

TRUNG BÌNH HÓA NGUY CƠ SẠT LỞ ĐẤT Ở ĐƠN VỊ HÀNH CHÍNH CẤP XÃ DỰA TRÊN BẢN ĐỒ NGUY CƠ SẠT LỞ ĐẤT THEO PHÂN TÍCH CHỈ SỐ ỔN ĐỊNH SƯỜN ĐỐC KHU VỰC QUẢNG TRỊ

AVERAGE RISK OF LANDSLIDE IN COMMUNE LEVEL ADMINISTRATIVE UNITS BASED ON LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAP USING SLOPE STABILITY INDEX ANALYSIS IN THE QUANG TRI AREA

TS Nguyễn Mai Chi - GVC Bộ môn Thủy công, Trường Đại học Thủy lợi.

Email: maichi@tlu.edu.vn, ĐT: 0915-268-782

Tóm tắt: Bài báo trình bày một cách tiếp cận thể hiện nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã thuộc khu vực Quảng Trị cũ, nay thuộc tỉnh Quảng Trị nhằm đáp ứng yêu cầu quản lý và ứng phó thiên tai sạt lở đất cho các đơn vị, cơ quan quản lý trung ương và địa phương. Nghiên cứu sử dụng phương pháp chỉ số ổn định sườn dốc để thể hiện được nguy cơ sạt lở đất theo các ngưỡng mưa khác nhau, vừa thể hiện cấp độ nguy cơ thiên tai đó theo địa giới hành chính cấp xã bằng cách tính trung bình diện tích xảy ra nguy cơ thiên tai với diện tích toàn xã mà vẫn đảm bảo được các cấp độ nguy cơ thiên tai trong công tác dự báo sớm. Đặc biệt là kết quả nghiên cứu đã trực quan hóa được quá trình phát sinh, phát triển sạt lở đất theo các lượng mưa khác nhau. Trải qua thử nghiệm đợt mưa khốc liệt tại miền Trung vào cuối tháng 10 năm 2025, kết quả thể hiện cảnh báo nguy cơ thiên tai khá chính xác và tiện dụng.

Từ khóa: Sạt lở đất, ngưỡng mưa, thiên tai, chỉ số ổn định sườn dốc, Quảng Trị

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, ở các địa phương để đánh giá, dự báo nguy cơ sạt lở đất, thường sử dụng hệ thống bản đồ nguy cơ sạt lở đất. Hệ thống bản đồ này thể hiện các cấp độ nguy cơ thiên tai khác nhau trong khu vực đánh giá, từ mức độ nguy cơ sạt lở đất rất cao đến mức độ nguy cơ sạt lở đất thấp. Tuy nhiên, khi sử dụng các đơn vị quản lý thường khó khăn khi liên kết các cấp độ nguy cơ này với lượng mưa dự báo. Khi nhận được lượng mưa dự báo trong khu vực, họ không biết ở khu vực nào trong vùng họ đang quản lý sẽ xảy ra nguy cơ sạt lở. Đồng thời, trong một khu vực, lượng mưa cũng sẽ biến đổi theo các phân vùng khác nhau, diễn tiến sạt lở ở các địa bàn xã cũng khác nhau. Để khắc phục các khó khăn này, nghiên cứu tiếp cận phương pháp chỉ số ổn định sườn dốc để xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở đất theo các ngưỡng mưa khác nhau đồng thời hiển thị các cấp độ nguy cơ đó theo mức độ trung bình ở diện tích cấp xã, giúp cho các nhà quản lý thiên tai chủ động hơn trong công tác ứng phó ở địa phương mình quản lý.

Abstract: This paper presents an approach to presenting landslide susceptibility at the commune level in the former Quang Tri area, now part of Quang Tri province, to meet the requirements of landslide disaster management and response for central and local authorities. The study uses the slope stability index method to represent landslide susceptibility at different rainfall thresholds, and simultaneously shows the level of red disaster risk according to commune administrative boundaries by averaging the area at risk with the total area of the commune. This ensures that the different risk level are accurate for early forecasting. In particular, the research results have visualized the process of landslide occurrence and development according to different rainfall amounts. After testing during the severe rainfall in Central of Vietnam at the end of October 2025, the results showed a fairly accurate and convenient disaster risk forecast.

