

KHUNG ĐÔ THỊ THÔNG MINH TĂNG CƯỜNG KHẢ NĂNG CHỐNG CHỊU KHÍ HẬU CỰC ĐOAN CHO ĐÔ THỊ MIỀN NÚI: TRƯỜNG HỢP TỈNH CAO BẰNG



A smart-city framework for strengthening climate resilience in mountainous urban areas: The case of Cao Bang province

TS. Hán Minh Cường¹

Tóm tắt: Đô thị miền núi đối mặt rủi ro khí hậu cực đoan với cơ chế tác động nhanh, cục bộ và khó dự báo, điển hình là mưa lớn gây lũ quét, lũ ống và sạt lở đất dẫn đến chia cắt giao thông. Trên cơ sở phân tích bối cảnh rủi ro khí hậu của tỉnh Cao Bằng, bài báo đề xuất một khung đô thị thông minh tăng cường chống chịu cho đô thị miền núi dựa trên bốn trụ cột: (1) Quản trị liên ngành và kịch bản điều hành theo ngưỡng kích hoạt; (2) nền tảng dữ liệu đô thị liên thông làm hạt nhân quyết định; (3) trung tâm giám sát điều hành và quan trắc IoT theo thời gian gần thực; và (4) GIS/bản sao số mức phù hợp cùng bộ chỉ số đánh giá hiệu quả chống chịu. Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích tài liệu, tổng hợp chính sách, phân tích kịch bản và thiết kế khung khái niệm, từ đó làm rõ cách thức chuyển dữ liệu, công nghệ và điều hành thông minh thành năng lực chống chịu thực chất của đô thị.

Từ khóa: Cao Bằng, chống chịu khí hậu, dữ liệu liên thông, đô thị miền núi, đô thị thông minh, khí hậu cực đoan

Abstract: Mountainous urban areas face fast-onset and highly localized climate risks, especially intense rainfall, flash floods, debris flows and landslides – leading to severe transport disruptions. Based on the climate-risk context of Cao Bang Province, the paper proposes a smart-city framework to strengthen urban resilience

in mountainous areas through four pillars: (1) inter-agency governance with threshold-based response scenarios; (2) an interoperable urban data platform as the core of decision-making; (3) an integrated operations center with near-real-time IoT monitoring; and (4) GIS/digital twin applications with a resilience indicator set. The study combines document analysis, policy review, scenario analysis and conceptual framework design to explain how data, digital technologies and smart operations can be transformed into practical resilience capacity rather than being treated as isolated technology upgrades.

Keywords: Cao Bang, climate resilience, interoperable data, mountainous urban areas, mountainous urban areas, smart city, extreme climate.

Nhận bài ngày 22/01/2026, chỉnh sửa ngày 25/02/2026, chấp nhận đăng ngày 28/3/2026.

I. GIỚI THIỆU

Báo cáo Đánh giá lần thứ sáu của IPCC cho thấy lượng mưa lớn có xu hướng tăng trên phần lớn châu Á, kéo theo rủi ro ngập lụt và các tai biến liên quan đến nước ở những khu vực dễ bị tổn thương [1]. Ở Việt Nam, Kịch bản biến đổi khí hậu năm 2020 tiếp tục khẳng định xu thế gia tăng của các cực trị mưa ở Bắc Bộ; điều này tạo sức ép đáng kể lên các đô thị miền núi, nơi địa hình dốc, lưu vực nhỏ và thời gian truyền lũ ngắn [2].

Cao Bằng là trường hợp điển hình của đô thị miền núi chịu rủi ro khí hậu cực đoan với địa hình chủ yếu là núi cao và thung lũng hẹp, độ dốc lớn, mạng lưới sông suối dày đặc và cấu trúc địa chất phức tạp. Trong bối cảnh đó, đô thị thông minh ngày càng được xem là công cụ quan trọng để nâng cao hiệu quả quản trị và tăng cường khả năng chống chịu trước biến đổi khí hậu. Thông qua việc tích hợp các công nghệ số như cảm biến IoT, hệ thống thông tin địa lý, nền tảng dữ liệu lớn và các công cụ điều hành theo thời gian thực, đô thị thông minh có thể hỗ trợ giám sát môi trường, cảnh báo sớm rủi ro, tối ưu hóa vận hành hạ tầng và cải thiện khả năng ra quyết định của chính quyền đô thị [5], [6].

