

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Nguyễn Việt Tiến

**NGHIÊN CỨU QUẢN LÝ RỦI RO TAI BIẾN TRƯỢT ĐẤT
TẠI KHU VỰC ĐÔ THỊ ĐÀ LẠT - LẠC DƯƠNG,
TỈNH LÂM ĐỒNG**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC TRÁI ĐẤT

Hà Nội – 2026

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Người hướng dẫn khoa học:

Người hướng dẫn khoa học 1: GS.TS. Đỗ Minh Đức

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS.TSKH. Vũ Cao Minh

Phản biện 1: PGS. TS. Nguyễn Châu Lân

Phản biện 2: TS. Trần Anh Tuấn

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện, họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồi ... giờ ..., ngày ... tháng ... năm 2026

Có thể tìm hiểu luận án tại:

1. Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
2. Thư viện Quốc gia Việt Nam

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Hiện nay, nghiên cứu quản lý rủi ro (QLRR) trượt đất ở Việt Nam hiện vẫn còn hạn chế. Các nghiên cứu trước đây phần lớn mới dừng lại ở việc nhận dạng điểm trượt, phân vùng nguy cơ hoặc xác định yếu tố ảnh hưởng mà chưa xây dựng được mô hình lượng hóa rủi ro tổng hợp. Việc thiếu các công cụ đánh giá định lượng, hệ thống cảnh báo và cơ sở dữ liệu tích hợp khiến công tác quy hoạch và đầu tư tại các khu vực có nguy cơ trượt đất gặp nhiều khó khăn. Chính vì vậy, việc tiếp cận và xây dựng một hệ thống QLRR trượt đất hiệu quả, tích hợp đa yếu tố và ứng dụng công nghệ hiện đại là giải pháp cấp bách, không chỉ để bảo vệ con người và tài sản mà còn đảm bảo phát triển đô thị bền vững trong bối cảnh BĐKH.

Xuất phát từ yêu cầu thực tiễn đó, đề tài luận án: “Nghiên cứu quản lý rủi ro tai biến trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, tỉnh Lâm Đồng”, nhằm đề xuất hệ thống đánh giá, kiểm soát rủi ro (KSRR) trượt đất có cơ sở khoa học, phù hợp thực tế và có khả năng áp dụng tại địa phương.

2. Mục tiêu và nội dung nghiên cứu của luận án

Mục tiêu: 1) Làm sáng tỏ các đặc trưng và đánh giá được tai biến trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương; 2) Đánh giá định lượng mức độ rủi ro và đề xuất giải pháp quản lý rủi ro tai biến trượt đất cho khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

Nội dung nghiên cứu: 1) Nghiên cứu xác định các đặc trưng trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương; 2) Nghiên cứu đánh giá tai biến trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương; 3) Nghiên cứu đánh giá rủi ro đối với các đối tượng chính chịu tác động của trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương; 4) Đề xuất các giải pháp giảm thiểu rủi ro và QLRR tai biến trượt đất cho khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

3. Luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Trượt đất ở khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương chủ yếu liên quan đến quá trình đô thị hoá mạnh mẽ trên địa hình dốc có điều

kiện địa chất phức tạp, làm gia tăng diện tích vùng nguy cơ cao và rất cao theo thời gian.

Luận điểm 2: Rủi ro tai biến trượt đất khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương được quản lý theo quy trình gồm 6 bước: 1) Nhận dạng và đánh giá nguy cơ trượt đất, 2) Lượng hoá rủi ro trượt đất, 3) Đánh giá rủi ro tai biến trượt đất, 4) Định hướng KSRR, 5) Đề xuất giải pháp giảm thiểu rủi ro và 6) Giám sát, cập nhật, trong đó vùng rủi ro khó chấp nhận được tập trung chủ yếu ở các khu vực phát triển đô thị mới.

4. Cơ sở tài liệu của luận án

Tài liệu và dữ liệu thu thập: 1) Thông tin đại chúng (báo chí, truyền hình, mạng xã hội) về các sự kiện trượt đất; 2) Dữ liệu quản lý nhà nước từ các sở, ngành và địa phương tỉnh Lâm Đồng (báo cáo thiên tai, tài liệu tai biến địa chất, bản đồ và quy hoạch sử dụng đất); 3) Tài liệu khoa học trong và ngoài nước liên quan đến trượt đất và đánh giá rủi ro; 4) Kế thừa và khai thác CSDL từ các đề tài/dự án mã số TN18/T13, ĐL0000.01/20-21, TN3/T04, TN3/T01 và Đề án “Điều tra địa chất thành phố Đà Lạt”; 5) Niên giám thống kê dân cư (2012–2022), số liệu mưa (1978–2024), danh mục 57 vị trí nguy cơ trượt và hồ sơ quy hoạch tỉnh Lâm Đồng.

Số liệu do luận án thực hiện: 1) Khảo sát 125 điểm trượt; lập cơ sở dữ liệu mô tả, ảnh thực địa và phân tích chuỗi ảnh Google Earth để làm rõ diễn biến không gian–thời gian, phân loại kiểu trượt; thiết lập hồi quy Htb–Lv nhằm ước lượng phạm vi ảnh hưởng và QLRR; 2) Quan trắc 02 vị trí trượt lớn: (i) TP. Đà Lạt đo dịch chuyển theo mùa mưa; (ii) TT. Lạc Dương vận hành hệ thống quan trắc tự động (đo mưa–PWP–dịch chuyển theo thời gian thực), phục vụ xây dựng cơ sở cảnh báo sớm; 3) Phân tích 21 sự kiện trượt (2016–2020) và chuỗi mưa ngày 5 năm; xác định ngưỡng mưa kích hoạt và xác suất xuất hiện trượt theo thời gian; 4) Thí nghiệm 55 mẫu đất (5 loại đất sườn tàn tích); xác định sức kháng cắt theo các trạng thái (TN–ĐN–BH, cung cấp dữ liệu cơ lý phục vụ đánh giá ổn định mái dốc; 5) Thiết lập 85 mặt cắt tính hệ số FS nhằm đánh giá điều kiện ổn định tối ưu và ảnh hưởng của tác động nhân sinh; 6) Phân tích biến động công trình xây dựng

từ năm 2016 – 2023 từ bộ dữ liệu Google Open Building, làm rõ xu thế gia tăng công trình trên địa hình dốc và mức độ xâm lấn dòng chảy tự nhiên, phục vụ đánh giá tác động đô thị hóa đến nguy cơ trượt đất.

5. Những điểm mới của luận án

- Luận án đã làm rõ đặc trưng phân bố và phát triển của các kiểu trượt đất chủ yếu gồm trượt tịnh tiến, trượt xoay và trượt hỗn hợp trong mối liên hệ với quá trình đô thị hóa tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, cho thấy xu hướng gia tăng rủi ro theo thời gian dưới tác động của quá trình đô thị hóa.

- Đề xuất được giải pháp QLRR tại biến trượt đất cho các đơn vị hành chính theo thứ tự ưu tiên có mức độ rủi ro khó chấp nhận được (Phường 7, P8, P3, P6, P2, P9 và P11), mức độ rủi ro cần khắc phục được (Phường 4, P10, TT. Lạc Dương) và mức độ rủi ro chấp nhận được (Phường 12, P1, P5, xã Xuân Thọ, Xuân Trường, Tà Nung và Trạm Hành) tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (*sau đây gọi tắt là KVNC*).

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU QLRR TRƯỢT ĐẤT, CÁCH TIẾP CẬN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1.1. Tổng quan nghiên cứu rủi ro trượt đất

1.1.1. Khái niệm và thuật ngữ

a. Đô thị và đô thị hoá

Đô thị được hiểu là khu vực có mật độ dân cư cao, cơ sở hạ tầng phát triển và phần lớn dân cư làm việc trong các lĩnh vực phi nông nghiệp như công nghiệp, dịch vụ và hành chính.

Đô thị hóa là quá trình gia tăng dân số sống tại các khu vực đô thị, đồng thời mở rộng không gian, phát triển hạ tầng cơ sở và dân sinh phục vụ phát triển kinh tế, an sinh xã hội và thể chế.

b. Trượt lở và trượt đất

Trượt lở là một dạng tai biến địa chất phổ biến, mô tả quá trình dịch chuyển các khối vật liệu như đất, đá hoặc hỗn hợp của chúng theo hướng xuống chân sườn dốc hoặc mái dốc do mất ổn định cơ học, dưới tác động chủ yếu của trọng lực.

Trượt đất là một loại hình dịch chuyển đất đá của trượt lở, có thành phần vật liệu chủ yếu là đất kết dính hoặc đất ít kết dính.

c. Rủi ro và rủi ro trượt đất

Rủi ro là những thiệt hại, mất mát, nguy hiểm hoặc các yếu tố liên quan đến nguy hiểm, khó khăn hoặc điều không chắc chắn có thể xảy ra cho con người.