Keywords: Landslide, Rainfall thresholds, Disaster, Slope stability index, Quang Tri.

2. Phương pháp nghiên cứu và kỹ thuật sử dụng

Hiện nay có nhiều phương pháp để đánh giá nguy cơ sạt lở đất, kết quả đánh giá thường thể hiện bằng hệ thống bản đồ nguy cơ sạt lở đất được tổng hợp từ nhiều yếu tố gây sạt lở. Theo Carrarava nnk, 1995[2]; Guzzetti và nnk, 1999[4], có thể phân chia thành 5 nhóm chính là: (1) Phương pháp thành lập bản đồ địa mạo trực tiếp; (2) Phương pháp phân tích sự xuất hiện trượt lở; (3) Phương pháp kinh nghiệm; (4) Các phương pháp thống kê, trong đó bao gồm cả các phương pháp có sử dụng thuật toán như mạng thần kinh, tập mờ và các hệ thống chuyên gia; và (5) Các phương pháp nghiên cứu trượt lở dựa trên cơ sở phân tích mức độ ổn định sườn dốc. Trong 5 nhóm phương pháp kể trên thì phương pháp phân tích mức độ ổn định của sườn dốc là có độ chính xác và thích hợp nhất đối với việc thành lập các bản đồ nguy cơ sạt lở đất ở tỷ lệ lớn. Trong nghiên cứu này, sẽ sử dụng phương pháp chỉ số ổn định sườn dốc để thành lập bản đồ nguy cơ sạt lở đất theo các kịch bản mưa khác nhau.

Chỉ số ổn định sườn dốc SI được phân chia

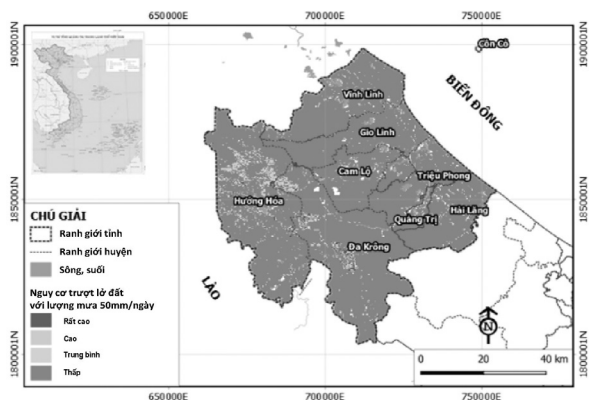
thành các mức độ nguy cơ sạt lở đất theo tiêu chí được đề xuất trong nghiên cứu của Pack và nnk (2005) [12] thể hiện trong bảng 1. Trên cơ sở đó bản đồ nguy cơ sạt lở đất khu vực Quảng Trị cũ theo các kịch bản mưa lũy tích theo ngày, giả thiết lần lượt là 50mm/ngày, 100mm/ngày, 200mm/ngày và 400mm/ngày theo các yếu tố chính gây sạt lở, đặc biệt là các yếu tố mật độ sẽ được xây dựng và tổng hợp lại.

Bảng 1: Phân loại nguy cơ tai biến sạt lở đất

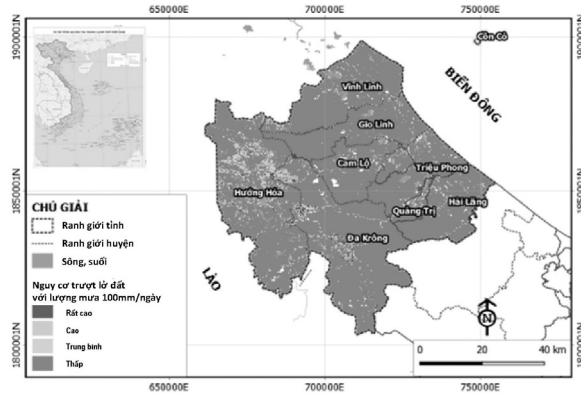
Hệ số ổn định sườn dốc	Phân vùng nguy cơ tai biến trượt lở đất
$SI \geq 1.5$	Thấp
$1.5 > SI \geq 1.25$	Trung bình
$1.25 > SI \geq 1$	Cao
$SI < 1$	Rất cao