Nhận thức được vai trò của chuyển đổi số trong quản lý đô thị, Việt Nam đã ban hành nhiều chính sách thúc đẩy phát triển đô thị thông minh. Đáng chú ý, ngày 14/10/2025 Thủ tướng Chính phủ đã ban hành Nghị định 269/2025/NĐ-CP về phát triển đô thị thông minh. Đây là cơ sở pháp lý quan trọng để tích hợp các giải pháp công nghệ và dữ liệu vào quản trị đô thị nhằm tăng cường khả năng chống chịu trước các rủi ro khí hậu. Tuy nhiên, trong thực tế triển khai, nhiều mô hình đô thị thông minh vẫn tập trung chủ yếu vào các ứng dụng công nghệ riêng lẻ mà chưa thực sự gắn kết với mục tiêu nâng cao năng lực chống chịu của hệ thống đô thị. Do đó, cần có một cách tiếp cận tổng thể hơn, trong đó các

¹ Viện trưởng Viện khoa học công nghệ xây dựng AIST

Email: Cuonghm@sgroupvietnam.com

thành phần của đô thị thông minh, từ dữ liệu, hạ tầng số, hệ thống giám sát đến cơ chế điều hành, được thiết kế nhằm hỗ trợ trực tiếp cho quản lý rủi ro thiên tai và thích ứng với biến đổi khí hậu.

Từ bối cảnh trên, nghiên cứu này hướng tới trả lời câu hỏi: Làm thế nào để thiết kế một khung đô thị thông minh phù hợp với đặc thù đô thị miền núi, có khả năng tăng cường chống chịu trước các hiện tượng khí hậu cực đoan như lũ quét và sạt lở đất? Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất một khung đô thị thông minh tăng cường chống chịu cho đô thị miền núi với trường hợp nghiên cứu tại tỉnh Cao Bằng.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích kịch bản và thiết kế khung khái niệm. Dữ liệu đầu vào bao gồm các văn bản pháp luật, chiến lược, quy hoạch và hướng dẫn liên quan đến phát triển đô thị thông minh, đô thị thích ứng với biến đổi khí hậu, phòng chống thiên tai; các báo cáo chính thức về điều kiện tự nhiên, dân số, thiệt hại thiên tai của Cao Bằng; cùng các nghiên cứu học thuật liên quan đến chống chịu đô thị, quản trị lưu vực và đô thị thông minh [3]-[14].

Về cách tiếp cận, nghiên cứu xem đô thị miền núi như một hệ thống không gian - hạ tầng - thể chế gắn với cấu trúc lưu vực. Trên cơ sở đó, bài báo xác định hai kịch bản rủi ro ưu tiên cho Cao Bằng: (1) Mưa cực đoan gây lũ quét/lũ ống; và (2) mưa kéo dài gây sạt lở - chia cắt giao thông.

Quy trình nghiên cứu gồm bốn bước: Tổng hợp cơ sở lý thuyết về chống chịu khí hậu và Khung Sendai; rà soát khung pháp lý hiện hành về đô thị thông minh, đô thị thích ứng với biến đổi khí hậu và hướng dẫn xây dựng phương án ứng phó thiên tai; phân tích bối cảnh rủi ro khí hậu cực đoan của Cao Bằng; và thiết kế khung đô thị thông minh 4 trụ cột, sau đó cụ thể hóa theo hai kịch bản rủi ro. Phương pháp này cho phép liên kết các yêu cầu pháp lý, nền tảng lý thuyết và dữ liệu thực tiễn địa phương để xây dựng một khung đề xuất có thể áp dụng trong quản lý đô thị và phòng chống thiên tai.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Cơ sở lý thuyết và khung chính sách

Theo Khung Sendai về giảm nhẹ rủi ro thiên tai 2015-2030 của Liên Hợp Quốc, rủi ro thiên tai được hình thành từ tương tác giữa hiểm họa, phơi bày, tính dễ bị tổn thương và năng lực ứng phó; vì vậy nâng cao chống chịu không chỉ là xử lý hậu quả mà còn là giảm phơi bày, giảm dễ bị tổn thương và tăng năng lực phản ứng [7].