Rủi ro trượt đất đặc trưng bởi xác suất xảy ra thiệt hại do trượt đất gây ra trong một khoảng thời gian nhất định, được lượng hóa là tích số của nguy cơ tai biến và hậu quả.

d. Quản lý rủi ro và quản lý rủi ro tại biến trượt đất

QLRR là quá trình tiếp cận rủi ro một cách khoa học và có hệ thống, nhằm nhận diện, phân tích, đánh giá, kiểm soát và giảm thiểu các thiệt hại và ảnh hưởng bất lợi do rủi ro gây ra.

QLRR tại biến trượt đất khu vực đô thị là quy trình hệ thống nhằm xác định, đánh giá và KSRR tại các khu vực địa hình dốc dễ xảy ra trượt đất, góp phần bảo vệ con người, tài sản.

1.1.2. Tổng quan về đô thị hoá trên đất dốc và rủi ro trượt đất

Schuster & Highland (2007) phân tích theo hướng thực tiễn, làm rõ tác động kinh tế-xã hội và các yếu tố làm gia tăng rủi ro như mật độ dân cư tăng, xây dựng không kiểm soát, thiếu hạ tầng thoát nước và cảnh báo. Di Martire (2012) nghiên cứu tại Napoli và Ischia nước Ý cho thấy xây dựng tràn lan trên sườn dốc không ổn định vẫn diễn ra dù có quy định và cảnh báo, gây thiệt hại nghiêm trọng và phản ánh hạn chế trong lòng ghép nguy cơ vào quy hoạch. El Kechebour (2015) chứng minh định lượng tại Algeria rằng mật độ xây dựng và số tầng công trình có quan hệ nghịch với ổn định mái dốc, đặc biệt khi có động đất.

1.1.3. Tổng quan quản lý rủi ro trượt đất trên thế giới

QLRR đòi hỏi lựa chọn phương pháp đánh giá phù hợp do tai biến có tính biến đổi phức tạp theo không gian và thời gian. Hiện nay, ba cấp độ tiếp cận phổ biến gồm đánh giá định tính, bán định lượng và định lượng (QRA), được lựa chọn tùy theo quy mô nghiên cứu và mức độ sẵn có của

dữ liệu. Đánh giá định tính chủ yếu dựa trên mô tả, ý kiến chuyên gia và ma trận nguy cơ – tác động, phù hợp cho nhận diện sơ bộ hoặc khu vực thiếu dữ liệu. Đánh giá bán định lượng gán giá trị số tương đối cho các yếu tố nguy cơ và thường áp dụng công thức $R = H \times V \times E$, giúp lượng hóa rủi ro một cách hệ thống hơn. Đánh giá định lượng (QRA) yêu cầu dữ liệu chi tiết để tính rủi ro về người và tài sản, được chuẩn hóa trong các hướng dẫn và mô hình quốc tế. Bên cạnh phương pháp, việc xác định ngưỡng rủi ro có thể chấp nhận là cơ sở quan trọng để ra quyết định ưu tiên can thiệp và tối ưu hóa nguồn lực. Trên thế giới, nhiều quốc gia phát triển đã triển khai QLRR trượt đất theo hướng chủ động, định lượng và ứng dụng GIS. Các chương trình thường tập trung vào xây dựng cơ sở dữ liệu, phân vùng nguy cơ – rủi ro phục vụ quy hoạch, phối hợp quản lý đa cấp và tăng cường giám sát – cảnh báo sớm.

1.1.4. Tổng quan quản lý rủi ro trượt đất ở Việt Nam

QLRR trượt đất ở Việt Nam được triển khai trên nền tảng các chiến lược và quy định quốc gia về phòng, chống thiên tai, trong đó Chiến lược quốc gia PCTT đến 2030, tầm nhìn 2050 nhấn mạnh mục tiêu giảm thiểu tổn thất và nâng cao năng lực quản lý rủi ro; đồng thời quy định 5 cấp độ rủi ro thiên tai làm cơ sở cảnh báo và ứng phó. Nhiều chương trình, đề án trọng điểm, đề tài các cấp đã tập trung điều tra, phân vùng nguy cơ và xử lý điểm trượt/tuyến giao thông. Gần đây, các nghiên cứu ứng dụng học máy, mô hình vật lý và quan trắc địa kỹ thuật phục vụ dự báo và cảnh báo. Hướng nghiên cứu rủi ro đã phát triển từ định tính sang định lượng và tích hợp xác suất, đồng thời xuất hiện các mô hình cảnh báo trực tuyến theo thời gian thực. Riêng Tây Nguyên, các nghiên cứu đã xây dựng cơ sở dữ liệu, bản đồ nguy cơ – rủi ro ở tỷ lệ (1:50.000 đến 1:25.000), tuy nhiên kết quả nghiên cứu vẫn chưa được lồng ghép đầy đủ vào quy hoạch sử dụng đất và phát triển đô thị, tạo khoảng trống cần tiếp tục hoàn thiện trong bối cảnh đô thị hóa và biến đổi khí hậu.

1.1.5. Các vấn đề và định hướng nghiên cứu của luận án

Tại Việt Nam, nghiên cứu chủ yếu vẫn tập trung ở mức độ hiện trạng, nguy cơ và rủi ro định tính; các tiếp cận định lượng còn hạn chế và

phần lớn áp dụng cho khu vực tuyến, chưa đáp ứng yêu cầu lồng ghép vào quy hoạch đô thị một cách hệ thống. Đối với đô thị phát triển trên địa hình dốc, nguy cơ trượt đất cao và mức độ tổn thương lớn đòi hỏi phải có mô hình đánh giá và quản lý rủi ro phù hợp. Vì vậy, luận án lựa chọn khu vực đô thị Đà Lạt – Lạc Dương, nơi hội tụ địa hình dốc, vô phong hóa phát triển, mưa lớn theo mùa và đô thị hóa nhanh, đã ghi nhận nhiều sự cố trượt đất nghiêm trọng. Trên cơ sở đó, luận án tập trung vào ba vấn đề chính: (i) xây dựng mô hình đánh giá rủi ro tích hợp nguy cơ tại biến (H), mức độ tổn thương (V), đối tượng phơi bày (E) cho đô thị trên địa hình đất dốc; (ii) lượng hóa rủi ro và tổn thương dựa trên dữ liệu thực tế; (iii) đề xuất mô hình QLRR tại địa phương gắn với GIS, quy hoạch và cảnh báo sớm.

1.2. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

1.2.1. Cách tiếp cận

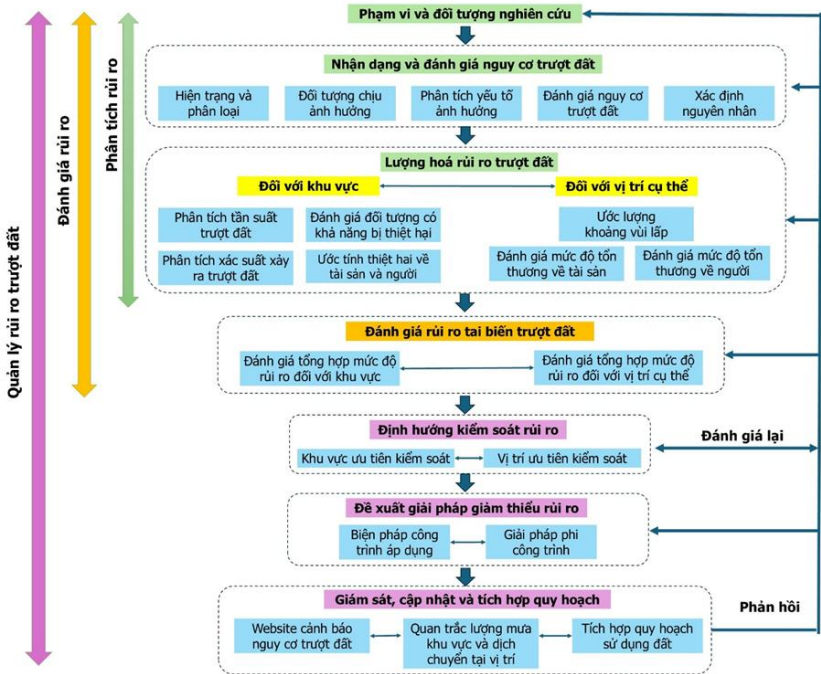
Luận án tiếp cận trượt đất đô thị như kết quả tương tác giữa điều kiện tự nhiên và hoạt động nhân sinh trong không gian – thời gian đô thị. Quản lý rủi ro trượt đất được xem là quá trình động nhằm nhận diện, kiểm soát và giảm thiểu thiệt hại. Nghiên cứu áp dụng cách tiếp cận đa chiều, kết hợp kỹ thuật – xã hội – không gian – quản lý. Trên cơ sở mô hình hệ thống rủi ro, các thành phần nguy cơ – phơi bày – tổn thương – rủi ro được phân tích liên kết. Bốn hướng tiếp cận chính gồm: liên ngành, mô hình hóa, kỹ thuật–dự báo và khoa học quản lý. Kết quả hướng tới hỗ trợ ra quyết định và tích hợp vào quy hoạch, kiểm soát xây dựng tại địa phương.

