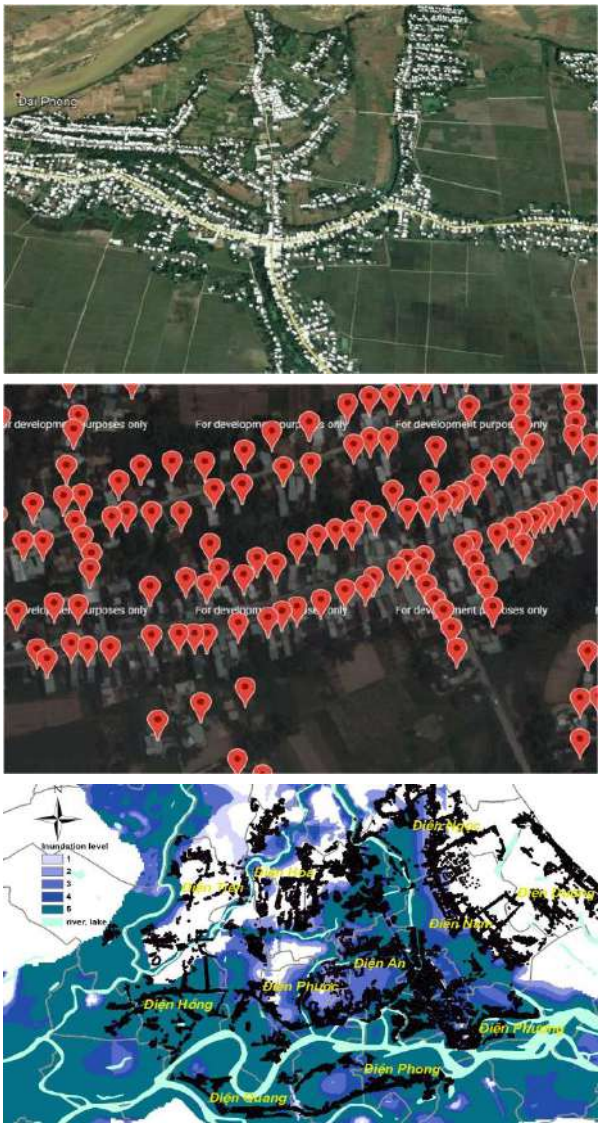
Bảng 5: Tổng hợp tính toán rủi ro xã hội tại thị trấn Điện Bàn (cũ)

Kịch bản ngập lụt	Tỷ lệ người dân bị ảnh hưởng (N%)	Số người có nguy cơ bị thương	Số người có nguy cơ tử vong
1%	7%	12,440	163
2%	6%	9,860	125
5%	2%	3,900	31
10%	2%	2,910	27

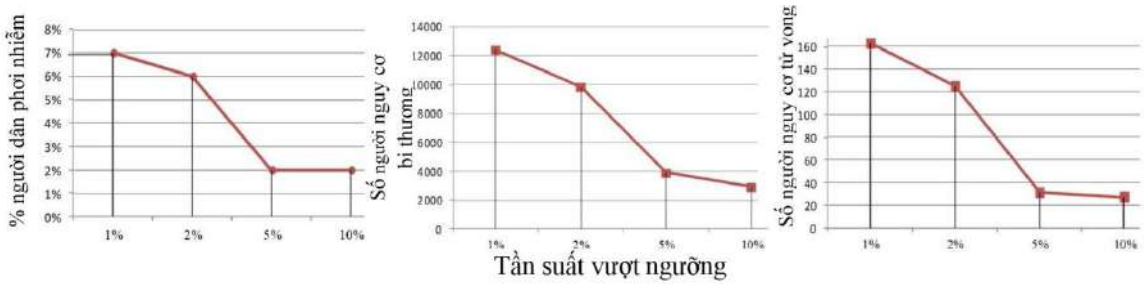
3.3. Đường cong rủi ro và tính toán rủi ro trung bình hàng năm

Do phạm vi nghiên cứu tập trung chuyên sâu vào khía cạnh rủi ro xã hội, phương trình (4) (Hình 2) được áp dụng để xác định quy mô dân số phơi nhiễm, số người bị thương và số ca tử vong tiềm tàng đối với từng kịch bản ngập lụt cụ thể (Bảng 5). Trên cơ sở các đường cong rủi ro thành phần được thiết lập (Hình 4), rủi ro xã hội trung bình hàng năm được tính toán thông qua việc xác định diện tích hình phẳng dưới đường cong rủi ro.

Kết quả phân tích định lượng chỉ ra rằng, tính trung bình hàng năm, khoảng 2,2% tổng dân số (tương đương 4.240 người) tại khu vực nghiên cứu có nguy cơ bị ảnh hưởng trực tiếp bởi lũ lụt. Trong đó, số người bị thương ước tính lên đến 3.230 người và số ca tử vong là 31 người, bao gồm cả các tác động trực tiếp lẫn gián tiếp từ thiên tai. Đáng chú ý, mức độ rủi ro có xu hướng gia tăng mạnh mẽ đối với các kịch bản lũ lụt có tần suất xuất hiện thấp (chu kỳ lặp lớn). Ngược lại, quy mô thương vong giữa hai kịch bản lũ 5% và 10% không cho thấy sự khác biệt quá lớn. Điều này chứng minh rằng việc lựa chọn các tần suất lũ hiện tại cho mô phỏng thủy động lực học và phân tích rủi ro là hoàn toàn phù hợp và có cơ sở khoa học.



