

**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**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC TRÁI ĐẤT

Hà Nội - 2026

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

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC TRÁI ĐẤT

Ngành: Địa chất học

Mã số: 9.44.02.01

Xác nhận của Học viện
Khoa học và Công nghệ

Người hướng dẫn 1
(Ký, ghi rõ họ tên)

Người hướng dẫn 2
(Ký, ghi rõ họ tên)

GS. TS. Đỗ Minh Đức PGS. TSKH. Vũ Cao Minh

Hà Nội - 2026

MỤC LỤC

MỤC LỤC	i
LỜI CAM ĐOAN	iv
LỜI CẢM ƠN	v
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT	vi
BẢNG TRA DANH MỤC ĐƠN VỊ HÀNH CHÍNH KHU VỰC ĐÀ LẠT - LẠC DƯƠNG THEO PHÂN CẤP HÀNH CHÍNH MỚI	ix
DANH MỤC CÁC BẢNG	x
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ	x
MỞ ĐẦU.....	1
1. Tính cấp thiết của đề tài	1
2. Mục tiêu.....	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài	2
4. Nội dung nghiên cứu	3
5. Luận điểm bảo vệ	3
6. Những điểm mới của luận án	3
7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án	4
8. Cơ sở tài liệu của luận án	4
8.1. Tài liệu và dữ liệu thu thập	4
8.2. Số liệu do luận án thực hiện.....	6
9. Cấu trúc của luận án	7
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU QUẢN LÝ RỦI RO TRƯỢT ĐẤT, CÁCH TIẾP CẬN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....	8
1.1. Tổng quan nghiên cứu rủi ro trượt đất	8
1.1.1. Khái niệm và thuật ngữ.....	8
1.1.2. Tổng quan về đô thị hoá trên địa hình dốc và rủi ro trượt đất.....	12
1.1.3. Tổng quan quản lý rủi ro trượt đất trên thế giới	13
1.1.4. Tổng quan quản lý rủi ro trượt đất ở Việt Nam.....	17
1.1.5. Cơ sở lý luận và định hướng nghiên cứu của luận án.....	21
1.2. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu	24
1.2.1. Cách tiếp cận.....	24
1.2.2. Phương pháp nghiên cứu	26
1.2.3. Quy trình quản lý rủi ro trượt đất đối với khu vực đô thị.....	43
CHƯƠNG 2 HIỆN TRẠNG VÀ NGUYÊN NHÂN TRƯỢT ĐẤT KHU VỰC ĐÔ THỊ ĐÀ LẠT - LẠC DƯƠNG.....	47
2.1. Khái quát khu vực nghiên cứu	47

2.1.1. Vị trí địa lý	47
2.1.2. Đặc điểm địa hình - địa mạo	48
2.1.3. Đặc điểm địa tầng và magma xâm nhập	49
2.1.4. Đặc điểm kiến tạo	51
2.1.5. Đặc điểm khí hậu - thủy văn	52
2.1.6. Đặc điểm phát triển dân cư	53
2.2. Nhận dạng và đánh giá nguy cơ trượt đất	54
2.2.1. Hiện trạng và phân loại trượt đất	54
2.2.2. Các đối tượng chịu ảnh hưởng của trượt đất	63
2.2.3. Các yếu tố ảnh hưởng và phân vùng nguy cơ trượt đất	65
2.2.4. Đánh giá nguy cơ trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương	70
2.3. Các nguyên nhân gây trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt – Lạc Dương	78
2.3.1. Đặc điểm mưa gây trượt đất	79
2.3.2. Hoạt động đô thị hoá gây trượt đất	83
CHƯƠNG 3 QUẢN LÝ RỦI RO TAI BIẾN TRƯỢT ĐẤT KHU VỰC ĐÔ THỊ ĐÀ LẠT - LẠC DƯƠNG	90
3.1. Lượng hoá rủi ro trượt đất	90
3.1.1. Lượng hoá rủi ro trượt đất đối với khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương	90
3.1.2. Lượng hoá rủi ro trượt đất đối với vị trí cụ thể	105
3.2. Đánh giá rủi ro tai biến trượt đất	111
3.2.1. Mức độ rủi ro tai biến trượt đất đối với khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương .	111
3.2.2. Mức độ rủi ro tai biến trượt đất đối với vị trí cụ thể	115
3.3. Định hướng kiểm soát rủi ro (KSRR) tai biến trượt đất	120
3.3.1. Xác định khu vực ưu tiên KSRR tai biến trượt đất	120
3.3.2. Xác định mức độ ưu tiên KSRR trượt đất tại vị trí cụ thể	123
3.4. Giải pháp KSRR tai biến trượt đất	126
3.4.1. Những hạn chế trong công tác phòng, tránh thiên tai tại địa phương	126
3.4.2. Nhóm giải pháp về quy hoạch - xây dựng	128
3.4.3. Nhóm biện pháp về kỹ thuật - hạ tầng	130
3.4.4. Nhóm giải pháp về xã hội - cộng đồng	131
3.5. Giám sát và cập nhật thông tin quản lý rủi ro trượt đất	132
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	136
1. Kết luận	136
2. Kiến nghị	138
DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ	139
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO	140

PHỤ LỤC.....	150
Phụ lục 1: Đánh giá các yếu tố tự nhiên ảnh hưởng tới trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương	150
Phụ lục 2: Phân tích đặc điểm mưa gây trượt đất	158
Phụ lục 3. Mức độ nghiên cứu nguy cơ và nội dung chuyên môn.....	168
Phụ lục 4. Hệ thống giải pháp kỹ thuật - hạ tầng kiểm soát trượt đất.....	170
Phụ lục 5. Thiết lập hệ thống quan trắc cảnh báo trượt đất theo khu vực và vị trí cụ thể.....	172

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận án: "Nghiên cứu quản lý rủi ro tai biến trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, tỉnh Lâm Đồng" là công trình nghiên cứu của chính mình dưới sự hướng dẫn khoa học của tập thể hướng dẫn. Luận án sử dụng thông tin trích dẫn từ nhiều nguồn tham khảo khác nhau và các thông tin trích dẫn được ghi rõ nguồn gốc. Các kết quả nghiên cứu của tôi được công bố chung với các tác giả khác đã được sự nhất trí của đồng tác giả khi đưa vào luận án. Các số liệu, kết quả được trình bày trong luận án là hoàn toàn trung thực và chưa từng được công bố trong bất kỳ một công trình nào khác ngoài các công trình công bố của tác giả. Luận án được hoàn thành trong thời gian tôi làm nghiên cứu sinh tại Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Hà Nội, ngày tháng năm 2026

Tác giả luận án



Nguyễn Việt Tiến

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu sinh xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới hai thầy hướng dẫn khoa học: GS. TS. Đỗ Minh Đức và PGS. TSKH. Vũ Cao Minh, những người thầy đã luôn tận tâm chỉ bảo và động viên nghiên cứu sinh trong suốt quá trình thực hiện luận án. Nghiên cứu sinh cũng xin chân thành cảm ơn TS. Nguyễn Quốc Thành đã định hướng nghiên cứu, chia sẻ kinh nghiệm và có nhiều ý kiến góp ý chuyên môn quý báu trong quá trình học tập và nghiên cứu.

Nghiên cứu sinh xin chân thành cảm ơn Ban Lãnh đạo, Phòng Đào tạo, các phòng chức năng, cùng toàn thể các giảng viên, cán bộ thuộc Khoa Các Khoa học Trái đất, Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã luôn tận tình hỗ trợ và tạo điều kiện thuận lợi trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và hoàn thành luận án.

Nghiên cứu sinh xin trân trọng cảm ơn Ban Lãnh đạo Viện Địa chất trước đây, Ban Lãnh đạo Viện Các Khoa học Trái đất, tập thể Phòng Quản lý tổng hợp và tập thể Phòng Địa kỹ thuật và Phát triển công nghệ đã luôn quan tâm, tạo điều kiện thuận lợi và động viên trong suốt thời gian thực hiện luận án. Đồng thời, nghiên cứu sinh xin chân thành cảm ơn những ý kiến góp ý quý báu của các nhà khoa học, đồng nghiệp và bạn bè trong và ngoài đơn vị. Những đóng góp đó là nguồn tri thức và động lực quan trọng, giúp nghiên cứu sinh không ngừng hoàn thiện nội dung nghiên cứu.

Nghiên cứu sinh xin trân trọng cảm ơn Ban Chủ nhiệm và các thành viên tham gia các đề tài, nhiệm vụ KH&CN đã tạo điều kiện cho nghiên cứu sinh tham gia nghiên cứu và sử dụng dữ liệu, phần mềm chuyên dụng phục vụ luận án, gồm: Đề tài cấp Nhà nước mã số TN3/T04; Đề tài cấp Nhà nước mã số TN18/T13; Đề tài cấp Viện HLKHCNVN mã số ĐL0000.01/20-21; và nhiệm vụ KH&CN cấp Đại học Quốc gia Hà Nội mã số QG.24.124.

Cuối cùng, nghiên cứu sinh xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến gia đình và người thân, những người luôn đồng hành, ủng hộ để nghiên cứu sinh tập trung hoàn thành nhiệm vụ học tập và nghiên cứu của mình.

Hà Nội, ngày tháng năm 2026

Tác giả luận án



Nguyễn Việt Tiến

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

AGS	Australian Geomechanics Society - Hội Địa kỹ thuật Úc
AHP	Analytic Hierarchy Process - Quy trình phân tích thứ bậc
AlFe	Kiểu vỏ phong hoá Alferit
AS/NZS	Australian/New Zealand Standards - Tiêu chuẩn Úc/New Zealand
BH	Trạng thái bão hòa (5h, 24h)
C	Lực dính kết của đất (kG/cm^2)
CAN/CSA	Canadian Standards Association Standards - Tiêu chuẩn Canada
CI	Consistency Index - Chỉ số nhất quán
CR	Consistency ratio - Tỷ số nhất quán
CTXD	Công trình xây dựng
DCo/EC _o	Debris complex/Earth complex Hiện tượng trượt hỗn hợp (hai hay nhiều loại trên) hỗn hợp đất đá/ đất dính
DCTH	Địa chất thạch học
DDOC	Độ dốc
DEM	Digital Elevation Model - Mô hình số độ cao địa hình
DFI/EFI	Debris flow/Earth flow - Hiện tượng trượt dòng hỗn hợp đất đá/ đất dính
DGAY	Đứt gãy
DGT	Đường giao thông
DRo/ER _o	Debris rotation/Earth rotation - Hiện tượng trượt xoay hỗn hợp đất đá/ đất dính
DT	Decision Tree - Mô hình cây quyết định
ĐTM	Đánh giá tác động môi trường
DTR	Đất trồng
DTr/ETr	Debris translation/Earth translation - Hiện tượng trượt tịnh tiến hỗn hợp đất đá/ đất dính
EU	European Union - Liên minh Châu Âu
FeSiAl	Kiểu vỏ phong hoá Ferosialit
F _s	Factor of Safety - Hệ số ổn định mái dốc
GB	Gradient Boosting - Mô hình học máy tổ hợp tăng cường
GEO	Geotechnical Engineering Office - Văn phòng Kỹ thuật Địa chất

GIS	Geographic Information System - Hệ thống thông tin địa lý
GPS	Global Positioning System – Hệ thống định vị toàn cầu
H_{tb}	Chiều cao trung bình của khối trượt
IAEG	International Association for Engineering Geology and the Environment - Hiệp hội Quốc tế về Địa kỹ thuật và Môi trường
ICOLD	International Commission on Large Dams - Ủy ban Quốc tế về Đập lớn
IFFI	Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia - Hệ thống Kiểm soát các hiện tượng trượt lở tại Ý
ISSMGE	International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - Hiệp hội Quốc tế về Cơ học đất và Địa chất công trình
IUGS	International Union of Geological Sciences - Liên hiệp Quốc tế về Khoa học Địa chất
φ	Góc ma sát trong của đất, (độ)
KC.08	Chương trình Khoa học và Công nghệ trọng điểm cấp Nhà nước KC.08 “Nghiên cứu khoa học và công nghệ phục vụ bảo vệ môi trường và phòng tránh thiên tai”.
KHCN	Khoa học và công nghệ
KSRR	Kiểm soát rủi ro
KTXH	Kinh tế - Xã hội
KVCN	Khu vực nghiên cứu
LMUA	Lượng mưa
LPM	Landslide Preventive Measures - Các biện pháp phòng ngừa trượt lở.
LSI	Chỉ số nguy cơ trượt
LSTM	Long Short Term Memory – Mô hình mạng nơ-ron hồi tiếp có bộ nhớ ngắn và dài hạn
L_v	Khoảng vùi lấp
MLPR	Multi-Layer Perceptron Regressor - Mô hình hồi quy mạng nơ-ron truyền thẳng nhiều lớp
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development - Tổ chức Hợp tác và Phát triển Kinh tế
P1, P2, P3, ... TT, TP	Phường 1, phường 2, phường 3, ... thị trấn, thành phố
PCN	Phân cắt ngang
PCS	Phân cắt sâu

QLRR	Quản lý rủi ro
QRA	Quantitative Risk Assessment - Mô hình đánh giá rủi ro tổng hợp
$R = H \times V \times E$	Rủi ro (Risk - R) = Nguy cơ tai biến (Hazard - H) x Khả năng chịu tổn thương (Vulnerability - V) x Đối tượng chịu tác động (Exposure - E)
$R_{cn}(i, t)$	Rủi ro về con người tại đơn vị hành chính i, thời đoạn t
RF	Random Forest - Mô hình rừng ngẫu nhiên (tập hợp nhiều cây quyết định)
RI	Random Index - Chỉ số ngẫu nhiên
R_T	Rainfall Threshold - Ngưỡng mưa
Rth	Rủi ro tổng hợp về con người và tài sản
RTR	Rừng trồng
$R_{ts}(i, t)$	Rủi ro về tài sản tại đơn vị hành chính i, thời đoạn t
SDD	Sử dụng đất
SiAlFe	Kiểu vỏ phong hoá Sialferit
SVR	Support Vector Regression - Mô hình hồi quy máy vector hỗ trợ
TN	Trạng thái tự nhiên
TN3	Chương trình Tây Nguyên 3
UAV	Unmanned Aerial Vehicle - Phương tiện bay không người lái
UBND	Ủy ban nhân dân
UN-DESA	United Nations Department of Economic and Social Affairs - Ban Kinh tế và Xã hội của Liên Hợp Quốc
UNDRR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction - Văn phòng Liên Hợp Quốc về Giảm nhẹ Rủi ro Thiên tai
UN-Habitat	United Nations Human Settlements Programme - Chương trình Định cư Con người của Liên Hợp Quốc
USGS	United States Geological Survey - Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ
VHM	Vườn hoa màu
VPH	Vỏ phong hoá
WHO	World Health Organization - Tổ chức Y tế Thế giới
γ_w	Khối lượng thể tích tự nhiên của đất, (g/cm ³)

**BẢNG TRA DANH MỤC ĐƠN VỊ HÀNH CHÍNH KHU VỰC ĐÀ LẠT
- LẠC DƯƠNG THEO PHÂN CẤP HÀNH CHÍNH MỚI**

TT	Đơn vị hành chính cũ <i>(Trước ngày 01/7/2025)</i>	Đơn vị hành chính mới <i>(Sau ngày 01/7/2025)</i>
1	Phường 1	Phường Xuân Hương - Đà Lạt
2	Phường 2	
3	Phường 3	
4	Phường 4	
5	Phường 10	
6	Phường 5	Phường Cam Ly - Đà Lạt
7	Phường 6	
8	Xã Tà Nung	
9	Phường 8	Phường Lâm Viên - Đà Lạt
10	Phường 9	
11	Phường 12	
12	Phường 11	Phường Xuân Trường - Đà Lạt
13	Xã Xuân Thọ	
14	Xã Xuân Trường	
15	Xã Trạm Hành	Phường Lang Biang - Đà Lạt <i>(Không bao gồm xã Lát cũ)</i>
16	Phường 7	
17	Thị trấn Lạc Dương	

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1.1. Mẫu thông tin giải đoán khối trượt bằng mắt thường tại vị trí cụ thể trên ảnh Google Earth.....	28
Bảng 1.2. Phân loại trượt theo độ sâu phân bố mặt trượt	28
Bảng 1.3. Phân loại trượt theo quy mô khối trượt	28
Bảng 1.4. Phân loại trượt theo tốc độ dịch chuyển	29
Bảng 1.5. Phân loại trượt theo dạng, phương thức, đặc điểm dịch chuyển	29
Bảng 1.6. Phân loại trượt theo kiểu chuyển động và vật liệu (rút gọn từ Cruden và Varnes, 1996 và áp dụng cho luận án)	30
Bảng 1.7. Phân cấp nguy cơ trượt lở theo mật độ điểm trượt và biểu thị theo cấp nguy cơ theo màu đặc trưng.....	33
Bảng 1.8. Đánh giá vai trò quan trọng của các yếu tố phát triển trượt lở (theo thang so sánh mức độ quan trọng của Saaty).....	34
Bảng 1.9. Ước lượng khoảng vùi lấp (Lv) theo thể tích và chiều cao khối trượt đất	42
Bảng 1.10. Giá trị các đại lượng sử dụng trong công thức thực nghiệm ước tính khoảng vùi lấp (Lv) của khối trượt đất.....	43
Bảng 2.1. Biến động dân số khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, giai đoạn 2010 - 2022 (Nguồn: Niên giám thống kê tỉnh Lâm Đồng năm 2010 và năm 2022)	54
Bảng 2.2. Phân loại trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (theo Varnes đề xuất).....	62
Bảng 2.3. Thống kê kiểu chuyển động trên các VPH sườn - tàn tích (kiểu thạch học đặc trưng) tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.....	63
Bảng 2.4. Thống kê các đối tượng chịu ảnh hưởng của trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương	64
Bảng 2.5. Ma trận so sánh giữa các yếu tố tự nhiên ảnh hưởng khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.....	71
Bảng 2.6. Ma trận xác định trọng số các yếu tố tự nhiên ảnh hưởng khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương	71
Bảng 2.7. Mức độ tăng/ giảm theo tỷ lệ % cấp nguy cơ trượt đất so sánh giữa năm 2016 và 2023	75
Bảng 2.8. Số lượng CTXD và mật độ CTXD tăng/ giảm theo diện tích cấp nguy cơ trượt đất so sánh giữa năm 2016 và 2023	77
Bảng 2.9. Giá trị mưa (mm) ngày nhỏ nhất trong trường hợp quan hệ giữa lượng mưa ngày với lượng mưa các ngày trước đó.....	80
Bảng 2.10. Thống kê số lượng CTXD gia tăng trên cấp độ dốc, từ năm 2016 - 2023	84

Bảng 2.11. Thống kê số lượng CTXD xâm lấn dòng chảy tự nhiên (DCTN) và khoảng cách điểm trượt đất đến CTXD xâm lấn dòng chảy.....	85
Bảng 2.12. Chỉ tiêu cơ lý đầu vào trong mô hình tính toán hệ số ổn định.....	86
Bảng 2.13. Kết quả tính toán hệ số ổn định mái dốc ở trạng thái tự nhiên và bão hòa ..	87
Bảng 3.1. Thống kê số vụ trượt đất theo năm từ năm 2016 đến năm 2024	90
Bảng 3.2. Tỷ lệ xác suất số vụ trượt đất xảy ra mỗi năm theo tính toán	92
Bảng 3.3. Xác suất số vụ trượt đất có khả năng xảy ra ở mỗi cấp nguy cơ.....	93
Bảng 3.4. Xác suất trượt đất theo không gian và số lượng CTXD có khả năng bị ảnh hưởng trên cấp nguy cơ theo thời gian (năm)	94
Bảng 3.5. Thống kê mật độ CTXD và mật độ dân số theo cấp hành chính tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương	95
Bảng 3.6. Thống kê mức độ tập trung dân số và CTXD theo cấp hành chính	96
Bảng 3.7. Phần trăm (%) xác suất nguy cơ tại biên $P(S/H)_{t,i}$ theo đơn vị hành chính ...	97
Bảng 3.8. Ước tính số CTXD có khả năng bị ảnh hưởng trên đơn vị hành chính theo thời gian (1 năm, 3 năm và 5 năm)	99
Bảng 3.9. Ước tính số CTXD có khả năng bị tổn thương (n_i) trên đơn vị hành chính theo cấp nguy cơ (công trình)	101
Bảng 3.10. Giá trị ước tính rủi ro về tài sản (R_{ts}) trên đơn vị hành chính theo thời gian (triệu đồng).....	103
Bảng 3.11. Giá trị ước tính rủi ro về người (R_{cn}) trên đơn vị hành chính theo thời gian (người).....	104
Bảng 3.12. Ước lượng giá trị tổn thương theo khoảng vùi lấp	106
Bảng 3.13. Thông tin đánh giá rủi ro tai biến trượt đất đối với vị trí cụ thể.....	107
Bảng 3.14. Hệ thống thông tin thu thập và giá trị đánh giá mức độ rủi ro	108
Bảng 3.15. Quy định về kết cấu, chiều cao giới hạn các cấp công trình (theo Thông tư 06/2021/TT-BXD)	109
Bảng 3.16. Giá trị mức độ tổn thương về người theo phạm vi tác động của khoảng vùi lấp đối với CTXD.....	110
Bảng 3.17. Thống kê thiệt hại về người và CTXD từ năm 2023 đến 2025	112
Bảng 3.18. Phân cấp mức độ rủi ro về tài sản và người.....	113
Bảng 3.19. Phân cấp rủi ro tổng hợp theo đơn vị hành chính.....	113
Bảng 3.20. Phân cấp mức độ rủi ro đối với CTXD.....	116
Bảng 3.21. Đánh giá mức độ ưu tiên phục vụ công tác QLRR tại biến trượt đất đối với vị trí cụ thể	117
Bảng 3.22. Phân cấp mức độ chấp nhận rủi ro và định hướng KSRR tại biến trượt đất	121

Bảng 3.23. Tiêu chí xác định đơn vị hành chính ưu tiên KSRR.....	122
Bảng 3.24. Phân cấp mức độ ưu tiên KSRR.....	123
Bảng 3.25. Thông tin mã hoá đối với từng vị trí cụ thể.....	124
Bảng 3.26. Kết quả phân cấp mức độ ưu tiên KSRR.....	125
Bảng 3.27. Tổng hợp mức độ ưu tiên KSRR và mã hoá công trình đối với từng vị trí cụ thể.....	125
Bảng 3.28. Bảng đề xuất giải pháp ưu tiên áp dụng theo cấp nguy cơ trượt đất ...	128
Bảng 3.29. Phân cấp ngưỡng cảnh báo trượt đất khối trượt sâu, quy mô lớn.....	135
Bảng PL1.1. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố độ dốc khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000).....	150
Bảng PL1.2. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố phân cắt sâu địa hình khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000)	151
Bảng PL1.3. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố phân cắt ngang địa hình khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000)..	152
Bảng PL1.4. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố thạch học khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000).....	153
Bảng PL1.5. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố kiểu vỏ phong hoá khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000)....	154
Bảng PL1.6. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố khoảng cách tới đứt gãy khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000).....	155
Bảng PL1.7. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố sử dụng đất khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000).....	156
Bảng PL1.8. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố lượng mưa khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000).....	157
Bảng PL2.1. Thống kê các sự kiện mưa gây trượt lở tại khu vực TP. Đà Lạt và TT. Lạc Dương (từ 2016 đến 2020).....	158
Bảng PL2.2. Thống kê lượng mưa trong các sự kiện trượt đất khu vực Đà Lạt - Lạc Dương (đơn vị tính mm)	162
Bảng PL2.3. Kết quả xác định sức chống cắt của đất sườn – tàn tích theo độ ẩm tại khu vực nghiên cứu	164
Bảng PL2.4. Tổng hợp thành phần khoáng vật các loại đất sườn - tàn tích phổ biến tại khu vực nghiên cứu	165
Bảng PL2.5. Kết quả kiểm toán hệ số ổn định sườn dốc sau cải tạo và chịu tải trọng công trình theo các trường hợp.....	166
Bảng PL3.1. Quy mô đánh giá theo mục tiêu và diện tích nghiên cứu (AGS, 2007).	168

Bảng PL3.2. Nội dung tiến hành nghiên cứu trượt đất theo mức độ đánh giá	168
Bảng PL3.3. Bảng giá xây dựng nhà ở, CTXD theo Quyết định số 45/2022/QĐ-UBND của UBND tỉnh Lâm Đồng	169

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Giải đoán hiện tượng trượt đất bằng mắt thường trên ảnh Google Earth dưới tác động nhân sinh theo thời gian: a) Sườn dốc tự nhiên T3/2017; b) Sườn dốc sau cải tạo T11/2017; c) Sườn dốc xuất hiện trượt đất T10/2018. d) Kiểm tra xác minh trên thực địa T5/2019.	27
Hình 1.2. Thống kê các công nghệ quan trắc áp dụng cho trượt lở trên thế giới, a) số lượng công trình áp dụng thiết bị quan trắc, b) đối tượng tai biến áp dụng công nghệ quan trắc (theo Pecoraro, 2019)	38
Hình 1.3. Sơ đồ công nghệ quan trắc trượt lở đất được áp dụng cho khu vực và vị trí khối trượt cụ thể trên thế giới và Việt Nam (theo Kwan et. al., 2012).....	39
Hình 1.4. Quy trình QLRR trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương	43
Hình 1.5. Sơ đồ các bước thực hiện quy trình QLRR tai biến trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương	44
Hình 2.1. Bản đồ vị trí địa lý và đơn vị hành chính tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (trước và sau ngày 01/7/2025, thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000).....	48
Hình 2.2. Bản đồ phân bố các thành tạo địa chất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, tỉnh Lâm Đồng (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)	51
Hình 2.3. Kiểu trượt tịnh tiến (Etr), trên mái dốc tại tại hẻm 27 đường Lê Hồng Phong, phá huỷ CTXD nhà cấp III, TP Đà Lạt: a) Mặt cắt mô tả và b) Ảnh chụp hiện trường (2020).....	55
Hình 2.4. Kiểu trượt tịnh tiến (Etr), trên mái dốc tại vườn canh tác, TT Lạc Dương: a) Mặt cắt mô tả và b) Ảnh chụp hiện trường (2018)	56
Hình 2.5. Kiểu trượt xoay (Dro), trên mái dốc tại khu đô thị mới Lang Biang, phá huỷ CTXD nhà cấp IV, TT. Lạc Dương: a) Mặt cắt mô tả và b) ảnh chụp hiện trường (2023)	57
Hình 2.6. Kiểu trượt dòng (EF1), trên sườn dốc tại xã Tà Nung, Tp. Đà Lạt: a) Mặt cắt mô tả và b) Ảnh chụp Google Earth (2018)	58
Hình 2.7. Kiểu trượt hỗn hợp (DCo), tại đường tỉnh lộ 725, TP. Đà Lạt: a) Mặt cắt mô tả và b) ảnh chụp hiện trường (2020)	59
Hình 2.8. Kiểu trượt hỗn hợp (DCo), trên sườn dốc tại chân núi Lang Biang, TT. Lạc Dương: a) Mặt cắt mô tả và b) Ảnh chụp Google Earth (2017)	60
Hình 2.9. Hiện trạng phân bố trượt đất theo quy mô tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000).....	61
Hình 2.10. Biểu đồ tỷ lệ phần trăm các đối tượng chịu ảnh hưởng do trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương	64

