Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, ĐHXDHN, 2026, 20 (5V): 274–290

TRUY VẾT TRƯỢT LỞ ĐẤT TIỀM NĂNG DO MƯA BÃO TRÊN CƠ SỞ PHÂN TÍCH BIẾN ĐỘNG THẢM THỰC VẬT TỪ CHUỖI ẢNH VỆ TINH PLANETSCOPE ĐA THỜI GIAN

Trịnh Xuân Linh[a], Hà Thị Hằng[b,*], Lưu Thị Diệu Chinh[a], Bùi Duy Quỳnh[b], Nguyễn Hà Phương[b], Đinh Phan Duyệt[b], Dương Công Hiểu[c]

[a]*Khoa Công Trình Thủy, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, số 55 đường Giải Phóng, phường Bạch Mai, Hà Nội, Việt Nam*
[b]*Khoa Cầu Đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, số 55 đường Giải Phóng, phường Bạch Mai, Hà Nội, Việt Nam*
[c]*Khoa Địa lý, Đại học Vrije Brussel, Brussels 1050, Vương quốc Bỉ*

Nhận ngày 23/7/2026, Sửa xong 12/10/2026, Chấp nhận đăng 05/11/2026

Tóm tắt

Nghiên cứu này đề xuất phương pháp bán tự động xác định các vùng trượt lở tiềm năng do mưa lớn bởi bão Kalmaegi dựa trên việc phân tích biến động của thảm thực vật trước và sau bão. Ảnh viễn thám quang học đa thời gian PlanetScope được sử dụng để tính chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa NDVI trước và sau sự kiện, từ đó xác định biến động ΔNDVI. Ngưỡng phát hiện vùng trượt lở tiềm năng được xác định bằng phương pháp Percent Clip, kết hợp biểu đồ tần suất histogram và hàm phân phối tích lũy thực nghiệm, trong đó các pixel dưới ngưỡng 2% được xem là vùng trượt lở tiềm năng. Kết quả có 1.793 vùng trượt lở tiềm năng, trong đó xã Trà Tân (925 vùng), tiếp theo là xã Nam Trà My (355 vùng) và xã Trà Giáp (352 vùng), cuối cùng là xã Trà Vân (161 vùng). Kết quả này cũng được kiểm chứng với 89 điểm trượt lở thông qua khảo sát thực địa và bay chụp UAV vào tháng 2 năm 2026 nhằm khẳng định độ chính xác và độ tin cậy. Nghiên cứu chứng minh hiệu quả của dữ liệu viễn thám độ phân giải cao trong phát hiện nhanh vùng trượt lở, hỗ trợ công tác dự báo và giảm thiểu thiệt hại về người và tài sản.

Từ khoá: trượt lở đất tiềm năng do mưa lớn; Bão Kalmaegi; PlanetScope; NDVI; ΔNDVI; Thành phố Đà Nẵng.

POTENTIAL LANDSLIDE DETECTION INDUCED BY RAINSTORMS BASED ON VEGETATION CHANGE ANALYSIS USING MULTI-TEMPORAL PLANETSCOPE SATELLITE IMAGERY

Abstract

This study presents a semi-automated method for identifying potential landslide areas caused by the heavy rainfall of Typhoon Kalmaegi, based on the analysis of vegetation changes before and after the event. PlanetScope multi-temporal optical remote sensing data with a spatial resolution of 3 m were used to analyze the normalized difference vegetation index (NDVI) before and after the event. Changes in the normalized difference vegetation index (ΔNDVI) were calculated based on these NDVI data. Histogram frequency plots along with the empirical cumulative distribution function were used to determine the detection threshold for potential landslide areas using the Percent Clip method. Accordingly, all pixels below the 2% threshold of this method are considered potential landslide areas. The results identified 1,793 potential landslide areas, including Tra Tan commune (925 areas), followed by Nam Tra My commune (355 areas) and Tra Giap commune (352 areas), and finally Tra Van commune (161 areas). These results were also verified with 89 landslide locations through field survey and UAV in February 2026 to confirm accuracy and reliability. The achieved results not only demonstrate the effectiveness of high-resolution remote sensing data but also aid in future landslide prediction, thereby minimizing damage to people and property in the area.

Keywords: potential landslide detection; Kalmaegi typhoon; PlanetScope; NDVI; ΔNDVI; Da Nang city.

https://doi.org/10.31814/stce.huce2026-20(5V)-20 © 2026 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Giới thiệu

Các hiện tượng khí tượng cực đoan (mưa lớn, tuyết tan, bão) là những nguyên nhân hàng đầu gây ra hiện tượng trượt lở đất (TLĐ) tại các khu vực vùng núi. Trong đó, mưa lớn được xem là một trong

*Tác giả đại diện. *Địa chỉ e-mail:* hanght@huce.edu.vn (Hằng, H. T.)

những tác nhân phổ biến và nghiêm trọng hơn cả do tình trạng biến đổi khí hậu đang ngày càng gia tăng. Theo thống kê, có hơn 80% số vụ trượt lở đất do mưa lớn diễn ra chủ yếu tại các quốc gia nhiệt đới [1]. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu, các hiện tượng thời tiết cực đoan ngày càng xảy ra thường xuyên hơn, với lượng mưa cực đoan trong thế kỷ 21 được dự báo sẽ gia tăng cả về cường độ, thời gian và phạm vi không gian [2, 3]. Chính vì vậy, việc ghi nhận tình trạng TLĐ do mưa lớn và nhanh chóng giám sát các khu vực bị ảnh hưởng là rất cần thiết để thực thi các giải pháp ứng phó thảm họa và viện trợ nhân đạo nhanh chóng [4]. Bên cạnh đó, việc phát hiện TLĐ do các sự kiện mưa lớn trong quá khứ còn giúp cập nhật bộ dữ liệu hiện trạng trượt lở với vị trí và phạm vi chính xác, điều này giúp ích cho quá trình dự báo TLĐ trong tương lai được chính xác, qua đó, giảm thiểu thiệt hại về người và tài sản [5].

Từ trước cho đến nay, việc phát hiện dấu vết TLĐ do mưa thông qua khảo sát thực địa vẫn được xem là phương pháp khả thi và chính xác nhất. Tuy nhiên, phương pháp này tốn khá nhiều thời gian, nhân lực và đôi khi có thể gặp nguy hiểm tại những khu vực có địa hình phức tạp, hiểm trở [5]. Ngày nay, khi công nghệ viễn thám trở nên phổ biến, việc giải đoán hình ảnh và phát hiện TLĐ bằng mắt đã thu hút được lượng lớn sự quan tâm. Phương pháp này tốn ít thời gian và công sức hơn so với phương pháp khảo sát thực địa. Ngoài ra, phương pháp này có hiệu quả đặc biệt tại những khu vực địa hình phức tạp. Tuy nhiên, độ chính xác của phương pháp này phụ thuộc rất nhiều vào kinh nghiệm của người giải đoán hình ảnh. Chính vì vậy, dữ liệu ảnh vệ tinh đa thời gian đã trở thành một nguồn thay thế có giá trị trong việc tiếp cận và truy vết TLĐ do mưa lớn trong lịch sử [5].

Trong những năm gần đây, việc sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám quang học đa thời gian trong theo dõi sự phục hồi của thảm thực vật sau các sự kiện TLĐ trên cơ sở sử dụng chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) đã thu hút được sự quan tâm đông đảo của cộng đồng nghiên cứu. Đặc biệt, những thế hệ cảm biến vệ tinh có độ phân giải không gian cao (< 10 m) có thể cung cấp những thông tin mô tả chính xác hơn về sự thay đổi không gian – thời gian của thảm thực vật. Trong đó, dữ liệu ảnh vệ tinh PlanetScope với độ phân giải không gian 3 m cho phép phát hiện những dấu vết TLĐ nhỏ cũng như theo dõi thường xuyên những biến động của thảm thực vật. Ban đầu, Saito et al. tập trung vào sự thay đổi theo thời gian và ảnh hưởng của địa hình đến sự phục hồi của thảm thực vật tại các khu vực TLĐ do mưa và động đất ở núi lửa Aso, Nhật Bản. Nghiên cứu này xác nhận sự phục hồi của thảm thực vật cỏ bằng cách sử dụng chỉ số NDVI và tỷ lệ NDVI, từ ảnh vệ tinh đa thời gian của RapidEye từ năm 2010 đến 2019 và PlanetScope từ năm 2016 đến 2020, cùng với ảnh có độ phân giải không gian cao hơn từ máy bay không người lái UAV (Unmanned Aerial Vehicle) [6]. Trong nghiên cứu mới đây nhất, Filipponi và cs. trình bày một phương pháp phân tích biến động của thảm thực vật trước và sau sự kiện dựa trên các chỉ số NDVI, RdNDVI (Relative differenced Normalized Difference Vegetation Index), từ dữ liệu ảnh vệ tinh quang học Sentinel-2 (độ phân giải không gian 10 m) và ảnh PlanetScope (độ phân giải không gian 3 m) nhằm thành lập bản đồ phát hiện TLĐ do mưa lớn tại vùng Emilia-Romagna (Ý) vào tháng 5 năm 2023 [7]. Cũng theo hướng tiếp cận này, Ismail et al. sử dụng chỉ số NDVI khác biệt tương đối (rdNDVI) trên nền tảng Google Earth Engine (GEE) bằng cách dùng một chuỗi ảnh Sentinel-2A đa thời gian, từ năm 2019 đến năm 2023 để xác định sự thay đổi thảm thực vật tại các làng Wargajaya và Sukawangi (Indonesia) [8].