Kết quả phân vùng dự báo nguy cơ sạt lở đất trên cơ sở phân tích mức độ ổn định của sườn dốc cho khu vực Quảng Trị bằng ứng dụng GIS được thiết lập với 07 yếu tố bản đồ thành phần [3], [6], [7], [8], bao gồm: (1) Bản đồ mô hình số độ cao, (2) Bản đồ độ dốc, (3) Bản đồ diện tích lưu vực đơn vị, (4) Bản đồ mức độ kết dính rễ cây, (5) Bản đồ tải trọng bề mặt, (6) Bản đồ tính chất đất bề mặt, (7) Bản đồ chỉ số bão hòa của đất để thiết lập được bản đồ nguy cơ sạt lở đất theo các lượng mưa tích lũy 50mm/ngày, 100mm/ngày, 200mm/ngày, 400mm/ngày. Trong phạm vi bài báo, không trình bày hết được các bản đồ thành phần mà chỉ đưa ra kết quả bản đồ nguy cơ sạt lở đất tổng hợp từ hình 1 đến hình 4 để làm cơ sở cho công tác hiện thị nguy cơ sạt lở đất theo tiếp cận trung bình hóa nguy cơ sạt lở theo địa giới hành chính cấp xã.

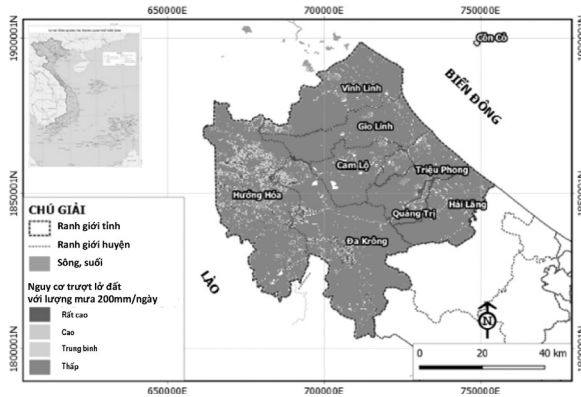
Các bản đồ nguy cơ sạt lở đất ứng với các lượng mưa tích lũy ngày từ hình 1 đến hình 4 đã hiện thị quá trình phát sinh và phát triển sạt lở đất trên phạm vi khu vực Quảng Trị cũ, nhưng chưa cụ thể hóa vào các xã trong khu vực. Để thuận lợi cho công tác ứng phó thiên tai, nguy cơ xảy ra thiên tai sẽ được



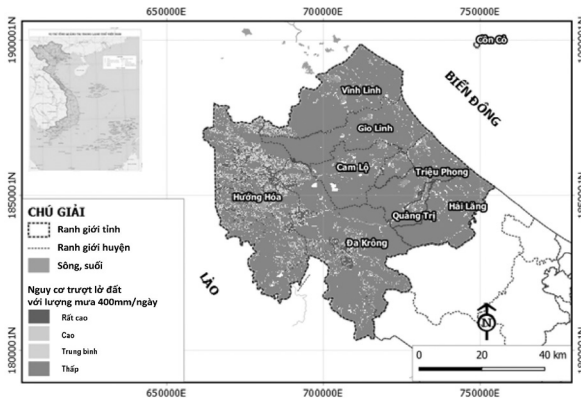
Hình 1: Bản đồ nguy cơ sạt lở đất khu vực Quảng Trị cũ theo kịch bản mưa lũy tích là R=50mm/ngày



Hình 2: Bản đồ nguy cơ sạt lở đất khu vực Quảng Trị cũ theo kịch bản mưa lũy tích là R=100mm/ngày



Hình 3: Bản đồ chỉ số ổn định sườn dốc khu vực Quảng Trị cũ theo kịch bản mưa lũy tích là R=200mm/ngày



Hình 4: Bản đồ nguy cơ sạt lở đất khu vực Quảng Trị cũ theo kịch bản mưa lũy tích là R=400mm/ngày

tiếp cận hiện thị tới địa giới hành chính cấp xã trên cơ sở thống kê về diện tích và tỷ lệ phần trăm diện tích của các nhóm nguy cơ sạt lở đất trong khu vực

3. Kết quả và phân tích, thảo luận.

Kết quả phân tích thống kê về diện tích và tỷ lệ % diện tích của các nhóm nguy cơ sạt lở đất trong khu vực Quảng Trị cũ theo các kịch bản mưa khác nhau được thể hiện trong bảng 2.