Hình 2.11. Biểu đồ các kiểu trượt đất tác động tới đối tượng chịu ảnh hưởng tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương	65
Hình 2.12. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố tự nhiên khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2016 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000).....	73
Hình 2.13. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố tự nhiên khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000).....	74
Hình 2.14. Biểu đồ so sánh diện tích nguy cơ trượt đất năm 2016 và năm 2023	75
Hình 2.15. Biểu đồ so sánh số lượng CTXD theo cấp nguy cơ trượt đất năm 2016 và năm 2023	77
Hình 2.16. Bản đồ phân bố CTXD theo cấp nguy cơ trượt đất năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)	78
Hình 2.17. Ngưỡng mưa đề xuất đánh giá gây trượt đất khu vực.....	80
Đà Lạt - Lạc Dương, tỉnh Lâm Đồng.....	80
Hình 2.18. Mô hình tính toán hệ số ổn định sườn dốc tự nhiên và sau cải tạo chưa chịu tải trọng công trình theo trạng thái tính chất cơ lý bão hoà của đất.....	87
Hình 3.1. Biểu đồ mật độ dân số và mật độ CTXD theo đơn vị hành chính khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023	95
Hình 3.2. Biểu đồ ước tính giá trị rủi ro tài sản tại các đơn vị hành chính theo thời gian (1 năm, 3 năm và 5 năm).....	103
Hình 3.3. Sơ đồ phân chia phạm vi tác động (Lv) tại vị trí trượt đất (theo Fu et. al., 2020).....	106
Hình 3.4. Biểu đồ ước tính giá trị rủi ro về tài sản và con người tại các đơn vị hành chính trong thời gian 5 năm	111
Hình 3.5 Biểu đồ phân cấp giá trị rủi ro tổng hợp tại các đơn vị hành chính.....	115
Hình 3.6. Sơ đồ hệ thống quản lý về công nghệ quan trắc và mô hình cảnh báo trượt lở đất được áp dụng cho khu vực và vị trí khối trượt do NCS đề xuất	132
Hình PL1.1. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố độ dốc khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000).....	150
Hình PL1.2. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố phân cắt sâu địa hình khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000).....	151
Hình PL1.3. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố phân cắt ngang địa hình khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000).....	152
Hình PL1.4. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố thạch học khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)	153
Hình PL1.5. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố kiểu vỏ phong hoá khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000).....	154

Hình PL1.6. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố khoảng cách tới đứt gãy khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000).....	155
Hình PL1.7. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố sử dụng đất khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000).....	156
Hình PL1.8. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố lượng mưa khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000).....	157
Hình PL2.1. Quan hệ giữa lượng mưa ngày và lượng mưa các ngày trước đó với trượt đất khu vực Đà Lạt - Lạc Dương từ 2016 - 2020.....	164
Hình PL2.2. Kết quả tính toán mô hình tính hệ số ổn định mái dốc sau cải tạo thành các bậc địa hình và khả năng chịu tải trọng công trình tối ưu	167
Hình PL5.1. Các tính năng hiển thị và truy xuất thông tin dành cho người sử dụng...	173
Hình PL5.2. a) Tương tác giữa ống vách đo chuyển vị ngang và dịch trượt dưới nền đất; b) Mặt cắt thể hiện đầu dò đo nghiêng trong ống vách.....	175
Hình PL5.3. a) Mô phỏng hệ thống lắp đặt trước khi xảy ra dịch trượt; b) Mô phỏng hệ thống ghi nhận sự biến dạng khi xảy ra dịch trượt.....	176
Hình PL5.4. Giao diện hiển thị các thông số ghi đo trên website quan trắc cảnh báo trượt tự động tại vị trí nghiên cứu	176
Hình PL5.5. Biểu đồ các thông số quan trắc được thể hiện trực tuyến trên website phục vụ công tác cảnh báo trượt đất tự động tại vị trí nghiên cứu.....	177

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Trượt đất là một trong những tai biến địa chất trong thuật ngữ chuyên môn hay thiên tai nguy hiểm và phổ biến nhất trên toàn cầu, đặc biệt các khu vực đồi núi có địa hình phức tạp và chịu tác động mạnh mẽ từ điều kiện khí hậu. Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), trong giai đoạn 1998-2017, trượt đất đã ảnh hưởng đến khoảng 4,8 triệu người và gây ra hơn 18.000 ca tử vong trên toàn thế giới. WHO cũng cảnh báo rằng biến đổi khí hậu và sự gia tăng nhiệt độ toàn cầu sẽ tiếp tục làm tăng tần suất cũng như cường độ của tai biến trượt đất, đặc biệt ở những khu vực có băng tuyết tan chảy hoặc mưa lớn tập trung [1]. Trước thực trạng đó, quản lý rủi ro (QLRR) trượt đất đã trở thành xu hướng tất yếu trên thế giới, với nhiều thành phố như Hồng Kông (Trung Quốc), Nagano (Nhật Bản) và Wollongong (Úc) đã thiết lập hệ thống quản lý tổng hợp từ xác định hiện trạng, phân tích nguy cơ, đánh giá rủi ro đến cảnh báo sớm và tích hợp vào quy hoạch phát triển đô thị.

Tại Việt Nam, với 3/4 diện tích lãnh thổ là địa hình đồi núi, nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa ẩm có lượng mưa trung bình cao (1.500-2.000 mm/năm), tai biến trượt đất, lũ quét và lũ bùn đá diễn ra thường xuyên, đặc biệt vào mùa mưa bão. Với dân số trên 100 triệu người vào năm 2023, nhu cầu mở rộng không gian sinh sống và khai thác lãnh thổ phục vụ phát triển kinh tế - xã hội ngày càng gia tăng [2]. Thống kê của Ban Chỉ đạo Quốc gia về Phòng chống thiên tai cho thấy, trong giai đoạn 2020-2024, Việt Nam ghi nhận 2.283 người chết và mất tích do trượt lở đất, kèm theo thiệt hại kinh tế lên tới gần 161 nghìn tỷ đồng, tương đương 1,4% tổng thu nhập quốc dân năm 2024 [3]. Các sự kiện trượt đất lớn tại miền núi phía Bắc, miền Trung và Tây Nguyên, đặc biệt tai biến trượt đất tại huyện Bắc Bình - Bình Thuận (2005), huyện Bắc Sơn - Lạng Sơn (2007), huyện Tuy Phước - Bình Định (2010), huyện Văn Chấn - Yên Bái, thủy điện Rào Trăng 3 - Thừa Thiên Huế, huyện Nam Trà My - Quảng Nam, huyện Hướng Hoá - Quảng Trị (2020), huyện Tân Định - Quảng Ngãi (2021), huyện Bắc Hà - Lào Cai (2024), đã cho thấy yêu cầu cấp bách của việc quản lý và KSRR tai biến này một cách chủ động, có hệ thống.

Tại tỉnh Lâm Đồng, khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương có đặc trưng địa hình dốc phức tạp, vô phong hóa biến đổi và đa dạng, kết hợp với chế độ mưa lớn theo mùa và tác động mạnh của quá trình đô thị hóa. Những yếu tố này làm gia tăng đáng kể nguy cơ trượt đất. Thực tế trong những năm gần đây cho thấy hiện tượng trượt đất tại khu vực này có xu hướng gia tăng cả về tần suất, quy mô và mức độ thiệt hại. Cụ thể, các vụ trượt đất gây lún nứt nền nhà tại phường 2 và phường 10 (2017), tiếp đến

là trượt đất nghiêm trọng tại phường 3 và phường 7 (2018), và các đợt mưa lớn gây thiệt hại tại phường 4, 9 và 10 trong giai đoạn 2020-2021. Tại thị trấn Lạc Dương, trượt đất cũng đang đe dọa trực tiếp các khu dân cư, trường học và các dự án đô thị mới, đặt ra yêu cầu cấp thiết về đánh giá và KSRR một cách chủ động và khoa học [4].

Hiện nay, nghiên cứu 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 biến đổi khí hậu.

Xuất phát từ yêu cầu thực tiễn đó, nghiên cứu sinh (NCS) đã lựa chọn đề tài: “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 điều kiện thực tế và có khả năng áp dụng tại địa phương.

Ưu điểm của việc triển khai QLRR trượt đất tại khu vực này là khả năng tích hợp nhiều lĩnh vực từ địa chất, khí tượng thủy văn, xây dựng, đến quy hoạch đô thị vào một hệ thống đồng bộ. Hệ thống này không chỉ phục vụ mục tiêu giảm thiểu thiệt hại mà còn nâng cao năng lực ứng phó của cộng đồng, hỗ trợ ra quyết định cho các cấp chính quyền, và đảm bảo hài hòa giữa phát triển và an toàn. Đây cũng là bước cụ thể hóa mục tiêu mà Chính phủ đề ra về việc “từng bước xây dựng quốc gia có khả năng QLRR thiên tai” trong bối cảnh đô thị hóa nhanh chóng và khí hậu ngày càng bất ổn [5]. Định hướng quản lý rủi ro trong nghiên cứu này được đặt trên cơ sở nhận thức các điều kiện và quy luật khách quan của tự nhiên và xã hội, gắn với vai trò của con người trong tổ chức và thực hiện các giải pháp quản lý rủi ro.

2. Mục tiêu

- Làm sáng tỏ các đặc trưng và đánh giá được nguy cơ tai biến trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương;
- 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.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài

- Đối tượng nghiên cứu: Các kiểu trượt đất gây ảnh hưởng đến công trình xây dựng (CTXD) và dân cư tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, tỉnh Lâm Đồng.
- Phạm vi và giới hạn nghiên cứu của luận án:

+ Phạm vi chuyên môn nghiên cứu hiện tượng trượt đất phát triển trong lớp vỏ phong hoá sườn - tàn tích (mức độ phong hoá mạnh trở lên) tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương trong 20 năm gần đây và việc quản lý rủi ro tai biến trượt đất.

+ Phạm vi không gian nghiên cứu theo ranh giới hành chính đô thị gồm: Thành phố Đà Lạt (đô thị loại I) với diện tích khoảng 391,15 km²; Thị trấn Lạc Dương (đô thị loại V) với diện tích khoảng 70,61 km². Tổng diện tích khoảng 461,76 km².

4. Nội dung nghiên cứu

- Nghiên cứu xác định các đặc trưng trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

- Nghiên cứu đánh giá tai biến trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

- 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.

- Đề xuất các giải pháp giảm thiểu rủi ro và QLRR tai biến trượt đất cho khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

5. 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.

6. 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 tai 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.

7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

- Ý nghĩa khoa học:

+ Luận án bổ sung và đóng góp cơ sở lý luận QLRR trượt đất trong môi trường đô thị miền núi, thông qua mô hình tích hợp ba thành phần: nguy cơ tai biến trượt đất - đối tượng chịu tác động - khả năng chịu tổn thương, bằng cách tiếp cận liên ngành (địa chất, khí hậu, xây dựng, quy hoạch).

+ Luận án phát triển được quy trình đánh giá rủi ro định lượng, dựa trên cơ sở dữ liệu tích hợp (địa chất, địa hình, khí hậu, nhân sinh) và phân tích thống kê, qua đó góp phần hoàn thiện lý thuyết đánh giá rủi ro trượt đất trong bối cảnh biến đổi khí hậu và đô thị hóa nhanh.

- Ý nghĩa thực tiễn:

+ Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho công tác QLRR trượt đất chi tiết tại khu vực Đà Lạt - Lạc Dương, phục vụ công tác quy hoạch, bố trí dân cư và ưu tiên KSRR đối với khu vực (3 cấp độ) và vị trí cụ thể (4 nhóm theo thứ tự ưu tiên);

+ Mô hình và giải pháp của luận án có tính khả thi, có thể sử dụng làm mô hình tham chiếu cho các đô thị miền núi khác ở Việt Nam, góp phần hoàn thiện khung QLRR thiên tai theo hướng định lượng - hệ thống.

8. Cơ sở tài liệu của luận án

8.1. Tài liệu và dữ liệu thu thập

- Nguồn thông tin đại chúng: Bao gồm các tin tức từ truyền hình, báo in, báo điện tử và mạng xã hội, phản ánh diễn biến trượt đất và các tai biến liên quan tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương trong nhiều năm qua.

- Nguồn dữ liệu quản lý nhà nước: Các số liệu, báo cáo tình hình phòng chống thiên tai và thiệt hại, tài liệu điều tra địa chất đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, báo cáo về hiện tượng tai biến địa chất, bản đồ quy hoạch sử dụng đất và các tài liệu liên quan của các sở, ngành như Sở Xây dựng, Sở Nông nghiệp và Môi trường, Sở Khoa học Công nghệ và các cấp chính quyền địa phương tại tỉnh Lâm Đồng cung cấp.

- Nguồn số liệu và tài liệu tham khảo của luận án được tổng hợp từ các báo cáo, thống kê và công bố khoa học trong và ngoài nước liên quan đến tai biến trượt đất, bao gồm số liệu thực tế về thiệt hại thiên tai do các cơ quan chức năng của Việt Nam và tổ chức quốc tế công bố, cùng với các công trình nghiên cứu khoa học định hướng phương pháp, nội dung và cách tiếp cận đánh giá rủi ro. Danh mục chi tiết được trình bày tại mục Tài liệu tham khảo;

- Cơ sở dữ liệu Đề tài cấp Nhà nước “Nghiên cứu cơ sở khoa học, xây dựng hệ thống quan trắc cảnh báo trượt tự động tại một số khu đô thị trọng điểm khu vực Tây Nguyên” do NCS là chủ nhiệm đề tài, mã số TN18/T13 (2021), là nội dung tham

khảo về tài liệu địa hình (tỷ lệ 1:25.000), đặc điểm trượt đất, đánh giá nguyên nhân và quy trình công nghệ quan trắc cảnh báo trượt đất trên địa bàn TP. Đà Lạt và TT. Lạc Dương, tỉnh Lâm Đồng;

- Cơ sở dữ liệu Đề tài cấp Viện Hàn lâm KHCN Việt Nam “Nghiên cứu sự biến đổi tính chất vật lý hoá học của các loại vỏ phong hoá phục vụ phòng tránh tai biến trượt lở đất khu vực Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng”, chủ nhiệm đề tài TS. Hà Ngọc Anh và NCS tham gia là thành viên chính, mã số ĐL0000.01/20-21 (2023), là nội dung tham khảo về đặc điểm vỏ phong hoá, điều kiện địa hình, tính chất cơ lý của các loại đất ảnh hưởng tới khả năng ổn định của sườn dốc;

- Cơ sở dữ liệu Đề tài cấp Nhà nước “Nghiên cứu một số dạng tai biến địa chất điển hình phục vụ phát triển kinh tế- xã hội Tây Nguyên”, mã số TN3/T04 (2015), do Viện Địa chất chủ trì, chủ nhiệm đề tài TS. Nguyễn Xuân Huyền và NCS tham gia là thành viên chính, là nội dung tham khảo về đặc điểm địa chất, kiến tạo, nguy cơ tai biến trượt đất và đối tượng chịu thiệt hại trên địa bàn tỉnh Lâm Đồng;

- Cơ sở dữ liệu Đề tài cấp Nhà nước “Nghiên cứu tổng hợp thoái hóa đất, hoang mạc hóa ở Tây Nguyên và đề xuất giải pháp sử dụng đất bền vững”, mã số TN3/T01 (2015), do Viện Địa lý chủ trì, chủ nhiệm đề tài TS. Lưu Thế Anh, là cơ sở tham khảo về đặc điểm khí hậu, mạng lưới thủy văn và địa chất thủy văn, vỏ phong hoá trên địa bàn tỉnh Lâm Đồng;

- Cơ sở tài liệu Đề án cấp Bộ “Điều tra địa chất thành phố Đà Lạt”, do Liên đoàn Địa chất 6 chủ trì, chủ biên KS. Trần Tính, là cơ sở tham khảo về đặc điểm địa chất - địa mạo, địa chất thủy văn - địa chất công trình trên địa bàn thành phố Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng, tỷ lệ nghiên cứu 1:25.000.

- Các dữ liệu khác:

- + Niên giám thống kê tỉnh Lâm Đồng từ 2012 - 2022 của Cục Thống kê Lâm Đồng cung cấp về số liệu dân cư;

- + Số liệu mưa khu vực thành phố Đà Lạt và thị trấn Lạc Dương từ năm 1978 đến năm 2024 của Cục Khí tượng Thủy văn Quốc gia;

- + Số liệu về 57 vị trí có nguy cơ trượt đất trên địa bàn khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương theo kết quả rà soát của UBND thành phố Đà Lạt và UBND huyện Lạc Dương, NCS xác định được 33 vị trí áp dụng trong đánh giá của luận án, các vị trí còn lại do thiếu thông tin nên chưa thể xác định chính xác;

- + Báo cáo và bản đồ quy hoạch tỉnh Lâm Đồng đến năm 2035, tầm nhìn 2050 và kế hoạch sử dụng đất thành phố Đà Lạt đến năm 2022 được UBND tỉnh Lâm Đồng phê duyệt, cung cấp thông tin về hiện trạng và định hướng quy hoạch sử dụng đất trên địa bàn khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

8.2. Số liệu do luận án thực hiện

- NCS đã trực tiếp khảo sát thực địa tại 125 điểm trượt trong khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, xây dựng bảng tổng hợp đặc điểm khối trượt kèm ảnh minh chứng và phân tích bổ sung trên chuỗi ảnh Google Earth tại nhiều thời điểm khác nhau. Kết quả phân tích đã làm rõ diễn biến theo không gian - thời gian, quy mô và phạm vi ảnh hưởng của từng khối trượt, qua đó nhận diện và phân loại các kiểu trượt đất cũng như xác định đặc trưng cơ bản của từng kiểu. Trên cơ sở mô tả chi tiết kích thước, khoảng vùi lấp và ước tính thể tích khối trượt, NCS đã thiết lập phương trình hồi quy dạng hàm lũy thừa giữa chiều cao trung bình (H_{tb}) và chiều dài vùi lấp (L_v), góp phần đơn giản hóa việc ước lượng phạm vi ảnh hưởng trong trường hợp chưa xác định chính xác thể tích, cung cấp công cụ hữu ích cho dự báo và QLRR trượt đất tại địa phương.

- NCS đã trực tiếp theo dõi và phân tích số liệu tại hai vị trí quan trắc trượt đất quy mô lớn. Tại TP. Đà Lạt, mức độ dịch chuyển được ghi nhận trong các giai đoạn trước, trong và sau mùa mưa (2021-2023) bằng máy đo chuyển vị xách tay của hãng Geokon, cho phép đánh giá biến dạng sườn dốc theo chu kỳ mưa. Tại TT. Lạc Dương, một hệ thống quan trắc tự động cảnh báo trượt đất do NCS thiết kế và lắp đặt đã được vận hành liên tục từ năm 2021 đến nay, tích hợp các cảm biến đo lượng mưa, áp lực nước lỗ rỗng và dịch chuyển thân sườn dốc theo thời gian thực. Số liệu thu thập được từ hệ thống này cho phép thiết lập mối quan hệ giữa các đại lượng quan trắc, góp phần xây dựng cơ sở khoa học cho cảnh báo sớm nguy cơ trượt đất tại vị trí theo dõi;

- NCS đã tổng hợp và phân tích 21 sự kiện trượt đất xảy ra trong giai đoạn 2016-2020 tại khu vực Đà Lạt - Lạc Dương. Trên cơ sở chuỗi số liệu mưa ngày trong 5 năm cùng thời điểm tại trạm khí tượng Đà Lạt, NCS đã sử dụng mô hình phân phối Poisson nhằm xác định ngưỡng mưa kích hoạt trượt đất và ước lượng xác suất xuất hiện trượt theo thời gian. Kết quả cho thấy lượng mưa có vai trò quan trọng như một chỉ số cảnh báo sớm trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương;

- NCS đã thu thập tổng cộng 55 mẫu đất trong khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, đại diện cho năm loại đất sườn tàn tích gồm: $edQ(J_3đq)$, $edQ(K_2cn)$, $edQ(K_2đđ)$, $edQ(J_2ln)$ và $edQ(\beta_2xl)$. Các mẫu nguyên dạng được lấy ở độ sâu 0,7-1,0 m trên sườn dốc và trong hố khoan, sử dụng cho thí nghiệm ở trạng thái tự nhiên và bão hòa. Bên cạnh đó, các mẫu không nguyên dạng được thu thập để chế bị phục vụ thí nghiệm đầm nện Proctor cải tiến và thí nghiệm ở các mức độ ẩm khác nhau. Các thí nghiệm được tiến hành nhằm đánh giá sự thay đổi sức kháng cắt của đất trong nhiều trạng thái: tự nhiên, đầm nện ở khối lượng khô lớn nhất và độ ẩm tối ưu, bão

hòa 5 giờ, bão hòa 24 giờ, cũng như chế bị ở các mức độ ẩm 15%, 20%, 25%, 30% và 35%. Kết quả thu được cung cấp cơ sở dữ liệu về đặc trưng cơ lý của các loại đất sườn tàn tích, qua đó phục vụ phân tích điều kiện ổn định mái dốc trong các kịch bản tự nhiên và nhân sinh tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương;

- NCS đã thiết lập 85 mặt cắt phục vụ tính toán hệ số ổn định sườn dốc. Trong đó, 06 mặt cắt được sử dụng để phân tích sự biến đổi hình thái sườn dốc ở trạng thái tự nhiên và bão hòa, 79 mặt cắt được áp dụng cho trường hợp sườn dốc chịu tác động chất tải công trình. Kết quả phân tích cho phép đánh giá điều kiện ổn định tối ưu của sườn dốc trong các kịch bản cải biến địa hình và chất tải công trình, từ đó làm rõ ảnh hưởng của các yếu tố nhân sinh đến khả năng mất ổn định mái dốc;

- NCS đã khai thác bộ dữ liệu “Open Buildings 2.5D Temporal Dataset” (Google Open Building) để thống kê và phân tích sự biến động số lượng CTXD tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương trong giai đoạn 2016-2023. Kết quả phân tích là cơ sở để NCS đánh giá xu hướng gia tăng công trình trên địa hình dốc và mức độ xâm lấn vào các dòng chảy tự nhiên, qua đó làm rõ tác động của quá trình đô thị hóa đến nguy cơ trượt đất và sự biến đổi dòng chảy bề mặt tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

9. Cấu trúc của luận án

Cấu trúc luận án gồm 5 phần chính, như sau:

- Mở đầu;
- Chương 1: Tổng quan về nghiên cứu rủi ro trượt đất, cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu;
- Chương 2: Hiện trạng và nguyên nhân trượt đất khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương;
- Chương 3: Quản lý rủi ro tai biến trượt đất khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương;
- Kết luận và kiến nghị.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU QUẢN LÝ RỦI RO 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 (Urban area) 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. Tuy chưa có một tiêu chuẩn chung toàn cầu, nhưng theo Ban Kinh tế và Xã hội của Liên Hợp Quốc (UN-DESA), đô thị thường được phân loại dựa trên các tiêu chí như quy mô dân số, mật độ dân cư, tính chất sử dụng đất và mức độ kết nối hạ tầng xã hội - kỹ thuật [6]. Tổ chức Hợp tác và Phát triển Kinh tế (OECD) cùng với Liên minh châu Âu (EU) định nghĩa đô thị như một "vùng đô thị chức năng", bao gồm khu vực lõi có mật độ ≥ 1.500 người/km² và quy mô dân số tối thiểu 50.000 người, kết hợp với các vùng phụ cận có liên kết lao động mạnh (tối thiểu 15% cư dân đi làm tại đô thị lõi) [7]. Ngân hàng Thế giới (World Bank) và Chương trình Định cư Con người của Liên Hợp Quốc (UN-Habitat) cũng thống nhất rằng đô thị là nơi tập trung hoạt động sản xuất - dịch vụ và có vai trò trung tâm trong phát triển kinh tế - xã hội bền vững [8], [9].

Đô thị hóa (Urbanization) 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. Theo đó, sự chuyển dịch dân cư từ nông thôn ra thành thị thể hiện qua tỷ lệ dân số gia tăng tại khu đô thị trong tổng dân số theo thống kê của UN - DESA. Đồng thời, sự lan rộng chức năng đô thị ra các vùng lân cận thông qua phát triển giao thông, hạ tầng cơ sở theo điều tra của OECD. Đô thị hóa là quá trình tất yếu để tạo ra cơ hội phát triển KTXH nhưng phải đối mặt với thách thức về các tác động môi trường, do đó cần có những biện pháp quản trị hiệu quả theo UN-Habitat đề xuất.

b. Trượt lở và trượt đất

Hiện tượng trượt lở (landslides) 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. Đây là một trong những loại hình tai biến có ảnh hưởng lớn đến con người, tài sản và môi trường:

Các quan điểm tiêu biểu về trượt lở:

- Lomtadze (1977) đưa ra khái niệm “Trượt lở là quá trình dịch chuyển một khối đất đá xuống dốc theo một mặt trượt hoặc một hệ mặt trượt dưới tác dụng của

trọng lực” [10]. Vật liệu có thể là đất rời, đất pha đá hoặc đá nguyên khối, còn mặt trượt là ranh giới nơi khối vật liệu bắt đầu tách rời và di chuyển. Định nghĩa này nhấn mạnh cơ chế cơ học và vai trò của địa hình, địa chất cấu trúc.

- Theo Varnes (1978), sử dụng thuật ngữ “trượt đất đá” (landslides) như một khái niệm tổng quát mô tả chuyển động của vật liệu đất, đá xuống dốc dưới tác động của trọng lực [11]. Ông xây dựng hệ thống phân loại dựa trên hai tiêu chí chính: (1) kiểu chuyển động (type of movement) như sụt (falls), trượt (slides), dòng (flows), lan truyền (spreads), v.v.; và (2) loại vật liệu (type of material) gồm đá (rock) và đất (earth hoặc debris). Hệ thống này được xem là nền tảng trong nghiên cứu địa chất công trình và đánh giá nguy cơ trượt đất đá.

- Cruden và Varnes (1996) kế thừa và mở rộng hệ thống của Varnes bằng cách cung cấp định nghĩa rõ ràng và chi tiết hơn cho từng kiểu chuyển động và loại vật liệu [12]. Các kiểu chuyển động gồm: Sụt (falls) - vật liệu rơi tự do khỏi vách dốc; Lật (topples) - vật liệu quay quanh trục; Trượt (slides) - vật liệu dịch chuyển theo mặt phân cách, chia thành trượt xoay (rotational) và trượt tịnh tiến (translational); Dòng (flows) - vật liệu di chuyển có tính chất dòng chảy (đặc biệt khi bão hòa nước); Lan truyền (spreads) - thường liên quan đến biến dạng dẻo trong nền đất yếu. Phân loại vật liệu vẫn gồm đá và đất, trong đó đất có thể chia thành đất mịn (fine-grained), debris hoặc hỗn hợp. Các tổ hợp như rock fall, debris flow, earth slide... được sử dụng để mô tả hiện tượng cụ thể. Hệ thống này cũng xác định rõ các chuyển động phức hợp (complex movements), nơi nhiều dạng dịch chuyển xảy ra nối tiếp hoặc đồng thời. Tính hệ thống, rõ ràng và linh hoạt của hệ phân loại này được sử dụng rộng rãi toàn cầu trong đánh giá và quản lý trượt đất đá.

- Nguyễn Quốc Thành và Nguyễn Trọng Yên (2015), trong Atlas thiên tai Việt Nam - phần đất liền, định nghĩa: “Trượt - lở là các quá trình chuyển động của các khối đất, đá về phía chân sườn dốc dưới tác động của trọng lực, theo một hay nhiều mặt yếu đã tồn tại trong khối vật liệu” [13]. Định nghĩa này làm rõ vai trò của mặt yếu trong cấu trúc đất đá đối với sự hình thành hiện tượng.

- Highland (2004) mô tả trượt đất là quá trình thường diễn ra chậm, nhưng tiềm ẩn nguy cơ cao khi điều kiện địa chất hoặc môi trường thay đổi [14]. Hiện tượng này chịu ảnh hưởng mạnh bởi hàm lượng nước trong đất, địa hình dốc, lớp phủ thực vật và các tác động nhân sinh như phá rừng hoặc xây dựng. Vật liệu tham gia thường là đất sét, bụi, cát hoặc hỗn hợp đất vụn. Hình thức chuyển động có thể là trượt tịnh tiến, trượt xoay, hoặc dòng đất, với tốc độ biến đổi tùy thuộc vào độ bão hòa của đất. Trượt đất có thể gây phá hoại hạ tầng, công trình và tạo thành dòng lũ bùn đá nguy hiểm ở khu vực miền núi.