Đối với đô thị miền núi, khả năng chống chịu có những khác biệt cơ bản so với đô thị đồng bằng. Thứ nhất là tính phản ứng nhanh của lưu vực: Lưu vực nhỏ, địa hình dốc và lớp phủ không gian biến động mạnh khiến thời gian truyền lũ ngắn. Thứ hai là tính phụ thuộc tuyến của hạ tầng: chỉ cần một điểm sạt lở ở taluy, một cầu tràn bị ngập hay một đoạn đường bị bùn đá vùi lấp cũng có thể làm đứt gãy cứu hộ, y tế, điện, nước và thông tin liên lạc. Thứ ba là tính liên vùng theo lưu vực: Rủi ro ở lõi đô thị hạ lưu thường chịu ảnh hưởng trực tiếp từ các quá trình phát sinh ở thượng lưu. Vì vậy rủi ro của Cao Bằng phải được nhìn theo hệ lưu vực Bằng Giang - Gâm - Quây Sơn, không thể chỉ bó hẹp trong ranh giới từng đô thị. Cần nghiên cứu trên hệ thống các đô thị với quan điểm như một "lãnh thổ thông minh sống cùng nước" gắn với các lưu vực sông, chứ không phải tập hợp các đô thị rời rạc.

Về khung pháp lý, Nghị định 269/2025/NĐ-CP quy định phát triển đô thị thông minh theo cách tiếp cận hệ thống, bao gồm việc xây dựng đề án, kế hoạch, quy hoạch, hệ thống tiêu chuẩn - quy chuẩn, yêu cầu về khả năng tương tác, an toàn thông tin, hạ tầng số, hạ tầng kỹ thuật, cơ chế quản trị - điều hành, nguồn lực đầu tư và cơ chế thử nghiệm [8]. Nghị định nhấn mạnh API mở, mô hình dữ liệu dùng chung, khả năng tương tác giữa các nền tảng và tích hợp với hạ tầng chính phủ số, qua đó tạo nền tảng pháp lý trực tiếp cho việc thiết kế kho dữ liệu đô thị dùng chung, IOC, hệ thống cảnh báo đa kênh và các ứng dụng liên thông phục vụ chống chịu khí hậu cực đoan.

Song song với chính sách phát triển đô thị thông minh, Quyết định 438/QĐ-TTg năm 2021 phê duyệt Đề án phát triển các đô thị Việt Nam ứng phó với biến đổi khí hậu giai đoạn 2021-2030 [9]. Theo báo cáo của Bộ Xây dựng, đến năm 2025 trong 45 địa phương thuộc phạm vi đề án đã có 43 địa phương ban hành kế hoạch triển khai, 19 địa phương xây dựng cơ sở dữ liệu dùng chung, 14 tỉnh hoàn thiện bản đồ rủi ro ngập lụt và 11 tỉnh phát triển Atlas khí hậu [14]. Những kết quả này cho thấy dữ liệu rủi ro, quy hoạch thích ứng và đô thị thông minh đang từng bước hội tụ trong chính sách đô thị quốc gia.

Nghiên cứu này không nhằm đề xuất một hệ thống phương án ứng phó mới thay thế các quy định hiện hành, mà tiếp cận theo hướng bổ sung lớp dữ liệu, công nghệ và cơ chế điều hành thông minh để nâng cao hiệu quả thực thi các phương án ứng phó đã được

pháp luật hướng dẫn. Từ góc độ lý thuyết, mối liên hệ này có thể khái quát bằng chuỗi nhận biết - quyết định - hành động - học hỏi: Dữ liệu, cảm biến IoT, GIS và phản ánh hiện trường giúp nhận biết rủi ro sớm hơn; nền tảng dữ liệu liên thông và dashboard giúp ra quyết định chính xác hơn; IOC và cảnh báo đa kênh giúp hành động nhanh hơn; còn bản sao số, nhật ký sự kiện và bộ chỉ số giúp đánh giá, rút kinh nghiệm và học hỏi sau sự kiện [5], [6].

3.2. Bối cảnh nghiên cứu: Rủi ro khí hậu cực đoan ở Cao Bằng

Theo Quy hoạch tỉnh Cao Bằng, địa phương định hướng phát triển theo mô hình xanh, bền vững, tăng trưởng dựa trên du lịch, kinh tế của khẩu, hạ tầng số và hệ thống đô thị [3]. Điều đó đồng nghĩa mức độ phơi lộ của đô thị và hạ tầng sẽ tăng dần theo thời gian nếu không đồng thời tích hợp chống chịu khí hậu vào quy hoạch và quản lý.