1.2.2. Phương pháp nghiên cứu

1) Phương pháp phân tích - tổng hợp số liệu và thông tin đa nguồn; 2) Phương pháp viễn thám; 3) Phương pháp phân loại trượt và khảo sát thực địa; 4) Phương pháp chuyên gia và xây dựng bản đồ; 5) Phương pháp phân tích - thí nghiệm; 6) Phương pháp mô hình hóa; 7) Phương pháp quan trắc dự báo - cảnh báo; 8) Phương pháp QLRR trượt đất; 9) Xác định phạm vi tác động của trượt đất.

1.2.3. Quy trình QLRR trượt đất đối với khu vực đô thị

Thực hiện theo quy trình 6 bước cơ bản: 1) Nhận dạng và đánh giá nguy cơ trượt đất; 2) Lượng hóa rủi ro trượt đất; 3) Đánh giá mức độ rủi ro tai biến địa chất; 4) Định hướng kiểm soát rủi ro; 5) Kế hoạch kiểm soát rủi ro; 6) Giám sát, cập nhật được thể hiện tại *Hình 1.5*.



Hình 1.5. Sơ đồ các bước thực hiện quy trình QLRR tại biến trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương

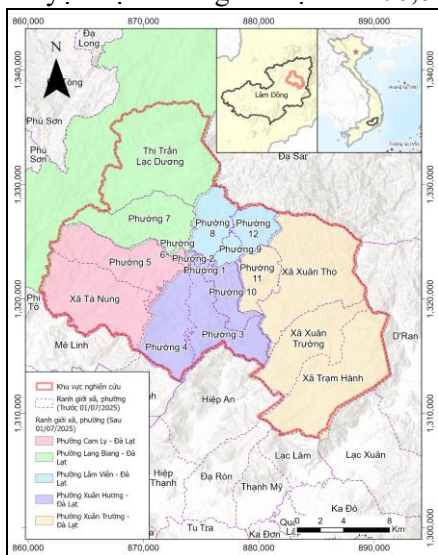
CHƯƠNG 2 HIỆN TRẠNG VÀ NGUYÊN NHÂN TRƯỢT ĐẤT KHU VỰC ĐÔ THỊ ĐÀ LẠT - LẠC DƯƠNG

2.1. Khái quát khu vực nghiên cứu

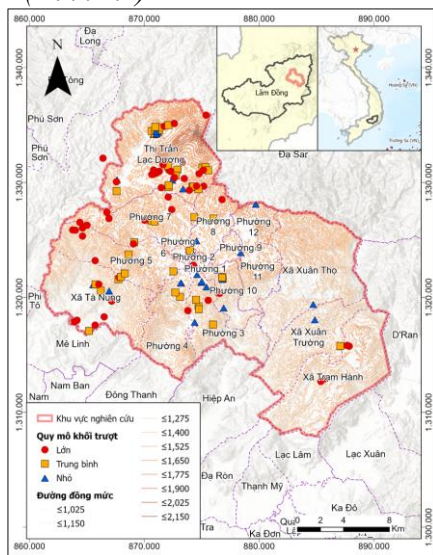
2.1.1. Vị trí địa lý

Trước ngày 01/7/2025, khu vực đô thị Đà Lạt – Lạc Dương nằm ở phía Đông Bắc tỉnh Lâm Đồng, không có đường địa giới hành chính chung với các tỉnh lân cận; phía Bắc giáp xã Lát và xã Dạ Sar (huyện Lạc Dương),

phía Đông và Đông Nam giáp huyện Đơn Dương, phía Tây giáp huyện Lâm Hà và phía Tây Nam giáp huyện Đức Trọng. Khu vực có tọa độ địa lý từ 11°48'34" đến 12°04'32" vĩ Bắc và từ 108°18'49" đến 108°35'28" kinh Đông. Phạm vi nghiên cứu có tổng diện tích khoảng 416,2 km², gồm 17 đơn vị hành chính. Trong đó, TP. Đà Lạt có 12 phường (Phường 1–12) và 4 xã (Tà Nung, Trạm Hành, Xuân Thọ, Xuân Trường) với diện tích từng đơn vị như đã thống kê; thị trấn Lạc Dương là 01 đơn vị hành chính thuộc huyện Lạc Dương có diện tích 70,6 km² (Hình 2.1).



Hình 2.1. Bản đồ vị trí địa lý và đơn vị hành chính tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương



Hình 2.9. Bản đồ hiện trạng trượt đất theo quy mô tại KVNC

2.1.2. Đặc điểm địa hình - địa mạo

Khu vực đô thị Đà Lạt – Lạc Dương nằm trên cao nguyên Lâm Viên, có địa hình phân hóa rõ. Trung tâm Đà Lạt tương đối bằng phẳng nhưng nằm trong lòng chảo kín, bao quanh bởi các dãy núi cao ~1.700 m; địa hình đồi núi - bình nguyên trên núi, bị chia cắt bởi suối và thung lũng hẹp. Trong khi đó, trung tâm Lạc Dương thuộc vùng chuyển tiếp, địa hình trũng hẹp, bao quanh bởi dãy LangBiang (2.167 - 2.064 m), sườn dốc lớn (20° - 35°) và phân cắt mạnh do xâm thực.

2.1.3. Đặc điểm địa tầng

Khu vực nghiên cứu là phạm vi phân bố các thành tạo trầm tích, phun trào và xâm nhập; trong đó trầm tích – phun trào chiếm khoảng 2/3 diện tích, xâm nhập chiếm phần còn lại. Địa tầng chủ yếu thuộc Mesozoi muộn, Kainozoi phân bố hạn chế; lớp vỏ phong hoá hoàn toàn phát triển trên đá gốc, thành phần chủ yếu sét, sét pha, cát pha lẫn dăm sạn. Các đơn vị chính gồm: hệ tầng La Ngà (J_2ln) phân bố rộng (~1/3 diện tích) gồm bột kết, sét kết, cát kết; hệ tầng Đakruium (K_2dr) gồm tầng kết–cuội kết–cát kết; hệ tầng Đơn Dương ($K_2đđ$) gồm felsit, ryolit, dacit, tuf và aglomerat; hệ tầng Xuân Lộc (βQ_{HXL}) gồm bazan olivin, tuf bazan, bazan bột xốp; phức hệ Định Quán ($J_3đq$) gồm granodiorit biotit-horblend, monzonit và phức hệ Cà Ná (K_2cn) gồm granit biotit, muscovit, alaskit; trầm tích Đệ Tứ gồm aluvi, aluvi-đầm lầy, aluvi-proluvi, phân bố dọc các suối tạo thêm bậc I - II.

2.1.4. Đặc điểm kiến tạo

Khu vực Đà Lạt – Lạc Dương thuộc đới magma – kiến tạo Đà Lạt. Cấu trúc địa chất chịu chi phối bởi 3 hệ đứt gãy chính: Tây Bắc – Đông Nam (trượt bằng trái), Đông Bắc – Tây Nam (không chế cấu trúc, có tái hoạt động muộn) và kinh tuyến–á kinh tuyến (trượt bằng phải).

2.1.5. Đặc điểm khí hậu - thủy văn

Khí hậu: Đà Lạt – Lạc Dương có khí hậu cận nhiệt đới núi cao, mát quanh năm, hai mùa rõ rệt, ít chịu bão trực tiếp. Nhiệt độ trung bình 18–21°C, hiếm khi >30°C và không xuống dưới 5°C; độ ẩm trung bình ~82%. Mùa mưa từ tháng 4 đến tháng 10, mưa lớn kéo dài; mùa khô từ tháng 11 đến tháng 3, ít mưa, nắng ấm, se lạnh về đêm.

Thủy văn: Khu vực có 16 hồ chứa phục vụ điều tiết, cấp nước và cảnh quan. Mạng lưới sông suối phân theo địa hình: phía Bắc đổ về hồ Suối Vàng, phía Đông về sông Đa Nhim, phía Nam gồm Datanla–Da Prenn; suối Cam Ly dài ~20 km, lưu vực ~50 km², chảy qua hồ Than Thở–Mê Linh–Xuân Hương. Mùa khô nhiều suối nhỏ cạn nước.

2.1.6. Đặc điểm phát triển dân cư

Biến động dân số từ năm 2010 đến năm 2022, TP. Đà Lạt: tăng từ 209.170 lên 232.407 người (+23.234; +13,7%); trong đó thành thị +18.031, nông thôn +5.203. TT. Lạc Dương: tăng từ 5.137 lên 11.184 người (+6.047; +117,74%). Xu thế tăng: giai đoạn 2010–2016 tăng nhanh hơn so với 2016–2022; tổng dân toàn khu vực tăng 29.281 người trong 12 năm.