Như vậy, 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. Trượt đất là dạng trượt phổ biến tại những khu vực có địa hình dốc có vỏ phong hóa phát triển và chịu tác động của mưa lớn và hoạt động nhân sinh như cắt xẻ taluy, xây dựng và thay đổi lớp phủ bề mặt.

c. Rủi ro và rủi ro trượt đất

Rủi ro (risk) 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. Một cách hiểu khác, rủi ro có thể mang tới những tổn thất, mất mát, nguy hiểm...cho con người nhưng cũng có thể mang đến những cơ hội. Theo tiêu chuẩn Việt Nam, rủi ro là một khái niệm khách quan và có thể đo lường được [15]. Theo Khung Sendai về Giảm thiểu rủi ro thiên tai được Văn phòng Liên Hợp Quốc về Giảm nhẹ Rủi ro Thiên tai đề xuất (UNDRR, 2017), “rủi ro” được định nghĩa là “khả năng xảy ra thiệt hại về người, sức khỏe, tài sản và dịch vụ của một hệ thống, cộng đồng hoặc xã hội trong một khoảng thời gian xác định, được xác định theo hàm số của nguy cơ (hazard), đối tượng chịu tác động (exposure), tính dễ bị tổn thương (vulnerability) và năng lực ứng phó (capacity)” [16].

Rủi ro trượt đất (landslide risk) 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 (hazard) và hậu quả (consequences). Khái niệm này ngày càng được chú trọng trong quản lý tai biến thiên nhiên, với sự phát triển mạnh mẽ cả về khung lý thuyết và ứng dụng thực tiễn [17], [18]. Khi mở rộng theo Khung Sendai, ngoài hai thành tố trên còn cần xem xét thêm đối tượng chịu tác động (số người, công trình trong vùng nguy cơ), tính dễ bị tổn thương (đặc tính kết cấu, sức chống chịu) và năng lực ứng phó (hệ thống cảnh báo, quy trình sơ tán, khả năng phục hồi) để có cái nhìn toàn diện và thực tiễn hơn trong nghiên cứu rủi ro trượt đất.

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

QLRR (risk management) 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 [19].

QLRR tai biến trượt đất (landslide risk management) 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 và thúc đẩy phát triển bền vững. Khái niệm này được xác lập dựa trên hệ thống thuật ngữ do Ủy ban Kỹ thuật về Đánh giá và Quản lý Rủi ro thuộc Hiệp hội Quốc tế về Cơ học đất và Địa chất công trình (ISSMGE) đã xây dựng một Bảng thuật ngữ về Đánh giá Rủi ro, dựa trên các tài liệu

của Liên hiệp Quốc tế về Khoa học Địa chất (IUGS, 1997), Ủy ban Quốc tế về Đập lớn (ICOLD, 2003) và các tiêu chuẩn quốc gia như Tiêu chuẩn Anh BS 8444, Tiêu chuẩn Úc - New Zealand AS/NZS 4360 và Tiêu chuẩn Canada CAN/CSA - Q 634-91 [20]. Theo cấu trúc chung của Fell (2005), quy trình hoàn chỉnh QLRR trượt đất bao gồm hai thành phần chính: (i) đánh giá rủi ro (risk assessment) và (ii) kiểm soát rủi ro (risk control hoặc risk treatment) [18]. Theo đó:

i) Đánh giá rủi ro trượt đất (landslide risk assessment) là quá trình phân tích rủi ro, lượng giá rủi ro nhằm đưa ra nhận định về mức độ rủi ro có chấp nhận được hay không, nội dung bao gồm:

+ Phân tích rủi ro (risk analysis): sử dụng thông tin hiện có để nhận dạng nguy cơ trượt đất [21]; phân tích khả năng chịu thiệt hại (consequence) đối với người và tài sản, sự phân bố của chúng trong không gian, phạm vi tác động và mức độ chịu tổn thương của chúng khi trượt đất xảy ra [22]; xác định tần suất xảy ra (frequency) với ba nội dung cơ bản: đánh giá diễn biến trượt đất, ước tính tần suất xảy ra trượt đất, và xác định yếu tố nguyên nhân gây trượt đất [23]. Trên cơ sở đó, phân tích rủi ro khi trượt đất xảy ra đối với tài sản và người. Nội dung phân tích rủi ro trượt đất có thể tiếp cận theo ba cách: định tính (qualitative) mang tính mô tả hoặc phân cấp thiệt hại có thể phát sinh của tai biến trượt đất; bán định lượng (semi-quantitative) là bước trung gian, trong đó các yếu tố nguy cơ được gán giá trị số tương đối nhằm tính toán mức độ rủi ro một cách có hệ thống hơn; định lượng (quantitative) dựa trên các số liệu cụ thể về xác suất xảy ra trượt đất, khả năng chịu tổn thương, mức độ thiệt hại của người và tài sản, mức độ chi tiết tùy thuộc vào dữ liệu và mục đích nghiên cứu.

+ Lượng giá rủi ro (risk evaluation): xác định mức độ rủi ro về người và giá trị tài sản, từ đó phân loại thành rủi ro chấp nhận được (acceptable risk), có thể chấp nhận được (tolerable risk) hoặc khó chấp nhận (unacceptable risk), làm cơ sở đưa ra quyết định ứng phó với rủi ro tai biến trượt đất [24].

Để thực hiện được hai nội dung trên cần lượng hóa rủi ro dựa trên xác suất trượt đất (landslide probability) dựa vào ba xác suất cơ bản: xác suất trượt đất theo không gian (spatial probability), xác suất trượt đất theo thời gian (temporal probability) và xác suất quy mô trượt đất (volume/magnitude probability). Đối với vị trí có nguy cơ trượt đất cụ thể cần xác định phạm vi tác động (runout/ travel distance) để xác định mức độ rủi ro khi xảy ra trượt đất.

ii) Kiểm soát rủi ro trượt đất (risk control hoặc risk treatment) là quá trình đưa ra quyết định áp dụng biện pháp công trình hoặc phi công trình khi trượt đất xảy ra, cơ bản như sau: chấp nhận rủi ro là chỉ cho phép thiệt hại về tài sản; phòng tránh rủi ro là thiết kế và thực hiện các biện pháp nhằm giảm thiểu thiệt hại xuống mức chấp

nhận được nhưng không có rủi ro về người; giảm thiểu, ngăn ngừa khả năng trượt đất phát sinh; giảm thiểu hậu quả khi trượt đất phát sinh; chuyển giao rủi ro tai biến trượt đất [25], [26]. Các nội dung chính bao gồm:

- + Xác định mục tiêu kiểm soát: ưu tiên giảm thiểu rủi ro về người, sau đó đến tài sản, cơ sở hạ tầng.

- + Lựa chọn giải pháp: kết hợp biện pháp công trình (engineering measures) và phi công trình (non-engineering measures), ví dụ: gia cố mái dốc, thiết lập hệ thống cảnh báo sớm, di dời dân cư, quy hoạch sử dụng đất hợp lý.

- + Triển khai kế hoạch hành động: xây dựng lộ trình, bố trí nguồn lực, phân công trách nhiệm.

- + Giám sát và cập nhật: theo dõi hiệu quả biện pháp đã áp dụng, cập nhật thông tin mới, điều chỉnh chiến lược khi cần thiết.

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

Nghiên cứu của Thomson và Tiedemann (1982) tại Bắc Mỹ là một trong những nghiên cứu sớm nhất đánh giá mối liên hệ giữa các yếu tố tự nhiên và nhân sinh gây mất ổn định mái dốc trong môi trường đô thị. Theo đó, bên cạnh điều kiện địa chất, mưa lớn và mực nước ngầm, thì các tác động nhân sinh như san lấp, tăng tải trọng công trình và hệ thống thoát nước kém hiệu quả là những nguyên nhân phổ biến dẫn đến trượt đất tại đô thị. Nghiên cứu này đặt nền tảng quan trọng cho việc nhận diện nguy cơ và đề xuất các giải pháp kỹ thuật nhằm giảm thiểu trượt lở trong quy hoạch đô thị [27]. Nghiên cứu của Schuster và Highland (2007) mở rộng phân tích theo hướng thực tiễn, tập trung vào tác động kinh tế - xã hội của trượt đất trong đô thị, đặc biệt tại các khu vực đồi núi đang chịu áp lực mở rộng của công trình dân sinh. Thông qua tổng hợp các trường hợp điển hình tại cả quốc gia phát triển và đang phát triển, tác giả nhấn mạnh rằng sự gia tăng mật độ dân cư, xây dựng không kiểm soát, và thiếu đầu tư cho hạ tầng thoát nước, cảnh báo là những yếu tố chính làm trầm trọng thêm rủi ro trượt đất. Nghiên cứu đồng thời đề xuất bốn nhóm giải pháp QLRR đô thị hiệu quả, trong đó đặc biệt nhấn mạnh vai trò của phân vùng nguy cơ, kiểm soát phát triển tại khu vực dốc, áp dụng các quy định kỹ thuật và triển khai hệ thống cảnh báo sớm [28]. Nghiên cứu của Di Martire và cộng sự (2012) tập trung vào mối quan hệ giữa đô thị hóa mật độ cao và nguy cơ trượt đất tại hai khu vực có lịch sử sạt lở lâu đời ở thành phố Napoli và đảo Ischia ở Ý. Tác giả chỉ ra rằng, bất chấp các quy định kỹ thuật và cảnh báo nguy cơ cho đô thị nhưng hoạt động xây dựng không kiểm soát vẫn diễn ra tràn lan trên các sườn dốc không ổn định, dẫn đến hậu quả nghiêm trọng về người và tài sản. Đây là minh chứng thực tế cho thất bại trong việc lồng ghép thông

tin nguy cơ trượt lở vào quy hoạch và quản lý đất đai đô thị, đặc biệt trong bối cảnh áp lực dân số và lợi ích kinh tế ngắn hạn [29].

Các nghiên cứu của El Kechebour (2015) và Pushpa & Joshi (2016) đều khẳng định rõ rằng quá trình đô thị hóa tại khu vực địa hình dốc là yếu tố trực tiếp làm suy giảm ổn định mái dốc, nhưng tiếp cận từ hai hướng bổ sung lẫn nhau. Trong khi El Kechebour thực hiện phân tích định lượng tại El Harrach (Algeria), sử dụng mô hình tải trọng và hệ số an toàn để chứng minh rằng mật độ xây dựng và số tầng công trình có quan hệ nghịch với độ ổn định sườn dốc, đặc biệt khi có tác động địa chấn, thì Pushpa & Joshi tập trung vào khảo sát thực địa tại thị trấn Almora (Ấn Độ) để làm rõ cách thức đô thị hóa làm biến đổi thành phần và hình thái mái dốc. Nghiên cứu tại Almora cho thấy rằng thay thế vật liệu tự nhiên bằng gạch, bê tông và kim loại, cùng với việc đổ phế thải không kiểm soát, đã gây mất ổn định cục bộ, thúc đẩy xói mòn và gia tăng tải trọng không đồng đều là những yếu tố làm tăng nguy cơ trượt đất trong mùa mưa và động đất [30], [31].

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

QLRR tai biến địa chất, đặc biệt là đối với trượt đất - một dạng tai biến có tính chất không gian và thời gian phức tạp - việc lựa chọn phương pháp đánh giá phù hợp đóng vai trò nền tảng. Ba cách tiếp cận phổ biến hiện nay gồm: đánh giá định tính, bán định lượng và định lượng (QRA), mỗi loại có đặc điểm và phạm vi ứng dụng khác nhau tùy thuộc vào quy mô nghiên cứu và mức độ chi tiết của dữ liệu.

- Đánh giá rủi ro định tính (qualitative) dựa trên mô tả ngôn ngữ, ý kiến chuyên gia và phân loại mức độ rủi ro theo các cấp như thấp, trung bình, cao. Phương pháp này thường sử dụng ma trận nguy cơ - tác động để đưa ra nhận định tổng hợp, phù hợp với giai đoạn nhận diện sơ bộ hoặc các khu vực thiếu dữ liệu. David J. Varnes (1984) đưa ra khái niệm về “hazard zoning” và khung phân loại nguy cơ trượt đất.

- Đánh giá bán định lượng (semi-quantitative) là bước trung gian, trong đó các yếu tố nguy cơ được gán giá trị số tương đối nhằm tính toán mức độ rủi ro một cách có hệ thống hơn. Nhiều nhà nghiên cứu đã phát triển các mô hình đánh giá rủi ro bán định lượng (semi-quantitative risk assessment) dựa trên công thức:

Rủi ro (Risk) = Nguy cơ tai biến (Hazard - H) x Tồn thương (Vulnerability- V) x Đối tượng chịu tai biến (Exposure - E).

+ David J. Varnes (1984): nhấn mạnh 3 yếu tố cơ bản cấu thành rủi ro: tai biến, tồn thương, và giá trị bị ảnh hưởng [32].

$$R_s = H \times V \text{ - Rủi ro thành phần} \quad (1.1);$$

$$R_t = R_s \times E = H \times V \times E \text{ - Rủi ro tổng hợp} \quad (1.2).$$

+ Einstein (1988): tiếp cận đơn giản, gộp yếu tố tổn thương và giá trị thiệt hại thành một biến “hậu quả” [33].

$$R = H \times C \text{ (Consequences)} \quad (1.3)$$

+ Fell (1994): áp dụng khi có nhiều loại tai biến hoặc nhiều vùng chịu ảnh hưởng tổng hợp thành rủi ro tổng thể [34].

$$R_t = \sum(H \times V \times E) \quad (1.4)$$

+ Lee và Jones (2004): đưa vào thêm yếu tố mức độ phơi bày (Ex) - phù hợp với các mô hình GIS/phân vùng không gian [35].

$$R_s = P(H_i) \times \sum(E \times V \times Ex); R_t = \sum R_s \quad (1.5)$$

- Đánh giá định lượng (quantitative risk assessment - QRA) dựa trên các số liệu cụ thể về xác suất xảy ra trượt đất, khả năng chịu tổn thương, mức độ thiệt hại của người và tài sản, mức độ chi tiết tùy thuộc vào dữ liệu và mục đích nghiên cứu. Các công thức được sử dụng trong QRA bao gồm:

+ Morgan (1992) [36]: đưa ra một trong những mô hình đầu tiên làm rõ rủi ro cá nhân và tài sản, đồng thời mở rộng yếu tố phân tích ảnh hưởng theo không - thời gian. Đây cũng là cơ sở để Hội Địa kỹ thuật Úc (AGS) xây dựng các hướng dẫn chính thức về QLRR trượt đất vào năm 2009 [37], bao gồm:

1) Đánh giá rủi ro đối với con người:

$$R(DI) = P(H) \times P(S/H) \times P(T/S) \times V(L/T) \quad (1.6)$$

Trong đó: R(DI) là rủi ro (xác suất thiệt hại hàng năm về tính mạng của một cá nhân); P(H) là xác suất xảy ra tai biến hàng năm; P(S/H) là khả năng tác động theo không gian của tai biến đã biết; P(T/S) là khả năng ảnh hưởng theo thời gian do các tác động không gian đã biết; và V(L/T) là khả năng tổn thương của cá nhân (khả năng thiệt mạng con người do tai biến).

2) Đánh giá rủi ro đối với tài sản:

$$R(DP) = P(H) \times P(S/H) \times V(P/S) \times E \quad (1.7)$$

Trong đó: R(DP) là rủi ro về tài sản (thiệt hại tài sản hàng năm); P(H) là khả năng xảy ra trượt đất hàng năm; P(S/H) là khả năng ảnh hưởng theo không gian (tức là tác động của trượt đất đối với tài sản); V(P/S) là khả năng tổn thương của tài sản (tỷ lệ thiệt hại giá trị tài sản); E là yếu tố chịu rủi ro (ví dụ: giá trị của tài sản).

Trên cơ sở kế thừa và mở rộng mô hình trên, Fell et al. (2005) đã phát triển một cấu trúc đánh giá rủi ro tổng quát hơn:

$$R = P(L) \times P(T:L) \times P(S:T) \times V \times E \quad (1.8)$$

Trong đó: P(L) là xác suất xảy ra trượt đất; P(T:L) là xác suất khối trượt lan đến phần tử có nguy cơ; P(S:T) là xác suất phần tử đó có mặt tại thời điểm xảy ra; V là mức độ tổn thương (từ 0-1); E là giá trị tài sản hoặc con người bị ảnh hưởng.

Tổng hợp kinh nghiệm nghiên cứu của các nhà khoa học, UNISDR (2017) đề xuất trong tài liệu "Words into Action: National Disaster Risk Assessment - Governance System, Methodologies, and Use of Results", khái niệm ngưỡng rủi ro có thể chấp nhận (acceptable risk) được định nghĩa là: “Mức độ tổn thất tiềm năng được xã hội chấp nhận trong một bối cảnh nhất định, dựa trên các yếu tố xã hội, kinh tế, chính trị, môi trường và các yếu tố khác” [38].

Tài liệu UNDRR cũng chỉ ra rằng việc thiết lập ngưỡng chấp nhận rủi ro là cần thiết để đưa ra quyết định về ưu tiên can thiệp, đầu tư giảm nhẹ hoặc chấp nhận rủi ro trong trường hợp không thể can thiệp toàn diện. Tuy nhiên, không có một ngưỡng duy nhất mang tính toàn cầu cho mọi quốc gia, nhưng việc thiết lập ngưỡng cần dựa trên khả năng chịu đựng về mặt kinh tế - xã hội của cộng đồng và khuyến nghị các nước có thể áp dụng phân loại theo 3 cấp độ rủi ro:

- Rủi ro chấp nhận được (Acceptable risk),
- Rủi ro cần khắc phục (Tolerable risk),
- Rủi ro khó chấp nhận (Unacceptable risk).

Nguyên tắc quan trọng trong QLRR là cần xác định ngưỡng rủi ro có thể chấp nhận được, nhằm phân định rõ phạm vi can thiệp cần thiết và tối ưu hóa nguồn lực đầu tư. Theo các hệ thống QLRR quốc tế như ISO 31000 (2018), UNDRR (2022) hay EU Risk Framework, rủi ro không phải lúc nào cũng cần loại bỏ hoàn toàn, mà được phân loại theo mức độ chấp nhận nhằm hỗ trợ việc ra quyết định phù hợp với bối cảnh và khả năng ứng phó [19], [39], [40].

Trên thế giới, các quốc gia phát triển đã sớm nhận thức được mối nguy hiểm từ trượt lở đất và chủ động xây dựng chiến lược QLRR theo hướng chủ động - định lượng - ứng dụng công nghệ.

Các quốc gia phát triển như Mỹ, Nga, Ý, Anh, Pháp và Tây Ban Nha, QLRR trượt đất được triển khai thông qua các chiến lược quốc gia, hệ thống cơ sở dữ liệu chuyên biệt và ứng dụng công nghệ GIS. Mỗi quốc gia có cách tiếp cận riêng nhưng đều hướng đến bốn mục tiêu chính: (i) xây dựng và cập nhật cơ sở dữ liệu trượt lở toàn quốc; (ii) phân vùng nguy cơ và đánh giá rủi ro phục vụ quy hoạch sử dụng đất và hạ tầng; (iii) phân cấp và phối hợp quản lý giữa trung ương - địa phương; (iv) tăng cường giám sát, cảnh báo sớm và năng lực ứng phó tại chỗ.

- Tại Mỹ, Chiến lược quốc gia do USGS chủ trì được áp dụng đồng bộ ở 50 bang, tập trung vào cung cấp dữ liệu nền, dự báo tai biến và hỗ trợ ra quyết định quy hoạch [41]. Nước Nga tiếp cận theo hướng đa ngành với sự kết hợp giữa nghiên cứu địa chất, động đất, khí hậu và tác động nhân sinh, ưu tiên xây dựng bản đồ cảnh báo cho hệ thống đường giao thông và các khu đô thị trọng điểm [42]. Nước Ý thực hiện

triển khai Dự án IFFI từ năm 1997 nhằm thống nhất cơ sở dữ liệu trượt lở trên toàn lãnh thổ và tích hợp vào quy hoạch phát triển lãnh thổ [43]. Nước Anh phát triển hệ thống GeoSure, đánh giá rủi ro địa chất theo đơn vị hành chính kết hợp với bản đồ địa hình số [44]. Các nước Pháp và Tây Ban Nha tập trung vào mô hình hóa nguy cơ tại các vùng núi có địa hình dốc, kết hợp dữ liệu địa chất, khí hậu và viễn thám để xác định các điểm nóng trượt lở và đưa ra cảnh báo sớm [45], [46].

Đáng chú ý, hai quốc gia có hệ thống QLRR trượt đất hiệu quả điển hình là Hồng Kông (Trung Quốc) và Úc, công tác QLRR được áp dụng như sau:

- Tại Hồng Kông, Trung Quốc đánh giá rủi ro và KSRR được xây dựng thành hệ thống xếp hạng ưu tiên cho việc lựa chọn các mái dốc để nghiên cứu chi tiết và nâng cấp những biện pháp cần thiết. Trước năm 1977, khoảng 40.000 mái dốc được xây dựng dựa vào kinh nghiệm thực tiễn và có nguy cơ trượt đất cao. Từ năm 1977 - 1980, sau những vụ trượt đất nghiêm trọng chính quyền địa phương đã thành lập Văn phòng Kỹ thuật Địa chất (GEO) với mục tiêu quản lý và kiểm soát an toàn mái dốc để đánh giá xác suất trượt lở và hậu quả của nó, đồng thời sử dụng cả biện pháp kỹ thuật và phi kỹ thuật để QLRR. Đến năm 2010, chương trình LPM (Landslip Preventive Measures) đã được thực hiện để đánh giá và nâng cấp các dốc nhân tạo không đạt tiêu chuẩn khoảng 7.000 mái dốc có nguy cơ cao đã được nâng cấp theo tiêu chuẩn an toàn hiện đại. Hệ thống thông tin mái dốc được phân loại ưu tiên cho các mái dốc và tường chắn bằng cách tính điểm đối với các mái dốc đất và mái dốc đá, mái dốc đất đắp và mái dốc làm tường chắn nhằm phản ánh rủi ro liên quan của trượt đất đá. Tổng số điểm thu được là tích của điểm số không ổn định và điểm số hệ quả. Điểm số không ổn định là dựa trên đánh giá một số các thông số chủ yếu ảnh hưởng đến khả năng xảy ra phá hủy. Điểm số hệ quả phản ánh hậu quả có khả năng xảy ra của phá hủy. Tổng điểm số càng cao, mức ưu tiên cao hơn cho các hành động tiếp theo đối với khu vực tương đồng. Hệ thống cũng phát triển một cơ sở dữ liệu toàn diện về tất cả các mái dốc nhân tạo lớn với khoảng 60.000 dốc), được công khai để đảm bảo tính minh bạch và thúc đẩy sự tham gia của cộng đồng. Bên cạnh việc nâng cấp dốc, Hồng Kông đã phát triển các hệ thống cảnh báo trượt đất, dịch vụ khẩn cấp 24/7, và các chương trình giáo dục cộng đồng nhằm nâng cao nhận thức về nguy cơ trượt đất. Các biện pháp này giúp cảnh báo kịp thời và hướng dẫn công chúng cách đối phó trong tình huống trượt đất (Wong, 2005, 2006; Cheung, 2021). Hệ thống phân loại các mái dốc cổ theo thứ tự ưu tiên dựa trên xác suất phá hủy của chúng và hậu quả của sự phá hủy bằng cách xây dựng cơ sở dữ liệu thống kê của tất cả mái dốc có tiềm năng mất ổn định. Cụ thể, Phòng Địa kỹ thuật của Hồng Kông đã thiết lập các hệ thống phân loại ưu tiên cho các mái dốc và tường chắn như là một phần của hệ

thống thông tin mái dốc. Tổng điểm có thể được tính đối với các mái dốc đất và mái dốc đá, mái dốc đất đắp và mái dốc làm tường chắn nhằm phản ánh rủi ro liên quan của trượt đất đá. Tổng số điểm thu được là tích của điểm số không ổn định và điểm số hệ quả. Điểm số không ổn định là dựa trên đánh giá một số các thông số chủ yếu ảnh hưởng đến khả năng xảy ra phá hủy. Điểm số hệ quả phản ánh hậu quả có khả năng xảy ra của phá hủy. Tổng điểm số càng cao, mức ưu tiên cao hơn cho các hành động tiếp theo đối với khu vực tương đồng [47], [48], [49].

- Tại Úc, QLRR trượt đất được đặt tiền đề từ những nghiên cứu của các kỹ sư địa chất người Úc thực hiện trong quá trình đánh giá kỹ thuật bằng kinh nghiệm cho những CTXD trên địa hình dốc và đề xuất năm cấp độ rủi ro mất ổn định sườn dốc, đồng thời khuyến cáo cho phép xây dựng công trình theo phạm vi cấp độ xác định, có tính đến phương án gia cố sườn dốc và giải pháp thiết kế công trình trong điều kiện tiếp tục triển khai. Năm phương pháp đánh giá tai biến địa chất và đánh giá rủi ro được phát triển bởi nhiều nhóm chuyên gia và áp dụng tại Bang New South Wales của Úc. Trong đó, bốn phương pháp đánh giá định tính bao gồm: hai phương pháp phân tích ma trận rủi ro theo Tiêu chuẩn quốc gia Úc có mã hiệu AS/NZS 4360:1995 và nhóm nghiên cứu địa kỹ thuật Wollongong đề xuất; phương pháp đánh giá xác suất và thiệt hại bằng kinh nghiệm địa kỹ thuật do Hạt quản lý đường sắt thực hiện; phương pháp so sánh cấp độ ổn định và cấp độ thiệt hại theo kinh nghiệm do Sở quản lý giao thông sử dụng. Và một phương pháp bán định lượng đánh giá theo bảy yếu tố thành phần tiến hành xác định nguy cơ và cho điểm nguy cơ tương ứng [50]. Tổng hợp kinh nghiệm của các chuyên gia, Hiệp hội địa kỹ thuật Úc đề xuất áp dụng quy trình QLRR trượt đất trên toàn lãnh thổ theo các bước chính, bao gồm thiết lập bản đồ hiện trạng [inventory] - dựa vào vị trí các khối trượt theo không gian; đánh giá nguy cơ hay mức độ nhạy cảm [susceptibility] - thực hiện xem xét một yếu tố liên quan đến phân bố không gian của khối trượt với các đặc điểm của nó (loại trượt, thể tích, diện tích, khoảng vùi lấp) có thể cho kết quả phân vùng định tính, bán định lượng và định lượng; đánh giá nguy cơ xảy ra hay tai biến [hazard] - là khi xem xét đánh giá xác suất xảy ra của khối trượt trong một khoảng thời gian tại một không gian cụ thể; và phân vùng rủi ro [risk] - liên quan đến việc lượng hóa các thiệt hại do trượt đất gây ra, có thể tính bằng tiền, số người thiệt mạng và bị thương (AGS, 2009) [37].

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

1.1.4.1. Các chương trình, dự án quốc gia

Chính phủ Việt Nam xác định ứng phó với thiên tai là mục tiêu trọng tâm trong chiến lược phát triển bền vững quốc gia. Chiến lược quốc gia phòng, chống thiên tai đến năm 2030, tầm nhìn 2050 (QĐ 379/QĐ-TTg, 2021) nhấn mạnh giảm thiểu tổn

thất và nâng cao năng lực QLRR trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng [5]. Để cụ thể hóa chiến lược, Quyết định 18/2021/QĐ-TTg quy định 5 cấp độ rủi ro thiên tai theo từng loại hình, trong đó có lũ quét và sạt lở đất, làm cơ sở cho đánh giá, cảnh báo và ứng phó phù hợp với từng khu vực [51]. Quy định này chia rủi ro thiên tai thành 5 cấp độ, từ cấp 1 (mức rủi ro thấp) mức độ tác động trên 1 tỉnh hoặc nhiều tỉnh không liên tiếp đến cấp 5 (mức rủi ro thảm họa) với mức độ tác động trên nhiều tỉnh, dựa trên tổng lượng mưa trong 24 giờ, điều kiện mưa trước đó, và mức độ nguy cơ địa hình theo vùng.