Để đánh giá chung về mức độ nguy cơ sạt lở đất trung bình hoá cho mỗi đơn vị hành chính cấp xã, tỷ lệ diện tích nhóm nguy cơ sạt lở đất cao trong

Bảng 2: Diện tích và tỷ lệ % diện tích các nhóm nguy cơ tai biến sạt lở đất khác nhau trong khu vực Quảng Trị cũ

Loại nguy cơ sạt lở đất	Diện tích các nhóm nguy cơ sạt lở đất khác nhau							
	Lượng mưa lũy tích R = 50mm/ngày		Lượng mưa lũy tích R = 100mm/day		Lượng mưa lũy tích R = 200mm/day		Lượng mưa lũy tích R = 400mm/day	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Rất cao	20,2	0,46	31,6	0,72	51,0	1,15	109,2	2,47
Cao	67,9	1,54	92,8	2,10	116,8	2,64	164,0	3,71
Trung bình	109,7	2,48	132,8	3,00	157,1	3,56	215,1	4,87
Thấp	4.221,8	95,53	4.162,3	94,18	4.094,6	92,65	3.931,4	88,95

Bảng 3: Diện tích và tỷ lệ % diện tích của các nhóm nguy cơ tai biến sạt lở đất trong khu vực nghiên cứu

TT	Mức độ mức độ nguy cơ sạt lở đất trung bình hoá cho mỗi đơn vị hành chính cấp xã	% diện tích nhóm có chỉ số SI < 1 (Có nguy cơ rất cao về trượt lở) trên toàn xã
1	Thấp	<1%
2	Trung bình	1-5%
3	Cao	5-10%
4	Rất cao	>10%

Bảng 4: Diện tích và tỷ lệ % diện tích của các xã với nguy cơ tai biến sạt lở đất khác nhau theo đơn vị hành chính cấp xã trong khu vực Quảng Trị cũ

Nguy cơ tai biến sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã	Diện tích các xã với nguy cơ tai biến sạt lở đất khác nhau							
	Lượng mưa lũy tích R=50mm /ngày		Lượng mưa lũy tích R=100mm/day		Lượng mưa lũy tích R=200mm/day		Lượng mưa lũy tích R = 400mm/day	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Rất cao	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	264,5	6,0
Cao	0,0	0,0	183,9	4,2	290,6	6,6	827,5	18,7
Trung bình	677,3	15,3	1.014,7	23,0	920,7	20,8	397,5	9,0
Thấp	3.742,3	84,7	3.221,0	72,9	3.208,3	72,6	2.930,0	66,3

mỗi xã được sử dụng để phân mức nguy cơ sạt lở đất trung bình cho toàn bộ xã. Bảng 3 thể hiện ngưỡng phân chia mức độ nguy cơ sạt lở đất trung bình hoá cho mỗi đơn vị hành chính cấp xã theo tỷ lệ diện tích nhóm nguy cơ sạt lở đất cao.

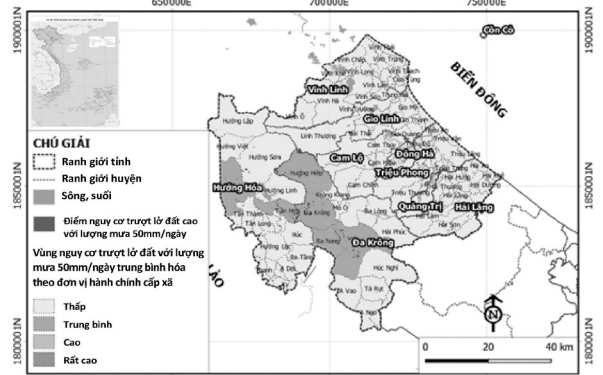
Với cách phân chia tỷ lệ phần trăm và diện tích tương ứng của các khu vực có nguy cơ tai biến sạt lở đất rất cao, cao, trung bình, và thấp khu vực Quảng Trị được thể hiện trong bảng 4 và các hình 5 đến hình 8.

Kết quả tính toán cho thấy với lượng mưa lũy tích R=50mm/ngày thì có 7 xã (5%) có nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã là “Trung bình” và tất cả các xã còn lại (95%) có nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã là “Thấp” (hình 5).