2.2. Nhận dạng và đánh giá nguy cơ trượt đất

2.2.1. Hiện trạng và phân loại trượt đất

Thông kê 125 vị trí trượt đất, gồm 83 vị trí trước năm 2016 và 42 vị trí từ năm 2016 đến năm 2023. Phân bố không gian trượt đất: (i) phía Tây Bắc (TT. Lạc Dương, P7, P5, xã Tà Nung) tập trung nhiều điểm trượt đất nhất; (ii) trung tâm Đà Lạt (P1, P2, P5, P6, P10) trượt đất phân bố dọc các tuyến đường chính và khu vực xây dựng; (iii) phía Nam và Đông Nam (P3, P4, P11, xã Xuân Thọ, Trạm Hành) trượt đất phân bố rải rác tại sườn thấp và vùng chuyển tiếp đô thị – nông nghiệp (Hình 2.9). Phân loại trượt đất theo kiểu chuyển động tại KVNC được thể hiện tại Bảng 2.2.

Bảng 2.2. Phân loại trượt đất tại khu vực đô thị DL - LD (theo Varnes đề xuất)

TT	Kiểu chuyển động	Ký hiệu	Quy mô			Tổng số	Tỷ lệ (%)
			Nhỏ	TB	Lớn		
1	Trượt tịnh tiến (Translation)	Tr	23	23	16	62	49,6
2	Trượt xoay (Rotation)	Ro	2	10	21	33	26,4
3	Trượt hỗn hợp (Complex)	Co	0	6	13	19	15,2
4	Trượt dòng (Flow)	Fl	1	4	6	11	8,8
Tổng cộng			26	43	56	125	100

2.2.2. Các đối tượng chịu ảnh hưởng của trượt đất

Hiện trạng phân bố 125 điểm trượt đất được xác định ảnh hưởng tới 05 đối tượng chính: Công trình xây dựng (CTXD), Đường giao thông (DGT), Vườn hoa màu (VHM), Rừng trồng (RTR), và Đất trồng (DTR) được thể hiện tại Bảng 2.4.

Bảng 2.4. Thống kê các đối tượng chịu ảnh hưởng của trượt đất tại khu vực đô thị

TT	Đối tượng chịu ảnh hưởng	Ký hiệu	Số điểm trượt	Quy mô trượt đất			Vai trò thúc đẩy
				Nhỏ	Trung bình	Lớn	
1	Công trình xây dựng	CTXD	33	11	10	12	Nhân sinh
2	Đường giao thông	DGT	31	7	19	5	Nhân sinh
3	Đất trống	DTR	27	6	9	12	Tự nhiên và Nhân sinh
4	Vườn hoa màu	VHM	20	2	4	14	Nhân sinh
5	Rừng trồng	RTR	14	0	1	13	Tự nhiên
Tổng cộng			125	26	43	56	-

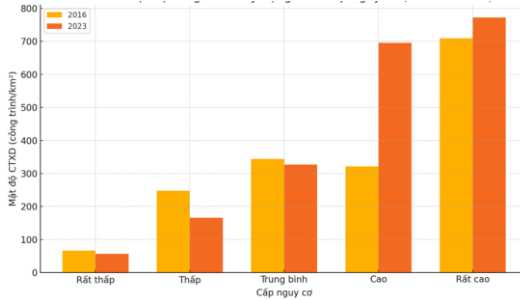
2.2.3. Các yếu tố ảnh hưởng và phân vùng nguy cơ trượt đất

Các yếu tố ảnh hưởng đến trượt đất được xếp theo mức độ như sau: (1) độ dốc địa hình là yếu tố quan trọng nhất, chi phối trực tiếp hệ số ổn định sườn dốc; (2) lượng mưa là động lực ngoại sinh chính, thúc đẩy trượt do tăng tải trọng, giảm độ bền đất và làm tăng áp lực nước trong mái dốc; (3) thành phần địa chất thạch học quyết định sức kháng cắt của vật liệu sườn dốc; (4) kiểu vỏ phong hoá ảnh hưởng đến độ bền và tính ổn định do khác biệt khoáng vật sét và khả năng hút nước; (5) khoảng cách tới đứt gãy phản ánh mức độ đập vỡ, tạo điều kiện thấm sâu và suy giảm độ bền theo thời gian; (6) cơ cấu sử dụng đất thể hiện tác động nhân sinh như cải tạo địa hình, xây dựng, phá rừng làm tăng nguy cơ trượt; (7) mật độ phân cắt sâu làm tăng thể năng và lực gây trượt; (8) mật độ phân cắt ngang phản ánh xâm thực ngang, tác động gián tiếp đến mất ổn định sườn dốc.

2.2.4. Đánh giá nguy cơ trượt đất tại KVNC

So sánh kết quả đánh giá nguy cơ trượt đất giữa năm 2016 và 2023, cho thấy diện tích các vùng nguy cơ trượt đất dịch chuyển theo hướng tăng mức nguy cơ. Cụ thể, nguy cơ rất thấp giảm từ 55,30 km² xuống 42,27 km², nguy cơ thấp giảm từ 107,57 km² xuống 98,88 km². Nguy cơ trung bình vẫn chiếm tỷ lệ lớn nhất nhưng giảm nhẹ từ 156,82 km² xuống 148,37 km². Ngược lại, nguy cơ cao tăng mạnh từ 100,43 km² lên 128,53 km², và nguy cơ rất cao tăng nhẹ từ 44,03 km² lên 46,10 km². Nhìn chung, giai đoạn 2016–2023 thể hiện xu hướng gia tăng nguy cơ rõ rệt.

Tổng số lượng CTXD trong KVNC đã tăng từ 147.800 (2016) lên 192.283 (2023) công trình, tương ứng số lượng CTXD tăng lên là 44.483 công trình (tăng khoảng 30%), mức độ tăng/ giảm phân bố không đồng đều giữa các cấp nguy cơ, trong đó sự gia tăng về số lượng CTXD tập trung chủ yếu ở khu vực cấp nguy cơ cao và rất cao (Hình 2.15).



Hình 2.15. Biểu đồ so sánh mật độ CTXD theo cấp nguy cơ trượt đất năm 2016 và năm 2023

2.2.5. Các nguyên nhân gây trượt đất

1) Đặc điểm mưa gây trượt đất: Trong điều kiện đất không bão hòa, độ ẩm tăng làm giảm lực dính kết và sức kháng cắt, nên sườn dốc sườn-tàn tích thường ổn định mùa khô nhưng dễ mất ổn định nhanh vào mùa mưa. Giai đoạn 2016–2020 ghi nhận 21 sự kiện trượt, trong đó 19 sự kiện liên quan mưa dùng để phân tích; trượt tập trung chủ yếu tháng 4–11. Phân tích mưa ngày 5 năm bằng mô hình Poisson cho thấy quan hệ Pm (mưa ngày) – P3 (mưa tích lũy 3 ngày) phân biệt tốt nhất và đề xuất ngưỡng mưa gây trượt đất trung bình khoảng 62,4 mm/24h ($P = 62,4 - 0,178P_3$). Tuy nhiên chỉ 50% ngày vượt ngưỡng có trượt, nên ngưỡng mưa chủ yếu có ý nghĩa cảnh báo sớm. Kết quả phân tích 5 nhóm đất cho thấy sức kháng cắt giảm rõ khi $W > 25\%$, đặc biệt khi bão hòa; mức giảm khác nhau có ảnh hưởng bởi thành phần khoáng vật (XRD) và ghi nhận các kiểu trượt tương ứng.

2) Quá trình đô thị hoá nhanh tại Đà Lạt – Lạc Dương làm gia tăng các yếu tố kích hoạt trượt đất thông qua (i) gia tăng công trình trên địa hình dốc, (ii) xâm lấn dòng chảy tự nhiên và (iii) cải tạo sườn dốc kèm chất tải công trình. Giai đoạn 2016–2023, tổng số công trình xây dựng tăng từ

147.800 lên 192.283 công trình (+30,1%), trong đó mức tăng mạnh nhất tập trung ở các cấp dốc lớn ($35-45^\circ$: +66,1%; $>45^\circ$: +98,7%), riêng nhóm $>35^\circ$ tăng 68,4%. Số công trình xâm lấn dòng chảy tự nhiên tăng từ 1.674 lên 2.693 công trình, kéo theo chiều dài dòng chảy bị xâm lấn tăng từ 49.541 m lên 97.907 m. Số điểm trượt nằm gần các công trình xâm lấn trong phạm vi <50 m tăng từ 8 lên 23 điểm, tổng số tăng từ 40 lên 61 điểm. Kết quả tính toán ổn định cho thấy sườn dốc sau cải tạo có hệ số ổn định thấp hơn sườn tự nhiên, đặc biệt trong trạng thái bão hòa. Khi mở rộng bậc địa hình và tăng tải trọng công trình, nhiều trường hợp hệ số ổn định giảm dưới 1, phản ánh nguy cơ mất ổn định cao. Các kết quả này cho thấy đô thị hoá làm gia tăng tác động bất lợi đến ổn định mái dốc trong không gian đô thị.