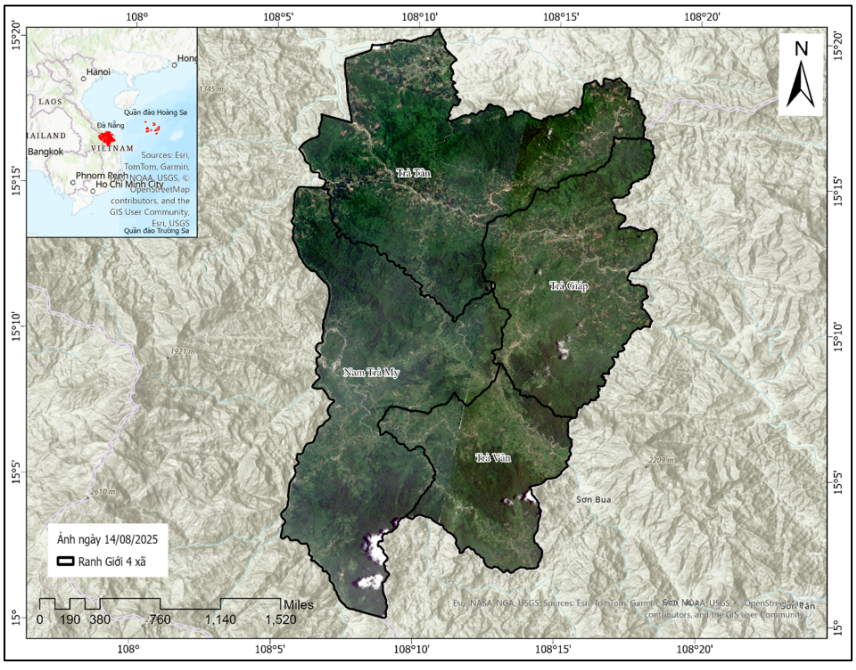
Theo đánh giá của Cơ quan Quản lý thiên tai châu Á thuộc Tổ chức Khí tượng Thế giới, Việt Nam là một trong những quốc gia chịu nhiều thiên tai nhất ở châu Á. Đặc biệt, TLĐ do mưa lớn là một trong những hiểm họa thường xuyên đe dọa tính mạng và tài sản của cộng đồng dân cư tại các khu vực vùng núi của Việt Nam vào mùa mưa bão. Do đó, việc nghiên cứu phát hiện các dấu vết TLĐ do mưa lớn luôn luôn được tiến hành và triển khai trong nhiều năm qua. Điển hình có thể kể đến như, Toan et al. đã điều tra các điều kiện dẫn đến trượt lở đất nông và trượt lở đất quy mô lớn do sự kiện cực

lớn từ ngày 4 đến ngày 6 tháng 8 năm 2023 tại xã Ho Bon, huyện Mù Căng Chải, tỉnh Yên Bái, thông qua điều tra thực địa, đánh giá địa chất và địa kỹ thuật, và phân tích thống kê dữ liệu lượng mưa [9]. Cũng theo hướng nghiên cứu này, Dương et al. trình bày việc xác định và khoanh vùng sơ bộ các khu vực dễ xảy ra sạt lở đất quy mô lớn dọc theo Quốc lộ 32, từ đèo Khau Pha đến xã Khao Mang, tỉnh Lào Cai, Việt Nam, bằng cách tích hợp các khảo sát địa chất – địa kỹ thuật, phân tích ảnh từ máy bay không người lái (UAV) và các phương pháp thống kê [10]. Nhìn chung, có thể thấy, các phương pháp khảo sát địa chất – địa kỹ thuật vẫn là những phương pháp chủ đạo trong truy vết TLĐ do mưa lớn. Chưa có nhiều nghiên cứu tiến hành phân tích dấu vết TLĐ tiềm năng do mưa lớn dựa trên việc phân tích biến động của thảm thực vật trước và sau sự kiện mưa do bão từ dữ liệu ảnh vệ tinh đa thời gian PlanetScope. Chính vì vậy, nghiên cứu này trình bày phương pháp bán tự động trong việc xác định dấu vết TLĐ tiềm năng do mưa lớn dựa trên việc phân tích các biến động của thảm thực vật từ dữ liệu ảnh vệ tinh quang học đa thời gian PlanetScope. Với dữ liệu ảnh vệ tinh có độ phân giải không gian cao (3 m) và được cung cấp miễn phí, nghiên cứu này không chỉ cung cấp một bộ dữ liệu hiện trạng TLĐ do bão trong lịch sử một cách hiệu quả, nhanh chóng, mà còn làm phong phú thêm phương pháp tiếp cận, khẳng định những tiến bộ của công nghệ viễn thám trong lĩnh vực quản lý và phòng chống thiên tai.

2. Khu vực nghiên cứu và các sự kiện mưa lớn trong năm 2025

2.1. Khu vực nghiên cứu

Thành phố Đà Nẵng nằm ở khu vực Nam Trung Bộ và Tây Nguyên của Việt Nam, là trung tâm chính trị, kinh tế, xã hội quan trọng của miền Trung Việt Nam. Địa giới thành phố Đà Nẵng nằm từ 15°15′ đến 16°40′ vĩ độ Bắc và từ 107°17′ đến 108°20′ kinh độ Đông. Phía bắc giáp với Huế, phía nam giáp với tỉnh Quảng Ngãi, phía tây giáp nước Cộng hòa Dân chủ Nhân dân Lào và phía đông giáp với Biển Đông. Thành phố có 94 đơn vị hành chính cấp xã, bao gồm 23 phường, 70 xã và Đặc khu Hoàng Sa [11].



Hình 1. Các xã Trà Tân, Trà Giáp, Nam Trà My và Trà Vân thuộc TP. Đà Nẵng

Các vụ trượt lở đất nghiêm trọng thường xảy ra nhiều vào mùa mưa và gây thiệt hại đáng kể về người và tài sản trên địa bàn TP. Đà Nẵng. Đặc biệt, các xã Trà Tân, Trà Giáp, Nam Trà My, và Trà Vân được xem là những "điểm nóng" về trượt lở đất trên địa bàn TP. Đà Nẵng trong những năm gần đây [11, 12]. Đây là những xã nằm ở phía nam TP. Đà Nẵng có địa hình đồi núi dốc, bị chia cắt mạnh bởi hệ thống khe suối và nằm giữa hệ sinh thái rừng Trường Sơn (Hình 1). Thành phố Đà Nẵng nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa điển hình, mỗi năm có hai mùa rõ rệt: mùa mưa thường bắt đầu từ tháng 8 đến tháng 12 và mùa khô thường bắt đầu từ tháng 1 đến tháng 7. Lượng mưa trung bình hàng năm là 2.504,57 mm/năm; lượng mưa cao nhất xảy ra vào tháng 10 và tháng 11, trung bình từ 550–1.000 mm/tháng; lượng mưa thấp nhất xảy ra vào tháng 1, tháng 2, tháng 3 và tháng 4, trung bình từ 23–40 mm/tháng [11].

2.2. Sự kiện cơn bão Kalmaegi trong năm 2025

Cơn bão số 13 – Kalmaegi – là cơn bão thảm khốc nhất ở châu Á vào năm 2025. Cơn bão này đã khiến ít nhất 140 người Philippines thiệt mạng và nhiều người khác mất tích. Sau Philippines, bão Kalmaegi tiếp tục di chuyển qua Biển Đông hướng tới bờ biển Việt Nam và đổ bộ vào miền Trung Việt Nam tối ngày 6/11 với sức gió lên tới 215 km/h (Bảng 1). Theo đó, bão số 13 đã gây ra lũ lụt và trượt lở đất trên diện rộng và vô cùng nghiêm trọng tại khu vực Tây Nguyên và Nam Trung Bộ, trong đó có TP. Đà Nẵng [13]. Bão Kalmaegi năm 2025 đã gây thiệt hại nặng nề cho khu vực miền Trung Việt Nam. Theo thống kê của Cục Quản lý đê điều và phòng chống thiên tai (Bộ Nông nghiệp và Môi trường), tính đến ngày 08/11/2025, bão Kalmaegi đã làm 5 người chết và 3 người mất tích, 17 người bị thương. Gió bão cũng làm sập đổ 245 ngôi nhà, 26.226 nhà bị hư hỏng, tốc mái, với hơn 3.721 ha lúa, hoa màu và 3.958 ha cây công nghiệp, cây ăn quả lâu năm bị thiệt hại.

Bảng 1. Thông tin về sự kiện bão Kalmaegi năm 2025 tại TP. Đà Nẵng [14]

Tên sự kiện	Ngày bắt đầu	Ngày kết thúc	Vùng ảnh hưởng
Bão Kalmaegi	02/11/2025	07/11/2025	Vùng biển từ Nam Đà Nẵng đến Đắk Lắk (bao gồm cả đặc khu Lý Sơn); đất liền từ Quảng Ngãi đến Đắk Lắk.

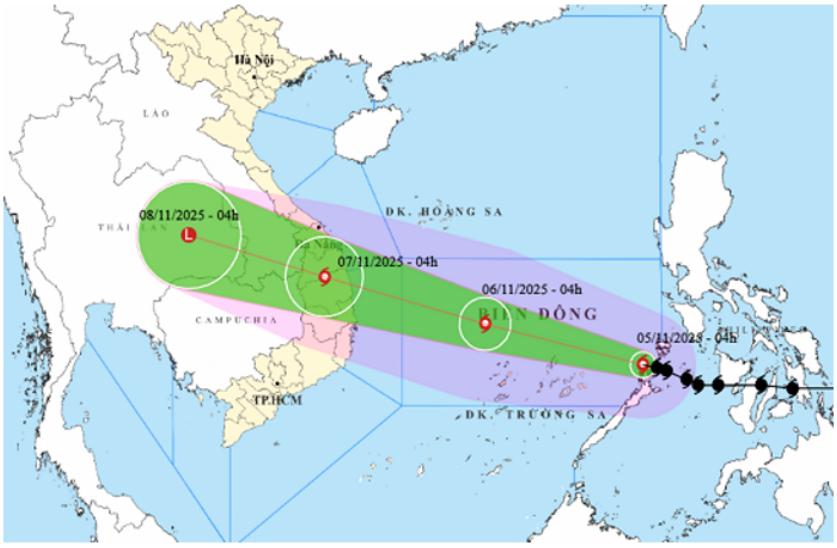
Theo Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia, do ảnh hưởng của bão Kalmaegi nên từ ngày 6–7/11, TP. Đà Nẵng đến Đắk Lắk có mưa rất to với lượng mưa phổ biến 200–400 mm, cục bộ có nơi trên 600 mm; khu vực từ Nam Quảng Trị đến Tp. Huế, Khánh Hòa và Lâm Đồng có mưa to đến rất to với lượng mưa phổ biến 150–300 mm, có nơi trên 450 mm. Từ ngày 8/11, mưa lớn tại các khu vực trên có xu thế giảm dần. Sơ đồ thể hiện đường đi của bão và lượng mưa tại các tỉnh thành miền Trung do bão Kalmaegi được thể hiện trong Hình 2.