Các bộ, ngành đã và đang triển khai nhiều chương trình nghiên cứu trọng điểm. Bộ Khoa học và Công nghệ chủ trì Chương trình KC.08/21-30 về nghiên cứu khoa học phục vụ bảo vệ môi trường, phòng tránh thiên tai, thích ứng biến đổi khí hậu, chú trọng ứng dụng công nghệ tiên tiến và số hóa thông tin [52]. Bộ Nông nghiệp và Môi trường hiện đang triển khai hai đề án quan trọng: (i) Đề án cảnh báo sớm sạt lở đất, lũ quét tại 37 tỉnh miền núi - trung du giai đoạn 2023-2030 (QĐ 1262/QĐ-TTg) [53]. (ii) Đề án nâng cao nhận thức và QLRR thiên tai dựa vào cộng đồng đến năm 2030, góp phần xây dựng cộng đồng thích ứng tốt hơn với thiên tai [54].

Ở cấp địa phương, nhiều đề tài, nhiệm vụ ứng dụng đã được triển khai phù hợp với điều kiện đặc thù từng vùng. Riêng tại Tây Nguyên, Chương trình nghiên cứu tổng thể giai đoạn 2010-2020 do Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam chủ trì đã xây dựng cơ sở dữ liệu thiên tai nền cho khu vực, phục vụ phân tích nguy cơ và thiết kế các giải pháp cảnh báo - giảm nhẹ rủi ro thiên tai phục vụ phát triển bền vững.

1.1.4.2. Các nội dung nghiên cứu về trượt đất

a. Nghiên cứu nguy cơ và dự báo trượt đất

Tại Việt Nam, giai đoạn 1990-2010, nghiên cứu trượt đất chủ yếu tập trung vào: (i) điều tra, phân vùng nguy cơ phục vụ quy hoạch và giảm nhẹ thiên tai; (ii) đánh giá hiện trạng và đề xuất giải pháp kỹ thuật tại các điểm trượt và tuyến giao thông trọng điểm. Sau năm 2010, sự phát triển của công nghệ quan trắc và mô hình đánh giá đã thúc đẩy việc ứng dụng các phương pháp hiện đại trong nghiên cứu và dự báo trượt đất.

Nhiều đơn vị nghiên cứu và nhà khoa học đã triển khai các nghiên cứu quy mô vùng và toàn quốc nhằm phục vụ quy hoạch phòng tránh trượt đất. Tiêu biểu là các công trình của các nhà khoa học Nguyễn Trọng Yêm, Vũ Cao Minh, Trần Trọng Huệ, Trần Tân Văn, Nguyễn Quốc Thành và Nguyễn Xuân Huyền, với trọng tâm là đánh giá nguy cơ, phân tích nguyên nhân, cơ chế trượt đất và đề xuất giải pháp giảm thiểu rủi ro. Một số nghiên cứu đã hỗ trợ xây dựng bản đồ cảnh báo, phục vụ tái định cư

tại các khu vực có nguy cơ cao như Mường Lay và nhiều cụm dân cư khác tại các tỉnh Lai Châu và Lào Cai. Dấu mốc đáng chú ý là công bố “Atlas thiên tai Việt Nam - phần đất liền” và tài liệu hướng dẫn xây dựng bản đồ tai biến năm 2015 trong Chương trình KC08. Các nghiên cứu chủ yếu sử dụng phương pháp đánh giá theo dạng diện ở tỷ lệ nhỏ (1:500.000), một số khu vực trọng điểm được chi tiết hóa ở tỷ lệ 1:50.000. Tuy nhiên, phần lớn chưa tích hợp đầy đủ yếu tố nhân sinh, nhất là tác động từ quy hoạch sử dụng đất và phát triển hạ tầng tại vùng nguy cơ trượt đất cao [55], [56], [57].

Song song với nghiên cứu quy mô vùng, nhiều công trình đã tập trung phân tích hiện trạng và đề xuất biện pháp giảm thiểu tại các điểm trượt cụ thể. Tiêu biểu là nghiên cứu tại TP. Lai Châu, miền núi phía Bắc [58], [59], khu vực Đồi Ông Tượng - TP. Hòa Bình [60], tuyến giao thông trọng điểm như đường Hồ Chí Minh [61], tuyến giao thông quốc lộ 4D và tuyến đường giao thông chính ở Bắc Kạn [62], [63], [64]. Các nghiên cứu chủ yếu sử dụng phương pháp khảo sát thực địa, phân tích địa hình - địa chất theo phương pháp địa chất - địa mạo truyền thống, đề cập đến tác động của kiến tạo, địa mạo và nhân sinh. So với nghiên cứu vùng, nghiên cứu theo tuyến đòi hỏi mức độ chi tiết và khả năng dự báo cao hơn do đặc điểm mái dốc bị tác động mạnh, đặc biệt quan trọng tại các khu vực dễ xảy ra trượt đất và lũ quét [65].

Một số nghiên cứu chuyên sâu tại Việt Nam đã tập trung vào dự báo và cảnh báo sớm trượt đất. Các phương pháp nghiên cứu được chia thành bốn nhóm chính:

(i) Nhóm phương pháp thống kê, dựa trên quan hệ định lượng giữa các điểm trượt và các yếu tố địa mạo - địa chất. Tiêu biểu như nghiên cứu ứng dụng viễn thám và GIS ở Lào Cai và ở Bắc Kạn [66], [67], đánh giá xây dựng bản đồ nguy cơ khu vực hồ thủy điện Sơn La bằng phương pháp chuyên gia [68] và xây dựng bản đồ nhạy cảm trượt lở không giới hạn yếu tố [69].

(ii) Nhóm phương pháp học máy, sử dụng thuật toán và dữ liệu lớn để dự báo nguy cơ. Ví dụ: phân tích sự biến đổi không - thời gian của trượt lở do bão tại miền Trung [70], ứng dụng học máy kết hợp viễn thám tại Thừa Thiên Huế [71].

(iii) Nhóm phương pháp vật lý, sử dụng các mô hình toán lý mô phỏng cơ chế trượt. Bao gồm nghiên cứu trượt sâu do mưa trên đường cao tốc mới ở Việt Nam [72], và mô hình hóa trượt nhanh - xa dựa trên UAV, DEM và dữ liệu mưa [73], [74].

(iv) Nhóm phương pháp quan trắc địa kỹ thuật theo dõi ổn định sườn dốc, giám sát sự dịch chuyển theo thời gian thực [75], [76].

b. Nghiên cứu rủi ro tai biến trượt đất

Năm 2006, trong khuôn khổ đề tài cấp Nhà nước gồm: “Nghiên cứu xây dựng bản đồ phân vùng tai biến môi trường tự nhiên lãnh thổ Việt Nam” do GS. Nguyễn

Trọng Yên làm chủ nhiệm, hiện tượng trượt lở và lũ quét tại khu vực tỉnh Lào Cai đã được nghiên cứu ở cấp độ chi tiết. Đây là một trong những công trình đầu tiên tại Việt Nam tiếp cận theo hướng đánh giá rủi ro (risk assessment), thông qua xác định mức độ thiệt hại đối với các đối tượng bị ảnh hưởng. Các bản đồ rủi ro trượt lở đất và lũ quét - lũ bùn đá được xây dựng tại các địa bàn huyện Bát Xát, thị xã Sa Pa và thành phố Lào Cai với tỷ lệ 1:50.000, áp dụng phương pháp định tính để phân hạng rủi ro (thấp, trung bình, cao) dựa trên trọng số tác động đến dân cư, công trình và hạ tầng giao thông [55].

Phương pháp này sau đó được mở rộng trong đề tài hợp tác quốc tế theo Nghị định thư Việt Nam - Lào “Thành lập bộ bản đồ phân vùng tai biến môi trường tự nhiên lãnh thổ nước CHDCND Lào”. Trong khuôn khổ đề tài, nhóm nghiên cứu xây dựng bản đồ rủi ro trượt lở cho toàn lãnh thổ Lào ở tỷ lệ 1:1.000.000 và hai vùng trọng điểm ở tỷ lệ 1:500.000, phục vụ quy hoạch lãnh thổ và ứng phó thiên tai [77].

Hướng nghiên cứu đánh giá rủi ro trượt lở tại Việt Nam đã có bước phát triển đáng kể, chuyển dần từ định tính sang định lượng, đồng thời tích hợp công nghệ số. Trần Mạnh Liễu (2007, 2011) đã đưa ra cơ sở lý luận và khả năng ứng dụng mô hình xác suất trong đánh giá tai biến, nhấn mạnh sự cần thiết của mô hình hóa xác suất để phản ánh tính bất định trong dữ liệu địa chất tự nhiên, và đề xuất phương pháp định lượng trọng số các yếu tố tai biến để xây dựng bản đồ dự báo quy mô thể tích khối trượt phục vụ đánh giá rủi ro về người và tài sản tại thị xã Bắc Kạn [78], [64].

Một số nghiên cứu khác tích hợp mô hình xác suất với phần mềm mô phỏng ổn định mái dốc để tính toán rủi ro thiệt hại, Nguyễn Thị Vĩnh Hà (2014) cũng đi sâu vào lượng hóa tổn thất kinh tế và nhân mạng theo các cấp độ trượt lở, góp phần hoàn thiện khung đánh giá rủi ro theo hướng ứng dụng [79]. Đáng chú ý, nghiên cứu của Đặng Thị Thùy và Đỗ Minh Đức (2020) tại Quảng Nam đã phát triển hệ thống cảnh báo sớm trượt đất dựa trên bản đồ nguy cơ, dữ liệu mưa và công nghệ học máy, triển khai trên nền tảng trực tuyến [80]. Đây là minh chứng cho bước chuyển từ cảnh báo tĩnh sang hệ thống cảnh báo động theo thời gian thực, góp phần nâng cao hiệu quả tiếp cận thông tin của chính quyền và người dân.

Ở góc độ chính sách, Trần Văn Đạt và cộng sự (2023) đã đề xuất một khung hành động QLRR trượt đất cho miền núi phía Bắc, dựa trên phân tích thống kê 78 yếu tố tác động. Năm nhóm giải pháp ưu tiên được kiến nghị gồm: (1) tăng cường năng lực quản lý nhà nước; (2) tích hợp dữ liệu địa chất - khí tượng; (3) phát triển hệ thống cảnh báo sớm; (4) nâng cao nhận thức cộng đồng; và (5) đảm bảo nguồn lực tài chính phục vụ giảm nhẹ rủi ro [81].

1.1.4.3. Nghiên cứu về trượt đất ở khu vực Tây Nguyên

Trong hơn hai thập kỷ qua, trượt đất đã trở thành một dạng tai biến địa chất phổ biến và có xu hướng gia tăng tại khu vực Tây Nguyên. Các nghiên cứu ban đầu được thực hiện bởi Viện Địa chất từ năm 1995-1996, với mức độ nguy cơ dựa trên ba yếu tố chính: địa hình, địa chất - vỏ phong hóa và hoạt động kiến tạo. Các yếu tố khí hậu, thảm phủ và nhân sinh được sử dụng để hiệu chỉnh cấp nguy cơ trượt đất [82]. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu đã tập trung vào các tuyến giao thông trọng điểm như đường Hồ Chí Minh qua 5 tỉnh Tây Nguyên, nhằm xác định điểm trượt và đề xuất giải pháp kỹ thuật bảo vệ mái dốc [61]. Các đánh giá rủi ro cũng được tích hợp trong báo cáo ĐTM cho các công trình hạ tầng, hồ chứa và khu dân cư tập trung.

Một đóng góp quan trọng là đề tài TN3/T04 thuộc Chương trình Tây Nguyên 3, đánh giá hiện trạng và rủi ro bốn loại tai biến chính, bao gồm trượt đất, ở cả cấp độ vùng và điểm [83]. Phương pháp kết hợp điều tra thực địa, công nghệ GIS và đánh giá định tính đã hỗ trợ xác định vùng nguy cơ, khu vực có khả năng chịu rủi ro trượt đất ở tỷ lệ 1:50.000 và đề xuất giải pháp sử dụng đất hợp lý.

Tiếp nối các kết quả này, đề tài TN18/T13 do NCS chủ trì đã tập trung vào các đô thị trọng điểm (Đà Lạt, Lạc Dương, Di Linh, Bảo Lộc, Gia Nghĩa), thiết lập bản đồ cảnh báo nguy cơ trượt đất tỷ lệ 1:25.000 và thiết kế hệ thống quan trắc tự động tại 5 khối trượt đất điển hình, trong đó 01 trạm quan trắc cảnh báo trượt đất tự động đã được đưa vào vận hành từ năm 2020 đến nay tại TT. Lạc Dương và hỗ trợ giám sát sự dịch chuyển của khối trượt hiệu quả đối với khu đô thị mới đang phát triển [4]. Ngoài ra, nghiên cứu tại Đà Lạt xác định các điểm trượt chủ yếu phân bố trên nền đá có vỏ phong hóa dày, dễ bị kích hoạt vào mùa mưa [84].

Những kết quả nghiên cứu này đến nay vẫn chưa được quan tâm tích hợp một cách đầy đủ vào quy hoạch sử dụng đất và phát triển không gian đô thị tại vùng Tây Nguyên. Đây là một khoảng trống cần được chú trọng để nâng cao năng lực phòng tránh, thích ứng với trượt đất trong bối cảnh đô thị hóa và biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng.

1.1.5. Cơ sở lý luận và định hướng nghiên cứu của luận án

Tai biến trượt đất là một trong những dạng tai biến địa chất phổ biến và gây thiệt hại lớn tại các khu vực có địa hình dốc, đặc biệt ở các vùng miền núi và cao nguyên. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu, sự gia tăng các hiện tượng mưa cực đoan cùng với quá trình đô thị hóa diễn ra nhanh chóng đã làm gia tăng nguy cơ phát sinh trượt đất cả về tần suất và quy mô tại nhiều khu vực. Vì vậy, trong những thập kỷ gần đây, phương thức quản lý rủi ro trượt đất ngày càng được chú trọng và

trở thành xu hướng chủ đạo trong nghiên cứu và quản lý thiên tai trên thế giới, thay cho phương thức chủ yếu tập trung vào xử lý các điểm trượt sau khi sự cố đã xảy ra.

Theo Văn phòng Liên Hợp Quốc về Giảm nhẹ rủi ro thiên tai (UNDRR), rủi ro thiên tai được hiểu là khả năng xảy ra thiệt hại về người, tài sản hoặc môi trường do sự tương tác giữa nguy cơ thiên tai, mức độ phơi bày và tính dễ bị tổn thương của các đối tượng chịu tác động [39]. Trong đó, nguy cơ thiên tai phản ánh khả năng xảy ra một hiện tượng tự nhiên có khả năng gây thiệt hại; mức độ phơi bày thể hiện sự hiện diện của con người, công trình hoặc tài sản trong khu vực chịu ảnh hưởng; còn tính dễ bị tổn thương phản ánh mức độ thiệt hại có thể xảy ra khi thiên tai tác động đến các đối tượng này.

Trên cơ sở đó, rủi ro thiên tai nói chung và rủi ro trượt đất nói riêng thường được biểu diễn theo mối quan hệ:

$$R = H \times V \times E$$

trong đó:

R - Rủi ro tai biến trượt đất (Risk);

H - nguy cơ tai biến (Hazard), thể hiện xác suất xảy ra trượt đất theo không gian và thời gian;

V - mức độ tổn thương (Vulnerability) của các đối tượng chịu tác động của trượt đất;

E - đối tượng phơi bày (Exposure), bao gồm dân cư, công trình xây dựng, hạ tầng kỹ thuật và các tài sản khác.

Trong nghiên cứu tai biến trượt đất, nguy cơ trượt đất thường được xác định thông qua các phương pháp phân vùng nguy cơ trượt đất (landslide susceptibility mapping), đánh giá xác suất xảy ra trượt đất theo thời gian (landslide hazard assessment) và phân tích các yếu tố kích hoạt như mưa lớn, động đất hoặc các hoạt động nhân sinh. Nhiều nghiên cứu cho thấy việc kết hợp các yếu tố địa hình, địa chất, lớp phủ bề mặt, lượng mưa và hiện trạng sử dụng đất cho phép xác định tương đối chính xác các khu vực có khả năng phát sinh trượt đất.

Bên cạnh nguy cơ trượt đất, hai thành phần quan trọng khác của rủi ro là mức độ phơi bày và tính dễ bị tổn thương của các đối tượng chịu tác động. Mức độ phơi bày phản ánh sự phân bố của dân cư và các công trình xây dựng trong khu vực có nguy cơ trượt đất, trong khi tính dễ bị tổn thương phản ánh khả năng chịu tác động và mức độ thiệt hại khi xảy ra trượt đất. Trong thực tế, các khu vực đô thị có mật độ dân cư cao và tập trung nhiều công trình xây dựng thường có mức độ rủi ro cao hơn so với các khu vực ít dân cư, ngay cả khi nguy cơ trượt đất tương đương.

Từ góc độ quản lý, quản lý rủi ro trượt đất được hiểu là quá trình tổ chức và thực hiện các hoạt động nhằm nhận diện, đánh giá, kiểm soát và giảm thiểu rủi ro

trượt đất thông qua việc kết hợp các giải pháp kỹ thuật, quản lý và xã hội. Theo Khung Sendai về Giảm thiểu rủi ro thiên tai, quản lý rủi ro thiên tai cần được thực hiện theo một chu trình liên tục, bao gồm các bước cơ bản như: nhận diện nguy cơ, đánh giá rủi ro, đề xuất và triển khai các biện pháp giảm thiểu rủi ro, giám sát - cảnh báo và cập nhật thông tin phục vụ quản lý lâu dài [16].

Trong nghiên cứu trượt đất, nhiều nhà khoa học đã đề xuất quy trình quản lý rủi ro dựa trên bốn bước chính:

1. Nhận diện và phân tích nguy cơ trượt đất: xác định các khu vực có khả năng xảy ra trượt đất dựa trên phân tích điều kiện địa hình, địa chất, khí hậu và các yếu tố kích hoạt.

2. Đánh giá rủi ro trượt đất: kết hợp nguy cơ trượt đất với các yếu tố phơi bày và mức độ tổn thương của các đối tượng chịu tác động nhằm xác định mức độ rủi ro tại từng khu vực.

3. Kiểm soát và giảm thiểu rủi ro: đề xuất các biện pháp kỹ thuật, quy hoạch và quản lý nhằm giảm thiểu nguy cơ và hạn chế thiệt hại.

4. Giám sát, cảnh báo và cập nhật thông tin rủi ro: thiết lập hệ thống quan trắc, cảnh báo sớm và cập nhật dữ liệu nhằm nâng cao khả năng phòng ngừa và ứng phó.

Thực hiện quản lý rủi ro theo chu trình này cho phép chuyển từ phương thức ứng phó bị động sau khi xảy ra sự cố sang phòng ngừa và kiểm soát rủi ro một cách chủ động, qua đó góp phần giảm thiểu thiệt hại về người và tài sản. Đồng thời, việc tích hợp kết quả đánh giá rủi ro vào quy hoạch sử dụng đất và quản lý phát triển đô thị được xem là một trong những giải pháp hiệu quả nhằm hạn chế phát triển xây dựng tại các khu vực có nguy cơ trượt đất cao.

Trên thực tế, nhiều quốc gia đã xây dựng được chiến lược và quy trình cụ thể cho công tác quản lý rủi ro trượt đất, bao gồm hệ thống cảnh báo sớm, bản đồ rủi ro tích hợp và cơ chế ra quyết định dựa trên các kết quả đánh giá định lượng. Trong khi đó, tại Việt Nam, các nghiên cứu về trượt đất chủ yếu mới dừng ở mức đánh giá hiện trạng và phân vùng nguy cơ, trong khi các nghiên cứu về rủi ro định lượng và quản lý rủi ro tích hợp vẫn còn hạn chế, đặc biệt đối với các khu vực đô thị phát triển trên địa hình dốc.

Đối với các đô thị miền núi, nơi tập trung mật độ dân cư và công trình xây dựng cao trong điều kiện địa hình phức tạp, nguy cơ trượt đất thường đi kèm với mức độ rủi ro lớn về người và tài sản. Tuy nhiên, các nghiên cứu chuyên sâu nhằm tích hợp đánh giá nguy cơ, lượng hóa rủi ro và đề xuất giải pháp quản lý cho các đô thị trên địa hình dốc vẫn còn chưa nhiều. Trước khoảng trống nghiên cứu đó, khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương được lựa chọn làm đối tượng nghiên cứu do hội tụ đầy đủ các đặc trưng của một đô thị miền núi đang phát triển: địa hình dốc, vô phong hóa

phát triển, chế độ mưa lớn theo mùa và tốc độ đô thị hóa nhanh. Thực tế trong những năm gần đây đã ghi nhận nhiều sự cố trượt đất gây thiệt hại đáng kể tại khu vực này. Vì vậy, việc nghiên cứu, đánh giá định lượng và xây dựng mô hình quản lý rủi ro tai biến trượt đất cho khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương là cần thiết, không chỉ nhằm giảm thiểu thiệt hại về người và tài sản mà còn góp phần xây dựng cơ sở khoa học cho công tác quy hoạch và phát triển đô thị bền vững tại các khu vực địa hình dốc ở Việt Nam. Từ thực trạng đó, NCS xác định ba vấn đề cần nghiên cứu:

1.1.5.1. Về mô hình đánh giá rủi ro trượt đất tích hợp cho đô thị phát triển trên địa hình dốc

Phần lớn các nghiên cứu hiện nay tập trung vào đánh giá nguy cơ hoặc mô phỏng trượt lở đơn lẻ mà chưa phát triển được mô hình đánh giá rủi ro tổng hợp (QRA) phù hợp với đặc thù đô thị vùng núi. Việc tích hợp đầy đủ ba thành phần chính gồm: nguy cơ (hazard), đối tượng chịu thiệt hại (exposure) và dễ bị tổn thương (vulnerability) còn hạn chế, đặc biệt trong môi trường đô thị có mật độ dân cư và cơ sở hạ tầng tập trung, yếu tố tổn thất mang tính đa dạng và phức tạp hơn nhiều so với vùng nông thôn hoặc miền núi đơn thuần.

1.1.5.2. Về xác định mức độ rủi ro định lượng và sức chống chịu trượt đất

Nguồn dữ liệu phục vụ đánh giá rủi ro hiện chủ yếu mang tính định tính hoặc phân mảnh. Các lớp thông tin phơi bày về dân cư, CTXD, hạ tầng giao thông, và các tài sản có giá trị tại khu vực nguy cơ chưa được hệ thống hóa đồng bộ. Đồng thời, dữ liệu về thiệt hại quá khứ, mức độ hư hại theo cấp độ trượt, hoặc hệ số tổn thương của các nhóm đối tượng vẫn còn thiếu vắng, gây khó khăn cho việc lượng hóa tổn thất tiềm năng.

1.1.4.3. Về phát triển mô hình QLRR trượt đất tại địa phương

Hiện nay, công tác QLRR tại địa phương còn phản ứng bị động sau sự cố, thiếu cơ chế phòng ngừa và cảnh báo chủ động. Việc áp dụng mô hình QLRR trượt lở vẫn chưa gắn chặt với công cụ quy hoạch không gian, dữ liệu GIS hoặc các nền tảng cảnh báo trực quan cho cộng đồng. Cần có hướng tiếp cận tích hợp giữa khoa học - công nghệ - chính sách - và truyền thông rủi ro để xây dựng một mô hình ứng dụng được tại địa phương có điều kiện địa hình phức tạp như Đà Lạt - Lạc Dương.

1.2. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

1.2.1. Cách tiếp cận

Trong nghiên cứu các tai biến địa chất nói chung và trượt đất nói riêng, việc lựa chọn cách tiếp cận phù hợp có ý nghĩa quan trọng trong việc bảo đảm tính khoa học, tính khả thi và định hướng xuyên suốt cho toàn bộ quy trình đánh giá, phân tích và đề xuất giải pháp. Luận án tiếp cận trượt đất đô thị như kết quả của các mối liên hệ khách quan giữa điều kiện tự nhiên và các hoạt động nhân sinh trong không gian

và thời gian đô thị. Trên cơ sở đó, quản lý rủi ro trượt đất được xem là một quá trình động nhằm nhận diện, đánh giá và kiểm soát các yếu tố gây mất ổn định sườn dốc trong bối cảnh đô thị hóa nhanh trên địa hình dốc..

Khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương là đô thị phát triển trên địa hình dốc, có tốc độ đô thị hoá nhanh do đó tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai biến trượt đất, đề tài tiếp cận vấn đề dưới góc nhìn đa chiều, kết hợp giữa kỹ thuật - xã hội - không gian - quản lý. Các phương pháp được vận dụng không tách rời mà được tổ chức trên cơ sở mô hình hệ thống rủi ro, trong đó các thành phần như nguy cơ, phơi bày, tổn thương, cảnh báo và quản lý được phân tích liên kết, có logic kế thừa - phát triển [85]. Trên cơ sở đó, nghiên cứu lựa chọn 4 hướng tiếp cận chính làm nền tảng xuyên suốt cho toàn bộ quá trình thực hiện:

1.2.1.1. Tiếp cận liên ngành

Hiện tượng trượt đất và rủi ro liên quan không chỉ chịu tác động của các điều kiện tự nhiên mà còn bị chi phối mạnh bởi hoạt động xây dựng, sử dụng đất và quá trình quản lý đô thị. Do đó, nghiên cứu được triển khai trên nền tảng tích hợp các lĩnh vực khoa học như địa chất - địa mạo, khí hậu - thủy văn, địa kỹ thuật, xây dựng - quy hoạch đô thị, cùng với các yếu tố kinh tế - xã hội và quản lý nhà nước.

Cách tiếp cận liên ngành được triển khai thông qua việc tích hợp thông tin và phương pháp của nhiều lĩnh vực khoa học khác nhau, trong đó phân tích định tính (tổng hợp tài liệu, khảo sát thực địa, nhận diện yếu tố ảnh hưởng) được sử dụng như một công cụ nhằm làm rõ mối quan hệ giữa các yếu tố tự nhiên và nhân sinh.

1.2.1.2. Tiếp cận mô hình đánh giá rủi ro

Để tổ chức quá trình đánh giá nguy cơ và lượng hóa rủi ro trượt đất, nghiên cứu xây dựng mô hình hệ thống rủi ro gồm các thành phần: nguy cơ tai biến, đối tượng phơi bày, khả năng tổn thương và rủi ro. Trên cơ sở đó, các thông tin về cảnh báo và giải pháp quản lý được tích hợp nhằm hình thành một chuỗi logic từ nhận diện nguy cơ đến kiểm soát rủi ro.

Mô hình được vận hành thông qua dữ liệu không gian, bản đồ chuyên đề và kết quả khảo sát thực địa trong môi trường GIS. Trong đó, việc xác định trọng số các yếu tố ảnh hưởng và phân cấp nguy cơ được thực hiện theo hướng bán định lượng, góp phần chuẩn hóa quy trình đánh giá nguy cơ và làm cơ sở cho các bước lượng hóa rủi ro tiếp theo.

1.2.1.3. Tiếp cận định lượng và dự báo

Từ kết quả điều tra hiện trạng và phân tích đặc điểm trượt đất, nghiên cứu tiến hành đánh giá các điều kiện ảnh hưởng đến sự ổn định sườn dốc, bao gồm đặc điểm địa hình, cấu trúc địa chất, đặc trưng cơ lý của đất theo độ ẩm và tác động của hoạt

động xây dựng. Đồng thời, dữ liệu lượng mưa được xử lý và phân tích nhằm xác định ngưỡng mưa có khả năng kích hoạt trượt đất.

Bên cạnh đó, cách tiếp cận định lượng được áp dụng trong lượng hóa rủi ro trượt đất, đặc biệt đối với thiệt hại về tài sản và con người, trên cơ sở số liệu thống kê về dân cư, công trình xây dựng, xác suất xảy ra trượt đất theo thời gian và giá trị tổn thương. Các đại lượng rủi ro được tính toán theo mô hình $R=H \times V \times E$, cho phép ước tính cụ thể mức độ thiệt hại theo không gian và thời gian. Cách tiếp cận này không chỉ làm rõ cơ chế phát sinh trượt đất mà còn cung cấp cơ sở khoa học cho công tác dự báo, cảnh báo sớm và đánh giá rủi ro định lượng tại khu vực nghiên cứu.