CHƯƠNG 3 QUẢN LÝ RỦI RO TAI BIẾN TRƯỢT ĐẤT KHU VỰC ĐÔ THỊ ĐÀ LẠT - LẠC DƯƠNG

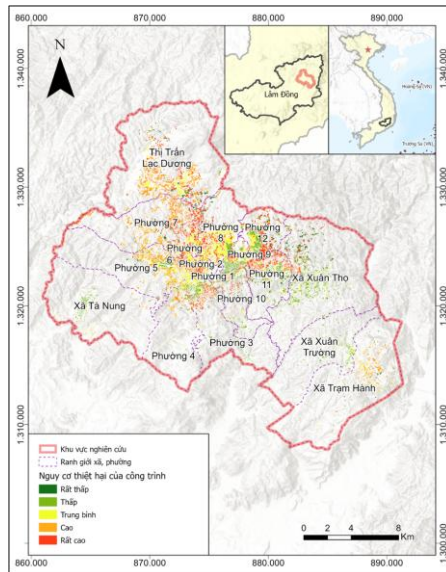
3.1. Lượng hoá rủi ro trượt đất

3.1.1. Lượng hoá rủi ro trượt đất đối với KVNC

1) Tần suất và xác suất trượt đất: Hàm phân phối Poisson được sử dụng để đánh giá xác suất xảy ra trượt đất theo năm tại KVNC, với giả thiết các sự kiện độc lập và có xác suất trung bình không đổi. Trong giai đoạn 2016–2022, số vụ trượt đất trung bình $\lambda = 6$ vụ/năm và xác suất cao nhất rơi vào 5–6 vụ/năm (16,06%), cho thấy đây là mức phổ biến. Các trường hợp 1–2 vụ/năm có xác suất thấp (1,49–4,46%), trong khi 9–10 vụ/năm giảm dần (6,88–4,13%). Tiếp theo, λ được phân bổ theo từng cấp nguy cơ để tính xác suất xảy ra ít nhất một vụ trượt đất trong 1, 3 và 5 năm. Kết quả cho thấy xác suất trượt đất theo thời gian ở các cấp thấp đến rất cao đều tăng nhanh, đạt gần 1,0 ở mốc 3–5 năm. Để lượng hóa theo không gian, nghiên cứu xét tỷ lệ diện tích tác động trung bình của khối trượt so với diện tích vùng nguy cơ nhằm tính xác suất một công trình bị ảnh hưởng. Trên cơ sở đó, ước tính số công trình có thể bị tác động tăng từ 3,49 (1 năm) lên 10,46 (3 năm) và 17,43 (5 năm).

2) Đánh giá đối tượng khả năng bị thiệt hại: Con người và công trình xây dựng (CTXD) là đối tượng trung tâm trong đánh giá rủi ro trượt

đất tại KVNC, do thiệt hại về người là nghiêm trọng nhất và khó khắc phục. Nghiên cứu thống kê mật độ dân số và mật độ CTXD của 17 đơn vị hành chính, qua đó phân nhóm theo mức độ tập trung để xác định khả năng tổn thương và ưu tiên kiểm soát. Kết quả cho thấy nhóm có mật độ dân số và CTXD rất cao tập trung tại các phường trung tâm (Phường 1, 2, 6, 9), trong khi các khu vực ven đô có mật độ thấp hơn. Ước tính toàn vùng có khoảng 3,49 CTXD/năm có thể bị ảnh hưởng, tăng lên 10,46 CTXD/3 năm và 17,43 CTXD/5 năm, phản ánh xu thế tích lũy rủi ro theo thời gian. Xét theo cấp nguy cơ, các vùng trung bình–cao–rất cao chiếm trên 95% tổng số CTXD có khả năng bị tác động trong 5 năm. Trong đó, cấp trung bình đóng góp lớn nhất (6,59 CTXD/5 năm), tiếp theo là cấp cao (5,65 CTXD/5 năm) và rất cao (4,57 CTXD/5 năm). Theo không gian hành chính, các phường 7, 8, 3, 4, 5, 10 và 11 có số CTXD ước tính bị ảnh hưởng cao nhất do tập trung nhiều công trình trong vùng nguy cơ cao và rất cao; trong khi thị trấn Lạc Dương cũng đáng lưu ý; các xã vùng ven như Tà Nung, Trạm Hành, Xuân Thọ và Xuân Trường có mức ảnh hưởng thấp hơn (Hình 2.16).



Hình 2.16. Bản đồ phân bố CTXD theo cấp nguy cơ trượt đất năm 2023

3) Ước tính thiệt hại về tài sản và người:

Ước tính rủi ro về tài sản: Rủi ro tài sản (Rts) tại KVNC được ước tính dựa trên đơn giá xây dựng tại địa phương và diện tích trung bình của CTXD tại mỗi đơn vị hành chính. Nhóm đơn vị hành chính có mật độ CTXD cao (phường: 1, 2, 6, 8, 9) giả định 80% CTXD cấp III và 20% cấp IV, cho giá trị trung bình khoảng 7,8 triệu đồng/m² sàn; nhóm đơn vị hành chính có mật độ CTXD từ thấp đến trung bình (phường/xã: 3, 4, 5, 7, 10, 11, 12, Tà Xung, Xuân Trường, Trạm Hành, Xuân Thọ và thị trấn Lạc Dương) giả định 20% cấp III và 80% cấp IV, trung bình 6,4 triệu đồng/m² sàn. Diện tích bị ảnh hưởng trong từng đơn vị hành chính được tính từ diện tích cấp nguy cơ và xác suất trượt đất; số CTXD có khả năng bị tổn thương (n_i) tiếp tục được xác định theo số công trình phân bố và hệ số tổn thương khuyến nghị theo cấp nguy cơ. Kết quả cho thấy toàn khu vực ước tính 1,61 CTXD/năm bị tổn thương, tăng lên 4,84 CTXD/3 năm và 8,06 CTXD/5 năm, phản ánh rủi ro tích lũy theo thời gian. Rủi ro tài sản được tính theo công thức: $Rts_{i,l} = n_{i,l} \times S_{CTXD} \times G_{XD}$

Tổng thiệt hại ước tính khoảng 732,6 triệu đồng/năm; 2,2 tỷ đồng/3 năm và 3,7 tỷ đồng/5 năm. Giá trị rủi ro tập trung cao tại Phường 7 (khoảng 516,7 triệu/5 năm), tiếp theo Phường 8, 11, 9, do mật độ công trình lớn và phân bố trong vùng nguy cơ trung bình-rất cao. Nhóm rủi ro trung bình gồm Phường 3, 4, 10, 12 và TT. Lạc Dương; các xã ven đô Xuân Trường, Tà Nung và Trạm Hành có rủi ro thấp.

Ước tính rủi ro về người: Rủi ro về người (Rcn) được ước tính dựa trên số CTXD có khả năng bị ảnh hưởng trong từng đơn vị hành chính, kết hợp hệ số tổn thương về người theo cấp nguy cơ $V(L/T)=1.0;0.7;0.4;0.1$ (từ rất cao đến thấp) và mật độ dân cư trung bình trên mỗi công trình (ϕ). Rủi ro về người được tính theo công thức: $Rcn_{i,l} = n_{i,l} \times V(L/T) \times \phi_i$

Kết quả cho thấy giá trị rủi ro về người toàn khu vực đạt khoảng 1,75 người/năm, tăng lên 5,26 người/3 năm và 8,77 người/5 năm, phản ánh xu hướng tích lũy theo thời gian. Mức độ rủi ro cao tập trung chủ yếu tại các phường nội đô và khu vực đô thị hóa mạnh như phường 2, 3, 6, 7, 8, 9

và TT. Lạc Dương, với mức 0,46–0,94 người/5 năm (chiếm 5–11%). Trong đó, phường 6 và 7 có giá trị cao nhất, đều khoảng 0,94 người/5 năm. Nhóm rủi ro trung bình gồm phường 1, 4, 5, 10, 11, 12, dao động 0,31–0,64 người/5 năm, phản ánh mức độ rủi ro đáng kể do mật độ dân cư cao. Các xã vùng ven (Tà Nung, Trạm Hành, Xuân Thọ, Xuân Trường) có mức độ rủi ro rất thấp, <0,2 người/5 năm, do mật độ dân cư và mức độ phơi bày thấp.

3.1.2. Lượng hoá rủi ro trượt đất đối với vị trí cụ thể

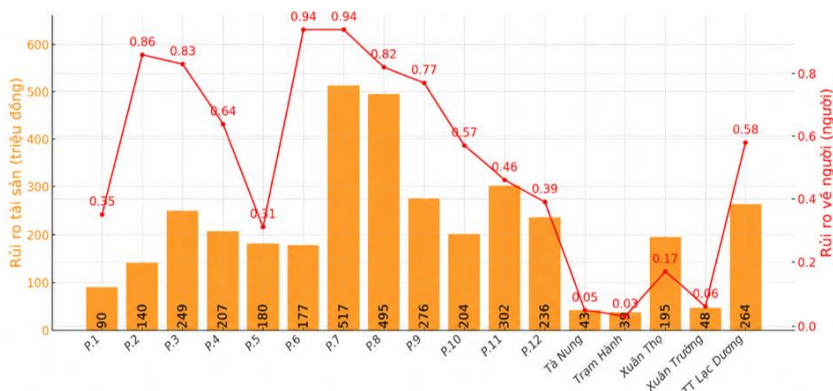
1) Xác định vị trí có nguy cơ trượt đất: Nghiên cứu đề xuất cấu trúc dữ liệu đánh giá rủi ro cho vị trí cụ thể, gồm mã khu vực–tọa độ, cấp nguy cơ (LSI), đặc trưng mái dốc (chiều cao, góc dốc), công năng, cấp công trình, vật liệu và phạm vi tác động. Hệ thống được lượng hóa bằng điểm ưu tiên, trong đó 5 thành phần chính (cấp nguy cơ, loại công trình, cấp công trình, vật liệu, mức độ tổn thương) quyết định tổng điểm. Tổng điểm là cơ sở xác định thứ tự ưu tiên kiểm soát rủi ro theo không gian, các thông tin khác được xem là dữ liệu bổ sung mở rộng.