Xét theo không gian thủy văn, Cao Bằng có nhiều lưu vực gắn trực tiếp với các đô thị và hành lang phát triển. Hệ thống sông Bằng Giang là trục chính của thành phố Cao Bằng (cũ); sông Gâm gắn với Bảo Lạc và các khu vực miền núi phía tây; Quây Sơn liên quan đến các đô thị du lịch, biên giới và vùng karst. Mỗi lưu vực có đặc điểm riêng về dòng chảy, địa hình và dạng rủi ro, nên không thể dùng một công thức chung cho toàn tỉnh.

Rủi ro lớn nhất hiện nay thể hiện ở hai nhóm sự kiện: Mưa cực đoan gây lũ quét, lũ ống và ngập lụt nhanh; và mưa kéo dài gây sạt lở đất, đá rơi, chia cắt giao thông. Đợt thiên tai cuối tháng 8/2024 và đầu tháng 9/2024 là ví dụ điển hình của sự kết hợp này khi vừa có mực nước sông vượt báo động III, vừa có thiệt hại do sạt lở và ngập ở nhiều địa phương.

3.3. Khung đô thị thông minh tăng cường chống chịu cho Cao Bằng

Khung đề xuất gồm bốn trụ cột. Mỗi trụ cột tương ứng một nhóm năng lực chống chịu và có thể tích hợp ngay vào đề án phát triển đô thị thông minh của tỉnh. Các yếu tố như tiếp cận lưu vực sông, chuỗi tác động lũ miền núi, tư duy lãnh thổ thông minh và hạ tầng xanh - dựa vào thiên nhiên được xem là lớp nền hỗ trợ để bốn trụ cột vận hành hiệu quả hơn.

3.3.1. Quản trị liên ngành và kịch bản điều hành theo ngưỡng kích hoạt

Điểm yếu phổ biến của ứng phó thiên tai ở đô thị miền núi không chỉ là thiếu thông tin mà còn là thiếu cơ chế điều hành liên ngành thống nhất khi rủi ro phát sinh nhanh. Vì vậy, trụ cột đầu tiên của khung đề xuất là quản trị theo

kịch bản, trong đó mỗi loại rủi ro phải gắn với ngưỡng kích hoạt, cơ quan chủ trì, cơ quan phối hợp, thời gian đáp ứng và quy trình hậu kiểm. Cấu trúc này phù hợp với Chiến lược quốc gia phòng, chống thiên tai, phương châm "bốn tại chỗ" và hệ thống hướng dẫn xây dựng phương án ứng phó theo cấp độ rủi ro [10]-[13].

So với cách tiếp cận truyền thống, thay vì để phương án ứng phó tồn tại chủ yếu dưới dạng văn bản hành chính, trụ cột này để xuất gần phương án ứng phó với dữ liệu thời gian thực, GIS, IOC và cơ chế cảnh báo đa kênh, nhờ đó các phương án có thể được kích hoạt và theo dõi một cách minh bạch, nhanh chóng hơn. Cách tiếp cận này vẫn tuân thủ cấu trúc phương án ứng phó theo cấp độ rủi ro thiên tai đã được hướng dẫn trong Sổ tay ban hành kèm Quyết định 02/QĐ-TWPECTT, nhưng bổ sung các yếu tố "thông minh" để phát hiện, điều hành, phối hợp và đánh giá hiệu quả thực thi một cách hiệu quả và tối ưu hơn.

3.3.2. Nền tảng dữ liệu đô thị liên thông làm hạt nhân quyết định

Nghị định 269/2025/NĐ-CP đặt trọng tâm vào dữ liệu dùng chung, khả năng tương tác và kiến trúc ICT; đây là điểm then chốt để chống chịu khí hậu cực đoan [8]. Với Cao Bằng, bộ dữ liệu tối thiểu cần gồm bốn nhóm: dữ liệu hiểm họa; dữ liệu phơi bày; dữ liệu năng lực ứng phó; và dữ liệu vận hành hạ tầng. Nhóm hiểm họa bao gồm mưa theo thời gian gần thực, mực nước, điểm sạt lở lịch sử, cảnh báo lũ quét/sạt lở. Nhóm phơi bày gồm dân cư theo cụm, công trình trọng yếu, trường học, bệnh viện, điểm du lịch và khu dân cư ven sông suối. Nhóm năng lực ứng phó gồm lực lượng, phương tiện, kho vật tư và điểm sơ tán. Nhóm vận hành gồm trạng thái tuyến đường, camera, vị trí điểm ngập, mất điện, mất nước và phản ánh hiện trường.