1.2.1.4. Tiếp cận quản lý rủi ro trượt đất

Kết quả đánh giá nguy cơ và rủi ro trượt đất được tích hợp vào quá trình phân tích và đề xuất các giải pháp quản lý rủi ro phù hợp với điều kiện phát triển đô thị tại khu vực Đà Lạt - Lạc Dương. Trên cơ sở phân cấp rủi ro theo các mức chấp nhận được và khó chấp nhận được, nghiên cứu đề xuất các giải pháp công trình và phi công trình tương ứng với từng cấp độ rủi ro. Đồng thời, luận án định hướng tích hợp rủi ro trượt đất vào công tác quy hoạch xây dựng, kiểm soát sử dụng đất và quản lý dân cư nhằm giảm thiểu thiệt hại và nâng cao hiệu quả quản lý rủi ro thiên tai trong quá trình phát triển đô thị.

1.2.2. Phương pháp nghiên cứu

1.2.2.1. Phương pháp phân tích - tổng hợp số liệu và thông tin đa nguồn

Điều tra và thu thập thông tin là bước đầu tiên có ý nghĩa quan trọng nhằm nhận diện tổng quan tình hình trượt đất đã và đang diễn ra tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương [58], [86], [87]. Dữ liệu được thu thập được trình bày chi tiết tại *mục 8, phần Mở đầu*.

Tất cả các dữ liệu thu thập được đều được xử lý, tổng hợp và thống kê để cung cấp cái nhìn tổng quan về thực trạng, diễn biến của trượt lở đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương qua các thời kỳ. Đồng thời, thông tin này phản ánh bức tranh thực tế về công tác ứng phó, khắc phục hậu quả trượt lở đã được chính quyền và cộng đồng địa phương triển khai, qua đó giúp định hướng điều tra, đánh giá hiện trạng trượt lở sát với thực tế và đúng trọng tâm nghiên cứu.

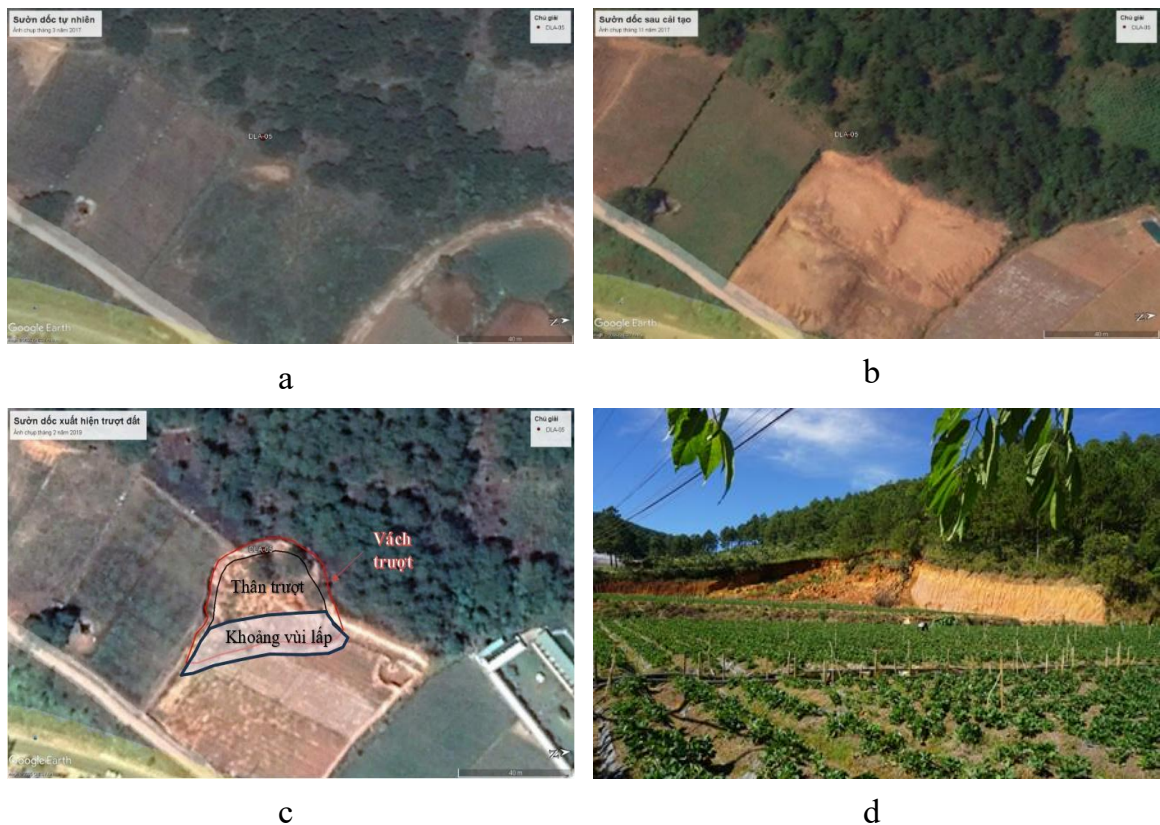
1.2.2.2. Phương pháp viễn thám

Ảnh viễn thám là công cụ hiệu quả trong nghiên cứu môi trường, quy hoạch sử dụng đất và đánh giá tai biến địa chất như trượt lở đất, lũ quét, lũ bùn đá [88], [89]. Trong nghiên cứu này, ảnh vệ tinh từ Google Earth Pro được sử dụng nhằm hỗ trợ điều tra, khảo sát và đánh giá hiện trạng trượt lở tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương. Phần mềm miễn phí Google Earth Pro cung cấp ảnh vệ tinh, bản đồ địa hình

và mô hình số độ cao (DEM) với chất lượng tốt, cho phép truy cập miễn phí và tích hợp công cụ đo đạc, lưu trữ dữ liệu không gian. Các bước thực hiện giải đoán trượt đất bằng mắt thường sử dụng Google Earth Pro được thực hiện như sau:

- Chuẩn bị dữ liệu: Xác định phạm vi nghiên cứu, chọn ảnh lịch sử có chất lượng tốt và điều chỉnh “Phóng đại độ cao” để làm rõ địa hình.
- Quan sát dấu hiệu trượt: Nhận diện các dấu hiệu như sườn dốc bị phá vỡ, mất lớp phủ thực vật, tích tụ vật liệu, gián đoạn dòng chảy; sử dụng các công cụ xem độ cao và góc nhìn 3D để hỗ trợ đánh giá địa hình.
- Đánh dấu và lưu trữ: Dùng công cụ “Placemark” và “Polygon” để khoanh vùng, ghi chú mô tả, xuất dữ liệu dưới dạng .kml/.kmz phục vụ phân tích GIS.
- Xác minh và đối chiếu: So sánh với khảo sát thực địa, bản đồ địa chất để tăng độ chính xác.

Dữ liệu ảnh vệ tinh chất lượng cao từ năm 2006 đến nay cho phép theo dõi diễn biến trượt đất, đo kích thước khối trượt, nhận diện biến động lớp phủ và sử dụng đất, từ đó phục vụ đánh giá nguy cơ trượt đất hiệu quả (Hình 1.1 và Bảng 1.1).



Hình 1.1. Giải đoán hiện tượng trượt đất bằng mắt thường trên ảnh Google Earth dưới tác động nhân sinh theo thời gian: a) Sườn dốc tự nhiên T3/2017; b) Sườn dốc sau cải tạo T11/2017; c) Sườn dốc xuất hiện trượt đất T10/2018. d) Kiểm tra xác minh trên thực địa T5/2019.

Bảng 1.1. Mẫu thông tin giải đoán khối trượt bằng mắt thường tại vị trí cụ thể trên ảnh Google Earth

TT	Ký hiệu	Kiểu chuyển động	Chiều cao (m)	Chiều rộng (m)	Chiều dài (m)	Khoảng vùi lấp (m)	Thể tích (m ³)	Thời gian	Biện pháp công trình	Yếu tố ảnh hưởng
8	DLA05	Trượt xoay	20	40	25	15,0	2.093	T10/2018	Không áp dụng	Khai đào Mưa

1.2.2.3. Phương pháp phân loại trượt và khảo sát thực địa

a. Phương pháp phân loại trượt đất

Hiện tượng trượt đất đá rất đa dạng về quy mô, cấu trúc, điều kiện phát sinh và động lực học, do đó đã được nhiều nhà khoa học đề xuất phân loại theo các tiêu chí khác nhau, phù hợp với mục tiêu nghiên cứu và đặc điểm khu vực. Tuy chưa có hệ phân loại thống nhất, các cách tiếp cận phổ biến vẫn được lựa chọn linh hoạt dựa trên tính tương đồng về điều kiện địa chất - địa hình. Trong phạm vi nghiên cứu này, trượt lở được phân loại theo các tiêu chí đặc trưng gồm:

- Phân loại theo độ sâu phân bố mặt trượt được Lomtatze tổng hợp theo F. P. Xavarensky (1934) như sau:

Bảng 1.2. Phân loại trượt theo độ sâu phân bố mặt trượt

Trượt	Chiều sâu phân bố mặt trượt (m)
Bề mặt	< 1
Nông	1 - 5
Sâu	5 - 20
Rất sâu	> 20

- Phân loại theo quy mô khối trượt được Lomtatze, 1977 đề xuất dựa theo thể tích khối trượt như sau:

Bảng 1.3. Phân loại trượt theo quy mô khối trượt

Phân loại	Quy mô	Thể tích (m³)
I	Rất nhỏ	< 10
II	Nhỏ	10 - 200
III	Trung bình	201 - 1.000
IV	Lớn	1.001 - 200.000
V	Rất lớn	> 200.000

- Phân loại theo tốc độ dịch chuyển của khối trượt được Cruden và Varnes, 1996 đề xuất như sau:

Bảng 1.4. Phân loại trượt theo tốc độ dịch chuyển

Mức độ	Mô tả	Tốc độ đặc trưng
7	Cực kỳ nhanh	5m/s
6	Rất nhanh	3m/phút
5	Nhanh	1,8m/giờ
4	Trung bình	13m/tháng
3	Chậm	1,6m/năm
2	Rất chậm	16mm/năm
1	Cực kỳ chậm	< 16mm/năm

- Phân loại theo dạng, phương thức và đặc điểm dịch trượt được Lomtadze, 1977 sử dụng như sau:

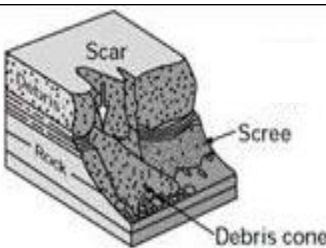
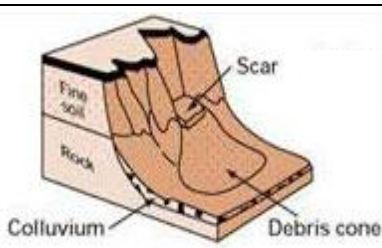
Bảng 1.5. Phân loại trượt theo dạng, phương thức, đặc điểm dịch chuyển

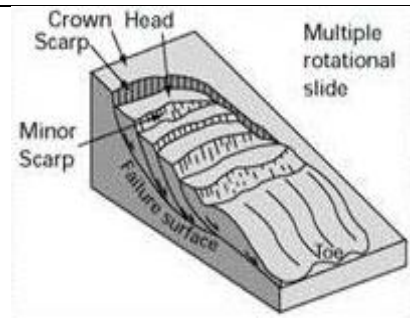
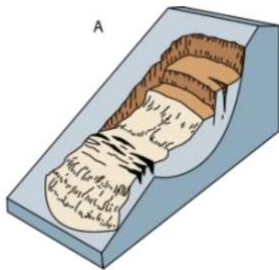
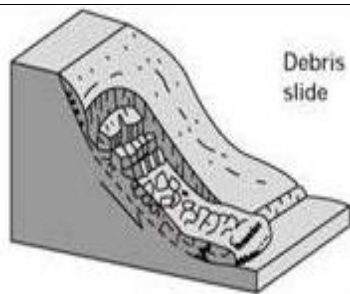
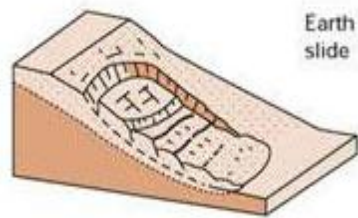
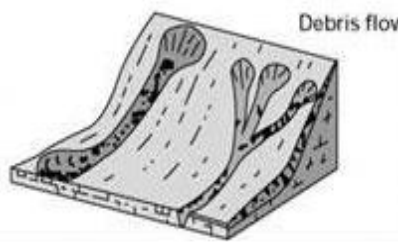
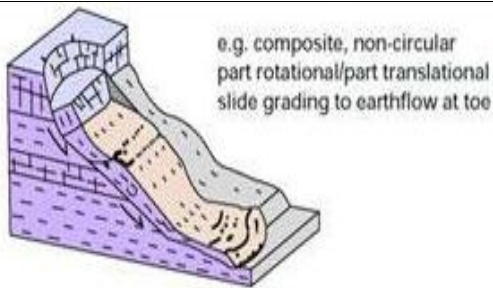
Các hiện tượng trọng lực		Dạng dịch chuyển các khối đất đá
Loại	Dạng	
(1)	(2)	(3)
Trượt	Kiến trúc: - Không theo mặt có sẵn - Theo mặt có sẵn - Cắt sâu vào Đẻo (luôn luôn là theo mặt có sẵn) - Trượt thực thụ - Trượt - dòng tuôn chảy - Trôi chảy	Trượt một hoặc nhiều khối tầng đất đá theo mặt trượt nhưng không phá huỷ đáng kể cấu trúc bên trong của nó: - Trong đất đá đồng nhất, mặt trượt cung tròn; - Trong đất đá không đồng nhất, mặt trượt phẳng, bậc thang - phẳng, gợn sóng, nghiêng; - Trong đất đá không đồng nhất, mặt trượt cắt sâu trong các lớp nằm ngang hoặc nghiêng có dạng phẳng, gãy khúc, không bằng phẳng hoặc cung tròn lõm. Chảy các khối đất đá giống như thể lỏng nhót theo mặt trượt nghiêng - Theo mặt trượt nằm bên dưới các lớp bề mặt; - Theo máng trũng của dòng chảy, chảy tương đối nhanh và rất nhanh các tầng đất đá gần bề mặt; - Chảy chậm các tầng đất đá bề mặt và tầng thỏ nhưỡng

Các hiện tượng trọng lực		Dạng dịch chuyển các khối đất đá
Loại	Dạng	
	Đẽo kiến trúc	Trượt một hoặc nhiều khối tầng đất đá; khi dịch chuyển các khối này bị vỡ, vụn và biến thành hồ như thể lỏng nhớt trượt theo mặt trượt.
Trượt đổ đá	Các phụ dạng chuyển tiếp của trượt sang đổ đá	Trượt khối tầng hoặc các khối đất đá; ở sườn dốc đứng dạng bậc thang thì sau đó đổ sập xuống dưới.
Đổ đá	- Đổ đá thực thụ - Sụt đá	- Đổ các khối đất đá ở vết lộ trên sườn dốc vùng núi kèm theo lăn, lật nhào và vỡ vụn - Sụt các tầng, các khối đất đá ở sườn dốc, mái dốc của các rãnh đào, bờ mỏ lộ thiên dốc, dốc đứng
Sụt	- Sụt đá dăm - Sụt đất vụn, cát	Sụt vật liệu đá dăm, đá vụn và cát ở sườn dốc và mái dốc

Theo Cruden và Varnes (1996) cũng trên cơ sở thành phần kiểu vật liệu và kiểu chuyển động khối trượt dễ dàng áp dụng khi ghi nhận hiện trạng, được phân chia như sau:

Bảng 1.6. Phân loại trượt theo kiểu chuyển động và vật liệu (rút gọn từ Cruden và Varnes, 1996 và áp dụng cho luận án)

Kiểu chuyển động	Kiểu vật liệu			
	<i>Hỗn hợp đất đá (Debris)</i>		<i>Đất dính (Earth)</i>	
Đổ, lở (Fall)	DFa		EFa	
	là sự chuyển động đột ngột của các khối đất, đá tách khỏi sườn dốc hoặc vách dốc theo các mặt nứt, sau đó rơi tự do, nảy và lăn xuống dưới chân sườn dốc.			

Kiểu chuyển động	Kiểu vật liệu			
	Hỗn hợp đất đá (Debris)		Đất dính (Earth)	
Trượt xoay (Rotational)	DRo		ERo	
	là dạng trượt mà mặt trượt của khối đất đá có dạng cong lõm và chuyển động của khối trượt quay quanh một trục gần song song với bề mặt đất và vuông góc với hướng trượt.			
Trượt tịnh tiến (Translational)	DTr		ETr	
	là dạng trượt mà khối đất đá di chuyển dọc theo một mặt trượt gần như phẳng, với rất ít sự quay hoặc nghiêng ngược về phía sau.			
Trượt dòng (Flow)	DFI		EFI	
	là dạng mà khối đất trên sườn dốc bị hóa lỏng và chảy xuống chân sườn dốc, phổ biến trong các vật liệu hạt mịn hoặc đất loại sét trong điều kiện bão hòa nước, phần đỉnh tạo thành một hõm hoặc bồn trũng, thân khối trượt thường kéo dài theo sườn dốc.			
Trượt hỗn hợp (Complex)	Kết hợp hai hay nhiều loại trên (DCo/EC _o)			

Các phân loại trên được kế thừa từ các nghiên cứu tổng hợp của Lomtadze (1977), Cruden và Varnes (1996) [10], [12] và được chọn lọc nhằm phục vụ nhận dạng và phân tích hiện tượng trượt tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương. Phân loại này là cơ sở cho việc khảo sát thực địa, bước đầu đánh giá nguyên nhân, yếu tố phát sinh và nhận diện khu vực nguy cơ cao phục vụ đánh giá rủi ro và đề xuất giải pháp quản lý phù hợp.

Khảo sát hiện trường được thực hiện với sự hỗ trợ của các thiết bị chuyên dụng như GPS, địa bàn, thước đo, máy ảnh số, bản đồ nền và công cụ lấy mẫu. Nội dung khảo sát tập trung vào: 1) Xác định tuyến và khu vực khảo sát dựa trên phân tích tài liệu, giải đoán ảnh vệ tinh; 2) Ghi nhận chi tiết các điểm trượt (tọa độ, kiểu hình thái, quy mô, mức độ ảnh hưởng và khả năng tái hoạt động); 3) Thu thập thông tin từ người dân: thời điểm phát sinh, diễn biến, thiệt hại và biện pháp ứng phó. 4) Điều tra yếu tố ảnh hưởng tự nhiên như độ dốc, đặc điểm địa chất - địa mạo, tầng phong hóa, đứt gãy, địa chất thủy văn, mưa, lớp phủ thực vật. 5) Ghi nhận yếu tố nhân sinh: hiện trạng sử dụng đất, phát triển hạ tầng, nông nghiệp công nghệ cao, khai thác lâm sản, biến động lớp phủ.

Thông tin thực địa là cơ sở quan trọng cho phân tích nguyên nhân và đánh giá nguy cơ trượt lở tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương [90], [91].

1.2.2.4. Phương pháp chuyên gia và xây dựng bản đồ

a. Phương pháp chuyên gia

Trong nghiên cứu về trượt đất, hầu hết các nhà khoa học đều thống nhất rằng quá trình hình thành là kết quả của sự tác động tổng hợp bởi nhiều yếu tố khác nhau. Xét về bản chất nguồn gốc, các yếu tố này thường được phân thành hai nhóm chính:

- Yếu tố điều kiện tự nhiên và nhân sinh [10]
- Yếu tố ảnh hưởng và yếu tố nguyên nhân trực tiếp [21]

Tuy có sự khác nhau về cách đặt tên, nhưng các hệ phân loại đều thống nhất rằng: một số yếu tố tồn tại sẵn trong điều kiện tự nhiên có vai trò điều kiện, trong khi các yếu tố khác (mưa, động đất, nhân sinh) đóng vai trò tác nhân kích hoạt sự mất ổn định. Việc tích hợp đồng thời các yếu tố này cho phép đánh giá tổng hợp nguy cơ trượt đất một cách toàn diện, đảm bảo tính khách quan và sát với điều kiện thực tế của khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

Trong mỗi yếu tố thúc đẩy kể trên tiến hành phân cấp nguy cơ trượt theo nhóm bằng việc xác định mật độ điểm trượt bằng số điểm trượt chia cho diện tích phân bố của từng yếu tố thành phần. Việc tích hợp đồng thời các yếu tố trên cho phép đánh giá tổng hợp nguy cơ trượt đất, khách quan và sát với điều kiện thực tế tại khu vực

đô thị Đà Lạt - Lạc Dương. Các mức độ ảnh hưởng được thể hiện theo 05 cấp độ tương ứng với điểm đánh giá như sau:

Bảng 1.7. Phân cấp nguy cơ trượt lở theo mật độ điểm trượt và biểu thị theo cấp nguy cơ theo màu đặc trưng

STT	Yếu tố đánh giá	Mật độ điểm trượt	Điểm đánh giá	Nguy cơ trượt lở
1	Nhóm A	X	1	Rất thấp
2	Nhóm B	XY	3	Thấp
3	Nhóm C	...	5	Trung bình
4	Nhóm D	...	7	Cao
5	Nhóm E	XYZ	9	Rất cao

b. Phương pháp xây dựng bản đồ

Theo AGS đề xuất thiết lập tỷ lệ bản đồ đánh giá nguy cơ phù hợp với diện tích nghiên cứu tham khảo và mức độ nghiên cứu có nội dung chuyên môn khác nhau ứng với nội dung cần đạt, tham khảo tại *Phụ lục 3 (Bảng PL3.1 và Bảng PL3.2)* [37].

Trong nghiên cứu này dựa trên cơ sở dữ liệu thu thập và tổng hợp tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, NCS hướng đến đánh giá nguy cơ trượt đất ở tỷ lệ lớn (1:25.000) và nội dung đánh giá rủi ro trượt đất ở mức độ trung bình nhằm giảm thiểu rủi ro tai biến trượt đất phục vụ quy hoạch và phát triển đô thị bền vững.

- Phương pháp xây dựng bản đồ nguy cơ trượt đất

Bản đồ nguy cơ trượt đất được xây dựng trên cơ sở tổng hợp các lớp thông tin không gian của các yếu tố ảnh hưởng đến trượt đất, kế thừa cách tiếp cận đã được áp dụng trong một số nghiên cứu trong và ngoài nước [21], [83], [85], [91]. Các bản đồ yếu tố thành phần được thành lập từ các dữ liệu đầu vào tương ứng, trong đó mỗi yếu tố được phân chia thành các nhóm đặc trưng khác nhau. Mức độ nguy cơ của từng nhóm được xác định dựa trên sự phân bố của các điểm trượt đất đã ghi nhận trong khu vực nghiên cứu. Toàn bộ dữ liệu được chuẩn hóa về cùng hệ quy chiếu, xây dựng dưới dạng cơ sở dữ liệu không gian và chuyển đổi sang định dạng raster để phục vụ phân tích GIS. Trên cơ sở đó, các bản đồ nguy cơ thành phần được thành lập cho từng yếu tố ảnh hưởng. Mỗi yếu tố được phân cấp thành 5 mức độ nguy cơ gồm: rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao; các cấp nguy cơ được thể hiện bằng hệ màu thống nhất trên bản đồ. Các bản đồ nguy cơ thành phần sau đó được sử dụng làm cơ sở cho việc xác định trọng số và xây dựng bản đồ tổng hợp nguy cơ trượt đất của khu vực nghiên cứu.

Để xác định vai trò tương đối của các yếu tố trong quá trình phát sinh trượt lở, đề tài đã áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP - Analytic Hierarchy Process) do Saaty đề xuất [92]. Phương pháp này cho phép so sánh cặp thông minh giữa các

yếu tố, từ đó tính toán trọng số phản ánh mức độ ảnh hưởng tương đối của từng yếu tố đến hiện tượng trượt lở (Bảng 1.8).

Bảng 1.8. Đánh giá vai trò quan trọng của các yếu tố phát triển trượt lở (theo thang so sánh mức độ quan trọng của Saaty)

<<< ít quan trọng				Quan trọng hơn>>>				
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Cực kỳ ít	Rất vô cùng ít	Rất ít	ít vừa	Quan trọng bằng nhau	Quan trọng hơn vừa	Quan trọng hơn nhiều	Quan trọng hơn rất nhiều	Cực kỳ quan trọng

Các yếu tố được lựa chọn đánh giá và mức độ ảnh hưởng của chúng trong sự hình thành trượt đất được thể hiện khi so sánh các yếu tố với nhau qua đó xác định được trọng số của từng yếu tố. Bản đồ tổng hợp nguy cơ được xây dựng trên nền tảng công nghệ GIS, trong đó sử dụng phần mềm ESRI - ArcGIS Pro 3.4 (mã sử dụng: 657363432045) để xử lý, chồng lớp dữ liệu và phân tích không gian. Các dữ liệu đầu vào bao gồm: kết quả điều tra hiện trạng, bản đồ nền tỷ lệ phù hợp, ảnh viễn thám và các bản đồ chuyên đề (địa chất, địa hình, sử dụng đất, thủy văn...). Kết quả cuối cùng là bản đồ cảnh báo nguy cơ trượt lở phục vụ đánh giá định lượng mức độ trượt lở trên toàn bộ phạm vi nghiên cứu, làm cơ sở đầu vào cho các bước tiếp theo trong phân tích rủi ro.

Mức độ tác động của từng yếu tố trong phát triển trượt lở được đánh giá theo mức độ quan trọng dựa trên phương pháp AHP so sánh cặp bằng ma trận tính toán của Saaty. Ma trận đánh giá được coi là có đủ độ nhất quán (tính vững) khi tỷ số nhất quán (consistency ratio - CR) đạt dưới 10%, và thường biến thiên trong khoảng 0 - 1. Tỷ số nhất quán là tỷ số giữa chỉ số nhất quán (consistency index - CI) và chỉ số ngẫu nhiên (random index - RI).

1.2.2.5. Phương pháp phân tích - thí nghiệm

Phương pháp thí nghiệm cơ lý đất được áp dụng nhằm đánh giá sự suy giảm sức kháng cắt của các loại đất sườn - tàn tích theo biến đổi độ ẩm, từ đó xác định ảnh hưởng đến độ ổn định mái dốc tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương. Các thí nghiệm được tiến hành bao gồm [93]:

- Thí nghiệm đầm nện Proctor cải tiến nhằm xác định độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất của từng loại đất. Giá trị này được sử dụng để chế bị mẫu có độ chặt cao nhất trong các thí nghiệm tiếp theo.

- Thí nghiệm cắt phẳng trực tiếp (Cooper TS-2060) được thực hiện để xác định sức kháng cắt của đất tại các trạng thái: tự nhiên, đầm nén tối ưu, bão hòa sau 5 giờ và sau 24 giờ ngâm nước.

Kết quả thí nghiệm được so sánh để đánh giá mức độ suy giảm các thông số độ bền, đặc biệt là lực dính kết và góc ma sát trong khi đất chuyển sang trạng thái bão hòa. Qua đó, phản ánh rõ sự suy giảm độ bền cắt của đất sườn - tàn tích khi chịu ảnh hưởng của nước, qua đó làm rõ mối liên hệ giữa điều kiện địa kỹ thuật của đất và nguy cơ trượt lở. Các thông số thu được là dữ liệu đầu vào quan trọng trong tính toán ổn định mái dốc và đề xuất giải pháp QLRR trượt đất phù hợp với điều kiện thực tiễn địa phương.

1.2.2.6. Phương pháp mô hình hóa

a. Phương pháp tính toán hệ số ổn định sườn dốc/ mái dốc

Hệ số ổn định mái dốc được tính toán qua phần mềm Geo-Slope (mã sử dụng: 35697), modul Slope/W, áp dụng phương pháp Bishop đơn giản hóa tính theo điều kiện cân bằng mômen ít gây xoắn vặn các mảnh đất, ít ảnh hưởng tới lực cắt giữa các mảnh. Các trường hợp tính toán hệ số ổn định mái dốc được xây dựng ở trạng thái tự nhiên, trạng thái bão hòa.