2) Thực tế tại khu đô thị Đà Lạt – Lạc Dương chỉ có rất ít công trình cấp II (tòa nhà cao tầng) nằm ở địa hình tương đối bằng phẳng và ít chịu tác động trượt đất. Các công trình cấp III và IV chiếm đa số, phân bố trên địa hình dốc, gần mái dốc nên có nguy cơ bị ảnh hưởng cao. Do đó, nghiên cứu đề xuất đánh giá mức độ tổn thương theo phạm vi vùi lấp (Lv) tại vị trí cụ thể, gồm 4 vùng tác động (Vùng 1, 2, 3, 4). Giá trị tổn thương được lượng hóa cho tài sản (Vb) và con người (Vp), trong đó Vùng 4 có mức tổn thương lớn nhất (phá hủy hoàn toàn, nguy cơ tử vong rất cao), giảm dần đến Vùng 1 (va đập nhẹ, ít thương vong). Công trình cấp IV thường có mức tổn thương cao hơn do kết cấu yếu, công trình cấp III trở lên có khả năng chống chịu tốt hơn.

3.2. Đánh giá rủi ro tai biến trượt đất

3.2.1. Mức độ rủi ro tai biến trượt đất đối với KVNC

Biểu đồ thể hiện rủi ro về tài sản và rủi ro về người trong 5 năm tại 17 đơn vị hành chính cho thấy sự khác biệt rõ rệt về phân bố không gian (Hình 3.4).



Hình 3.4. Biểu đồ ước tính rủi ro về tài sản và con người tại các đơn vị hành chính trong thời gian 5 năm

Rủi ro được lượng hóa riêng cho tài sản (Rts) và con người (Rcn) theo 5 cấp (từ rất thấp đến rất cao). Các giá trị được chuẩn hóa thành điểm (từ 1 đến 5) và tính rủi ro tổng hợp theo công thức $Rth = 0,7 \times Rcn + 0,3 \times Rts$, trong đó ưu tiên mức độ rủi ro về người.

Trong 5 năm, phân cấp mức độ rủi ro tổng hợp cho thấy: phường 7 là rất cao; các phường 6, 2, 3, 8, 9 và 11 thuộc nhóm cao; phường 4, 10 và TT Lạc Dương thuộc nhóm trung bình; các phường 12, 1, 5, và xã Xuân Thọ thuộc nhóm; các xã Xuân Trường, Tà Nung, Trạm Hành thuộc nhóm rất thấp.

3.2.2. Mức độ rủi ro trượt đất cho từng vị trí cụ thể

Dựa trên thông tin do chính quyền địa phương cung cấp kết hợp kết quả phân vùng nguy cơ tại KVNC. Từ 59 vị trí được thống kê, xác định 33 vị trí có nguy cơ và tiến hành tính điểm tổng hợp đa tiêu chí để xếp thứ tự ưu tiên kiểm soát, theo đó tổng điểm càng cao thì rủi ro càng lớn. Cách tiếp cận tham khảo khung đánh giá rủi ro thiên tai của Fell et al. (2008) và UNDRR (2015) nhằm đảm bảo quản lý có trọng tâm và phù hợp nguồn lực địa phương. Mức độ rủi ro chia làm 4 cấp được thể hiện tại Bảng 3.20.

Bảng 3.20. Phân cấp mức độ rủi ro đối với CTXD

TT	Khoảng tổng điểm	Mức độ rủi ro	SL công trình	Diễn giải
1	≥ 38	Rất cao	12	Công trình có khả năng rủi ro rất cao, mức tổn thương lớn, ảnh hưởng nghiêm trọng, cần đánh giá cụ thể và can thiệp sớm
2	32 - 37.9	Cao	6	Công trình có khả năng rủi ro cao, tổn thương đáng kể, cần gia cố, cảnh báo và kiểm tra định kỳ
3	24 - 31.9	Trung bình	7	Công trình có khả năng rủi ro trung bình, cần theo dõi thường xuyên và có kế hoạch phòng ngừa
4	< 24	Thấp	8	Công trình có khả năng rủi ro thấp, tổn thương nhẹ, cần giám sát định kỳ

3.3. Định hướng kiểm soát rủi ro (KSRR) tại biển trượt đất

3.3.1. Mức độ rủi ro tại biển trượt đất đối với KVNC

1) Phân cấp khu vực rủi ro tại biển trượt đất: Rủi ro trượt đất tại khu vực Đà Lạt – Lạc Dương được phân thành 3 nhóm chính gồm: rủi ro chấp nhận được, rủi ro có thể chấp nhận và rủi ro khó chấp nhận. Phân cấp dựa trên chỉ số rủi ro tổng hợp (R_{th}), tích hợp thiệt hại về tài sản và con người, trong đó ưu tiên trọng số thiệt hại về người nhằm phù hợp với mục tiêu bảo vệ tính mạng trong quản lý thiên tai (*Bảng 3.22*).

Bảng 3.22. Phân cấp mức độ chấp nhận rủi ro và định hướng KSRR trượt đất

TT	Nhóm rủi ro	Mức độ rủi ro tổng hợp	Giá trị rủi ro thành phần	Đơn vị hành chính	Hướng kiểm soát
1	Rủi ro khó chấp nhận	$R_{th} > 3.5$	$R_{cn} = 0.77$ – 0.94 người $R_{ts} = 249,3$ – 516,7 triệu đồng	Phường 7, P8, P3, P6, P2, P9, P11	Can thiệp ngay: biện pháp kỹ thuật + phi kỹ thuật, hệ thống cảnh báo sớm, hạn chế hoặc di dời dân cư tại khu vực nguy hiểm
2	Rủi ro cần khắc phục được	$R_{th} = 2.5$ – 3.5	$R_{cn} = 0.46$ – 0.64 người $R_{ts} = 204,3$ – 302,5 triệu đồng	Phường 4, P10, TT Lạc Dương	Kiểm soát chủ động: điều chỉnh quy hoạch, nâng cấp hạ tầng phòng tránh, xây dựng công trình chống trượt, nâng cao năng lực ứng phó cộng đồng
3	Rủi ro chấp nhận được	$R_{th} < 2.5$	$R_{cn} = 0.03$ – 0.39 người $R_{ts} = 39,2$ – 236,4 triệu đồng	Phường 12, P1, P5, X. Xuân Thọ, X. Xuân Trường, X. Tà Nung, X. Trạm Hành	Giám sát định kỳ, cảnh báo cơ bản, quản lý phát triển đô thị hợp lý để tránh gia tăng nguy cơ

2) Xác định đơn vị hành chính ưu tiên KSRR: Mức độ ưu tiên KSRR cho từng đơn vị hành chính được xác định dựa trên giá trị rủi ro tổng hợp (R_{th}) kết hợp với rủi ro về người (R_{cn}) được ưu tiên hàng đầu, hoặc rủi ro về tài sản (R_{ts}) khi có giá trị lớn. Cách tiếp cận này cho phép phản ánh đồng thời mức độ nguy hiểm của hiện tượng đối với con người và mức độ thiệt hại kinh tế đối với công trình (Bảng 3.23):

Bảng 3.23. Tiêu chí xác định đơn vị hành chính ưu tiên KSRR

TT	Nhóm ưu tiên KSRR	Tiêu chí xác định
1	Ưu tiên thứ nhất	Khu vực có $R_{th} > 3.5$; đồng thời: - $R_{cn} > 0,80$ người hoặc $R_{ts} \geq 400,0$ triệu đồng
2	Ưu tiên thứ hai	Khu vực có R_{th} từ > 3.0 ; đồng thời: - R_{cn} từ $0,40 - 0,79$ người hoặc $R_{ts} \geq 200,0$ triệu đồng
3	Ưu tiên thứ ba	Khu vực có R_{th} từ > 1.0 ; đồng thời: - R_{cn} từ $0,10 - 0,39$ người hoặc $R_{ts} \geq 100$ triệu đồng
4	Ưu tiên thứ tư	Khu vực có $R_{th} < 1,0$; đồng thời: - $R_{cn} < 0,10$ người hoặc $R_{ts} \geq 50$ triệu đồng