Yêu cầu mấu chốt là dữ liệu phải được tổ chức theo logic lưu vực và kịch bản rủi ro, không chỉ theo danh mục ngành. Từ góc độ kiến trúc, dữ liệu chuyên ngành không nên nằm rời ở từng sở mà phải tích hợp vào một kho dữ liệu dùng chung có bản đồ nền GIS. Dữ liệu tĩnh như dân cư, công trình, mạng lưới đường và hành lang thoát lũ cần được chuẩn hóa và cập nhật định kỳ; dữ liệu động như mưa, mực nước, camera, phản ánh hiện trường cần kết nối theo thời gian gần thực. Tinh thần của Nghị định 269/2025/NĐ-CP và khung ICT là API mở, mô hình dữ liệu chung và truy xuất nguồn gốc; điều đó rất phù hợp với yêu cầu ra quyết định nhanh trong thiên tai. Khi cảnh báo mưa lớn phát ra, hệ thống phải tự động

chống lớp dữ liệu để trả lời ba câu hỏi: Khu vực nào nguy hiểm, ai bị ảnh hưởng và nguồn lực nào gần nhất.

3.3.3. IOC và quan trắc IoT theo thời gian gần thực

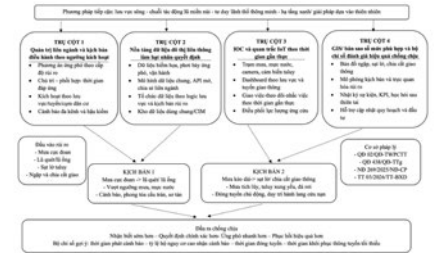
Khung để xuất coi IOC không phải là phòng hiển thị đơn thuần mà là cơ chế điều hành thống nhất theo dữ liệu. Với Cao Bằng, IOC cần tích hợp ít nhất ba dòng chức năng: giám sát rủi ro theo lưu vực và theo tuyến; điều phối nhiệm vụ theo kịch bản điều hành; và truyền thông cảnh báo đa kênh. Hệ quan trắc ban đầu không cần dàn trải, mà nên theo nguyên tắc "ít nhưng đúng chỗ", ưu tiên trạm mưa ở lưu vực nhỏ nhạy cảm, thiết bị đo mực nước tại các điểm ngập ven sông, camera ở nút giao thông thường bị chia cắt và kênh phản ánh hiện trường qua điện thoại hoặc ứng dụng.

IOC cần có ba nhóm chức năng: Dashboard rủi ro theo lưu vực, tuyến và cụm dân cư; kích hoạt kịch bản khi ngưỡng vượt mức; và điều phối lực lượng, phát cảnh báo đa kênh. Trong thực tiễn Cao Bằng, đây là khâu có ý nghĩa lớn vì sự kiện tháng 10/2025 cho thấy diễn biến thiên tai nhanh, phạm vi ảnh hưởng rộng và cần phối hợp đồng thời nhiều lực lượng [4].

3.3.4. GIS/bản sao số mức phù hợp và bộ chỉ số đánh giá hiệu quả chống chịu

Với đô thị miền núi, GIS là công cụ bắt buộc vì rủi ro phân hóa mạnh theo địa hình, độ dốc, hành lang sông suối và mạng lưới giao thông. Bản sao số không nhất thiết phải bắt đầu từ mô hình phức tạp; giai đoạn đầu có thể là một môi trường số tích hợp GIS, dữ liệu hạ tầng và dữ liệu thời gian gần thực để mô phỏng các câu hỏi vận hành như: Khu dân cư nào sẽ bị cô lập nếu đoạn đường A sạt lở; tuyến cứu hộ nào khả thi nhất nếu mực nước sông Bằng tiếp tục tăng; và cần mở thêm điểm sơ tán nào nếu ngập lụt kéo dài.

Đi cùng với đó là bộ chỉ số chống chịu. Ở cấp quá trình, cần theo dõi thời gian từ khi vượt ngưỡng đến khi phát cảnh báo; thời gian kích hoạt kịch bản; thời gian thiết lập chốt cấm và thời gian huy động lực lượng. Ở cấp kết quả, cần theo dõi tỷ lệ hộ dân vùng nguy cơ nhận được cảnh báo; thời gian khôi phục thông tuyến tối thiểu; thời gian khôi phục điện, nước, thông tin liên lạc; và mức thiệt hại giảm được so với các sự kiện tương đương. Bộ chỉ số này phù hợp với yêu cầu của Nghị định 269 và Thông tư 03/2026/TT-BXD về đánh giá, cấp độ trường thành và bộ chỉ số đô thị thông minh, cần được tích hợp trực tiếp vào để án phát triển đô thị thông minh của tỉnh, thay vì đứng ngoài như một phụ lục kỹ thuật [8].