Hình thái mái dốc đưa vào tính toán được xây dựng trên cơ sở một sườn dốc tự nhiên với góc dốc ban đầu xấp xỉ là 15° và chiều cao 21m, lấy ví dụ trong lớp vỏ phong hóa sườn - tàn tích của hệ tầng La Ngà. Sườn dốc này được cải tạo theo các bước từ đỉnh xuống chân, hình thành các mái dốc nhân tạo [94].

Để phân tích khả năng trượt của mái dốc và đánh giá sự suy giảm ổn định, hệ số ổn định mái dốc (F_s) được tính trong hai trạng thái: đất tự nhiên và đất bão hòa. Sử dụng phần mềm Geo-Slope với mô-đun Slope/W, phương pháp Bishop đơn giản hóa được áp dụng để tính toán. Phương pháp này ít ảnh hưởng bởi lực xoắn và cắt giữa các mảnh đất, cho phép đánh giá cân bằng mô-men chính xác hơn. Kết quả được xác định như sau: nếu $F_s < 1$, mái dốc mất ổn định; nếu $F_s = 1$, mái dốc ở trạng thái cân bằng tạm thời; và nếu $F_s > 1$, mái dốc được coi là ổn định.

Hệ số ổn định trượt (F_s) theo Bishop được xác định qua công thức:

$$F_s = \frac{\sum (c' \Delta L + (W \cos \alpha - u \Delta L) \tan \phi')}{\sum W \sin \alpha} \quad (1.9)$$

Trong đó:

c' : Lực dính hiệu quả của đất (kN/m^2).

ϕ' : Góc ma sát trong hiệu quả của đất (độ).

W : Trọng lượng của mỗi khối đất trong lát chia nhỏ (kN).

ΔL : Chiều dài cung trượt của mỗi lát (m).

u : Áp lực nước lỗ rỗng tại đáy mỗi lát (kN/m^2).

α : Góc nghiêng của cung trượt tại đáy mỗi lát (độ).

Các kết quả mô phỏng không chỉ cho thấy các giới hạn chịu tải của sườn dốc đã cải tạo, mà còn giúp đề xuất các nguyên tắc bố trí CTXD theo hướng an toàn và phù hợp với năng lực chịu lực của sườn dốc trong điều kiện địa hình, địa chất của khu vực Đà Lạt - Lạc Dương.

b. Phương pháp thiết lập ngưỡng mưa cảnh báo trượt đất

Mưa là một trong những yếu tố quan trọng gây phát động trượt đất. Nói một cách khác đây là những điều kiện cần để xảy ra trượt đất. Phần lớn các trận trượt đất trên thế giới được kích hoạt bởi mưa lớn hay mưa kéo dài. Mưa đã làm tăng áp lực nước lỗ rỗng trong đất, làm giảm sức kháng cắt của vật liệu, sườn dốc mất ổn định và xảy ra trượt. Quan hệ giữa trượt đất với mưa cả về cường độ lẫn thời gian mưa đã được nhiều tác giả quan tâm. Larsen và Simon (1993) nghiên cứu ở Puerto Rico thấy rằng mưa bão với tổng lượng 100 mm - 200 mm, cường độ khoảng 14 mm/h kéo dài trong vài giờ hoặc cường độ 2 - 3 mm/h trong khoảng 100 giờ thì có thể gây ra trượt đất [95]. Corominas và Moya (1999) nhận ra ở vùng thượng lưu sông Llobregat, khu vực Đông Pyrenees tồn tại các ngưỡng mưa gây trượt đất và lũ bùn đá trên các trầm tích trọng tích và trên vỏ phong hóa [96]. Trong trường hợp trước đó không có mưa thì ngưỡng mưa khoảng 190 mm/24h bắt đầu phát động hiện tượng và ngưỡng 300 mm trong 24h - 48h có thể là trượt đất phát triển rộng rãi. Trong trường hợp trước đó có mưa, cường độ mưa vừa phải, ít nhất là 40 mm trong 24h cũng làm kích hoạt trượt đất bùn trên các thành tạo sét, sét bột. Cũng trong trường hợp này mưa vài tuần với tổng lượng 200 mm cũng đủ để phát động trượt đất. Tiếp cận tương tự đối với Hồng Kông, Brand (1984) cho rằng nếu lượng mưa 24h trước khi xảy ra trượt đất mà vượt quá 200 mm thì ngưỡng mưa gây ra trượt đất lớn chỉ khoảng 70 mm/h [97]. Ở dạng tổng quát, Caine (1980) nghiên cứu về điều kiện cường độ và thời gian của 73 trận mưa dẫn đến trượt đất nông và lũ bùn đá ở trên thế giới và đã đưa ra công thức [98]:

$$I = 14,82 D^{-0,39} \quad (1.10)$$

với I là cường độ mưa (mm/h), D thời gian mưa (h), điều kiện: $0,167 < D < 500$.

Công thức trên có thể được hiệu chỉnh lại đối với khu vực có lượng mưa trung bình năm cao bằng cách tính đến tỷ lệ mưa trong sự kiện trượt đất với lượng mưa trung bình năm.

Một cách tiếp cận khác, Chleborad (2006) khi nghiên cứu ở vùng Seattle (Washington) xác định ngưỡng mưa gây trượt đất theo chỉ tiêu: lượng mưa 3 ngày cuối cùng trước trượt lở đất (P_3) và lượng mưa 15 ngày trước 3 ngày cuối (P_{15}) được thể hiện bằng công thức: $P_3 = 3,5 - 0,67P_{15}$, trong đó các lượng mưa được có đơn vị

là inch [99]. Tương tự như vậy, một số tác giả khác cũng chỉ dùng chỉ tiêu lượng mưa để xác định ngưỡng gây trượt đất như: lượng mưa ngày; lượng mưa trước khi xảy ra trượt đất; lượng mưa tích lũy; và lượng mưa tới hạn chuẩn hóa [100], [101], [102], [103].

Ở Việt Nam, khi nghiên cứu khu vực Hà Giang, Lê Đức An (2010) phân biệt lượng mưa và cường độ mưa gây trượt lở đất thành 2 pha: pha 1 là pha chuẩn bị với các trận mưa nối tiếp nhau kéo dài nhiều ngày làm tăng độ ẩm của đất, làm giảm độ gắn kết vật liệu và giảm độ ổn định của sườn; pha 2 là pha tác động thường với một trận mưa lớn bất thường, trực tiếp gây ra tai biến. Các pha chuẩn bị thường kéo dài từ 3 đến 12 ngày còn pha tác động thường được lấy là 1 ngày xảy ra trượt đất và đôi khi là 2 ngày hoặc hơn [104]. Các ngưỡng mưa ở khu vực thành phố Hà Giang và phụ cận được xác định thể hiện qua biểu thức sau:

$$P_{ef} = -0,335P_{pr} + 210,371 \quad (1.11)$$

$$I_{ef} = -3,016I_{pr} + 8,328 \quad (1.12)$$

Trong đó P_{ef} và P_{pr} là lượng mưa tương ứng với pha tác động và pha chuẩn bị tính bằng mm ; I_{ef} và I_{pr} là cường độ mưa tương ứng với pha tác động và pha chuẩn bị tính bằng mm/h.

Dieu Tien Bui (2012) đã sử dụng lượng mưa 15 ngày trước ngày xảy ra trượt đất để xác định ngưỡng mưa gây trượt đất một cách tổng quát cho toàn bộ tỉnh Hòa Bình [105], biểu thức xác định:

$$R_T = 128,5 - 0,164 R_{15Ad} \quad (1.13)$$

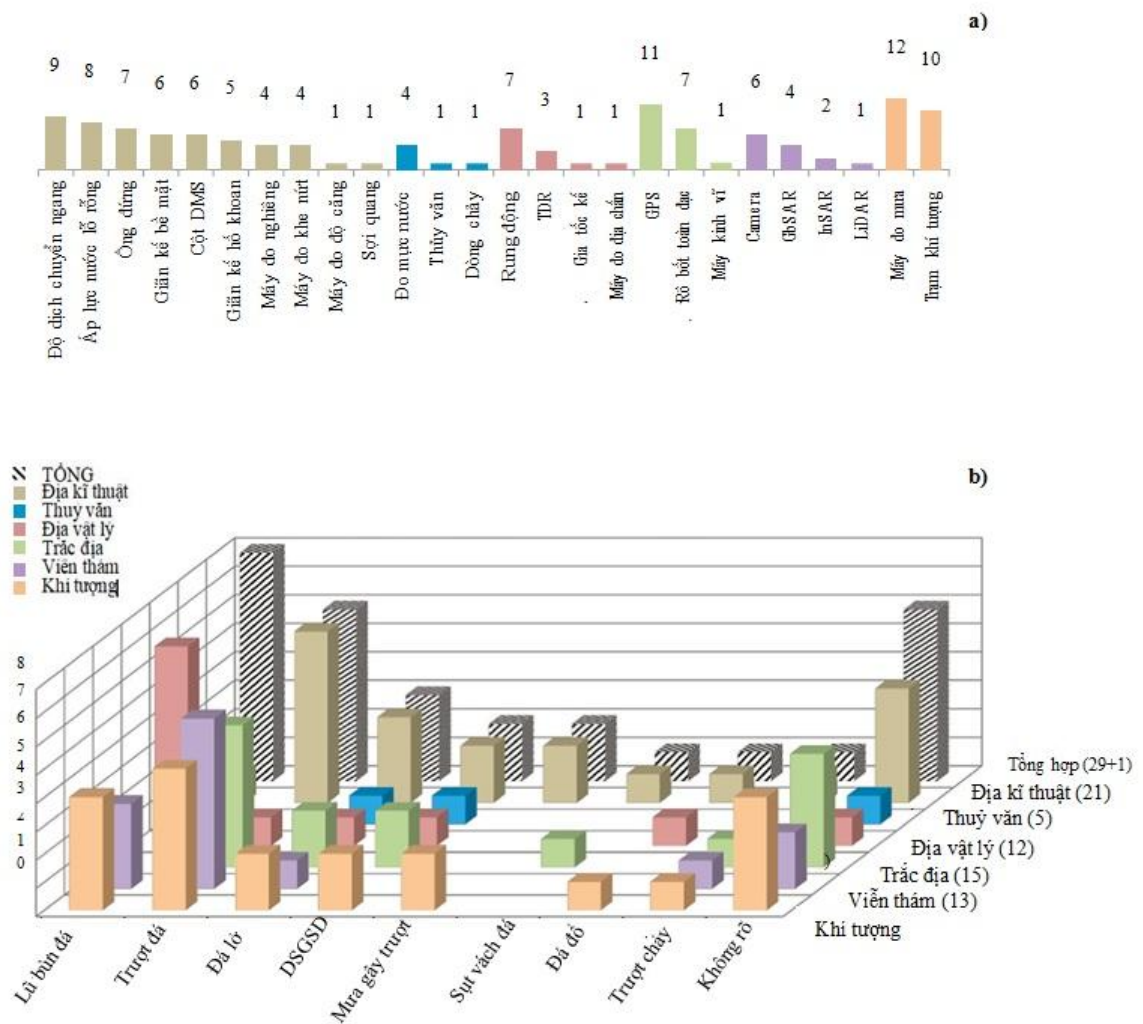
Trong đó R_T là ngưỡng mưa ; R_{15Ad} là lượng mưa 15 ngày trước ngày xảy ra trượt đất

Mô hình phân phối Poisson để xác định mối quan hệ giữa lượng mưa và xác suất xảy ra trượt lở đất theo thời gian dựa trên số liệu mưa tại trạm khí tượng Đà Lạt trong giai đoạn 1978-2020 được khai thác, trong đó 21 sự kiện trượt lở được xác định trong 5 năm gần nhất (2016-2020) làm cơ sở phân tích. Tập hợp các chỉ tiêu lượng mưa ngày và lượng mưa tích lũy trong các khoảng thời gian 3-20 ngày trước sự kiện được phân tích, cho thấy sự phân biệt tương đối rõ giữa các tập hợp có và không có trượt lở đất. Bước đầu thiết lập giá trị ngưỡng mưa cảnh báo trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương. Trên cơ sở này, đề tài xây dựng ma trận đánh giá mức độ ảnh hưởng của mưa trong ngày với nguy cơ trượt đất, làm cơ sở phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt đất theo ngưỡng mưa cho khu vực Đà Lạt - Lạc Dương.

1.2.2.7. Phương pháp quan trắc dự báo - cảnh báo

Kwan (2013) và Pecoraco (2019) đã tổng hợp các kỹ thuật cơ bản quan trắc cảnh báo trượt lở cho khu vực và vị trí khối trượt cụ thể thường sử dụng một số phương pháp chủ yếu như: quan trắc dịch chuyển, biến dạng (đo độ dịch chuyển, đo

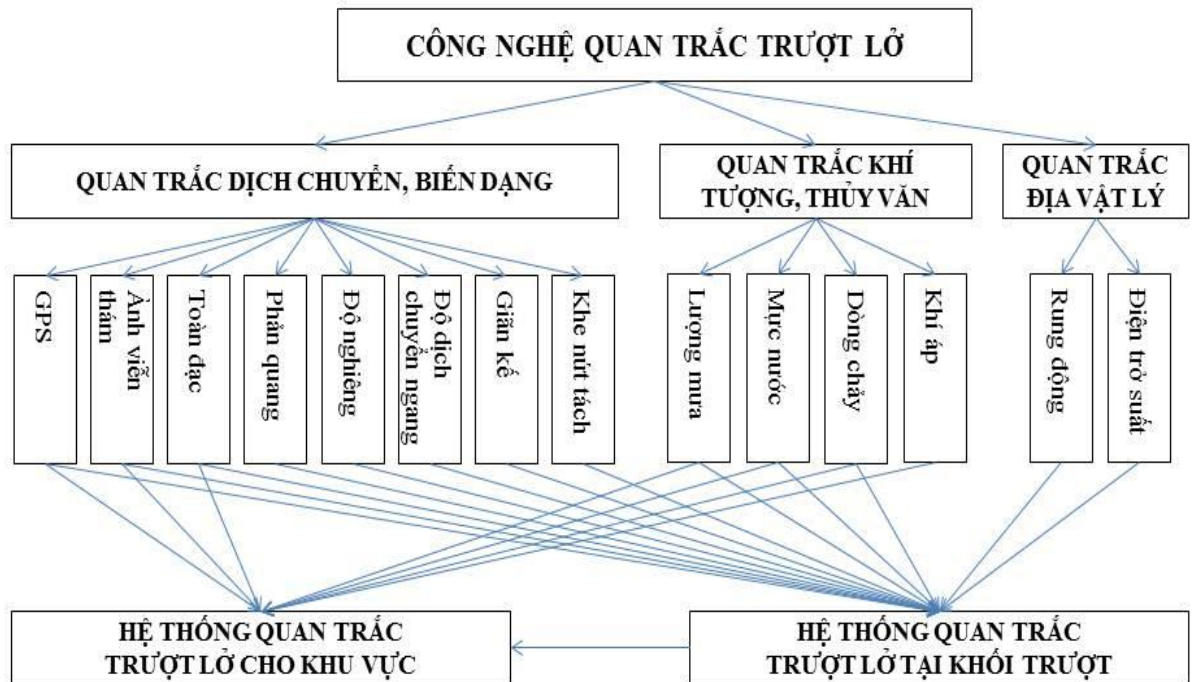
khe nứt tách, định vị vệ tinh, viễn thám, đo toàn đạc, dẫn kế, độ nghiêng, sợi quang học, camera giám sát); quan trắc thông số khí tượng, thủy văn (lượng mưa, áp lực nước lỗ rỗng, nhiệt độ, dòng chảy, khí áp, mực nước; quan trắc các thông số địa vật lý (giá tốc kế, điện trở suất, rung động, địa chấn) [106], [107] . Các thiết bị thường được lắp đặt tại các sườn dốc/mái dốc có nguy cơ bị dịch trượt, hoặc các khối trượt đã xuất hiện tại khu vực đông dân cư, quy hoạch khu dân cư, các tuyến đường giao thông và các công trình hạ tầng quan trọng. Tùy theo mục đích và đối tượng cụ thể cần quan trắc, hệ thống công nghệ quan trắc trượt lở đất đá cho vùng và vị trí khối trượt cụ thể được lựa chọn được áp dụng một trong số các phương pháp đã nêu (Hình 1.2).



Hình 1.2. Thống kê các công nghệ quan trắc áp dụng cho trượt lở trên thế giới, a) số lượng công trình áp dụng thiết bị quan trắc, b) đối tượng tại biển áp dụng công nghệ quan trắc (theo Pecoraro, 2019)

Tổng hợp, tham khảo các phương pháp quan trắc và cảnh báo trượt lở đã được áp dụng phổ biến trên thế giới và ở Việt Nam (Hình 1.3) cho thấy các thông số chủ yếu được sử dụng phổ biến để cảnh báo cho khu vực là ngưỡng cảnh báo dựa trên

thời gian và cường độ mưa. Các ngưỡng cảnh báo đều được xác lập biến đổi trong phạm vi rộng và sử dụng dựa trên kinh nghiệm mang tính địa phương cao. Vì vậy, các ngưỡng cảnh báo cần được xem xét, cập nhật thường xuyên dựa trên các phân tích kết quả thực tế trong thời gian đủ lớn để có cảnh báo hiệu quả [108], [109]. Đối với vị trí cụ thể, các thông số được sử dụng phổ biến là độ dịch chuyển trên bề mặt và sâu trong đất có tính đến ảnh hưởng của áp lực nước lỗ rỗng và lượng mưa nhằm cảnh báo kịp thời hiện tượng dịch chuyển khối đất đá [75], [76], [110].



Hình 1.3. Sơ đồ công nghệ quan trắc trượt lở đất được áp dụng cho khu vực và vị trí khối trượt cụ thể trên thế giới và Việt Nam (theo Kwan et. al., 2012)

1.2.2.8. Phương pháp QLRR trượt đất

a. Khái niệm và khung chuẩn về quản lý rủi ro trượt đất

QLRR thiên tai là một quá trình bao gồm nhiều bước từ nhận diện - đánh giá - xử lý - giám sát đến tích hợp vào quy hoạch. Cách tiếp cận này phù hợp với các hướng dẫn quốc tế như của UNDRR, IAEG commission C-37 [111], [112] và các quy định trong nước, đặc biệt là Chiến lược quốc gia phòng chống thiên tai đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 theo Quyết Định 379/QĐ-TTg về giảm thiểu thiệt hại về người và tài sản do thiên tai và chủ động phòng ngừa, ứng phó hiệu quả và phục hồi nhanh sau thiên tai trên cơ sở QLRR toàn diện [5].

b. Phương pháp quản lý rủi ro trượt đất đối với khu vực

NCS lựa chọn phương pháp đánh giá rủi ro định lượng về tài sản và rủi ro về người theo công thức cụ thể như sau:

- Công thức rủi ro về tài sản (Rts):

$$Rts(i,t) = (Sah,i,t \times Ni \times V(P/S)i) \times S_{CTXD} \times G_{XD} \quad (1.14)$$

Trong đó:

+ $Rts(i,t)$: rủi ro về tài sản tại đơn vị hành chính i , thời đoạn t .

+ $Sah,i,t = Shc,i \times P(S/H)t,i$: diện tích bị ảnh hưởng tại đơn vị hành chính i , thời đoạn t .

+ Ni : số công trình phân bố trong cấp nguy cơ.

+ $V(P/S)i$: hệ số tổn thương công trình theo cấp nguy cơ.

+ S_{CTXD} : diện tích trung vị một CTXD (m^2).

+ G_{XD} : đơn giá xây dựng trung bình (triệu đồng/ m^2).

- Công thức rủi ro về người (Rcn):

$$Rcn(i,t) = (Sah,i,t \times Ni \times V(P/S)i) \times V(L/T)i \times \phi i \quad (1.15)$$

Trong đó:

+ $V(L/T)i$: hệ số tổn thương về người theo cấp nguy cơ.

+ ϕi : mật độ dân cư trung bình trên mỗi công trình tại đơn vị hành chính i .

Trên cơ sở đánh giá mức độ rủi ro về tài sản và người xác định giá trị rủi ro tổng hợp để phân thành 3 cấp độ rủi ro đối với khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương:

- Rủi ro chấp nhận được;

- Rủi ro cần khắc phục;

- Rủi ro khó chấp nhận.

c. Phương pháp quản lý rủi ro đối với vị trí cụ thể

Trên cơ sở lý thuyết về phân tích đối tượng chịu tác động trong QLRR thiên tai [18], nhiều nghiên cứu gần đây đã phát triển hệ thống phân loại tổn thương công trình dựa trên các đặc điểm hình thái, vật liệu xây dựng, công năng sử dụng và mức độ tổn thất vật lý có thể xảy ra trong điều kiện sườn dốc mất ổn định [113], [114]. Việc vận dụng phương pháp này không chỉ cho phép nhận diện nhanh chóng và theo dõi hiệu quả các công trình có mức độ tổn thương cao, mà còn cung cấp cơ sở khoa học cho việc xây dựng các mô hình đánh giá rủi ro, xác định khu vực ưu tiên can thiệp, cũng như đề xuất các giải pháp phòng ngừa và giảm nhẹ thiệt hại một cách hợp lý. NCS tiến hành tổng hợp hệ thống thông tin đánh giá khả năng rủi ro cho từng vị trí cụ thể, dựa trên thông tin do chính quyền địa phương cung cấp và kết quả nghiên cứu đánh giá rủi ro đã thực hiện tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương. Hệ thống thông tin được mã hóa nhằm tiêu chuẩn hóa dữ liệu và nâng cao hiệu quả trong quá trình truy xuất, phân tích và ra quyết định [115].

NCS áp dụng mô hình đánh giá định lượng được xây dựng dựa trên cơ sở phân tích đối tượng chịu tác động trong QLRR thiên tai và hệ thống phân loại tổn thương

công trình theo hình thái, vật liệu và công năng sử dụng. Các tiêu chí chính bao gồm: (i) cấp nguy cơ trượt đất (LSI), (ii) đặc điểm công trình (công năng, cấp, vật liệu), (iii) điều kiện địa hình (chiều cao, góc dốc), và (iv) khoảng tác động (đến công trình và con người). Các yếu tố này được chấm điểm và tổng hợp thành chỉ số rủi ro công trình cụ thể, làm cơ sở xếp hạng mức độ ưu tiên kiểm soát.

Mô hình này cho phép định lượng rủi ro chi tiết theo từng vị trí, xác định công trình cần can thiệp khẩn cấp, đồng thời cung cấp dữ liệu chuẩn hóa phục vụ quy hoạch, cảnh báo sớm và QLRR đô thị hiệu quả.

1.2.2.9. Xác định phạm vi tác động của trượt đất

Xác định phạm vi tác động hay "khoảng tác động" của khối trượt, bao gồm việc xác định tốc độ và khoảng cách di chuyển của khối đất đá dịch chuyển, là một phần quan trọng trong việc đánh giá nguy cơ hoặc rủi ro trượt đất [17]. Nó cung cấp thông tin về khu vực có khả năng chịu ảnh hưởng, các rủi ro liên quan và cho phép nghiên cứu cách vật liệu lắng đọng ảnh hưởng đến các quá trình địa mạo khác, như đập do trượt đất, lũ quét do vỡ đập, tích tụ sông, hoặc sóng thần. Hiện nay, các phương pháp mô hình hóa được phân loại thành ba nhóm chính: thực nghiệm, dựa trên vật lý, và mô hình động [115]. Tuy nhiên, việc mô hình hóa chuyển động sau trượt đất vẫn là một thách thức, đặc biệt ở các nghiên cứu quy mô khu vực [116].

Phương pháp thực nghiệm dựa trên mối quan hệ giữa thể tích khối trượt, các tham số địa hình và khoảng cách di chuyển của mảnh vụn. Các phương pháp này bao gồm phân tích địa mạo [117], [118], phân tích hình học [119], [96], [120], và phân tích sự thay đổi thể tích [121]. Dù không xem xét đến tính lưu biến của vật liệu và thiếu thông tin về các tham số động lực học [115], phương pháp này đơn giản và dễ dàng áp dụng trong môi trường GIS để đánh giá sơ bộ. Trong khi đó, mô hình dựa trên vật lý sử dụng các tham số được lấy từ đo đạc thực địa hoặc thí nghiệm trong phòng [122], [123]. Các mô hình động, dựa trên các mô hình số và lưu biến học, cung cấp các ước tính định lượng chi tiết hơn, bao gồm mô hình khối lượng tổng hợp [124], mô hình phần tử riêng biệt [125] và mô hình cơ học [126].

Mô hình thực nghiệm đã được sử dụng phổ biến trong nghiên cứu trượt đất, trong đó sử dụng góc tiếp cận là một cách để dự báo phạm vi ảnh hưởng của trượt đất. Phương pháp này xác định khoảng vùi lấp dựa trên góc nghiêng trung bình từ điểm khởi phát đến điểm tích tụ, giúp đánh giá phạm vi lan rộng của khối trượt. Tuy nhiên, phương pháp này không tính đến các yếu tố như thể tích khối trượt hay điều kiện địa hình phức tạp, do đó có thể dẫn đến sai số trong một số trường hợp nhất định. Bên cạnh đó, phương pháp thực nghiệm thống kê dựa trên mối quan hệ giữa chiều

cao khối trượt hay thể tích khối trượt với khoảng vùi lấp cũng là một phương pháp đơn giản để dự đoán phạm vi tác động (L_v), được sử dụng rộng rãi và có độ chính xác cao hơn so với phương pháp góc tiếp cận.

Công tác khảo sát thực địa đã xác định và mô tả cụ thể kích thước các khối trượt, phạm vi tác động (khoảng vùi lấp - L_v) thực tế của 125 khối trượt và ước tính khối lượng thể tích xây dựng số liệu thống kê cho từng quy mô trượt đất để đánh giá phạm vi tác động của trượt đất khi xảy ra tại địa phương, giá trị được sử dụng cho đánh giá được trình bày tại *Bảng 1.9*.