3.3.2. Xác định mức độ ưu tiên KSRR trượt đất tại vị trí cụ thể

Dựa trên hệ thống tiêu chí phản ánh đồng thời khả năng xảy ra trượt và mức độ thiệt hại tiềm tàng. Các tiêu chí chính gồm: (i) cấp nguy cơ trượt đất (LSI) tại vị trí công trình; (ii) đặc điểm công trình như công năng sử dụng, cấp công trình và vật liệu xây dựng nhằm đánh giá mức độ tổn thương; (iii) điều kiện địa hình tại vị trí gồm chiều cao và góc mái dốc, ảnh hưởng đến cơ chế và quy mô trượt; và (iv) khoảng tác động của trượt đất đến công trình và con người. Các yếu tố được định lượng bằng thang điểm, tổng hợp thành chỉ số rủi ro công trình để xếp hạng ưu tiên can thiệp một cách khách quan và có thể so sánh giữa các vị trí. Để thuận tiện quản lý, theo dõi và cập nhật theo thời gian, các vị trí được mã hóa thống nhất theo cấu trúc gồm khu vực hành chính (KV), năm khảo sát (YY), mã định danh (ID) và mức ưu tiên (UT). Kết quả phân loại mức độ ưu tiên KSRR tại vị trí cụ thể được tổng hợp tại (Bảng 3.26):

Bảng 3.26. Kết quả phân cấp mức độ ưu tiên KSRR

TT	Mức độ ưu tiên	Khoảng tổng điểm	Số lượng công trình
1	A - Ưu tiên thứ nhất	≥ 38	12
2	B - Ưu tiên thứ hai	32 - 37.9	6
3	C - Ưu tiên thứ ba	24 - 31.9	7
4	D - Ưu tiên thứ tư	< 24	8

3.4. Kế hoạch KSRR tại biển trượt đất

3.4.1. Những hạn chế trong phòng, tránh thiên tai tại địa phương:

Khu vực Đà Lạt – Lạc Dương cho thấy còn nhiều hạn chế về quản lý quy hoạch, ứng dụng công nghệ và triển khai công trình phòng chống. Quá trình đô thị hóa chưa gắn với quy hoạch bền vững, dẫn đến mở rộng xây dựng vào sườn dốc, ven suối và các khu vực có nguy cơ cao, trong khi dữ liệu nguy cơ trượt đất chưa được tích hợp đầy đủ vào quy hoạch sử dụng đất và xây dựng. Hoạt động san gạt địa hình làm thay đổi thoát nước tự nhiên, gia tăng nguy cơ mất ổn định mái dốc. Công tác quản lý và truyền thông rủi ro còn hạn chế, thông tin cảnh báo chưa chia sẻ kịp thời, phối hợp liên ngành và năng lực cán bộ cơ sở còn hạn chế. Các công trình phòng chống trượt triển khai còn đơn lẻ, quy mô nhỏ, thiếu thoát nước; hệ thống thoát nước mặt nhanh xuống cấp, tắc nghẽn, trong khi giải pháp thoát nước ngầm mới ở mức thí điểm và chưa được nhân rộng.

3.4.2. Nhóm giải pháp về quy hoạch – xây dựng:

Nhóm giải pháp quy hoạch – xây dựng tập trung vào việc tích hợp cơ sở dữ liệu nguy cơ trượt đất vào quy hoạch và quản lý xây dựng nhằm giảm thiểu thiệt hại và đảm bảo phát triển đô thị bền vững. Giải pháp được đề xuất theo cấp nguy cơ: vùng rất cao ưu tiên di dời, hạn chế tối đa xây dựng mới, thiết lập hành lang an toàn và đầu tư gia cố kết hợp quan trắc; vùng cao áp dụng gia cố mái dốc, kiểm soát nghiêm hoạt động xây dựng và triển khai cảnh báo sớm; vùng trung bình giới hạn sử dụng đất theo hướng cây xanh – công viên, tăng cường thoát nước mặt và cơ chế cảnh báo cộng đồng; vùng thấp – rất thấp chủ yếu theo dõi định kỳ và ổn định mái dốc tự nhiên. Công tác quy hoạch cần triển khai đồng bộ từ quy hoạch tổng thể,

quy hoạch chi tiết đến thiết kế cải tạo hạ tầng, với yêu cầu khảo sát địa chất ngày càng chi tiết theo tỷ lệ 1/2.000–1/500. Trên cơ sở phân vùng rủi ro, quản lý xây dựng được kiểm soát theo mức độ: không cấp phép ở vùng rủi ro rất cao, xây dựng hạn chế kèm khảo sát – thiết kế chống trượt ở vùng cao, và kiểm soát mật độ – thoát nước ở các vùng còn lại.

3.4.3. Nhóm biện pháp về kỹ thuật - hạ tầng

Nhóm biện pháp kỹ thuật – hạ tầng nhằm kiểm soát và giảm thiểu rủi ro trượt đất được tổng hợp theo các tiêu chuẩn hiện hành (TCVN 9861:2013, TCVN 11823-1:2017, 22TCN 171-87, 22TCN 263-2000) và phân thành 5 nhóm chính theo mục tiêu can thiệp. Gồm: (1) công trình chống đỡ cơ học như tường chắn, đê phản áp, cọc ghim, neo, tường đất có cốt áp dụng cho mái dốc cao và yêu cầu ổn định lâu dài; (2) giảm tải mái dốc bằng cắt cơ học, xử lý cấp, làm thoải mái dốc nhằm giảm lực trượt; (3) kiểm soát dòng chảy bề mặt bằng rãnh thoát nước, bậc nước, lớp chống thấm để hạn chế xói mòn và tập trung dòng; (4) thoát nước ngầm bằng hào, giếng, lỗ khoan/hầm thu nước để giảm áp lực nước lỗ rỗng; và (5) gia cố – bảo vệ mặt dốc nhằm ổn định lớp đất mặt.

3.4.4. Nhóm giải pháp về xã hội – cộng đồng

QLRR thiên tai dựa vào cộng đồng là hướng đi hiệu quả, bền vững và chi phí thấp. Các giải pháp trọng tâm gồm: (i) tổ chức bộ máy QLRR cấp cơ sở (Ban QLRRTT thôn/xã và nhóm nông cốt 5–7 người) với cơ chế phối hợp và kênh thông tin rõ ràng; (ii) đánh giá rủi ro có sự tham gia của cộng đồng theo phương pháp RRA để cập nhật lịch sử trượt, vị trí nguy cơ và nhóm dễ tổn thương; (iii) xây dựng và duy trì kế hoạch PCTT cộng đồng với danh sách sơ tán, tuyến – điểm tập kết và phân công nhiệm vụ cụ thể; (iv) tuyên truyền, tập huấn và diễn tập định kỳ, kết hợp các kênh truyền thông tại chỗ và nhóm Zalo cộng đồng; và (v) thiết lập cơ chế giám sát – cảnh báo cộng đồng thông qua mốc theo dõi nứt, nhật ký mưa, loa cảnh báo bán tự động kết nối dữ liệu khí tượng/cảm biến tại chỗ.

3.4.5. Giám sát và cập nhật thông tin rủi ro trượt đất định kỳ

Nghiên cứu đề xuất mô hình quan trắc – cảnh báo trượt đất định kỳ trên nền tảng WebGIS tích hợp, gồm các lớp dữ liệu địa hình, hiện trạng

trượt lở, bản đồ nguy cơ và dữ liệu thời gian thực từ trạm đo tự động (chuyển vị ngang, PWP, lượng mưa). Hệ thống cho phép trực quan hóa theo không gian – thời gian, hỗ trợ cơ quan quản lý và cộng đồng giám sát diễn biến và cảnh báo sớm. Mô hình gồm 2 câu phân: (i) cảnh báo khu vực trên WebGIS, cập nhật dữ liệu 2 lần/năm hoặc sau mưa cực đoan, tích hợp số liệu quan trắc để hiệu chỉnh bản đồ rủi ro, rà soát lại khu vực ưu tiên và hành lang an toàn; (ii) quan trắc – dự báo khối trượt sâu tại LangBiang, sử dụng đồng bộ cảm biến đo chuyển vị ngang, áp lực nước lỗ rỗng và mưa/độ ẩm tại chỗ để cảnh báo và dự báo khả năng dịch chuyển.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

1) Trượt đất tại khu vực Đà Lạt – Lạc Dương được nhận diện với bốn kiểu chính gồm trượt tịnh tiến, trượt xoay, trượt hỗn hợp và trượt dòng. Trong đó, trượt tịnh tiến (nông) chiếm ưu thế, có quy mô nhỏ đến trung bình, phát sinh chủ yếu trong lớp vỏ phong hóa hoàn toàn, phổ biến tại các khu vực đô thị hóa chịu tác động mạnh của hoạt động cải tạo bề mặt như cắt xẻ mái dốc, san nền và chất tải công trình. Trượt xoay (sâu) có quy mô lớn thường xuất hiện tại các sườn dốc tự nhiên, nơi phát triển lớp vỏ phong hóa hoàn toàn đến phong hóa mạnh, có chiều dày lớn và khả năng tích nước cao. Trượt hỗn hợp và trượt dòng phân bố chủ yếu tại các khu vực tự thủy, phát sinh trong vật liệu đất đá hỗn hợp trong các đợt mưa lớn kéo dài.