Hình 1. Khung đô thị thông minh tăng cường chống chịu cho Cao Bằng (Nguồn: Tác giả)

3.4. Cụ thể hóa theo hai kịch bản rủi ro

3.4.1. Kịch bản 1: Mưa cực đoan gây lũ quét/lũ ống

Kịch bản thứ nhất xảy ra khi mưa lớn cường độ cao xuất hiện trên các lưu vực nhỏ và dốc, làm nước trung nhanh ở suối nhánh, kết hợp với bùn đá từ thượng nguồn. Dấu hiệu kích hoạt gồm lượng mưa ngắn hạn vượt ngưỡng cảnh báo theo lưu vực; mực nước tăng nhanh ở các trạm nhạy cảm; phản ánh hiện trường về nước dâng, đá lăn, bùn đất; và camera ghi nhận dòng chảy bất thường ở cầu tràn, ngầm, suối cắt đường. Trong đợt mưa lũ 9/9/2024, việc sông Bằng tại trạm Bằng Giang vượt báo động III là một minh họa điển hình cho loại kích hoạt này.

Với kịch bản này, dữ liệu mưa và mực nước được cập nhật lên nền tảng dùng chung; hệ thống tự động chống lớp với bản đồ lưu vực, cụm dân cư và công trình trọng yếu; IOC sinh ra bản đồ khu vực nguy hiểm và danh sách đối tượng bị ảnh hưởng; cảnh báo được phát đa kênh đến người dân, chính quyền cơ sở và lực lượng cứu hộ; đồng thời kích bản điều hành yêu cầu đóng ngay các vị trí qua suối, tràn, ngầm và kích hoạt sơ tán tại các cụm dân cư nguy cơ cao.

Bộ chỉ số cốt lõi của kịch bản này gồm: (1) Thời gian từ khi chỉ số rủi ro vượt ngưỡng đến khi phát cảnh báo đầu tiên; (2) tỷ lệ hộ dân trong vùng nguy cơ cao thực sự nhận được cảnh báo trước khi thiên tai gây nguy hiểm trực tiếp; (3) thời gian từ khi phát cảnh báo yêu cầu sơ tán đến khi triển khai sơ tán tại hiện trường; và (4) tỷ lệ các điểm qua suối, cầu tràn, ngầm nguy hiểm được phong tỏa trước khi mực nước hoặc dòng chảy đạt ngưỡng nguy hiểm.

Bảng 1. Một số chỉ số đánh giá hiệu quả chống chịu cho kịch bản lũ quét/lũ ống

Chỉ số	Đơn vị	Định nghĩa/công thức	Mục tiêu gợi ý	Dữ liệu đầu vào
T1: Thời gian vượt ngưỡng đến phát cảnh báo	phút	Thời điểm phát cảnh báo đầu tiên - thời điểm vượt ngưỡng	≤ 10; rất tốt; 10-20; chấp nhận; > 20; cần cải thiện	Cảm biến/trạm đo; nhật ký IOC; log gửi cảnh báo
T2: Tỷ lệ hộ nguy cơ cao nhận cảnh báo	%	(Số hộ nguy cơ cao đã nhận cảnh báo / tổng số hộ vùng nguy cơ cao) x 100%	≥ 95%; rất tốt; 85-95%; chấp nhận; < 80%; cần cải thiện	GIS/bản đồ rủi ro; log SIMAP; xác nhận địa phương
T3: Thời gian kích hoạt sơ tán	phút	Thời điểm bắt đầu sơ tán - thời điểm phát cảnh báo yêu cầu sơ tán	≤ 30; rất tốt; 30-60; chấp nhận; > 60; cần cải thiện	Nhật ký cảnh báo; nhật ký PCTT; nhật ký hiện trường
T4: Tỷ lệ điểm qua suối bị phong tỏa kịp thời	%	(Số điểm phong tỏa đúng thời điểm / tổng số điểm cần phong tỏa) x 100%	≥ 95%; rất tốt; 80-95%; chấp nhận; < 80%; cần cải thiện	Danh mục cầu; truyền hình; camera; nhật ký hiện trường