Bảng 1.9. Ước lượng khoảng vùi lấp (L_v) theo thể tích và chiều cao khối trượt đất

TT	Quy mô	Số điểm trượt	Thể tích trung bình - V_{tb} (m^3)	Chiều cao trung bình - H (m)	Khoảng vùi lấp trung bình - L_{tb} (m)	Khoảng vùi lấp đánh giá - L_v (m)
1	Nhỏ	26	79,7	8,7	4,2	4,5
2	Trung bình	43	458,5	14,7	8,3	9,0
3	Lớn	56	12.032,6	23,3	17,8	18,0

Để đơn giản hóa quá trình ước lượng phạm vi tác động của khối trượt, đặc biệt trong trường hợp số liệu tính toán thể tích khối trượt chưa được chính xác, NCS áp dụng phương pháp thực nghiệm thống kê và thiết lập phương trình hồi quy dạng hàm lũy thừa giữa chiều cao trung bình của khối trượt (H_{tb}) và khoảng vùi lấp (L_v) để dễ áp dụng trong thực tế khi chỉ cần đo chiều cao ước tính khoảng vùi lấp của khối trượt, cụ thể như sau:

- Áp dụng phương trình hàm logarit:

$$\log(L_v) = A + b \times \log(H) = -0.673 + 1.405 \times \log(H) \quad (1.16)$$

Trong đó:

$$b = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2}$$

$$A = \bar{Y} - b \cdot \bar{X}$$

$$\bar{X} = \frac{0.940 + 1.168 + 1.367}{3} = 1.158$$

$$\bar{Y} = \frac{0.653 + 0.954 + 1.255}{3} = 0.954$$

- Phương trình hồi quy viết dưới dạng hàm lũy thừa tương ứng:

$$L_v = a \times H^b = 0.212 \times H^{1.405} \quad (1.17)$$

Với: $a = 10^A$

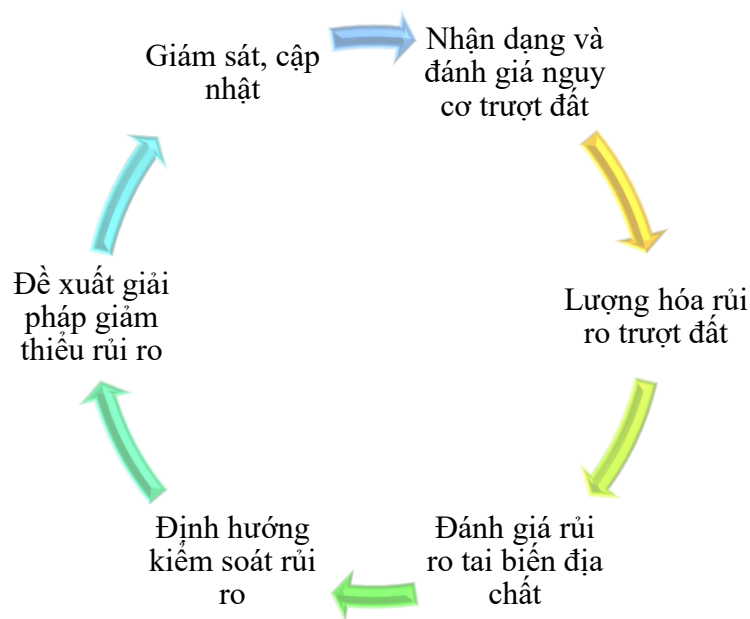
Các giá trị được xác định theo *Bảng 1.10*

Bảng 1.10. Giá trị các đại lượng sử dụng trong công thức thực nghiệm ước tính khoảng vùi lấp (L_v) của khối trượt đất

TT	Chiều cao H (m)	Khoảng vùi lấp đánh giá L_v (m)	$\log(H)$ = X	$\log(L_v)$ = Y	$\bar{X}$	$\bar{Y}$	b	A	a
1	8,7	4,5	0.940	0.653	1.158	0.954	1.405	-0.673	0.212
2	14,7	9,0	1.168	0.954					
3	23,3	18,0	1.367	1.255					

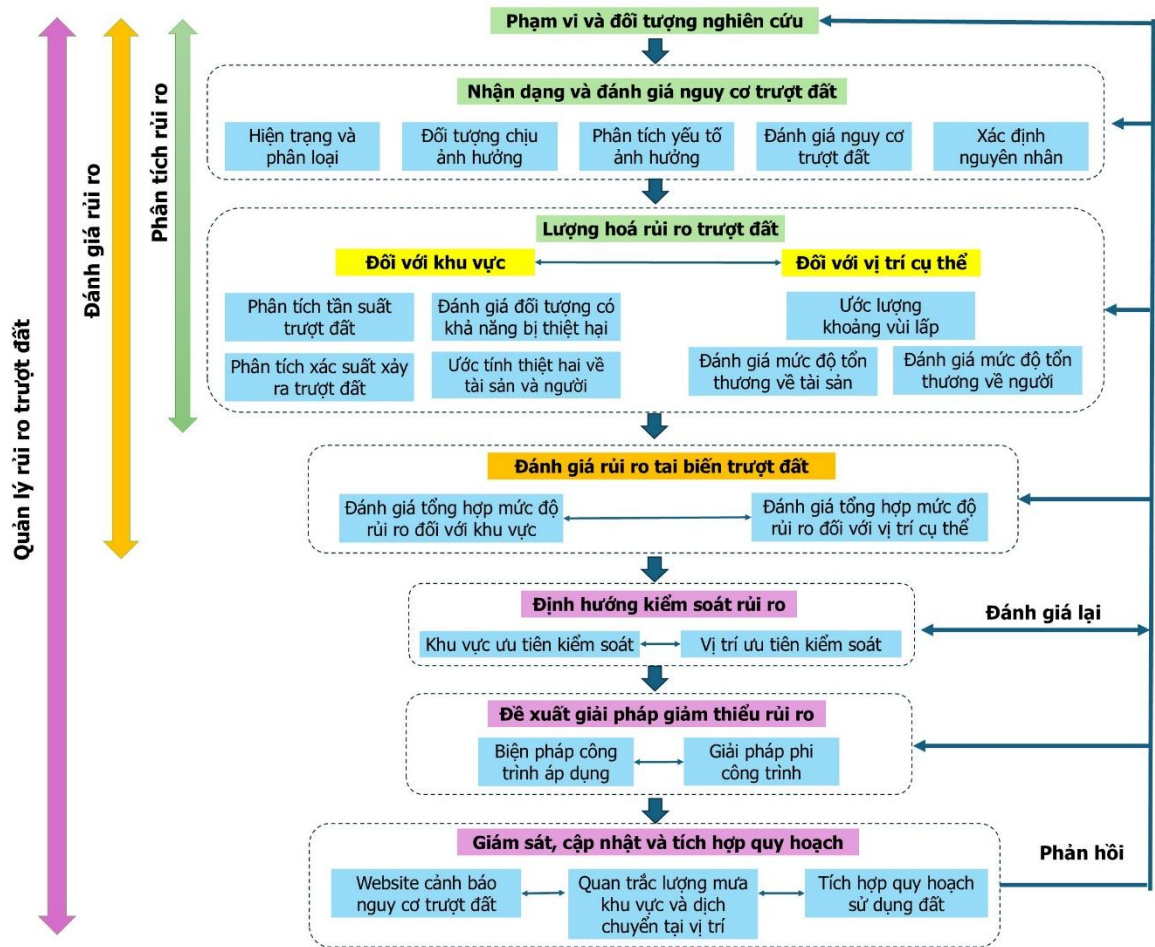
1.2.3. Quy trình quản lý rủi ro trượt đất đối với khu vực đô thị

Nhằm đảm bảo tính hệ thống và khả năng áp dụng thực tiễn trong QLRR tại biến trượt đất, nghiên cứu này xây dựng một quy trình tổng hợp gồm 6 bước, từ khâu nhận dạng nguy cơ đến đề xuất và thực hiện giải pháp kiểm soát, giám sát và tích hợp quy hoạch. Quy trình này được thiết kế trên cơ sở kết hợp cách tiếp cận định tính - bán định lượng và định lượng, phù hợp với khuyến nghị của các mô hình quốc tế như ISO 31000, UNDRR Risk Framework, cũng như các hướng tiếp cận hiện đại trong mô hình hóa không gian, mô phỏng xác suất và ra quyết định ưu tiên dựa trên rủi ro về người và tài sản. Quy trình QLRR trượt đất gồm 06 bước liên hoàn (Hình 1.4)



Hình 1.4. Quy trình QLRR trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương

Mỗi bước trong quy trình đều xác định rõ mục tiêu, nội dung công việc cần thực hiện, mô hình được sử dụng cụ thể trong nghiên cứu, cùng với kết quả đầu ra cần đạt (Hình 1.5).



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

Bước 1. Nhận dạng và đánh giá nguy cơ trượt đất

- Mục tiêu: Xác định hiện trạng trượt đất và khoanh vùng nguy cơ trượt đất.
- Công việc cần thực hiện: 1) Xác định hiện trạng trượt đất mô tả đặc điểm, kích thước, quy mô và phân loại trượt đất. 2) Xác định đối tượng chịu ảnh hưởng. 3) Phân tích các yếu tố ảnh hưởng. 4) Đánh giá nguy cơ trượt đất.

- Mô hình áp dụng: Phương pháp phân tích thứ bậc và GIS (AHP + GIS).

- Kết quả cần đạt: Bản đồ hiện trạng trượt đất và Bản đồ nguy cơ trượt đất, 5 cấp (từ rất thấp đến rất cao).

Bước 2. Lượng hóa rủi ro trượt đất

- Mục tiêu: Phân tích xác suất xảy ra và mức độ rủi ro tổng hợp đối với đối tượng chịu thiệt hại.

- Công việc cần thực hiện:

+ Đối với khu vực: 1) Xác định tần suất trượt đất. 2) Phân tích xác suất trượt đất. 3) Xác định đối tượng có khả năng bị thiệt hại (tài sản và con người). 3) Ước tính thiệt hại về tài sản và người.

+ Đối với vị trí cụ thể: 1) Xác định vị trí có nguy cơ trượt đất. 2) Xác định khoảng tác động của trượt đất. 3) Đánh giá mức độ tổn thương.

- Mô hình áp dụng: Mô hình đánh giá rủi ro đa tiêu chí dựa trên khả năng rủi ro về người và tài sản.

- Kết quả cần đạt: Mức độ rủi ro tổng hợp theo từng đơn vị hành chính (chia thành 5 cấp rủi ro) đối với khu vực và mức độ rủi ro theo tổng điểm đánh giá đối với vị trí cụ thể.

Bước 3. Đánh giá rủi ro tại biên địa chất

- Mục tiêu: Phân định các cấp độ rủi ro tại biên trượt đất.

- Công việc cần thực hiện: 1) Đánh giá mức độ rủi ro tại biên trượt đất (rủi ro khó chấp nhận - rủi ro cần khắc phục - rủi ro chấp nhận được). 2) Phân cấp mức độ rủi ro tại biên trượt đất dựa trên giá trị rủi ro tổng hợp về người và tài sản.

- Mô hình áp dụng: Đánh giá rủi ro tổng hợp, tích hợp đồng thời thiệt hại về tài sản và con người. Trong đó, trọng số ưu tiên được dành cho rủi ro về người, phù hợp với định hướng của ISO 31000 về QLRR và khuyến nghị của Văn phòng Liên Hợp Quốc về Giảm nhẹ Rủi ro Thiên tai (UNDRR) trong QLRR thiên tai.

- Kết quả cần đạt: Danh sách địa phương và vị trí cụ thể theo mức độ rủi ro.

Bước 4. Định hướng kiểm soát rủi ro

- Mục tiêu: Xác định khu vực và vị trí ưu tiên KSRR theo mức độ khả năng bị thiệt hại.

- Công việc cần thực hiện: 1) Phân chia các đơn vị hành chính vào nhóm ưu tiên: Rất cao - Cao - Trung bình - Thấp, dựa vào tổn thất người và tài sản. 2) Xếp hạng mức độ ưu tiên đối với vị trí cụ thể theo hệ thống phân loại tổn thương công trình (building typology) dựa trên các đặc điểm hình thái, vật liệu xây dựng, công năng sử dụng và mức độ tổn thất vật lý có thể xảy ra.

- Mô hình áp dụng: Mô hình đang áp dụng trong nghiên cứu gồm hai cấp độ: (i) Phân vùng quản lý dựa trên mức độ rủi ro (risk-based zoning) để xác định các khu vực ưu tiên kiểm soát theo chỉ số rủi ro tổng hợp; (ii) Tại cấp công trình, áp dụng mô hình đánh giá rủi ro định lượng (QRA - Quantitative Risk Assessment) với cấu trúc dữ liệu bao gồm xác suất nguy cơ tại biên trượt đất, mức độ tổn thương và mức độ phơi bày. Cách tiếp cận này cho phép lượng hóa rủi ro cụ thể, từ đó hỗ trợ ra quyết định ưu tiên theo không gian và loại hình xây dựng

- Kết quả cần đạt: Bảng xếp loại ưu tiên theo đơn vị hành chính ưu tiên KSRR đối với khu vực. Thiết lập danh mục các vị trí ưu tiên KSRR tại vị trí cụ thể.

Bước 5. Đề xuất giải pháp giảm thiểu rủi ro

- Mục tiêu: Đề xuất các giải pháp và biện pháp công trình phù hợp theo mức độ rủi ro và điều kiện thực tiễn.

- Công việc cần thực hiện: 1) Đề xuất giải pháp công trình và phi công trình cho từng nhóm ưu tiên. 2) Lập kế hoạch triển khai cảnh báo sớm, di dời, quản lý xây dựng.

- Mô hình áp dụng: Mô hình phân tích rủi ro định lượng kết hợp ra quyết định theo tiêu chí ưu tiên giảm thiểu rủi ro về người.

- Kết quả cần đạt: Danh mục giải pháp cụ thể cho từng nhóm địa phương và vị trí có nguy cơ trượt đất kèm kế hoạch hành động.

Bước 6. Giám sát, cập nhật

- Mục tiêu: Đảm bảo hệ thống QLRR luôn được cập nhật và tích hợp quy hoạch.

- Công việc cần thực hiện: 1) Xây dựng hệ thống dữ liệu trượt đất và theo dõi rủi ro theo thời gian. 2) Cập nhật bản đồ rủi ro, tích hợp vào quy hoạch sử dụng đất khu vực đô thị.

- Mô hình áp dụng: Mô hình QLRR thích ứng (Adaptive Risk Governance Model) dựa trên hoạt động theo dõi - cập nhật định kỳ và điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất.

- Kết quả cần đạt: Hệ thống giám sát - cảnh báo - quy hoạch thích ứng được vận hành liên tục.

Tiểu kết Chương 1

Nội dung đã tổng quan có hệ thống các nghiên cứu trong và ngoài nước về rủi ro và quản lý rủi ro trượt đất, làm rõ các khái niệm cơ bản như nguy cơ, rủi ro, tính dễ bị tổn thương và quản lý rủi ro trong bối cảnh đô thị hóa trên địa hình dốc. Kết quả tổng quan cho thấy xu hướng nghiên cứu quốc tế đã chuyển mạnh từ nhận diện hiện tượng sang lượng hóa rủi ro và tích hợp vào quy hoạch phát triển đô thị, trong khi tại Việt Nam các nghiên cứu vẫn chủ yếu dừng ở phân vùng nguy cơ và đánh giá định tính.

Trên cơ sở đó, luận án đã xác định khoảng trống nghiên cứu về mô hình lượng hóa rủi ro tổng hợp và quy trình QLRR trượt đất phù hợp với điều kiện đô thị miền núi. Cách tiếp cận liên ngành được lựa chọn, tích hợp các yếu tố địa chất - địa hình - khí hậu - nhân sinh, kết hợp phương pháp thống kê, phân tích không gian GIS, mô hình xác suất và đánh giá định lượng. Quy trình QLRR trượt đất gồm các bước từ nhận dạng và đánh giá nguy cơ, phân tích và lượng hóa rủi ro, đánh giá mức độ rủi ro, phân loại ưu tiên kiểm soát, đề xuất giải pháp giảm thiểu rủi ro và giám sát, cập nhật đã được xây dựng làm khung nghiên cứu cho các chương tiếp theo.

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

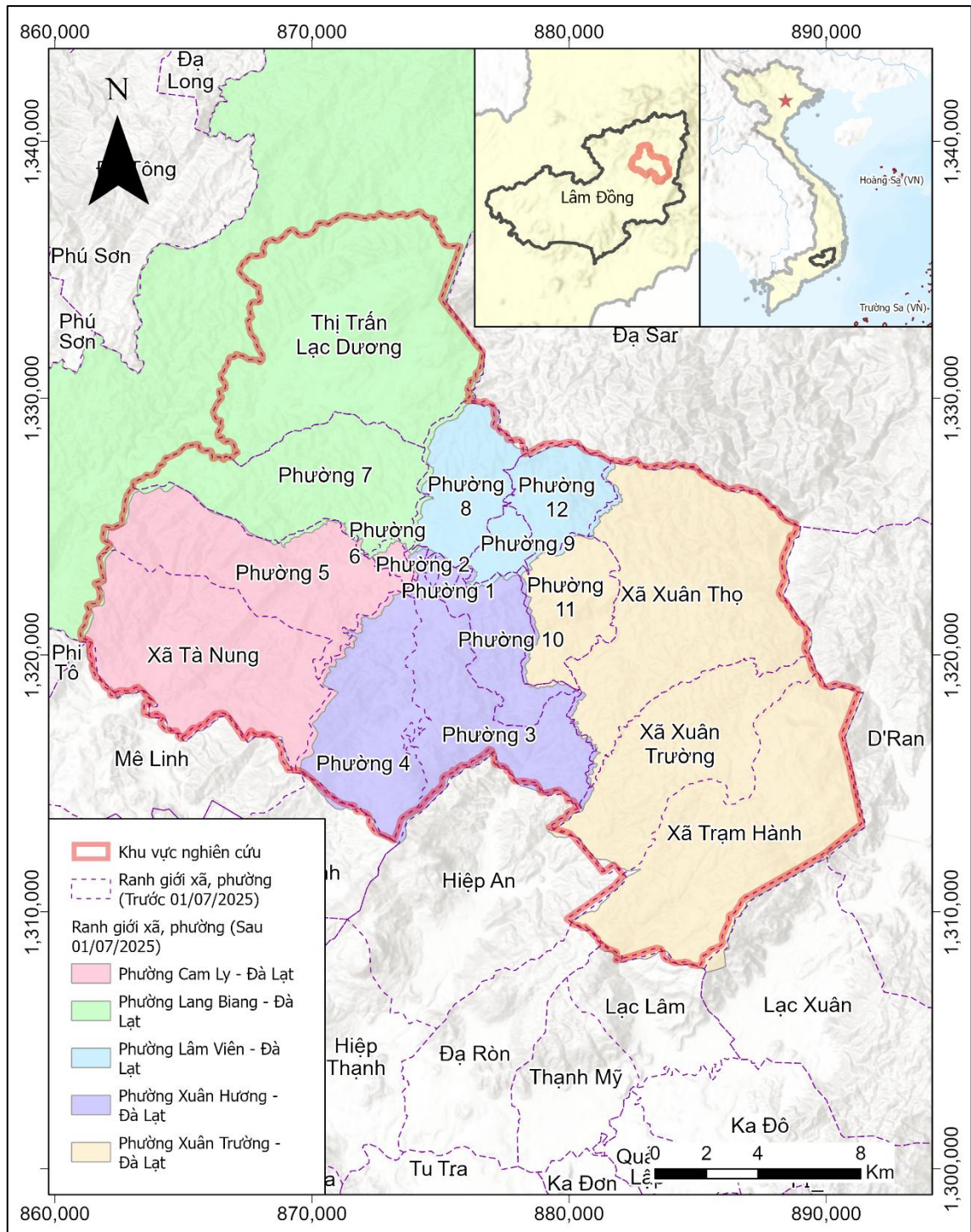
Khu vực nghiên cứu của luận án thuộc đô thị Đà Lạt – Lạc Dương, nằm ở phía Đông Bắc tỉnh Lâm Đồng (Hình 2.1). Khu vực nghiên cứu được giới hạn bởi các đơn vị hành chính lân cận như sau: phía Bắc giáp xã Lát và xã Đạ Sar (huyện Lạc Dương); phía Đông và Đông Nam giáp huyện Đơn Dương; phía Tây giáp huyện Lâm Hà; phía Tây Nam giáp huyện Đức Trọng.

Tọa độ địa lý của khu vực nghiên cứu nằm trong khoảng từ $11^{\circ}48'34''$ đến $12^{\circ}04'32''$ vĩ độ Bắc và từ $108^{\circ}18'49''$ đến $108^{\circ}35'28''$ kinh độ Đông.

Phạm vi nghiên cứu được xác định theo ranh giới hành chính của thành phố Đà Lạt (đô thị loại I) và thị trấn Lạc Dương (đô thị loại V thuộc huyện Lạc Dương), sau đây gọi chung là đô thị Đà Lạt – Lạc Dương. Tổng diện tích khu vực nghiên cứu khoảng 416,2 km², gồm 17 đơn vị hành chính .

Trong đó, thành phố Đà Lạt gồm 12 phường và 4 xã: Phường 1 (1,79 km²), Phường 2 (1,25 km²), Phường 3 (27,16 km²), Phường 4 (29,55 km²), Phường 5 (33,31 km²), Phường 6 (1,60 km²), Phường 7 (32,92 km²), Phường 8 (17,65 km²), Phường 9 (4,90 km²), Phường 10 (13,70 km²), Phường 11 (16,55 km²), Phường 12 (12,48 km²), xã Tà Nung (45,92 km²), xã Trạm Hành (55,45 km²), xã Xuân Thọ (62,66 km²) và xã Xuân Trường (34,17 km²). Huyện Lạc Dương có 01 đơn vị hành chính thuộc phạm vi nghiên cứu là thị trấn Lạc Dương với diện tích 70,60 km² [127], [128].

Để phục vụ công tác đánh giá nguy cơ và rủi ro trượt đất, các phân tích trong luận án được thực hiện trên phạm vi toàn bộ khu vực đô thị Đà Lạt – Lạc Dương và theo từng đơn vị hành chính nêu trên.



Hình 2.1. Bản đồ vị trí địa lý và đơn vị hành chính tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (trước và sau ngày 01/7/2025, thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

2.1.2. Đặc điểm địa hình - địa mạo

Khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương nằm trên cao nguyên Lâm Viên, có vùng trung tâm tương đối bằng phẳng, thuận lợi cho phát triển đô thị. Tuy nhiên, sự khác biệt đáng chú ý nằm ở cấu trúc bao quanh: trung tâm Đà Lạt nằm trong một lòng chảo kín với vành đai núi cao bao bọc, trong khi trung tâm thị trấn Lạc Dương nằm ở khu vực chuyển tiếp địa hình, bao quanh bởi địa hình núi cao, dốc đứng và phân cắt sâu [4].

Thành phố Đà Lạt nằm ở độ cao trung bình khoảng 1.500 m so với mực nước biển, trong đó khu vực trung tâm có điểm cao nhất tại khu Nhà Bảo tàng (1.532 m) và điểm thấp nhất tại thung lũng Nguyễn Tri Phương (1.398,2 m). Địa hình chủ yếu gồm núi và bình nguyên trên núi, tạo thành một lòng chảo bầu dục kéo dài theo trục Bắc - Nam, dài khoảng 18 km và rộng khoảng 12 km, được bao quanh bởi các dãy núi cao khoảng 1.700 m như Bi Doup, Cho Proline và đèo Prenn. Trong phạm vi lòng chảo, địa hình phát triển các đồi có đỉnh tròn và sườn thoải dần về phía hồ Xuân Hương, bị chia cắt bởi hệ thống suối và các thung lũng hẹp.

Thị trấn Lạc Dương, tiếp giáp phía Bắc thành phố Đà Lạt, có địa hình trùng thấp hẹp, bao quanh bởi dãy LangBiang kéo dài theo hướng Đông Bắc - Tây Nam, với hai đỉnh cao nhất đạt 2.167 m và 2.064 m. Khu vực này chịu tác động mạnh của quá trình xâm thực sâu, hình thành các khe rãnh hẹp dọc sườn núi. Địa hình chủ yếu là sườn lõm, độ dốc chân sườn 10-15°, tăng lên 20-35°, có nơi gần như dốc đứng. Phía Nam thị trấn là dải đồi cao (1.500-1.600 m) có dạng vòng cung, bị chia cắt mạnh bởi hệ thống suối nhánh, tạo thành các đồi ngắn hoặc đồi cô lập với sườn lồi và độ dốc phổ biến từ 15-25°.

2.1.3. Đặc điểm địa tầng và magma xâm nhập

Theo báo cáo Đề án “Điều tra địa chất thành phố Đà Lạt” do Liên đoàn Địa chất 6 - Cục địa chất Việt Nam thực hiện năm 1997, khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương là nơi phân bố của các thành tạo trầm tích, phun trào và xâm nhập, trong đó các thành tạo trầm tích - phun trào chiếm khoảng 2/3 diện tích, còn lại là các thành tạo xâm nhập [129]. Địa tầng chủ yếu thuộc Mesozoi muộn, các thành tạo Kainozoi phân bố hạn chế (Hình 2.2). Lớp VPH chủ yếu là các tập thạch học sườn - tàn tích phát triển trên đá gốc, thuộc đới phong hoá hoàn toàn có thành phần chủ yếu là sét, sét pha, cát pha có chứa dăm sạn. Cụ thể như sau:

1) Hệ tầng La Ngà (J_2ln): Diện tích phân bố chiếm khoảng 1/3 diện tích toàn khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, phân bố chủ yếu ở phía Tây Bắc, trung tâm và phía Nam khu vực. Đá gốc gồm bột kết, sét kết, cát kết; đá bị nứt nẻ mạnh, chiều dày trung bình ~600 m. Lớp VPH hoàn toàn có thành phần là sét, sét pha, cát pha, chiều dày phổ biến >10m; địa hình dạng vòm thoải đến sườn dốc (góc dốc <7° đến 18°).

2) Hệ tầng Đakruium (K_2dr): Diện tích của hệ tầng khoảng 10 km², phân bố chủ yếu ở khu vực phía Bắc chân đèo Prenn và góc đông nam đô thị. Đá gốc gồm tầng kết, cuội kết, sạn kết, cát kết (90%) và bột kết, sét kết (10%), màu tím đỏ, đá bị nứt nẻ mạnh, chiều dày biến đổi từ 100-1.200 m. Lớp VPH hoàn toàn có thành phần là sét, sét pha, có nơi chứa sạn sỏi; chiều dày thường nhỏ, phổ biến từ 2-5m; địa hình

cao, phân cắt mạnh, với góc dốc 11-18°, có nơi >18°; quá trình xâm thực và rửa trôi mạnh.

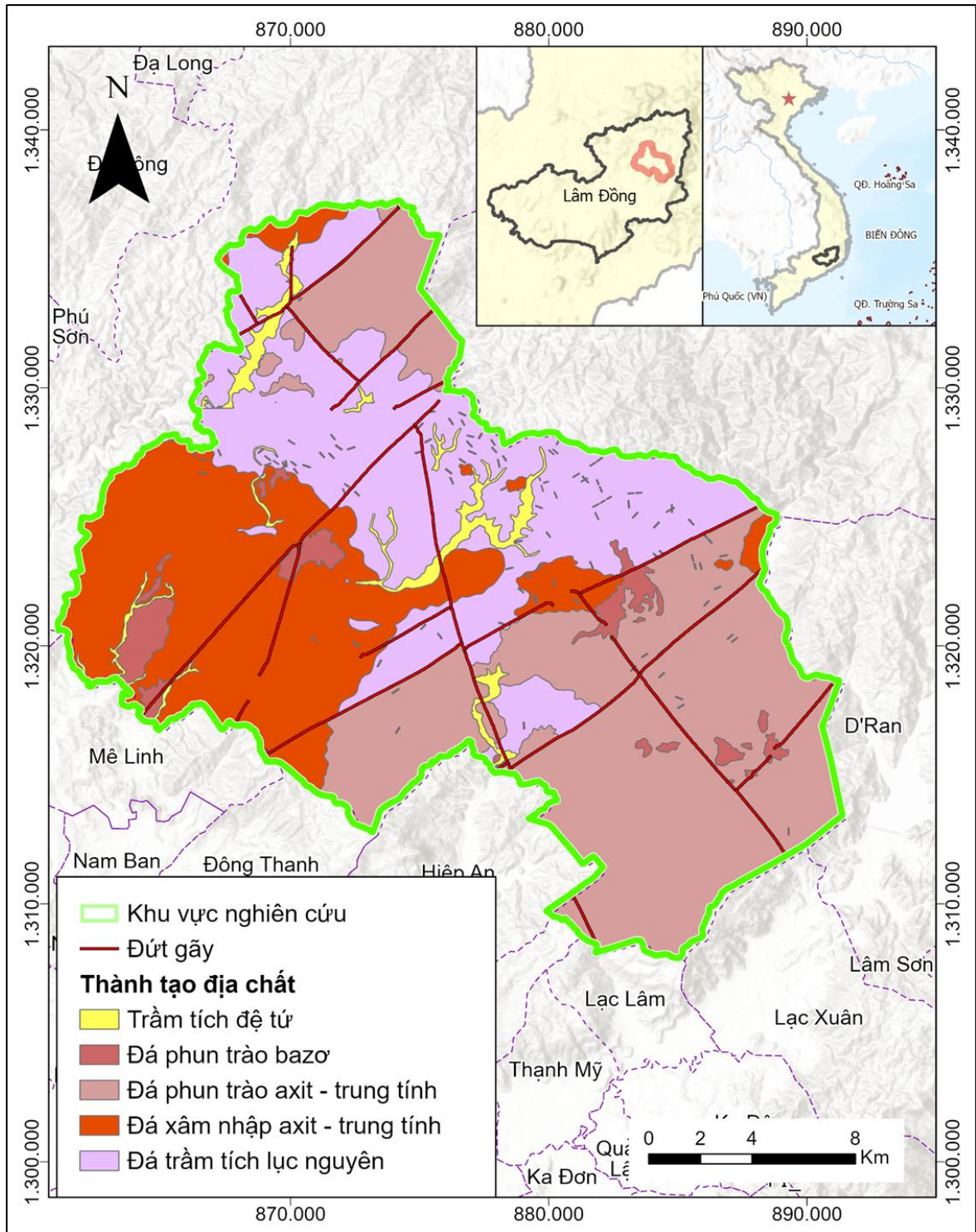
3) Hệ tầng Đơn Dương (K_2dd): Phân bố rộng ở khu vực phía Đông Nam đô thị, sườn núi Lang Biang và vùng lân cận. Đá gốc là các đá phun trào và trầm tích núi lửa gồm felsit, ryolit, dacit, tuf và aglomerat. Các thành tạo biến đổi nhanh theo không gian và hướng dốc. Lớp VPH hoàn toàn gồm sét, sét pha lẫn dăm sạn, trạng thái từ cứng đến nửa cứng, chiều dày < 2m ở sườn và đỉnh núi, > 10m ở chân núi; địa hình là sườn núi vòm phân cắt mạnh, góc dốc phổ biến >18°, có nơi 7-11° ở chân sườn; mực nước ngầm 2-10 m.