3. Dữ liệu và phương pháp sử dụng

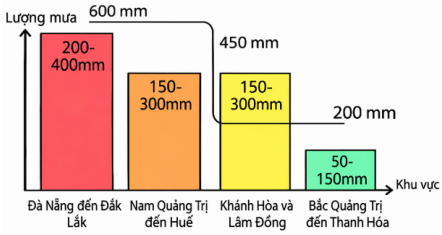
3.1. Quy trình nghiên cứu

Quy trình phát hiện các dấu vết trượt lở đất tiềm năng do sự kiện bão được thực hiện dựa trên việc phân tích biến động của thảm thực vật từ ảnh viễn thám PlanetScope trước và sau sự kiện (Hình 3).

Quy trình được thực hiện trong nghiên cứu này bao gồm các bước như sau: 1) Thu thập dữ liệu ảnh PlanetScope trước và sau sự kiện; 2) Tính toán chỉ số NDVI để đánh giá tình hình thảm thực vật trước và sau sự kiện mưa lớn; 3) Tính toán chỉ số ΔNDVI để phát hiện sự biến động của thảm thực vật trước và sau sự kiện mưa lớn; 4) Hàm phân phối tích lũy thực nghiệm (Empirical Cumulative Distribution Function – ECDF) được sử dụng để xác định ngưỡng phát hiện vùng trượt lở tiềm năng theo phương pháp Percent Clip; 5) Kiểm chứng nhằm đánh giá độ chính xác và độ tin cậy của bộ dữ liệu TLĐ do bão trong năm 2025 (Hình 3).

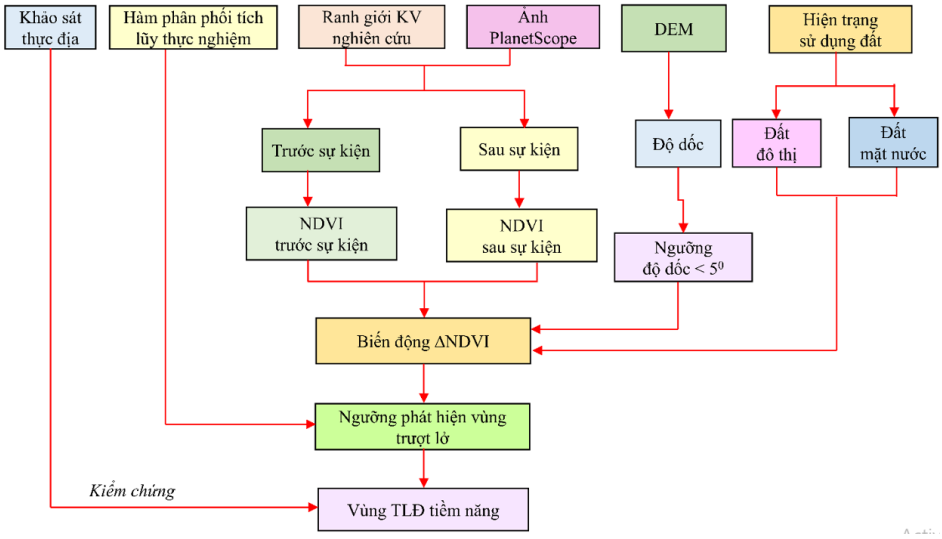


(a) Đường đi của bão Kalmaegi từ 05/11 – 08/11/2025



(b) Lượng mưa tại các tỉnh miền Trung từ 06/11 – 08/11/2025

Hình 2. Thông tin về bão Kalmaegi từ Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia [15]



Hình 3. Quy trình nghiên cứu

3.2. Dữ liệu sử dụng

a. Ảnh vệ tinh quang học PlanetScope

PlanetScope là hệ thống chụp ảnh vệ tinh có độ phân giải không gian cao mới nhất do tổ chức Planet Labs Inc. (Mỹ) triển khai. Hạm đội vệ tinh của Planet, còn được gọi là "Doves", bao gồm nhiều nhóm vệ tinh. Cho đến nay, hệ thống PlanetScope đã phát triển qua ba thế hệ, bao gồm Dove-Classic (PlanetScope-0), Dove-R (PlanetScope-1) và SuperDove (PlanetScope-2) [16]. Từ năm 2017, hạm đội Dove đã đạt được khả năng phủ sóng hình ảnh đa phổ gần như hằng ngày trên tất cả các lục địa. Hình ảnh PlanetScope bao gồm bốn dải quang phổ chính là đỏ, xanh lục, xanh lam, cận hồng ngoại (NIR, Near-Infrared) với độ phân giải không gian 3 m. Đến tháng 8 năm 2021, Planet đã nâng cấp bằng cách thay thế các vệ tinh Dove ban đầu bằng các vệ tinh SuperDove thế hệ tiếp theo. Bộ cảm biến PSB.SD trong các vệ tinh SuperDove bổ sung thêm bốn dải quang phổ là rìa đỏ, xanh lục, vàng, và xanh lam, nhằm tương thích với các dải tần của vệ tinh Sentinel-2 (Bảng 2). Cho đến nay, hệ thống Planet có hơn 180 vệ tinh hoạt động trên quỹ đạo và cung cấp hình ảnh bề mặt Trái Đất với hơn 180 triệu km^2 mỗi ngày [17]. Với những đặc điểm này, hệ thống Planet có thể cung cấp hình ảnh thời gian thực cho các sự kiện đặc biệt liên quan đến thảm họa, tai biến thiên nhiên ở hầu hết các khu vực trên toàn thế giới [16, 17]. Chính vì vậy, nghiên cứu này sử dụng ảnh vệ tinh quang học PlanetScope năm 2025, 2026 do Planet Labs cung cấp. Những hình ảnh PlanetScope được cung cấp là sản phẩm phản xạ bề mặt cấp độ 3B đã được hiệu chỉnh khí quyển và chỉnh hình trực giao bởi Planet Labs. Các thông số kỹ thuật của ảnh vệ tinh quang học PlanetScope được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Các thông số kỹ thuật của ảnh vệ tinh PlanetScope [18]

Số kênh phổ	Bước sóng (nm)	Độ phân giải không gian (m)	Độ phân giải thời gian (ngày)	Loại cảm biến
Kênh 1 – Coastal Blue	443	3	Hàng ngày	PSB.SD (SuperDove)
Kênh 2 – Blue	490	3	Hàng ngày	PSB.SD (SuperDove)
Kênh 3 – Green I	531	3	Hàng ngày	PSB.SD (SuperDove)
Kênh 4 – Green	565	3	Hàng ngày	PSB.SD (SuperDove)
Kênh 5 – Yellow	610	3	Hàng ngày	PSB.SD (SuperDove)
Kênh 6 – Red	665	3	Hàng ngày	PSB.SD (SuperDove)
Kênh 7 – Red Edge	705	3	Hàng ngày	PSB.SD (SuperDove)
Kênh 8 – Near-Infrared	865	3	Hàng ngày	PSB.SD (SuperDove)

b. Dữ liệu địa hình

Độ cao và độ dốc địa hình là những yếu tố quan trọng bậc nhất ảnh hưởng đến sự hình thành trượt lở đất ở các khu vực vùng núi. Chúng quyết định đặc điểm địa hình và kiểm soát sự tích tụ hoặc thoát nước trong khu vực [19]. Trong nghiên cứu này, ranh giới khu vực nghiên cứu được trích xuất từ bản đồ địa hình thành phố Đà Nẵng tỷ lệ 1/50.000. Các bản đồ địa hình này được cung cấp bởi Bộ Nông nghiệp và Môi trường vào năm 2025. Yếu tố độ cao được thu thập và trích xuất từ mô hình độ cao kỹ thuật số FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM) với độ phân giải không gian 30 mét. Do dữ liệu DEM này đã được loại bỏ rừng và các công trình xây dựng, do đó, nó cho phép mô tả bề mặt địa hình chính xác hơn [20]. Dữ liệu FABDEM được tải xuống vào tháng 6 năm 2025 từ trang web [21, 22]. Độ dốc địa hình được tính toán từ dữ liệu FABDEM trong phần mềm ArcGIS Pro.

c. Dữ liệu hiện trạng sử dụng đất

Việc sử dụng đất có thể làm gia tăng hoặc suy giảm sự hình thành sạt lở đất ở các vùng núi. Các hoạt động của con người như phá rừng, xây dựng và mở rộng đường sá làm phá vỡ sự cân bằng và ổn định của đất đá, do đó làm tăng tần suất xuất hiện của trượt lở đất tại các khu vực vùng núi. Trong khi đó, thảm thực vật và rừng tự nhiên đóng vai trò như một rào chắn bảo vệ, hạn chế sự xói mòn đất, qua đó làm giảm sự hình thành trượt lở [23]. Trong nghiên cứu này, bản đồ sử dụng đất được thu thập từ Bộ Nông nghiệp và Môi trường năm 2025.

d. Dữ liệu khảo sát trượt lở

Để kiểm chứng độ chính xác của bộ dữ liệu TLĐ phát hiện trên ảnh PlanetScope do sự kiện bão Kalmaegi vào cuối năm 2025, nghiên cứu này tiến hành khảo sát thực địa trực tiếp bằng công nghệ GNSS và máy bay không người lái (UAV) vào tháng 02 năm 2026 tại khu vực nghiên cứu. Tổng cộng có 89 điểm TLĐ được khảo sát ngoài thực địa.