2) Quá trình đô thị hóa có mối quan hệ chặt chẽ với sự gia tăng trượt đất. Việc cắt xẻ mái dốc, san nền và chất tải công trình đã làm suy giảm độ bền đất đá, tạo điều kiện phát sinh trượt đất, đặc biệt khi kết hợp với mưa lớn. Kết quả phân tích cho thấy mức độ đô thị hóa là một trong những yếu tố chi phối quan trọng làm gia tăng nguy cơ trượt đất tại khu vực nghiên cứu.

3) Mô hình tích hợp xác suất trượt đất theo không gian, thời gian và quy mô sự kiện với các yếu tố tổn thương và đối tượng phơi bày đã cho phép lượng hóa rủi ro trượt đất đối với người và tài sản trên cơ sở định lượng. Cách tiếp cận đa tiêu chí này kết hợp đồng thời khả năng xảy ra

trượt đất và mức độ tổn thất dự kiến, qua đó phân biệt rõ rủi ro trượt đất với nguy cơ thuận túy, phù hợp với điều kiện dữ liệu địa phương và làm rõ sự phân bố rủi ro theo không gian phục vụ công tác quản lý và xác định thứ tự ưu tiên kiểm soát rủi ro.

4) Kết quả nghiên cứu cho thấy rủi ro trượt đất tại khu vực Đà Lạt - Lạc Dương phân hóa rõ rệt theo không gian, với giá trị R_{th} dao động từ <2,5 đến 5,0. Các đơn vị hành chính nằm trong nhóm rủi ro khó chấp nhận được, bao gồm: P7, P8, P3, P6, P2, P9 và P11 với $R_{th} \geq 3,5$; nhóm rủi ro cần khắc phục được, bao gồm: P4, P10, TT. Lạc Dương với $R_{th} = 2,5 - 3,5$; và nhóm rủi ro chấp nhận được, bao gồm: P12, P1, P5, xã Xuân Thọ, Xuân Trường, Tà Nung và Trạm Hành với $R_{th} < 2,5$. Việc áp dụng trọng số ưu tiên cho rủi ro về người ($w_1 = 0,7$) đã nhấn mạnh vai trò của mật độ dân cư và công trình tập trung, đồng thời là cơ sở khoa học để xác định thứ tự ưu tiên KSRR.

5) Kết quả phân loại và mã hoá 33 công trình cho thấy mức độ rủi ro phân hoá rõ rệt: 12 CTXD (36%) ở mức Rất cao, 6 CTXD (18%) ở mức Cao, 7 CTXD (21%) ở mức Trung bình và 8 CTXD (24%) ở mức Thấp. Việc áp dụng hệ thống mã hoá (KV-YY-ID-UT) không chỉ giúp chuẩn hóa thông tin, dễ dàng truy xuất và quản lý từng vị trí cụ thể, mà còn tạo cơ sở khoa học cho so sánh, tổng hợp và tích hợp dữ liệu rủi ro theo không gian - thời gian. Về mặt thực tiễn, mã hoá hỗ trợ ưu tiên nguồn lực, lập kế hoạch can thiệp và kiểm soát quy hoạch xây dựng một cách hiệu quả, đồng thời nâng cao năng lực cảnh báo sớm và QLRR thiên tai tại địa phương.

6) Việc KSRR được triển khai theo một quy trình có hệ thống, kết hợp giữa đánh giá rủi ro ở quy mô khu vực và lượng hóa rủi ro tại các vị trí cụ thể. Cách tiếp cận này dựa trên dữ liệu thực tế của địa phương, bảo đảm tính khả thi trong triển khai và cho phép xác định thứ tự ưu tiên kiểm soát rủi ro một cách khoa học, qua đó góp phần nâng cao hiệu quả QLRR trượt đất tại khu vực đô thị miền núi và có khả năng áp dụng cho các địa bàn có điều kiện tương tự.

7) Luận án đã đề xuất quy trình QLRR trượt đất bao gồm đầy đủ các bước từ phân tích, đánh giá, lượng hóa đến kiểm soát, giám sát và cập nhật. Quy trình này đảm bảo tính liên tục, thích ứng và có khả năng tích hợp vào quy hoạch phát triển đô thị, góp phần nâng cao năng lực phòng tránh và giảm nhẹ thiệt hại do trượt đất.

8) Luận án còn một số tồn tại như: (i) dữ liệu trượt đất lịch sử và quan trắc chưa đầy đủ, chuỗi số liệu còn ngắn; (ii) phương pháp đánh giá nguy cơ chủ yếu dựa trên AHP và thống kê nên còn phụ thuộc kinh nghiệm chuyên gia; (iii) phạm vi nghiên cứu chưa bao quát đầy đủ các dạng tai biến và tổn thất gián tiếp. Ngoài ra, ngưỡng mưa được xây dựng từ số liệu ngày nên chưa phản ánh đầy đủ các trận mưa cường độ lớn theo giờ, trong khi số lượng sự kiện còn hạn chế dẫn đến sai số nhất định trong xác định ngưỡng mưa kích hoạt trượt đất. Tuy vậy, các kết quả vẫn có ý nghĩa thực tiễn và là cơ sở ban đầu để tiếp tục hoàn thiện mô hình đánh giá và cảnh báo sớm trượt đất trong tương lai.

KIẾN NGHỊ

- Tích hợp bản đồ nguy cơ và rủi ro trượt đất do luận án xây dựng vào công tác quy hoạch và quản lý phát triển đô thị tại Đà Lạt - Lạc Dương, đặc biệt chú trọng các khu vực có $R_{th} \geq 3,5$ nhằm kiểm soát hoạt động cải tạo địa hình, san gạt mái dốc và bố trí CTXD.

- Ưu tiên áp dụng các giải pháp kỹ thuật và phi kỹ thuật đã được luận án đề xuất, bao gồm: hệ thống thoát nước, gia cố mái dốc, phủ xanh bề mặt, kết hợp thiết lập mạng lưới quan trắc định kỳ và nền tảng WebGIS để giám sát, cảnh báo sớm và cập nhật thông tin rủi ro.

- Địa phương cần bố trí nguồn lực cho công tác phòng ngừa và giảm nhẹ, đồng thời vận dụng kết quả phân cấp rủi ro (R_{th} , R_{cn} , R_{ts}) để xác định thứ tự ưu tiên kiểm soát, khắc phục hoặc di dời tại các khu vực nguy hiểm.

- Kết quả và mô hình nghiên cứu của luận án có thể áp dụng tại các đô thị miền núi khác ở Việt Nam, góp phần tăng cường cơ sở khoa học và thực tiễn cho công tác QLRR trượt đất.

DANH MỤC CÁC BÀI BÁO ĐÃ XUẤT BẢN LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1) **Nguyễn Việt Tiến**, Nguyễn Trọng Tài, Trần Trọng Hiền, Hà Ngọc Anh, Đỗ Minh Đức , 2022, Đặc điểm trượt đất quy mô lớn tại phường B' Lao, thành phố Bảo Lộc, tỉnh Lâm Đồng. *Hội nghị khoa học toàn quốc ACEA-VIETGEO 2021 - Chủ đề Tai biến địa chất* (ISBN:978-604-67-2296-0), tr. 497-504.

2) **Nguyễn Việt Tiến**, Hà Ngọc Anh, Hoàng Hải Yến, Nguyễn Trọng Tài, Trần Phú Hoàng, 2024, Ảnh hưởng của biến đổi hình thái sườn và chất tải công trình đến độ ổn định mái dốc khu vực đô thị Đà Lạt – Lạc Dương, tỉnh Lâm Đồng. *Tạp chí Địa kỹ thuật* (ISSN - 0868 - 279X), số 4-2024, tr. 29-38.

3) Phạm Lê Hoàng Linh, Nguyễn Trung Kiên, Dương Văn Bình, **Nguyễn Việt Tiến**, Nguyễn Quốc Thành, Vy Thị Hồng Liên, Đỗ Thắng, Nguyễn Trọng Tài, 2025, Nguy cơ trượt lở đất khu vực Tà Xùa, huyện Bắc Yên, tỉnh Sơn La và khả năng ảnh hưởng đến công trình xây dựng. *Tạp chí Xây dựng* (ISSN - 2734 - 9888), số 2-2025, tr. 46-49.

4) **Viet-Tien Nguyen**, Trong-Tai Nguyen, Mai Nguyen Thi, Yen Hoang Hai, Lien Vi Thi Hong, Do Minh Ngoc, Indra Prakash, Tran Van Phong, 2025, Forecasting deep-seated landslide displacements based on the application of machine learning models using automatic monitoring data. *Journal of Science and Transport Technology* (ISSN: 2734-9950), 5(4), tr. 87-106.

5) **Nguyen Viet Tien**, Nguyen Kim Hung, Hoang Hai Yen, Nguyen Van Huong, Nguyen Trong Tai, Ha Ngoc Anh, 2026, Data-driven forecasting of landslide displacement using machine learning and real-time monitoring. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences* (e-ISSN 2588-1094), tr. 1-12.