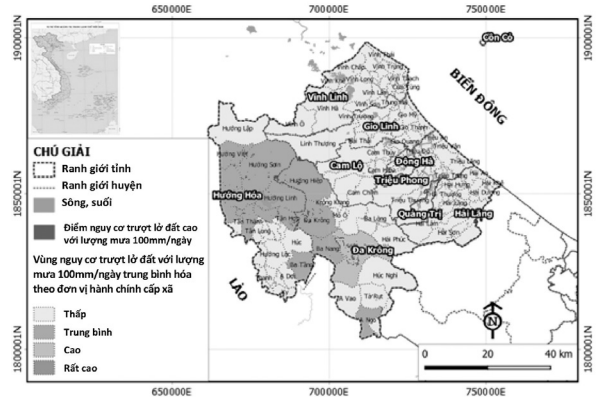
Với lượng mưa lũy tích R = 100mm/ngày thì có 1 xã (0,7%) có nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã đạt mức “Cao”. Số xã có nguy cơ sạt lở

đất theo đơn vị hành chính cấp xã đạt mức “Trung bình” là 12 xã (8,6%). Còn lại 90,6% các xã có nguy cơ sạt lở đất là “Thấp” (hình 6).

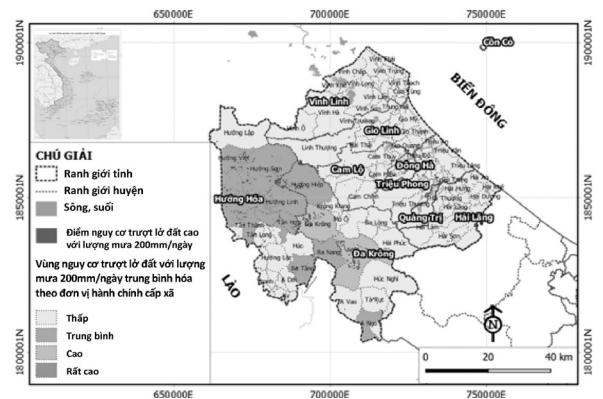
Với lượng mưa lũy tích R=200mm/ngày thì có 1,4% tổng số xã có nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã đạt mức “Cao”. Số xã có nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã đạt mức “Trung bình” vẫn là 12 xã (8,6%). Còn lại 89,9% các xã có nguy cơ sạt lở đất là “Thấp” (hình 7).



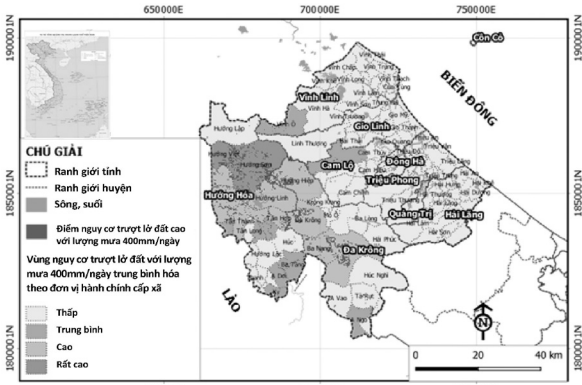
Hình 5: Bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã khu vực Quảng Trị cũ theo kịch bản lượng mưa lũy tích R=50mm/ngày.



Hình 6: Bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã khu vực Quảng Trị cũ theo kịch bản lượng mưa lũy tích R=100mm/ngày



Hình 7: Bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã khu vực Quảng Trị cũ theo kịch bản lượng mưa lũy tích R=200mm/ngày



Hình 8: Bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã khu vực Quảng Trị cũ theo kịch bản lượng mưa lũy tích R=400mm/ngày

Với lượng mưa lũy tích R=400mm/ngày thì sự thay đổi về nguy cơ sạt lở đất tương đối rõ rệt. Có 1,4% tổng số xã có nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã đạt mức “Rất cao”. Số xã có nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã đạt mức “Cao” tăng mạnh đạt 6,5%. Số xã có nguy cơ sạt lở đất theo đơn vị hành chính cấp xã đạt mức “Trung bình” giảm nhẹ ở mức 7,2%. Còn lại 84,9% các xã có nguy cơ sạt lở đất là “Thấp” (hình 8).