3.4.2. Kịch bản 2: Mưa kéo dài gây sạt lở - chia cắt giao thông

Kịch bản thứ hai đặc trưng cho đô thị miền núi là mưa kéo dài nhiều ngày làm bão hòa taluy, gây nứt trượt, đá rơi và sạt lở, kéo theo chia cắt giao thông và gián đoạn cứu hộ. Dấu hiệu kích hoạt gồm lượng mưa tích lũy nhiều ngày vượt ngưỡng; taluy có lịch sử sạt lở; camera giao thông ghi nhận biến dạng dòng xe hoặc ách tắc; và phản ánh hiện trường về nứt mặt đường, đất đá tràn lể. Đây là kịch bản có tác động lan tỏa rất mạnh, vì chỉ một đoạn đường bị cắt cũng có thể làm đình trệ cấp cứu, tiếp tế, điện, nước và liên lạc ở cả cụm dân cư phía sau.

Trong kịch bản này, nền tảng dữ liệu phải ưu tiên các lớp: Bản đồ độ dốc - địa chất - lịch sử sạt lở; mạng lưới đường và taluy xung yếu; vị trí máy móc, vật tư, lực lượng cứu hộ; tuyến thay thế và hành lang cứu nạn. Khi ngưỡng kích hoạt xuất hiện, IOC phải cho phép đóng đường chủ động, điều tiết từ xa, gửi lộ trình thay thế cho xe cứu thương và xe dịch vụ công, đồng thời ưu tiên thông tin đến dân cư ở các khu vực có nguy cơ bị cô lập.

Bộ chỉ số của kịch bản này có thể chia thành ba nhóm: Nhóm nhận biết gồm thời gian từ khi xuất hiện tín hiệu đầu tiên đến khi xác nhận điểm sạt lở hoặc nguy cơ sạt lở; Nhóm điều hành gồm thời gian từ khi xác nhận sự cố đến khi ra quyết định đóng tuyến, và thời gian từ khi ra quyết định đến khi hoàn tất thiết lập cảnh báo, chốt chặn tại hiện trường; Nhóm phục hồi chức năng gồm thời gian khôi phục thông tuyến tối thiểu cho phương tiện ưu tiên và thời gian thiết lập hành lang cứu nạn cho khu vực có nguy cơ bị cô lập.

IV. KẾT LUẬN

Cao Bằng là một trường hợp điển hình cho thách thức của đô thị miền núi trước khí hậu cực đoan, với đặc trưng là địa hình dốc, lưu vực nhỏ, mạng sông suối dày, dân cư và hạ tầng phân tán, trong khi giao thông dễ bị chia cắt và mưa lớn cực đoan có xu hướng gia tăng. Trong bối cảnh đó, khả năng chống chịu của đô thị không thể chỉ dựa vào các công trình đơn lẻ hay các phản ứng khẩn cấp sau sự cố, mà đòi hỏi một cách tiếp cận tích hợp hơn, trong đó quản trị đô thị phải được tổ chức theo logic lưu vực, theo chuỗi tác động của lũ miền núi và theo yêu cầu phối hợp liên ngành trong điều kiện rủi ro cao.

Trên cơ sở đó, bài báo đã đề xuất một khung đô thị thông minh 4 trụ cột nhằm tăng cường khả năng chống chịu khí hậu cực đoan

cho đô thị miền núi Cao Bằng, gồm: (1) Quản trị liên ngành và kịch bản điều hành theo ngưỡng kích hoạt; (2) nền tảng dữ liệu đô thị liên thông làm hạt nhân quyết định; (3) trung tâm giám sát điều hành và quan trắc IoT theo thời gian gần thực; và (4) GIS/bản sao số mức phù hợp cùng bộ chỉ số đánh giá hiệu quả chống chịu. Khung này được xây dựng trên nền tảng tiếp cận lưu vực sông, tư duy lãnh thổ thông minh và sự kết hợp giữa hạ tầng xanh - hạ tầng kỹ thuật, đồng thời được cụ thể hóa qua hai kịch bản rủi ro điển hình là lũ quét/lũ ống và sạt lở - chia cắt giao thông.

Bài báo đã làm rõ cách thức chuyển dữ liệu, công nghệ và điều hành thông minh thành năng lực chống chịu thực chất của đô thị thay vì chỉ dừng lại ở việc bổ sung hoặc cập nhật các giải pháp công nghệ rời rạc. Thông qua khung đề xuất, các nền tảng dữ liệu liên thông, hệ thống quan trắc thời gian gần thực, trung tâm giám sát - điều hành và các công cụ phân tích không gian được tích hợp vào quá trình quản trị đô thị nhằm hỗ trợ nhận diện rủi ro, ra quyết định và tổ chức ứng phó một cách kịp thời, hiệu quả.