Thông tin chi tiết về nguồn và thời gian thu thập dữ liệu đầu vào sử dụng trong nghiên cứu được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Thông tin về các loại dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu

TT	Dữ liệu thu thập	Nguồn	Năm thu thập	Định dạng dữ liệu
1	DEM	[22]	06-2025	Grid
2	Độ dốc	Dẫn xuất từ DEM	06-2025	Grid
3	Bản đồ địa hình	Bộ Nông nghiệp và Môi trường	2025	Vector
4	Hiện trạng sử dụng đất	Bộ Nông nghiệp và Môi trường	2025	Vector
5	Hiện trạng TLĐ năm 2025	Khảo sát thực địa	02-2026	Điểm

3.3. Phương pháp sử dụng

a. Thu thập dữ liệu ảnh PlanetScope trước và sau sự kiện

Để đảm bảo rằng những thay đổi về thảm thực vật không phải do TLĐ gây ra, khoảng thời gian giữa việc thu thập ảnh vệ tinh trước và sau sự kiện nên càng ngắn càng tốt, hay càng sát thời điểm xảy ra sự kiện càng tốt [7]. Trong nghiên cứu này, một tập hợp ảnh vệ tinh PlanetScope trước và sau sự kiện đã được thu thập. Tuy nhiên, vì ảnh vệ tinh quang học thường bị ảnh hưởng bởi các điều kiện khí tượng (mây, sương mù,...), nên cần phải lọc và chọn những ảnh ít bị che khuất bởi mây và sương mù nhất cho khu vực nghiên cứu.

b. Tính toán chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hoá (NDVI)

Trong nghiên cứu này, các dải phổ tương ứng với phạm vi bức xạ đỏ và cận hồng ngoại đã được áp dụng để tính toán chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa. Đối với ảnh vệ tinh PlanetScope, các mặt nạ phụ trợ được cung cấp kèm theo mỗi bộ dữ liệu vệ tinh, chẳng hạn như trời quang, có mây, sương mù nhẹ, bóng mây và tuyết, để loại bỏ các điểm ảnh (pixel) sai và xác định các pixel phù hợp cho phân tích. Nếu nhiều cảnh được chụp trong cùng một khu vực vào cùng một ngày, chúng sẽ được kết hợp thành một ảnh ghép duy nhất tương ứng với mỗi dải phổ và mỗi cảm biến. Theo đó, các ảnh ghép từ các ngày khác nhau có thể được kết hợp thành một ảnh tổng hợp trước sự kiện duy nhất để giảm thiểu lỗi pixel do mây che phủ gây ra. Hiệu chỉnh hình ảnh cũng được sử dụng để đảm bảo tính nhất quán

về không gian giữa các hình ảnh tổng hợp trước và sau sự kiện. Dựa trên các hình ảnh được chuẩn hóa về không gian này, chỉ số NDVI trước và sau sự kiện được tính theo phương trình (1) sau [24]:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \tag{1}$$

trong đó NIR và Red biểu thị giá trị phản xạ phổ tại các kênh phổ cận hồng ngoại và đỏ của ảnh vệ tinh.

Chỉ số NDVI được sử dụng để đánh giá sức khỏe và sự phát triển của thảm thực vật. Chỉ số này thường nằm trong khoảng từ −1 đến +1. Thông thường, giá trị NDVI nhỏ hơn 0 cho thấy có nước, tuyết hoặc mây; giá trị từ 0 đến 0,1 cho thấy đất cằn cỗi, cát hoặc đá; giá trị từ 0,2 đến 0,4 phản ánh đồng cỏ thưa thớt hoặc cây bụi; và giá trị từ 0,6 đến 1,0 cho thấy thảm thực vật dày đặc như rừng hoặc cây trồng phát triển tốt [6].

c. Tính toán biến động chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (ΔNDVI)

Biến động chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (ΔNDVI) được tính toán dựa trên chỉ số NDVI trước và sau sự kiện mưa lớn do bão. Theo đó, chỉ số này được tính bằng cách sử dụng phương trình (2) như sau [25]:

$$\Delta NDVI = NDVI_{after} - NDVI_{before} \tag{2}$$

trong đó $NDVI_{before}$ biểu thị giá trị NDVI trên ảnh trước sự kiện và $NDVI_{after}$ biểu thị giá trị NDVI trên ảnh sau sự kiện.

Nếu ΔNDVI mang giá trị âm thì có nghĩa là thảm thực vật bị suy giảm sau sự kiện, nếu ΔNDVI bằng 0 thì điều đó thể hiện thảm thực vật trước và sau sự kiện không thay đổi, và nếu ΔNDVI mang giá trị dương thì có nghĩa là thảm thực vật phục hồi hoặc tăng trưởng mạnh sau sự kiện [7].

d. Xác định ngưỡng phát hiện vùng trượt lở tiềm năng

Để xác định ngưỡng phát hiện vùng trượt lở, các pixel không hợp lệ trên ảnh biến động ΔNDVI, như mây và các khu vực khó có khả năng xảy ra TLĐ, cần phải loại trừ. Theo đó, để loại trừ những khu vực khó có khả năng xảy ra TLĐ, nghiên cứu này đã chồng xếp thêm dữ liệu độ dốc địa hình, dữ liệu hiện trạng sử dụng đất lên trên ảnh biến động ΔNDVI. Theo đó, các khu vực đô thị và khu vực mặt nước là những khu vực khó có thể xảy ra trượt lở và được loại bỏ khỏi ảnh ΔNDVI. Theo nghiên cứu của Duc và cs. [26], TLĐ trong khu vực nghiên cứu hầu như xảy ra tại những khu vực có địa hình dốc trên 5°, do đó, tất cả các khu vực có độ dốc địa hình nhỏ hơn 5° đã được loại trừ khỏi ảnh biến động ΔNDVI. Cuối cùng, toàn bộ những giá trị ΔNDVI của các pixel hợp lệ trong khu vực nghiên cứu sẽ được trích xuất để phục vụ phân tích thống kê.

Tất cả giá trị ΔNDVI của các pixel hợp lệ sẽ được dùng để biểu diễn phân bố tần suất của vùng TLĐ tiềm năng. Theo đó, hàm phân phối tích lũy thực nghiệm (Empirical Cumulative Distribution Function – ECDF) được sử dụng nhằm mô tả tỷ lệ tích lũy của các giá trị ΔNDVI trong toàn bộ khu vực nghiên cứu. Hàm phân phối ECDF là một hàm bậc thang mô tả tỷ lệ các điểm dữ liệu trong một mẫu có giá trị nhỏ hơn hoặc bằng một giá trị cho trước [27]. Bên cạnh đó, nếu biểu đồ histogram chỉ phản ánh tần suất xuất hiện của các khoảng giá trị, thì hàm ECDF cho phép xác định trực tiếp phân vị (percentile) của dữ liệu [28]. Từ tất cả giá trị ΔNDVI của các pixel hợp lệ đã được thống kê, hàm phân phối tích lũy thực nghiệm sẽ được tính toán theo công thức (3) như sau [29]:

$$F_n(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} I(d_i \leq t) \tag{3}$$

$$I(d_i \le t) = \begin{cases} 1, & \text{nếu } d_i \le t \\ 0, & \text{nếu } d_i > t \end{cases} \tag{4}$$

trong đó $F_n(t)$ là hàm phân phối tích lũy thực nghiệm tại giá trị t; n là tổng số pixel hợp lệ; d_i là giá trị ΔNDVI của pixel thứ i; $I(d_i \le t)$ là hàm chỉ thị.

Trong nghiên cứu này, hàm ECDF được sử dụng để xác định ngưỡng phân vị 2% theo phương pháp Percent Clip, tương ứng với giá trị ΔNDVI mà tại đó 2% số pixel có giá trị ΔNDVI nhỏ hơn hoặc bằng ngưỡng này. Các pixel nằm dưới ngưỡng được xem là những khu vực có mức suy giảm thực vật mạnh nhất và được lựa chọn làm các vùng TLĐ tiềm năng [27].

e. Kiểm chứng độ chính xác

Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu từ khảo sát thực địa bằng công nghệ GNSS và máy bay không người lái (UAV) vào tháng 02 năm 2026 tại khu vực nghiên cứu để kiểm chứng độ chính xác của việc xác định các vùng TLĐ tiềm năng do mưa lớn bởi bão Kalmaegi dựa trên phân tích biến động lớp thảm thực vật từ ảnh vệ tinh PlanetScope

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Thu thập dữ liệu ảnh PlanetScope trước và sau sự kiện

Từ sự kiện cơn bão Kalmaegi mạnh nhất trong năm 2025 tại khu vực TP. Đà Nẵng, nghiên cứu này đã tìm kiếm các thông tin về ngày tháng và địa điểm cụ thể trong kho lưu trữ của dữ liệu ảnh PlanetScope. Về mặt lý thuyết, cần phải thu thập ảnh ngay trước và sau sự kiện mưa lớn do bão Kalmaegi trong khu vực, tuy nhiên, do dữ liệu ảnh vệ tinh PlanetScope là ảnh quang học, nên các dữ liệu ảnh này vào thời điểm này thường bị che phủ bởi mây, ngoài ra, đây cũng trùng với thời điểm mùa mưa bão trong khu vực, nên nghiên cứu này chỉ thu thập được vào hai thời điểm, trước và sau sự kiện mà độ che phủ mây trong khu vực là ít nhất. Nghiên cứu này đã tải được 6 cảnh ảnh PlanetScope bao trùm toàn bộ khu vực nghiên cứu vào thời điểm trước sự kiện bão (08/2025) và 3 cảnh ảnh PlanetScope vào thời điểm sau sự kiện bão (01/2026) mà ít bị ảnh hưởng bởi mây và sương mù nhất. Thông tin về thời gian thu thập dữ liệu ảnh PlanetScope được trình bày trong Bảng 4.