Kết quả đánh giá sạt lở đất theo tiếp cận trung bình hóa nguy cơ thiên tai theo địa giới hành chính cấp xã (từ hình 4 đến hình 8) được tích hợp lên hệ thống WebGIS, đồng thời kết nối theo thời gian thực với các trạm đo mưa trong khu vực. Kết quả các trận mưa lớn ở khu vực nghiên cứu, điển hình nhất là đợt mưa khốc liệt từ ngày 26/10/2026 đến 30/10/2026 đã cho thấy hệ thống WebGIS hoạt động khá nhạy và kết quả cảnh báo các xã có nguy cơ khá sát với thực tế.

5. Kết luận

Trong phạm vi bài báo, chỉ trình bày được cách tiếp cận hiển thị nguy cơ sạt lở đất theo địa giới hành chính cấp xã, mục đích để phục vụ công tác quản lý và ứng phó thiên tai. Không đi chi tiết được về các bước xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở. Để hiển thị được quá trình phát sinh, phát triển sạt lở đất, nghiên cứu này đã tiếp cận xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở đất theo phương pháp chỉ số ổn định sườn dốc theo các kịch bản mưa 50mm/ngày, 100mm/ngày, 200mm/ngày, 400mm/ngày. Kết quả từ hình 1 đến hình 4 đã cho thấy liên kết được giữa lượng mưa và quá trình phát triển sạt lở đất.

Mặc dù việc phát triển bản đồ nguy cơ sạt lở đất trong nghiên cứu này vẫn còn một số yếu tố mang tính định tính, tuy nhiên phương pháp này đã trực quan hóa được quá trình phát sinh phát triển sạt lở đất theo cường độ mưa khác nhau. Đây cũng là một cách tiếp cận bản đồ nguy cơ sạt lở đất theo thời gian thực đang được xem là công nghệ mới nhất trên thế giới tại thời điểm này.

Từ bản đồ nguy cơ sạt lở đất theo các kịch bản mưa tích lũy, hiển thị tiếp nguy cơ sạt lở theo thống kê nguy cơ sạt lở trung bình theo diện tích xã để phục vụ công tác quản lý, ứng phó thiên tai cho các nhà quản lý ở địa phương. Qua đợt thiên tai khốc liệt cuối tháng 10 năm 2025, địa phương đã có những phản hồi tích cực về sự tiện dụng và độ chính xác của hệ thống bản đồ này, khi kết quả nghiên cứu được đưa lên hệ thống WebGIS [3] và kết nối trực tiếp với các trạm đo mưa khu vực nghiên cứu. Rất cần được phát triển tiếp để phục vụ cộng đồng.

Xem tiếp trang 103



Hình 9: Thông tin ngưỡng cảnh báo sạt lở đất lúc 16g54 ngày 26/10/2025. Lượng mưa nhiều nơi vượt 1000mm

khí nhà kính (CO₂), bảo vệ hệ sinh thái sông ngòi khỏi nguy cơ sạt lở do ngừng khai thác cát tự nhiên.

Kiến nghị: Bộ Xây dựng cần nhanh chóng ban hành các Tiêu chuẩn kỹ thuật và định mức kinh tế chuyên biệt cho loại vật liệu tái sinh này, làm cơ sở đẩy mạnh ứng dụng trong các dự án cao tốc tại ĐBSCL. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Chính phủ (2020), Nghị quyết số 136/NQ-CP về định hướng phát triển bền vững quốc gia.

- [2] Quyết định số 1658/QĐ-TTg phê duyệt Chiến lược quốc gia về tăng trưởng xanh.
- [3] Báo cáo mã số SP8 (2026), Đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật và môi trường vật liệu đắp K95, K98.
- [4] Báo cáo mã số SP9 (2026), Ứng dụng giải pháp công nghệ phối hợp tro xỉ nhiệt điện và cát nhiễm mặn.
- [5] TCVN 9436:2012, Nền đường ô tô - Quy phạm thi công và nghiệm thu kỹ thuật.
- [6] ASTM C618-19, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan.
- [7] ISO 14040:2006, Quản lý môi trường - Đánh giá vòng đời (LCA) - Nguyên lý và Khuôn khổ kỹ thuật.

NGHIÊN CỨU SỰ ĂN MÒN CỐT THÉP TRONG VIỆC GIÁM SÁT SỨC KHỎE...