Hình 3: Kiểm đếm nhà phơi nhiễm dựa trên ảnh Google Earth



Hình 4: Các đường cong rủi ro lũ lụt cho từng chỉ số an toàn cộng đồng

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã hoàn thành mục tiêu xây dựng quy trình định lượng và ước tính rủi ro lũ lụt trung bình hàng năm đối với an toàn xã hội tại khu vực hạ lưu lưu vực sông Vũ Gia – Thu Bồn (thị xã Điện Bàn). Bằng cách tích hợp mô hình thủy động lực học truyền thống với phương pháp đánh giá tính dễ bị tổn thương mở rộng, nghiên cứu không chỉ xem xét các tổn thất trực tiếp, hữu hình mà còn làm rõ các tác động gián tiếp và vô hình đối với an toàn sinh mạng cộng đồng. Kết quả nghiên cứu đã phản ánh rõ nét tính dễ bị tổn thương và rủi ro cao liên quan đến an toàn sinh mạng của người dân tại thị xã Điện Bàn. Những phát hiện bán định lượng này là luận cứ khoa học quan trọng hỗ trợ chính quyền địa phương tối ưu hóa công tác quản lý rủi ro. Cụ thể, trong kịch bản ứng phó khẩn cấp, hệ thống công trình lánh nạn cần được quy hoạch với quy mô tiếp nhận tối thiểu cho 2,2% dân số (tương đương khoảng 4.200 người), đồng thời mạng lưới y tế cơ sở phải chủ động phương án cấp cứu và chăm sóc sức khỏe cho khoảng 3.230 người.

Với dự báo số ca tử vong trung bình hàng năm ở mức cao, chính quyền địa phương cần ưu tiên xem xét đầu tư các giải pháp công trình nhằm cắt giảm đỉnh lũ và phân lưu hiệu quả. Song song với đó, việc triển khai các biện pháp phi công trình nhằm nâng cao năng lực tự vệ của cộng đồng trước nguy cơ chấn thương, tai nạn và dịch bệnh hậu thiên tai là vô cùng cấp thiết, đặc biệt trong bối cảnh các báo cáo đánh giá thiệt hại hiện hành tại Việt Nam thường bỏ sót chỉ số thống kê về tình trạng thương tích này.

Nghiên cứu cũng chi ra rằng Phương pháp luận Penning-Rowsell khả thi và phù hợp cao trong điều kiện thực tế tại Việt Nam nhờ yêu cầu dữ liệu đầu vào vừa phải, quy trình tính toán khả thi, đồng thời đảm bảo tính toàn diện khi tích hợp đa dạng yếu tố nhân khẩu, hạ tầng địa phương để cung cấp trực quan các chỉ số bán định lượng cốt lõi cho công tác quản lý rủi ro thiên tai. Tuy nhiên, phương pháp này vẫn tồn tại một số hạn chế nhất định. Một số chỉ số thành phần mang tính định tính cao, còn phụ thuộc vào kinh nghiệm chuyên gia trong quá trình đánh giá. Đồng thời, đây cũng là một trong những thử nghiệm tiên phong tại một quốc gia có thu nhập trung bình như Việt Nam, nơi hệ thống cơ sở dữ liệu quá khứ về thiệt hại nhân mạng còn nhiều khoảng trống.

Để hoàn thiện và nâng cao giá trị thực tiễn của hướng nghiên cứu này, việc mở rộng phạm vi ứng dụng phương pháp sang các địa bàn có đặc điểm tương đồng là rất cần thiết. Trong giai đoạn tiếp theo, cần tập trung nguồn lực để xây dựng thêm các kịch bản hiểm họa với dải tần suất chi tiết hơn, từ đó tối ưu hóa độ chính xác của đường cong đồ thị và giảm thiểu sai số trong tính toán rủi ro xã hội hàng năm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bloemendaal, N., Haigh, I.D., de Moel, H. et al. Generation of a global synthetic tropical cyclone hazard dataset using STORM. Sci Data 7, 40 (2020). https://doi.org/10.1038/s41597-020-0381-2. ADB & World Bank (2020). Climate Change Risk Profile: Vietnam

[2] Cục Quản lý đê điều và Phòng chống thiên tai (https://phongchongthientai.mard.gov.vn/Pages/Thong-ke-thiet-hai.aspx).

[3] JICA. Khảo sát thu thập dữ liệu nhằm xây dựng chiến lược giảm thiểu rủi ro thiên tai tại Việt Nam". Báo cáo tổng kết (2018)

[4] UNDP. Tăng cường sự sẵn sàng của Việt Nam trong giải quyết tổn thất và thiệt hại do biến đổi khí hậu. (2026).

[5] Vũ Thị Thu Lan và nnk. Cân bằng nước lưu vực Vũ Gia-Thu Bồn bằng mô hình MIKE HYDRO BASIN. Tạp chí Khí tượng Thủy văn – Số 12/2019.

[6] Quảng Nam. Niên giám thống kê tỉnh Quảng Nam 2024.

[7] Penning-Rowsell E.C., Priest S., Parker D., Morris J., Tunstall S., Viavattene C., Chatterton J., Owen D.: Flood and coastal erosion risk management. Routledge, 2013.

[8] Nga P.H., Takara K., Son N. H.: Flood hazard analysis in the downstream of Vu Gia-Thu Bonn river system, Quang Nam Province, Central Vietnam, *Journal of Japan Society (Hydraulic Engineering)*, Vol 71, No. 4, pp I_157-I_162, 2015.

[9] Ward P.J., Moel H. de., Aerts J.C.H: How are flood risk estimates affected by the choice of return periods?, *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol. 11, pp 3181-3195, 2011.

[10] Dawei H: Flood Risk Assessment and Management. University of Bristol, UK. Bentham Book (eBook, ISBN 978-1-60805-047-5). Bentham, 2011.

[11] Yamane, T. (1967). *Statistics: An Introductory Analysis* (2nd ed.). Harper and Row.