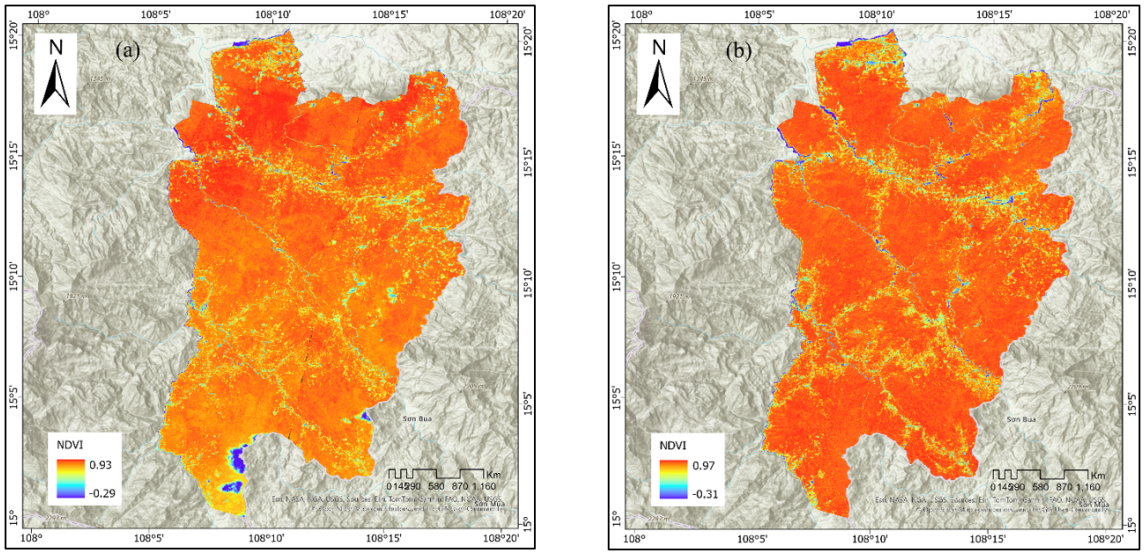
Bảng 4. Thời gian thu thập ảnh vệ tinh PlanetScope trong nghiên cứu

TT	Ảnh vệ tinh	Sản phẩm	Thời gian thu thập	
			Trước sự kiện	Sau sự kiện
1	PlanetScope	Ortho Scene	14/08/2025	16/01/2026

4.2. Tính toán chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hoá (NDVI)

Kết quả so sánh ảnh chỉ số NDVI tại khu vực nghiên cứu trước và sau sự kiện bão Kalmaegi ngày 07/11/2025 cho thấy không có sự thay đổi rõ rệt và đáng kể nào về trạng thái lớp phủ thực vật trong khu vực (Hình 4). Các giá trị NDVI âm (màu xanh lam) chủ yếu tương ứng với mặt nước hoặc các bề mặt không có thảm thực vật. Các giá trị NDVI thấp (màu xanh lục đến vàng nhạt) biểu thị đất trống hoặc thảm thực vật rất thưa. Giá trị NDVI trung bình (màu vàng đến cam) phản ánh khu vực có thảm thực vật phát triển ở mức trung bình, trong khi các giá trị NDVI cao và rất cao (màu đỏ) thể hiện thảm thực vật phát triển tốt với mật độ che phủ cao. Chỉ số NDVI trước sự kiện dao động từ −0,29 đến 0,93 (Hình 4(a)), trong khi đó, chỉ số NDVI sau sự kiện dao động từ −0,31 đến 0,97 (Hình 4(b)). Quan sát trên ảnh NDVI trước và sau sự kiện bão cho thấy phần lớn diện tích khu vực nghiên cứu được bao phủ bởi các giá trị NDVI cao, thể hiện bằng các gam màu đỏ và cam chiếm ưu thế, phản ánh lớp phủ

thực vật phát triển tương đối tốt, chủ yếu là rừng tự nhiên và rừng trồng phân bố trên các sườn núi khi chồng xếp với dữ liệu DEM trong khu vực. Điều này cũng cho thấy bão Kalmaegi không gây suy giảm đồng loạt lớp phủ thực vật trên toàn khu vực nghiên cứu.



(a) Trước sự kiện (14/08/2025) (b) Sau sự kiện (16/01/2026)

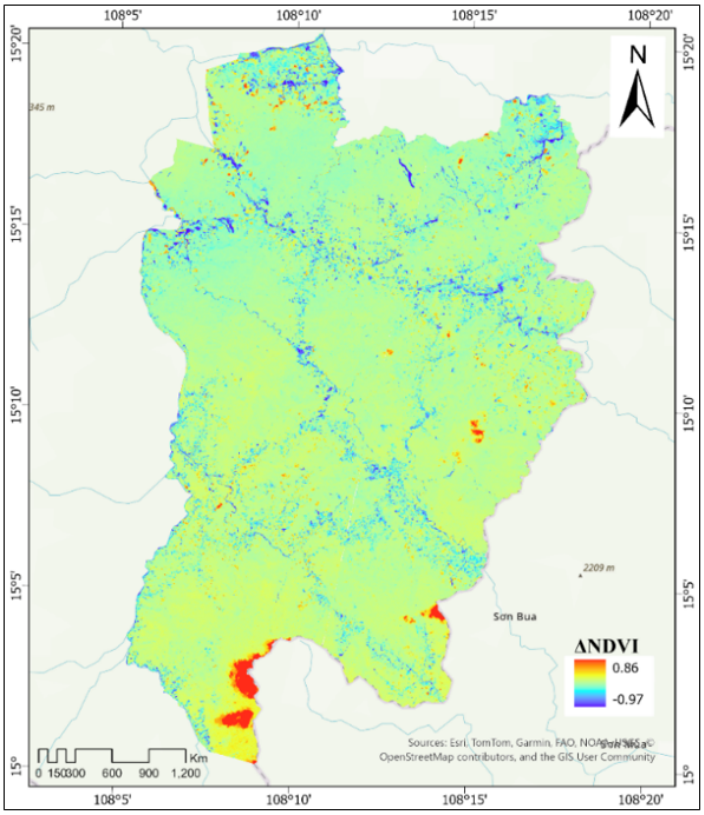
Hình 4. Ảnh chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI)

Tuy nhiên, so với thời điểm trước bão, ảnh NDVI sau bão xuất hiện nhiều vùng có NDVI thấp hơn, thể hiện bằng sự gia tăng của các điểm và dải màu vàng đến xanh lục phân bố rải rác trên các sườn dốc ở phía Tây Nam. Những biến động này phản ánh hiện tượng suy giảm cục bộ của thảm thực vật do tác động của mưa lớn hoặc các quá trình địa mạo xảy ra sau bão. Các khu vực có chỉ số NDVI thấp vẫn phân bố dọc theo hệ thống sông suối trong khu vực và hầu như không thay đổi giữa hai thời điểm.

4.3. Tính toán biến động chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (ΔNDVI)

Trong nghiên cứu này, ảnh biến động chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (ΔNDVI) được tính toán dựa trên việc sử dụng ảnh chỉ số NDVI trước và sau sự kiện mưa lớn do bão Kalmaegi và có giá trị dao động trong khoảng từ −0,97 đến 0,86 (Hình 5). Quan sát tổng thể trên Hình 5 cho thấy các giá trị ΔNDVI dương (màu vàng đến đỏ) chỉ xuất hiện rải rác tại một số khu vực. Các vùng này tập trung chủ yếu ở phía nam và phía tây nam của khu vực nghiên cứu. Giá trị ΔNDVI dương cho thấy NDVI sau bão cao hơn trước bão, có thể xuất phát từ sự khác biệt về điều kiện chiếu sáng, độ ẩm bề mặt, giai đoạn sinh trưởng của thảm thực vật. Trong khi đó, các giá trị ΔNDVI âm (màu xanh lam) phân bố rải rác trên toàn khu vực nghiên cứu, tập trung nhiều dọc theo các sườn núi, khe suối và một số khu vực có địa hình chia cắt mạnh. Điều này thể hiện sự suy giảm của lớp phủ thực vật sau bão và có thể liên quan đến hiện tượng cây gãy đổ, mất tán lá hoặc trượt lở đất.

Tuy nhiên, do các dải ΔNDVI âm cũng xuất hiện dọc theo hệ thống sông suối và những khu vực vốn có NDVI thấp, nên không phải tất cả các pixel có ΔNDVI âm đều đại diện cho trượt lở. Vì vậy, cần áp dụng bước xác định ngưỡng để loại bỏ các biến động nhỏ và chỉ giữ lại những khu vực có mức suy giảm thực vật bất thường.