Tiếp theo trang 95

pháp này. Nghiên cứu đã đạt được mục tiêu khoa học chính là xác định và thử nghiệm một phương pháp tích hợp hỗ trợ bởi AI và IoT để giám sát không phá hủy sự ăn mòn trong bê tông cốt thép. Khung làm việc này có thể định hướng cho các nghiên cứu tương lai nhằm tiêu chuẩn hóa hệ thống SHM cho các ứng dụng thành phố thông minh. □

Tài liệu tham khảo

- [1] Almeida, H.F., Higor, F.A., Wilson, F. 2024. Responsabilidade civil e justiça ambiental no caso da contaminação química do Rio Tocantins após o colapso da ponte rodoviária. Humanidades and Inovação 11.9, 65-75.6.
- [2] Alonso, L., Barbarán, J., Chen, J., Díaz, M., Llopis, L., Rubio,

- B. 2017. Middleware and communication technologies for structural health monitoring of critical infrastructures: A survey. Computer Standards and Interfaces, 56, 83-100.
- [3] H. Lingard, T. Cooke, G. Zelic, J. Harley, A qualitative analysis of crane safety incident causation in the Australian construction industry, Saf. Sci. 133 (2021) 105028. [4] T. Huo, M. Tang, W. Cai, H. Ren, B. Liu, X. Hu, Provincial total-factor energy efficiency considering floor space under construction: An empirical analysis of China's construction industry, J. Clean. Prod. 244 (2020) 118749.
- [4] Chady, T., Frankowski, P., Waszczuk, P., Zieliński, A. 2018. Evaluation of reinforced concrete structures using the electromagnetic method. AIP Conference Proceedings, 1949, 040004.
- [5] Frankowski, P.K., Chady, T. 2023. Evaluation of Reinforced Concrete Structures with Magnetic Method and ACO (Amplitude-Correlation-Offset) Decomposition. Materials, 16(16), 5589.
- [6] Frankowski, P.K., Chady, T., Zieliński, A. 2021. Magnetic force induced vibration evaluation (M5) method for frequency analysis of rebar-debonding in reinforced concrete. Measurement, 182.

TRUNG BÌNH HÓA NGUY CƠ SẠT LỞ ĐẤT Ở ĐƠN VỊ HÀNH CHÍNH...

Tiếp theo trang 99

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Acharya, G., De Smedt, F., Long, N.T., 2006. Assessing landslide hazard in GIS: a case study from Rasuwa, Nepal, Bull Eng Geol Environ 65:99-107
2. Carrara A, Cardinali M, Guzzetti F, Reichenbach P., 1995. GIS technology in mapping landslide hazard, In: Carrara A, Guzzetti F (eds) Geographical information systems in assessing natural hazards, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 135-175
3. Hoàng Việt Hùng (chủ nhiệm) (2025). Nghiên cứu xây dựng công nghệ cảnh báo nguy cơ lũ quét, sạt lở đất vùng Trung Trung Bộ. Đề tài Khoa học Công nghệ cấp Bộ Nông nghiệp và Môi trường, mã số ĐTKHCN.15/33/23.
4. Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M, Reichenbach P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy, Geomorphol 31:181-216.

5. Kayastha P., 2006. Slope stability analysis using GIS on a regional scale, Dissertation, Vrije Universiteit Brussel.
6. Vinh B.L., 2007. Regional slope instability zonation using different GIS techniques, Vrije Universiteit Brussel
7. Hòa, Trịnh Xuân., và nnk. 2019. Báo cáo "Điều tra hiện trạng trượt lở đất đá tỷ lệ 1:50.000 tỉnh Quang Trị", Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Hà Nội.
8. Long N.T., 2008. Landslide susceptibility mapping of the mountainous area in A Luoi. Doctoral Thesis in Vrije Brussel University, Belgium.
9. Montgomery DR, Dietrich WE., 1994. A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding, Water Resour Res 30:1153-1171
10. Ray RL, De Smedt F., 2009. Slope stability analysis on a regional scale using GIS: a case study from Dhading, Nepal, Environ Geol 57:1603-1611
11. Wu W, Sidle RC., 1995. A distributed slope stability model for steep forested basins, Water Resour Res 31:2097-2110.
12. Pack, R. T., D. G. Tarboton, C. N. Goodwin, A. Prasad, (2005), "SINMAP 2. A Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping, technical description and users guide for version 2.0," Utah State University.