Nói cách khác, đô thị thông minh chỉ thực sự có ý nghĩa đối với thích ứng khí hậu khi nó giúp chính quyền và cộng đồng nhận biết rủi ro sớm hơn, ra quyết định chính xác hơn, tổ chức ứng phó nhanh hơn và phục hồi hiệu quả hơn sau các sự kiện cực đoan. Trong trường hợp Cao Bằng, việc áp dụng khung đô thị thông minh theo hướng tăng cường chống chịu có thể trở thành nền tảng quan trọng để kết nối dữ liệu rủi ro, quy hoạch không gian, quản trị hạ tầng và điều hành liên ngành, qua đó hỗ trợ địa phương lồng ghép mục tiêu thích ứng với biến đổi khí hậu vào quá trình phát triển đô thị trong giai đoạn tới. Hạn chế của nghiên cứu là chủ yếu dựa trên phân tích tài liệu thứ cấp và thiết kế khung khái niệm; các nghiên cứu tiếp theo cần thử nghiệm định lượng trên các khu vực, lưu vực hoặc tuyến giao thông cụ thể để hiệu chỉnh bộ chỉ số và ngưỡng kích hoạt.

Tài liệu tham khảo:

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis – Regional fact sheet: Asia*. IPCC.
- [2] Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2020). *Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam năm 2020*. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu.

[3] Ủy ban nhân dân tỉnh Cao Bằng. (2023). *Quy hoạch tỉnh Cao Bằng thời kỳ 2021–2030, tầm nhìn đến năm 2050*. Cao Bằng.

[4] Ủy ban nhân dân tỉnh Cao Bằng. (2025). *Tình hình thiệt hại do sạt lở đất, ngập lụt ngày 28–30/9/2025 trên địa bàn tỉnh Cao Bằng*. Cổng Thông tin điện tử tỉnh Cao Bằng.

Truy cập tại: <https://caobang.gov.vn/kinh-te/tinh-hinh-thiet-hai-do-sat-lo-dat-ngap-lut-ngay-28-30-9-2025-tren-dia-ban-tinh-caobang-1028346>

[5] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2016). *Resilient cities*. OECD Publishing.

[6] United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2020). *International guidelines on people-centred smart cities*. UN-Habitat.

[7] United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2015). *Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030*. United Nations.

[8] Chính phủ Việt Nam. (2025). *Nghị định số 269/2025/NĐ-CP ngày 14/10/2025 về phát triển đô thị thông minh*. Hà Nội.

[9] Thủ tướng Chính phủ. (2021). *Quyết định số 438/QĐ-TTg ngày 25/3/2021 phê duyệt Đề án phát triển các đô thị Việt Nam ứng phó với biến đổi khí hậu giai đoạn 2021–2030*. Hà Nội.

[10] Thủ tướng Chính phủ. (2021). *Quyết định số 379/QĐ-TTg ngày 17/3/2021 phê duyệt Chiến lược quốc gia phòng, chống thiên tai đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050*. Hà Nội.

[11] Thủ tướng Chính phủ. (2023). *Quyết định số 535/QĐ-TTg ngày 20/5/2023 phê duyệt Đề án phát triển, nâng cao năng lực ứng phó sự cố, thiên tai và tìm kiếm cứu nạn đến năm 2030, định hướng đến năm 2045*. Hà Nội.

[12] Thủ tướng Chính phủ. (2024). *Quyết định số 1422/QĐ-TTg ngày 19/11/2024 ban hành Kế hoạch quốc gia thích ứng với biến đổi khí hậu giai đoạn 2021–2030, tầm nhìn đến năm 2050*. Hà Nội.

[13] Ban Chỉ đạo Trung ương về Phòng, chống thiên tai. (2020). *Quyết định số 02/QĐ-TW/PCTT ngày 18/02/2020 ban hành Sổ tay hướng dẫn xây dựng phương án ứng phó tương ứng với các cấp độ rủi ro thiên tai*. Hà Nội.

[14] Bộ Xây dựng. (2025). *Thông tin kết quả thực hiện Đề án phát triển các đô thị Việt Nam ứng phó với biến đổi khí hậu giai đoạn 2021–2030*. Hà Nội.