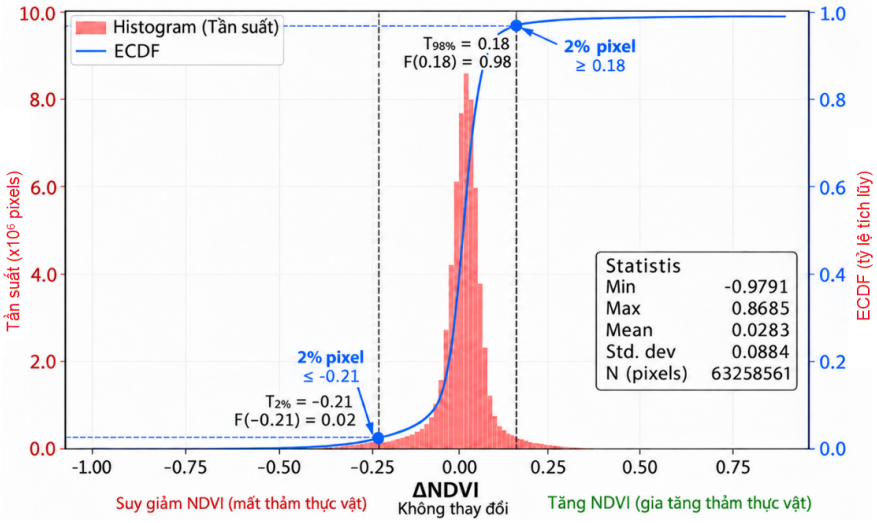
Hình 5. Biến động ΔNDVI được tính dựa trên chỉ số NDVI trước và sau sự kiện bão Kalmaegi

4.4. Xác định ngưỡng phát hiện vùng trượt lở tiềm năng

Biểu đồ tần suất (histogram) phân bố giá trị ΔNDVI của toàn bộ các pixel hợp lệ trong khu vực nghiên cứu cùng với hai ngưỡng phân vị được xác định theo phương pháp Percent Clip 2% được thể hiện trong Hình 6. Trong nghiên cứu này, ngưỡng phân vị 2% được lựa chọn vì hiện tượng TLĐ chỉ chiếm một tỷ lệ rất nhỏ so với tổng diện tích khu vực nghiên cứu. Sau bão, phần lớn diện tích vẫn được che phủ bởi thảm thực vật và chỉ một số khu vực cục bộ xảy ra suy giảm NDVI mạnh do lớp phủ thực vật bị phá hủy. Do đó, các giá trị ΔNDVI nhỏ nhất được xem là đại diện cho những biến động bất thường thay vì biến động tự nhiên của thảm thực vật.

Kết quả thống kê cho thấy giá trị ΔNDVI dao động trong khoảng từ −0,9791 đến 0,8685, với giá trị trung bình (Mean) bằng 0,0283 và độ lệch chuẩn (Standard Deviation) bằng 0,0884, tổng số lượng pixel là 63258561. Khoảng biến thiên khá rộng phản ánh sự tồn tại của cả những khu vực có mức suy giảm và gia tăng mạnh của chỉ số thực vật NDVI sau bão, tuy nhiên, giá trị trung bình chỉ đạt 0,0283 cho thấy phần lớn khu vực nghiên cứu có mức biến động NDVI không đáng kể. Điều này chứng tỏ ảnh hưởng của bão đến lớp phủ thực vật chủ yếu xảy ra cục bộ, trong khi đa số diện tích thực phủ trong khu vực vẫn duy trì trạng thái tương đối ổn định.

Bên cạnh đó, hàm phân phối tích lũy thực nghiệm ECDF được sử dụng để xác định ngưỡng phát hiện trượt lở theo phương pháp Percent Clip. Kết quả cho thấy ngưỡng dưới 2% ($T_{2\%}$) ở phía bên trái của phân bố tương ứng với giá trị ΔNDVI = −0,21, tức là chỉ có khoảng 2% số pixel có giá trị ΔNDVI nhỏ hơn hoặc bằng ngưỡng này. Các pixel này nằm trong vùng suy giảm thực vật bất thường trong khu vực và được lựa chọn là các vùng TLĐ tiềm năng. Sự suy giảm mạnh này thường phản ánh hiện tượng mất lớp phủ thực vật do TLĐ hoặc quá trình địa mạo [27]. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, các



Hình 6. Biểu đồ tần suất và hàm phân phối tích lũy thực nghiệm trên ảnh ΔNDVI nhằm xác định ngưỡng phát hiện vùng TLĐ tiềm năng

pixel thỏa mãn điều kiện ΔNDVI ≤ −0,21 sẽ được lựa chọn là các vùng TLĐ tiềm năng. Trong khi đó, ngưỡng trên 98% ($T_{98\%}$) ở phía bên phải của phân bố tương ứng với ΔNDVI = 0,18, đại diện cho khoảng 2% số pixel có sự gia tăng mạnh của chỉ số NDVI. Các giá trị này biểu thị sự gia tăng mạnh của thảm thực vật sau bão và thường liên quan đến sự phục hồi của thảm thực vật. Do đó, ngưỡng trên thường không được sử dụng trong quá trình phát hiện trượt lở [27].

4.5. Bản đồ vùng trượt lở đất tiềm năng do mưa lớn bởi bão Kalmaegi

Số lượng vùng TLĐ tiềm năng do mưa lớn bởi bão Kalmaegi được phân tích và thống kê dựa trên việc chỉ lọc các pixel có giá trị ΔNDVI nhỏ hơn hoặc bằng −0,21, tương ứng với ngưỡng dưới ($T_{2\%}$) trong phương pháp Percent Clip được sử dụng trong nghiên cứu. Theo đó, có tổng số 1.793 vùng TLĐ tiềm năng được phát hiện, trong đó nhiều nhất là xã Trà Tân (925 vùng), tiếp theo là xã Nam Trà My (355 vùng) và xã Trà Giáp (352 vùng), cuối cùng là xã Trà Vân (161 vùng), xét cả về số lượng lẫn diện tích vùng TLĐ tiềm năng (Bảng 5).

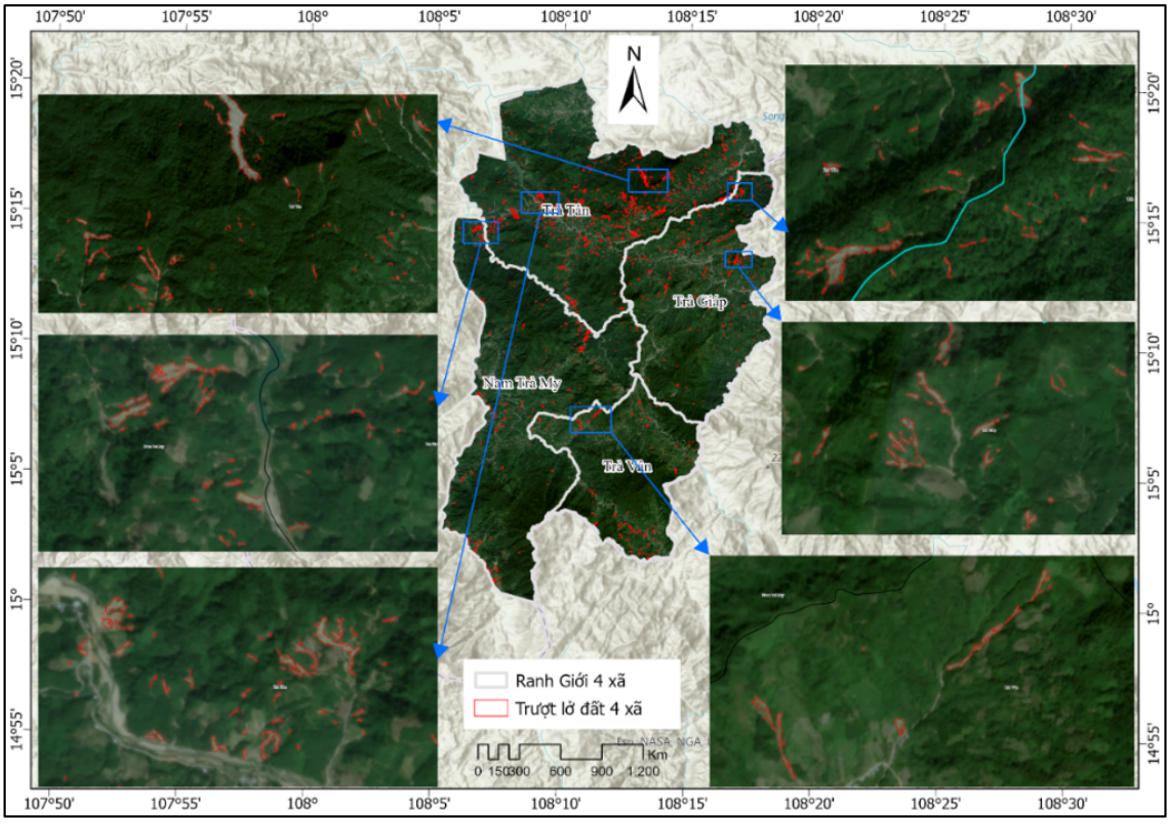
Bảng 5. Thống kê số vùng TLĐ tiềm năng sau sự kiện bão Kalmaegi (11/2025)

Các thông tin	Tên xã				Tổng
	Trà Vân	Nam Trà My	Trà Tân	Trà Giáp	
Số lượng vùng TLĐ tiềm năng	161	355	925	352	1793
Diện tích vùng trượt lớn nhất (m^2)	6301,96	20848,06	153364,88	18694,35	199209,30
Diện tích vùng trượt nhỏ nhất (m^2)	124,62	53,30	79,54	76,98	334,44
Tổng diện tích vùng trượt (m^2)	155981,51	359147,17	1205652,96	280719,57	2001501,21

Hình 7 thể hiện sự phân bố không gian của các vùng TLĐ tiềm năng sau bão Kalmaegi trên địa bàn 4 xã (Trà Tân, Trà Giáp, Nam Trà My và Trà Vân). Các vùng trượt lở được khoanh vi màu đỏ và phân bố không đồng đều trong khu vực nghiên cứu.

Mật độ các vùng TLĐ tiềm năng tập trung nhiều nhất tại xã Trà Tân, đặc biệt là tại các vị trí dọc theo sườn núi có địa hình dốc và các lưu vực đầu nguồn. Tiếp theo là xã Trà Giáp và Nam Trà My, nơi các vùng TLĐ tiềm năng phân bố rải rác nhưng vẫn hình thành nhiều cụm tập trung tại các sườn dốc và khu vực ven các tuyến giao thông miền núi. Trong khi đó, xã Trà Vân có số lượng vùng TLĐ

tiềm năng ít hơn và chủ yếu xuất hiện phân tán, tập trung tại các khu vực địa hình cao và dọc theo các khe suối (Hình 7). Nhìn chung, các vùng TLĐ trong khu vực chủ yếu là sạt lở nông, quy mô nhỏ đến trung bình do mưa lớn kéo dài gây ra, nhận định này cũng phù hợp với nghiên cứu của [30] khi đánh giá về phạm vi phân bố và kích thước các khối trượt tại miền Trung Việt Nam.



Hình 7. Bản đồ thể hiện các vùng TLĐ tiềm năng trên ảnh PlanetScope

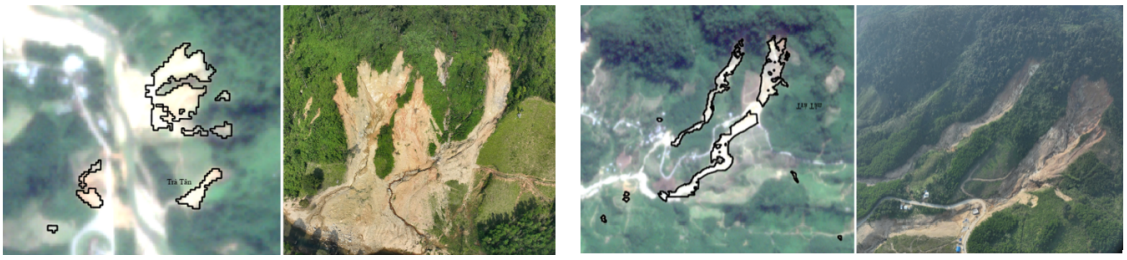
4.6. Kiểm chứng độ chính xác phát hiện các vùng TLĐ tiềm năng

Nghiên cứu này sử dụng 89 vị trí khảo sát cả bằng GNSS và bay chụp UAV ngoài thực địa vào tháng 02/2026 để kiểm chứng các vùng TLĐ tiềm năng trên ảnh PlanetScope do bão Kalmaegi vào đầu tháng 11/2025. Điểm khảo sát thực địa được xác định là trùng khớp khi có vị trí/ranh giới trượt trùng hoặc giao cắt với vùng TLĐ tiềm năng được phát hiện từ ảnh PlanetScope. Trường hợp điểm khảo sát không có sự giao cắt với bất kỳ vùng TLĐ tiềm năng nào được phân loại là không trùng khớp. Theo đó, trên cơ sở các vùng TLĐ tiềm năng được phát hiện từ ảnh PlanetScope, nhóm nghiên cứu tiến hành khảo sát thực địa ngẫu nhiên tại 89 điểm để đối sánh. Kết quả cho thấy có 72 điểm trùng khớp với những vùng TLĐ phát hiện được trên ảnh, thể hiện trong Bảng 6.

Kết quả kiểm chứng cho thấy có 72/89 điểm sạt lở được khảo sát thực địa đều nằm trong các vùng sạt lở tiềm năng trên ảnh PlanetScope, đạt tỷ lệ phát hiện 80,9% (Hình 8). Do hạn chế về thời gian cùng với quãng đường di chuyển khá dài, nên nghiên cứu này mới chỉ tập trung vào việc xác định sự trùng khớp về tọa độ giữa các vùng sạt lở tiềm năng được phát hiện trên ảnh PlanetScope với thực địa mà chưa có điều kiện đối soát về diện tích trượt lở.

Bảng 6. Kết quả kiểm chứng các vùng TLĐ phát hiện từ ảnh PlanetScope bằng dữ liệu khảo sát thực địa

Kí hiệu	Vĩ độ	Kinh độ	Thuộc xã	Kí hiệu	Vĩ độ	Kinh độ	Thuộc xã
TL-1	15,109745	108,110797	Nam Trà My	TL-24	15,243226	108,205086	Trà Tân
TL-2	15,110049	108,110998	Nam Trà My	TL-25	15,244109	108,205161	Trà Tân
TL-3	15,101699	108,105625	Nam Trà My	TL-26	15,243555	108,203822	Trà Tân
TL-4	15,100903	108,105940	Nam Trà My	TL-27	15,243860	108,201642	Trà Tân
TL-5	15,084921	108,108290	Nam Trà My	TL-28	15,244274	108,200097	Trà Tân
TL-6	15,084903	108,109583	Nam Trà My	TL-29	15,244233	108,198681	Trà Tân
TL-7	15,084852	108,108468	Nam Trà My	TL-30	15,246593	108,220868	Trà Tân
TL-8	15,088514	108,108102	Nam Trà My	TL-31	15,247255	108,219194	Trà Tân
TL-9	15,128957	108,130669	Nam Trà My	TL-48	15,260961	108,270907	Trà Tân
TL-10	15,127862	108,129576	Nam Trà My	TL-51	15,232544	108,182768	Trà Tân
TL-33	15,144854	108,146351	Nam Trà My	TL-52	15,234903	108,181773	Trà Tân
TL-34	15,146068	108,144763	Nam Trà My	TL-53	15,249533	108,176138	Trà Tân
TL-35	15,138984	108,124334	Nam Trà My	TL-54	15,248353	108,168895	Trà Tân
TL-40	15,165380	108,178710	Nam Trà My	TL-55	15,248791	108,161414	Trà Tân
TL-41	15,176858	108,178177	Nam Trà My	TL-56	15,247144	108,157721	Trà Tân
TL-42	15,181785	108,176496	Nam Trà My	TL-57	15,245190	108,155468	Trà Tân
TL-43	15,180114	108,179494	Nam Trà My	TL-58	15,242098	108,154650	Trà Tân
TL-44	15,179579	108,180225	Nam Trà My	TL-59	15,242943	108,154707	Trà Tân
TL-45	15,179589	108,179586	Nam Trà My	TL-60	15,242458	108,160502	Trà Tân
TL-11	15,116234	108,178453	Trà Vân	TL-61	15,235691	108,175816	Trà Tân
TL-12	15,112295	108,182945	Trà Vân	TL-62	15,229010	108,170968	Trà Tân
TL-13	15,122926	108,188440	Trà Vân	TL-63	15,226244	108,171470	Trà Tân
TL-14	15,118347	108,185904	Trà Vân	TL-64	15,285902	108,280928	Trà Tân
TL-15	15,109306	108,195089	Trà Vân	TL-65	15,284934	108,277900	Trà Tân
TL-36	15,097082	108,250584	Trà Vân	TL-67	15,274447	108,281803	Trà Tân
TL-37	15,103172	108,242452	Trà Vân	TL-32	15,188825	108,278804	Trà Giáp
TL-38	15,120295	108,226057	Trà Vân	TL-46	15,215566	108,224326	Trà Giáp
TL-39	15,116707	108,223535	Trà Vân	TL-47	15,214874	108,224516	Trà Giáp
TL-16	15,250932	108,135945	Trà Tân	TL-49	15,258622	108,267244	Trà Giáp
TL-17	15,248040	108,137000	Trà Tân	TL-50	15,256790	108,261063	Trà Giáp
TL-18	15,255961	108,151362	Trà Tân	TL-66	15,273373	108,281103	Trà Giáp
TL-19	15,255840	108,151074	Trà Tân	TL-68	15,210095	108,216992	Trà Giáp
TL-20	15,256411	108,151066	Trà Tân	TL-69	15,223884	108,209144	Trà Giáp
TL-21	15,256231	108,151927	Trà Tân	TL-70	15,181223	108,272290	Trà Giáp
TL-22	15,310468	108,124989	Trà Tân	TL-71	15,196550	108,263430	Trà Giáp
TL-23	15,246226	108,208736	Trà Tân	TL-72	15,194582	108,262882	Trà Giáp



(a) Tại xã Trà Tân (điểm TL- 16 và TL – 25; thời gian khảo sát 15/02/2026)



(b) Tại xã Trà Vân (điểm TL- 14 và TL – 39; thời gian khảo sát 16/02/2026)



(c) Tại xã Nam Trà My (điểm TL-41; thời gian khảo sát 17/02/2026)



(d) Tại xã Trà Giáp (điểm TL-69; thời gian khảo sát 18/02/2026)

Hình 8. Một số kết quả kiểm chứng các vùng TLĐ tiềm năng trên ảnh PlanetScope (ảnh khoanh vùng trượt màu đen bên trái) với khảo sát thực địa bằng UAV (ảnh phải)

5. Kết luận

Nghiên cứu này trình bày phương pháp bán tự động trong việc xác định dấu vết trượt lở đất do mưa lớn bởi bão Kalmaegi trong năm 2025 dựa trên việc phân tích biến động của thảm thực vật trước và sau sự kiện. Sự kiện bão Kalmaegi đã gây ra mưa lớn cực đoan trên địa bàn TP. Đà Nẵng từ ngày 6–7/11/2025. Dữ liệu ảnh viễn thám quang học đa thời gian PlanetScope với độ phân giải không gian 3 m đã được sử dụng để tính toán các chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa NDVI nhằm đánh giá tình hình thảm thực vật trước và sau sự kiện. Biến động ΔNDVI được tính toán nhằm phát hiện những biến động của thảm thực vật trước và sau sự kiện mưa lớn do bão. Hàm phân phối tích lũy thực nghiệm đã được sử dụng để xác định ngưỡng phân loại các vùng TLĐ tiềm năng theo phương pháp Percent Clip. Qua quan sát và phân tích những biến động của lớp phủ thực vật trước và sau sự kiện, nghiên cứu đã phát hiện được 1.793 vùng TLĐ tiềm năng, trong đó nhiều nhất là xã Trà Tân (925 vùng), tiếp theo là xã Nam Trà My (355 vùng) và xã Trà Giáp (352 vùng), cuối cùng là xã Trà Vân (161 vùng). Kết quả này cũng được kiểm chứng ngẫu nhiên thông qua 89 vị trí khảo sát thực địa vào tháng 02/2026 nhằm đánh giá độ chính xác và độ tin cậy của bộ dữ liệu TLĐ tiềm năng này. Những kết quả đạt được trong nghiên cứu này không chỉ làm phong phú thêm phương pháp tiếp cận và xác định dấu vết trượt lở đất do mưa lớn trong lịch sử trên quy mô lớn, có tính tự động hóa cao, mà còn có khả năng áp dụng cho

các khu vực có điều kiện địa hình tương tự.

Tuy nhiên, số lượng điểm khảo sát thực địa dùng để kiểm chứng còn tương đối hạn chế so với phạm vi nghiên cứu và tổng số vùng sạt lở được phát hiện. Bên cạnh đó, nghiên cứu này còn chưa khảo sát diện tích sạt trượt được xác định trên ảnh với ngoài thực địa. Vì vậy, các nghiên cứu tiếp theo cần bổ sung số lượng điểm kiểm chứng nhiều hơn và phân bố rộng hơn, cũng như xác định diện tích vùng sạt trượt để đánh giá đầy đủ hơn độ chính xác và khả năng phân biệt của phương pháp này.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài "Nghiên cứu ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số (Digital Twin) và trí tuệ nhân tạo thông tin địa lý (GeoAI) từ dữ liệu đa nguồn trong phân tích và giảm thiểu rủi ro lũ lụt, trượt lở đất dưới tác động của biến đổi khí hậu và đô thị hoá" – Mã số 105.08-2025.35.

Tuyên bố về việc sử dụng trí tuệ nhân tạo tạo sinh và các công nghệ hỗ trợ bởi AI

Các tác giả xác nhận không sử dụng bất kỳ công cụ trí tuệ nhân tạo tạo sinh hoặc công nghệ hỗ trợ bởi AI nào trong quá trình chuẩn bị và hoàn thiện bản thảo.

Tài liệu tham khảo

[1] Amarasinghe, M. P., Kulathilaka, S. A. S., Robert, D. J., Zhou, A., Jayathissa, H. A. G. (2024). Risk assessment and management of rainfall-induced landslides in tropical regions: A review. *Natural Hazards*, 120(3):2179–2231.

[2] Wang, K., Wu, X., Chen, T.-H. K., Xiao, W. (2026). Mapping precipitation-triggered landslide risks in global human settlements. *Applied Geography*, 187:103886.

[3] Chinh, L. T. D., Hang, H. T. (2023). An analysis of the relative variable importance to flood fatality using a machine learning approach. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (JSTCE) - HUCE*, 17(1):125–136.

[4] Chinh, L. T. D., Hằng, H. T., Linh, T. H., Quỳnh, B. D. (2022). Đánh giá ảnh hưởng của lũ lụt khu vực tỉnh Quảng Bình sử dụng Google Earth Engine và các phân tích không gian. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCNXD) - ĐHXDHN*, 16(5V):101–113.

[5] Ghorbanzadeh, O., Gholamnia, K., Ghamisi, P. (2023). The application of ResU-net and OBIA for landslide detection from multi-temporal Sentinel-2 images. *Big Earth Data*, 7(4):961–985.

[6] Saito, H., Uchiyama, S., Teshirogi, K. (2022). Rapid vegetation recovery at landslide scars detected by multitemporal high-resolution satellite imagery at Aso volcano, Japan. *Geomorphology*, 398:107989.

[7] Filipponi, F., Iadanza, C., Vivaldi, V., Zucca, F., Meisina, C., Ferrario, M. F., Trigila, A. (2025). Hybrid pixel-based and object-based image analysis approach for landslides rapid mapping: The extreme rainfall in Emilia-Romagna (Italy) May 2023 case study. *Natural Hazards*, 121(19):22549–22580.

[8] Ismail, M. S., Yanuarsyah, I., Kamilah, N. (2025). Spatial analysis of landslide detection using the relative different NDVI (rdNDVI) method through the Google Earth Engine platform (Case study of Sukamakmur District, Bogor Regency). *e-Jurnal Penyelidikan dan Inovasi*, 12(5):296–311.

[9] Toan, D. T., Duc, D. M., Quynh, D. T., Khang, D. Q., Van Dong, B. (2025). Extreme-rainfall-induced series of landslides and large flow-like landslides in Ho Bon commune, Mu Cang Chai district, Yen Bai province, Vietnam, in August 2023. *Landslides*, 22(8):2607–2622.

[10] Dương, T. T., Dang, Q. K., Tran, T. D., Do Minh, D. (2025). Identification and delineation of potential large-scale landslide-prone areas along National Highway 32, Lao Cai Province, Vietnam. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 41(4):65–84.

[11] Da Nang Portal. *https://danang.gov.vn*. Truy cập ngày 5 tháng 6 năm 2026.

[12] Doan, V. L., Nguyen, C. C., Nguyen, B. Q., Pham, L. T., Nguyen, T. Q., Trang, L. H. (2026). Landslide susceptibility mapping under extreme events: Evidence from the October 2020 event in Phuoc Son area, Danang city, Vietnam. *Journal of Science and Transport Technology*, 6(2):256–276.

[13] OCHA (2025). *Viet Nam: Typhoon Kalmaegi (No. 13) Flash Update No. 1 (As of 11 November 2025)*. ReliefWeb, Truy cập ngày 30 tháng 6 năm 2026.

[14] Trung tâm Chính sách và Kỹ thuật phòng chống thiên tai. *http://www.dmc.gov.vn/*. Ngày truy cập 15/06/2026.
[15] Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia. *https://www.nchmf.gov.vn/kttv/*. Ngày truy cập 15/06/2026.
[16] Roy, D. P., Huang, H., Houborg, R., Martins, V. S. (2021). A global analysis of the temporal availability of PlanetScope high spatial resolution multi-spectral imagery. *Remote Sensing of Environment*, 264:112586.
[17] Tan, B., Wolfe, R., Lin, G. (2021). PlanetScope imagery geolocation accuracy assessment. *AGU Fall Meeting Abstracts*, 2021:B15I–1545.
[18] Ahn, J., Kim, Y., Kim, H., Kim, K., Lee, Y. (2024). Landslide detection using Swin Transformer model and PlanetScope images: A performance comparison by the input data combination. *Korean Journal of Remote Sensing*, 40(6):1067–1077.
[19] Thành, Đ. C., Bình, P. T., Đảm, N. Đ. (2022). Ứng dụng mô hình trọng số dẫn chứng (WOE) trong xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở tại tỉnh Quảng Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCNXD) - ĐHXDHN*, 16(2V):139–152.
[20] Roy, S., Ghatage, O., Dandabathula, G. (2025). Mensuration of FABDEM's vertical accuracy using ICESat-2 photon profiles over sloped terrains. *Spatial Information Research*, 33(2):10.
[21] Awesome GEE Community Catalog. *FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus 30m DEM)*. Ngày truy cập 30/06/2025.
[22] Data Bristol. *FABDEM V1-2*. University of Bristol (Đại học Bristol), ngày truy cập 30/06/2025.
[23] Chen, L., Guo, Z., Yin, K., Shrestha, D. P., Jin, S. (2019). The influence of land use and land cover change on landslide susceptibility: A case study in Zhushan Town, Xuan'en County (Hubei, China). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(10):2207–2228.
[24] Fitts, Y., Tucker, C., Hiernaux, P., Auda, Y., Kergoat, L. (2025). Using PlanetScope NDVI time series to detect the phenology of individual trees in the Sahel. *Remote Sensing of Environment*, 321:114650.
[25] Furukawa, F., Morimoto, J., Yoshimura, N., Kaneko, M. (2020). Comparison of conventional change detection methodologies using high-resolution imagery to find forest damage caused by typhoons. *Remote Sensing*, 12(19):3242.
[26] Duc, D. M., Khang, D. Q., Duc, D. M., Ngoc, D. M., Quynh, D. T., Thuy, D. T., Giang, N. K. H., Tien, P. V., Ha, N. H. (2020). Analysis and modeling of a landslide-induced tsunami-like wave across the Truong river in Quang Nam province, Vietnam. *Landslides*, 17(10):2329–2341.
[27] Guo, X., Guo, Q., Feng, Z. (2021). Detecting the vegetation change related to the creep of 2018 Baige landslide in Jinsha River, SE Tibet using SPOT data. *Frontiers in Earth Science*, 9:706998.
[28] Upadhaya, A., Telle, J.-S., Schlüters, S., Saber, M., von Maydell, K. (2025). A robust approach to extend deterministic models for the quantification of uncertainty and comprehensive evaluation of the probabilistic forecasting. *International Journal of Energy Research*, 2025(1):4460462.
[29] Pernot, P., Savin, A. (2018). Probabilistic performance estimators for computational chemistry methods: The empirical cumulative distribution function of absolute errors. *The Journal of Chemical Physics*, 148 (24).
[30] Akari, Y., Go, S., Tran, T. V., Van Thang, N., Takatsugu, O. (2026). Evaluating landslide dimensions and distribution across different geological settings in Quang Nam Province following Typhoon Molave. Thanh, N.-V., Nguyen-Ngoc, L., Bui-Tien, T., Nguyen-Quang, T., De Roeck, G., editors, *Proceedings of the 5th International Conference on Sustainability in Civil Engineering - Volume 1*, Springer Nature Singapore, 232–242.