4) Hệ tầng Xuân Lộc ($\beta_{Q_{IX}l}$): Phân bố rải rác tại khu vực Cam Ly, Măng Lin, sân bay Cam Ly và bắc hồ Đan Kia. Đá gốc gồm bazan olivin, tuf bazan, bazan bột xốp, giữ lại tàn tích núi lửa cổ, chiều dày biến thiên từ 15-30 m. Lớp VPH hoàn toàn có thành phần là sét và sét pha lẫn sạn sỏi; chiều dày > 10m ở Cam Ly và phía bắc Cam Ly, từ 2-5m ở chân đèo Prenn; địa hình bằng phẳng đến dốc thoải (góc dốc <7° đến 11°), quá trình xói mòn diễn ra yếu đến trung bình.

5) Phức hệ Định Quán (J_3dq): Phân bố ở đông bắc khối Tà Nung, cách trung tâm Đà Lạt khoảng 5 km. Đá gốc gồm granodiorit biotit-horblend, monzonit, ít granit biotit-horblend, đá bị nứt nẻ mạnh; xuyên cắt hệ tầng La Ngà, bị phủ bởi đá phun trào hệ tầng Đơn Dương. Lớp VPH hoàn toàn gồm sét, sét pha, cát lẫn sạn sỏi; chiều dày < 2m; phát triển trên địa hình núi cao, sườn có góc dốc lớn.

6) Phức hệ Cà Ná (K_2cn): Phân bố quanh thành phố Đà Lạt, gồm khối lớn Ankroet và các khối nhỏ. Đá gốc là granit biotit, muscovit, alaskit; xuyên cắt granodiorit Định Quán và đá La Ngà. Lớp VPH hoàn toàn gồm sét, sét pha, cát lẫn sạn sỏi; chiều dày từ 2 m đến >10m; địa hình cao, bị chia cắt mạnh, góc dốc thường >18°, có nơi >35°; mực nước ngầm >10m.

7) Trầm tích Đệ Tứ: Phân bố khoảng 5-6% diện tích khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, chủ yếu dọc theo các thung lũng và suối như suối Cam Ly, suối Prenn., gồm aluvi, aluvi-đầm lầy, aluvi-proluvi, phân bố dọc các suối tạo thềm bậc I - II. Thành phần gồm sét, bùn sét hữu cơ, bùn sét than, đôi khi xen cuội sạn; có nguồn gốc sông, sông-lũ tích, đầm lầy. Chiều dày phổ biến <2m. Thành tạo phát triển trên địa hình bằng phẳng đến hơi nghiêng, nhiều nơi thường xuyên bị ngập.



Hình 2.2. Bản đồ phân bố các thành tạo địa chất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, tỉnh Lâm Đồng (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

2.1.4. Đặc điểm kiến tạo

Khu vực Đà Lạt - Lạc Dương nằm trong đới hoạt hóa magma - kiến tạo Đà Lạt, hình thành từ Mesozoi muộn đến Kainozoi [129]. Giai đoạn Mesozoi muộn chịu ảnh hưởng của kiến tạo siết ép kiểu rìa lục địa tích cực, hình thành các thành tạo magma núi lửa - pluton vôi-kiềm và trầm tích lục nguyên (hệ tầng La Ngà). Sang

Kainozoi, trường ứng suất chuyển sang căng dần, tạo nên các bồn trũng chứa trầm tích Miocen và các lớp phủ bazan á kiềm phân bố rải rác ($\beta_{Q_{IX}I}$).

Tổ hợp thạch kiến trúc khu vực gồm các đá trầm tích, phun trào axit - bazan, xâm nhập granit và trầm tích Đệ Tứ, phản ánh quá trình magma - kiến tạo kéo dài, đa giai đoạn. Cấu trúc địa chất bị chi phối bởi ba hệ đứt gãy chính:

- Hệ tây bắc - đông nam: hình thành từ Creta - Paleogen, trượt bằng trái, thường không liên tục trên bề mặt nhưng để lại dấu tích biến đổi đá mạnh và khoáng hóa (vàng, thiếc, tourmalin, sulfua).

- Hệ đông bắc - tây nam: không chế mạnh cấu trúc địa chất hiện tại, có dấu hiệu hoạt động kiến tạo gần đây (tái hoạt động sau Pleistocen giữa), một số cắt qua các thành tạo trẻ như bazan và trầm tích Đệ Tứ.

- Hệ kinh tuyến - á kinh tuyến: xuất hiện muộn hơn (cuối Paleogen - đầu Miocen), là đứt gãy trượt bằng phải, cộng ứng với hệ đông bắc - tây nam.

2.1.5. Đặc điểm khí hậu - thủy văn

a. Đặc điểm khí hậu

Khu vực Đà Lạt - Lạc Dương nằm trên cao nguyên Lâm Viên, có khí hậu cận nhiệt đới núi cao, mang đặc trưng của vùng ôn đới, mát mẻ quanh năm với hai mùa rõ rệt: mùa mưa và mùa khô. Khu vực Đà Lạt - Lạc Dương hầu như không chịu ảnh hưởng trực tiếp của bão do được chắn gió bởi các dãy núi phía Đông, nhưng vẫn có thể xảy ra gió lớn do tác động gián tiếp từ hoàn lưu bão ngoài khơi.

Nhiệt độ trung bình năm dao động trong khoảng 18-21°C. Nhiệt độ cao nhất hiếm khi vượt quá 30°C, thấp nhất không xuống dưới 5°C. Biên độ nhiệt ngày - đêm lớn hơn vào mùa khô, đặc biệt tại các vùng núi cao như Lạc Dương. Độ ẩm trung bình năm đạt khoảng 82%.

Mùa mưa kéo dài từ tháng 4 đến tháng 10, chủ yếu do gió mùa Tây Nam và khối không khí xích đạo từ phía Nam mang đến lượng ẩm lớn. Đây là giai đoạn xuất hiện nhiều đợt mưa lớn, có thể kéo dài nhiều ngày. Mưa tập trung nhiều ở vùng núi phía Bắc (Lạc Dương) với lượng mưa trung bình năm từ 2800 mm đến trên 3000 mm. Trong khi đó, lượng mưa tại thành phố Đà Lạt dao động từ 1400-2200 mm/năm, tăng dần về phía Bắc và giảm về phía Nam. Mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau, khu vực chịu ảnh hưởng của khối không khí biển Đông, thời tiết nắng ấm, ít mưa, trời trong và se lạnh về đêm [4].

b. Đặc điểm thủy văn

Khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương có tổng cộng 16 hồ chứa nước, phần lớn là hồ nhân tạo. Nhiều hồ được xây dựng từ đầu thế kỷ XX phục vụ nhu cầu điều tiết dòng chảy, cấp nước sinh hoạt và tạo cảnh quan cho khu vực trung tâm. Một số hồ

như Vạn Kiếp, Mộc Linh, Đà Cò hiện đã bị bồi lấp một phần, chuyển đổi thành đất canh tác, chủ yếu là vườn rau.

Mạng lưới sông suối trong khu vực phân bố theo hướng địa hình tự nhiên: phía Bắc có suối Phước Thành, Đa Phú chảy về hồ Suối Vàng; phía Đông là các nhánh nhỏ đổ về sông Đa Nhim; phía Nam có các suối Datanla, Da Prenn. Suối Cam Ly bắt nguồn từ phía Đông Bắc thành phố, chảy qua các hồ Than Thở và Mê Linh trước khi vào hồ Xuân Hương - nơi tạo thành cảnh quan đặc trưng ở trung tâm Đà Lạt, có chiều dài khoảng 20 km, diện tích lưu vực vào khoảng 50 km². Mạng lưới suối nhỏ khá dày với mật độ bình quân 1,2km/km², hầu hết bị cạn nước vào mùa khô [127].

2.1.6. Đặc điểm phát triển dân cư

Khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương có 34 dân tộc anh em, bao gồm chủ yếu là người Kinh (95%) và đồng bào dân tộc thiểu số người Cơ Ho (Cơ Ho - Cil, Cơ Ho - Lach), Châu Mạ, Mơ Nông, Chu Ru, Thái, Ê Đê, Nùng, Tày, Hoa, Chăm, Mường... làm nên bản sắc đa dạng trong văn hóa và tập tục sản xuất của người dân.

Dân số trung bình của TP. Đà Lạt có sự gia tăng từ 209.170 người (năm 2010) lên 232.407 người (năm 2022), tổng số dân là tăng 23.234 người trong 12 năm, tương ứng với mức tăng khoảng 13.7%. Trong đó, khu vực thành thị (12 phường) có số dân tăng từ 189.259 người (năm 2010) lên 207.29 người (năm 2022), tăng 18.031 người; khu vực nông thôn (4 xã) có số dân tăng từ 19.914 người (năm 2010) lên 25.117 người (năm 2022), tăng 5.203 người.

Đối với TT. Lạc Dương, dân số tăng mạnh từ 5.137 người (năm 2010) lên 11.184 người (năm 2022), tổng số dân tăng là 6.047 người trong 12 năm, tương ứng với mức tăng khoảng 117.74% phản ánh sự gia tăng dân số mạnh mẽ tại khu vực này.

Trong giai đoạn năm 2010 - 2016, mức độ gia tăng dân số tại TP. Đà Lạt và Thị trấn Lạc Dương lần lượt là 13.962 người và 4.700 người, nhanh hơn nhiều so với giai đoạn 2016 - 2022 với số dân tiếp tục tăng lên lần lượt là 9.272 người và 1.347 người. Từ năm 2010 đến năm 2022, tổng số dân ở cả hai khu vực đã tăng lên 29.281 sau 12 năm phát triển KTXH của khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương [128], [130], [131] (Bảng 2.1).

Bảng 2.1. Biến động dân số khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, giai đoạn 2010 - 2022 (Nguồn: Niên giám thống kê tỉnh Lâm Đồng năm 2010 và năm 2022)

TT	Đơn vị hành chính (trước ngày 01/7/2025)	Diện tích (ha)	Dân số trung bình theo các năm (người)			Chênh lệch dân số trung bình theo thời gian (người)		Tổng số (người)
			2010	2016	2022			
			(1)	(2)	(3)	(2) - (1)	(3) - (2)	(3) - (1)
1	TP. Đà Lạt	39.528,87	209.170	223.135	232.407	13.962	9.272	23.234
	Thành thị (12 phường)	19.592,69	189.259	199.83	207.29	10.571	7.460	18.031
	Nông thôn (4 xã)	19.936,19	19.914	23.305	25.117	3.391	1.812	5.203
2	TT. Lạc Dương	7.060,35	5.137	9.837	11.184	4.700	1.347	6.047
Tổng cộng		46.589,23	214.31	232.972	243.591	18.662	10.619	29.281

2.2. Nhận dạng và đánh giá nguy cơ trượt đất

Trước năm 2016, hiện tượng trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương ít được phản ánh trên các phương tiện thông tin đại chúng và chủ yếu được ghi nhận trong các báo cáo chuyên môn của một số đơn vị quản lý kỹ thuật, do phạm vi ảnh hưởng lúc này chủ yếu giới hạn ở các tuyến đường giao thông và sườn dốc tự nhiên. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, sự gia tăng số lượng sự cố xảy ra tại các khu dân cư đã làm dấy lên sự quan tâm rộng rãi từ dư luận xã hội, với tần suất phản ánh thường xuyên hơn trên các phương tiện truyền thông đại chúng.

2.2.1. Hiện trạng và phân loại trượt đất

2.2.1.1. Đặc trưng các kiểu trượt đất tại khu đô thị Đà Lạt - Lạc Dương

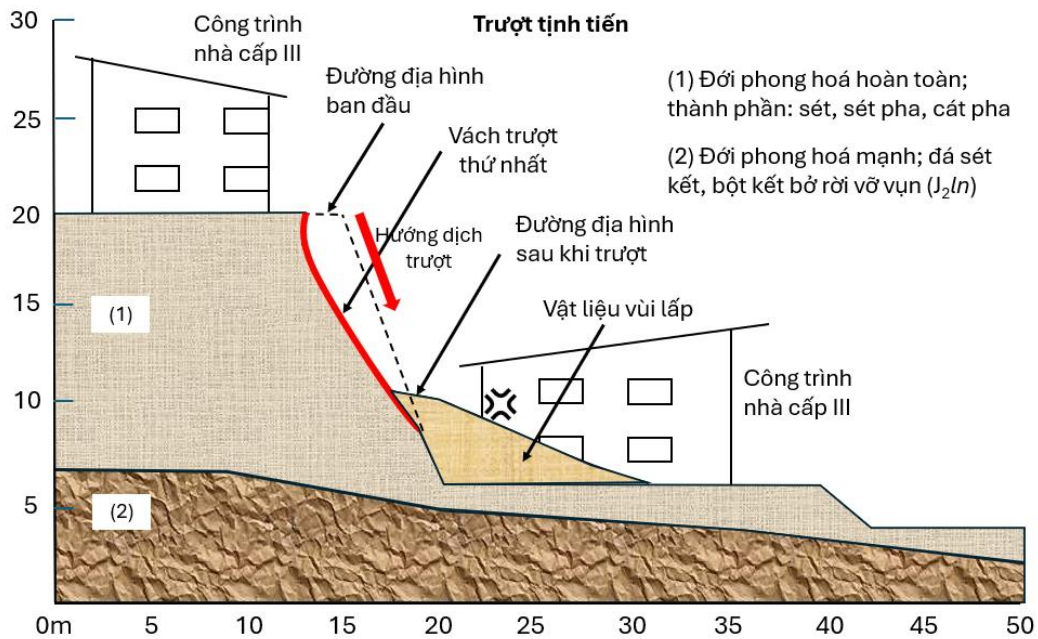
Khu đô thị Đà Lạt - Lạc Dương có 90% diện tích là sản phẩm phong hoá sườn - tàn tích phát triển trên đá phun trào ryolit dacit và các tuff của hệ tầng Đơn Dương (K_2dd); đá trầm tích sét kết, bột kết của hệ tầng La Ngà (J_2ln); đá xâm nhập granit của phức hệ Định Quán ($J_3đq$) và phức hệ Cà Ná (K_2cn); đá phun trào bazan của hệ tầng Xuân Lộc ($\beta Q_{IX}l$) và khoảng 10% diện tích là các sản phẩm trầm tích Đệ tứ nguồn gốc aluvi, đầm lầy và deluvi [132].

Đặc trưng các kiểu trượt đất theo loại vật liệu và kiểu chuyển động từ đề xuất của Cruden và Varnes (1996) [12], trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương có thể chia thành 04 kiểu trượt chính và 04 phụ kiểu trượt được khái quát như sau:

1) Trượt tịnh tiến chủ yếu xảy ra trong đất dính của hầu hết các lớp đất sườn tàn tích có mặt trong khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, có quy mô từ nhỏ đến lớn, chiều sâu mặt trượt $< 2m$. Vật liệu trượt là sét, sét pha. Kiểu trượt này rất dễ phát sinh

trong điều kiện mưa lớn tập trung hoặc mưa vừa kéo dài, một số ít ngay ở thời điểm cải tạo mái dốc và chất tải công trình trên đỉnh mái dốc.

1a) Trên mái dốc nhân tạo có chiều cao từ 8-15m với góc dốc sau cải tạo $>50^\circ$. Trượt thường phát sinh ở nửa trên mái dốc dịch chuyển theo bề mặt xuống chân mái dốc. Chiều sâu mặt trượt từ 1 - 1.5m, chiều rộng từ 10 đến 50m với tạo nên các khối trượt có quy mô từ nhỏ đến trung bình, khoảng vùi lấp đất đá từ chân khối trượt 5-10m gây ảnh hưởng đối với đường giao thông và CTXD dưới chân mái dốc. Nguyên nhân do quá trình cải tạo làm tăng cao góc mái dốc và xáo trộn lớp đất trên bề mặt mái dốc dẫn đến suy giảm độ bền của đất, chất tải trên đỉnh sườn dốc (Hình 2.3).



a)

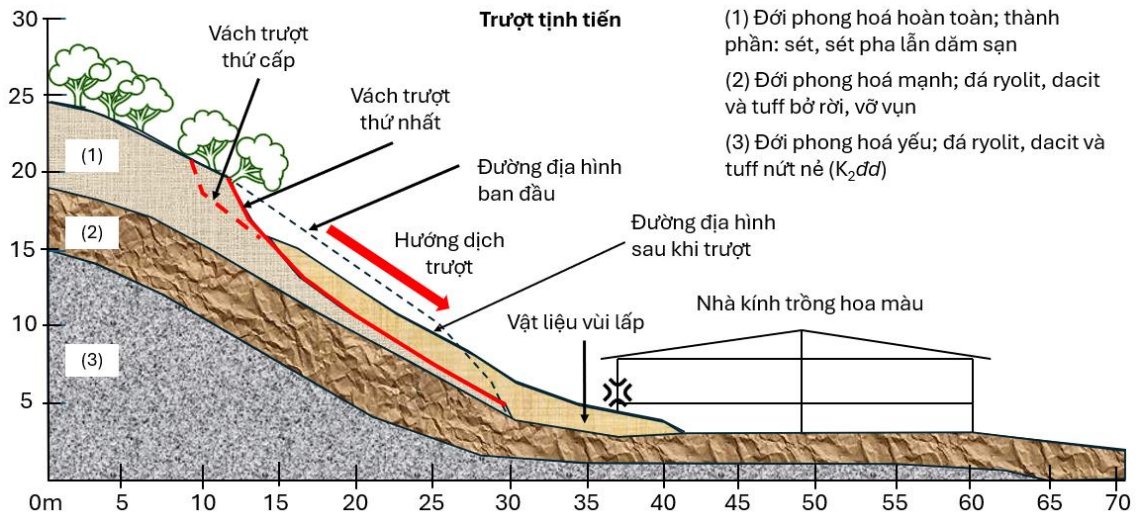


b)

Hình 2.3. Kiểu trượt tịnh tiến (Etr), trên mái dốc tại tại hẻm 27 đường Lê Hồng Phong, phá huỷ CTXD nhà cấp III, TP Đà Lạt: a) Mặt cắt mô tả và b) Ảnh chụp hiện trường (2020)

1b) Trên sườn dốc tự nhiên có chiều cao từ 20-50m, góc sườn dốc tự nhiên $>15^\circ$ và chân sườn dốc sau cải tạo với góc dốc $>50^\circ$. Trượt thường phát sinh ở phần chân mái dốc và kéo theo lớp đất phía trên đỉnh sườn dốc dịch chuyển xuống chân mái dốc. Chiều sâu mặt trượt từ 1 - 2m, chiều rộng từ 40 đến 100m với tạo nên các khối trượt có quy mô từ trung bình đến lớn, khoảng vùi lấp đất đá từ chân khối trượt 10-15m gây ảnh hưởng chủ yếu đối với đất canh tác và đường dân sinh dưới chân

mái dốc. Nguyên nhân do quá trình cải tạo chân mái dốc làm mất cân bằng tự nhiên, khiến cho độ bền của lớp đất phía dưới chân không cản trở được sự dịch chuyển của lớp đất phía trên, quá trình này được thúc đẩy nhanh hơn khi có sự gia tăng khối lượng thể tích khi bị thấm ướt của lớp đất trên đỉnh sườn dốc (Hình 2.4).



a)

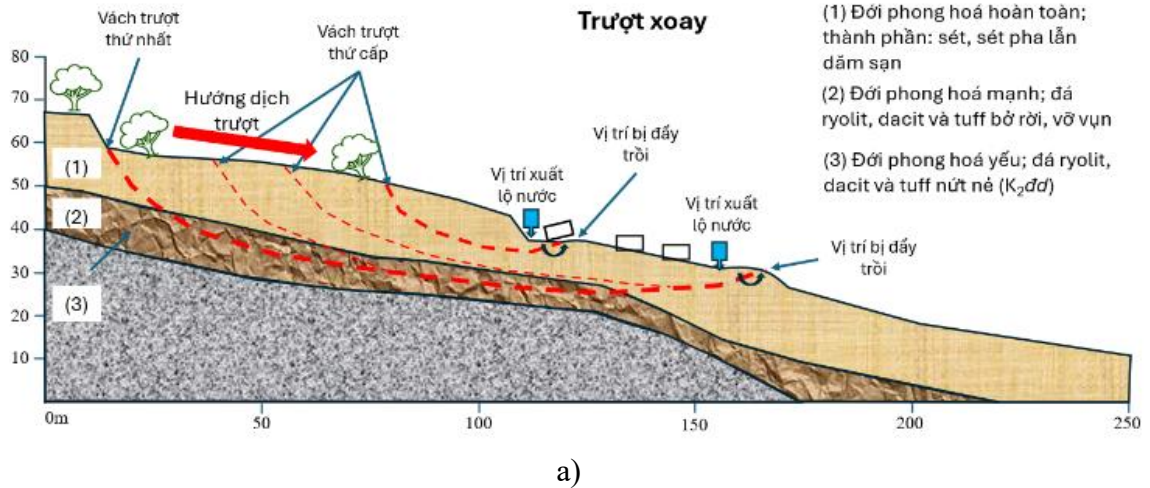


b)

Hình 2.4. Kiểu trượt tịnh tiến (Etr), trên mái dốc tại vườn canh tác, TT Lạc Dương: a) Mặt cắt mô tả và b) Ảnh chụp hiện trường (2018)

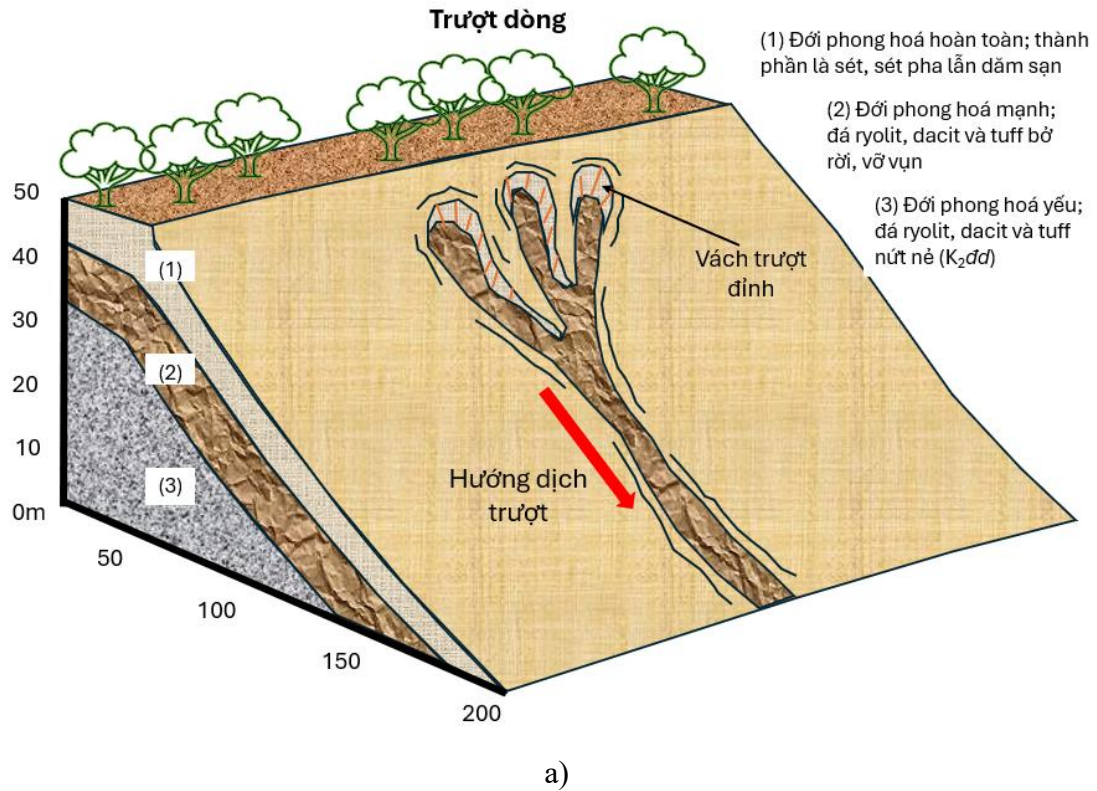
2) Trượt xoay/sâu thường xảy ra trong lớp đất hỗn hợp với quy mô lớn do mặt trượt phát triển sâu $>5m$ so với bề mặt địa hình, chiều rộng từ 80-100m và chiều dài từ 120-150m. Kiểu trượt này thể hiện rõ nét cấu trúc khối trượt điển hình với đỉnh trượt, các thềm trượt xen kẽ giữa vách trượt chính và một hay vài vách thứ cấp tương ứng với mặt trượt chính và mặt trượt thứ cấp có dạng cung tròn lõm, chân khối trượt có biểu hiện đất đá bị siết ép, biến dạng và đẩy trôi với nhiều khe nứt tách. Một số khe nứt mở rộng xuất lộ nước đục màu trong mùa mưa và thấm rỉ trong mùa khô. Quá trình dịch trượt phát triển nhanh khi đất đá trên thân khối trượt dần bão hoà nước và mực nước ngầm có xu thế dâng cao vào giữa và gần cuối mùa mưa, sau đó dần ổn định khi đất đá được tháo khô và mực nước ngầm hạ thấp vào mùa khô. Kiểu trượt này mới chỉ quan sát được ở một số bồn thu nước có lớp sườn tàn tích dày của đá ryolit dacit và các tuff của hệ tầng Đơn Dương ($K_2đđ$); đá sét kết, bột kết của hệ tầng

La Ngà (J_2ln); đá granit của phức hệ Cà Ná (K_2cn_2). Vật liệu trượt là sét pha, cát pha chứa dăm mảnh, khối tảng bị đập vỡ mạnh. Nguyên nhân do địa hình sườn dốc với dạng lõm có khả năng tích tụ nước trong lớp đất sườn tàn tích phong hoá dày, đất đá bất đồng nhất bị thấm ướt theo thời gian dần hình thành nên dòng chảy ngầm hướng xuống chân sườn dốc tạo điều kiện thuận lợi cho xói ngầm phát triển làm gia tăng áp lực nước và suy giảm độ bền của đất đá trong sườn dốc (Hình 2.5).



Hình 2.5. Kiểu trượt xoay (Dro), trên mái dốc tại khu đô thị mới Lang Biang, phá huỷ CTXD nhà cấp IV, TT. Lạc Dương: a) Mặt cắt mô tả và b) ảnh chụp hiện trường (2023)

3) Trượt dòng thường xảy ra ở các khu vực có đất dính gần đỉnh của các bồn thu nước với sườn dốc tự nhiên kéo dài, đặc biệt phổ biến ở khu vực chân núi Lang Biang. Tại đây, lớp đất sườn tàn tích được hình thành từ đá rhyolit dacit và các tuff thuộc hệ tầng Đơn Dương ($K_2đđ$), cùng với đá sét kết và bột kết của hệ tầng La Ngà (J_2ln). Vật liệu trượt chủ yếu bao gồm sét pha, cát pha kèm theo dăm đá vụn. Khối trượt có quy mô từ trung bình đến lớn, chiều rộng phần đỉnh mở rộng từ 10 - 20m và phần thân thu hẹp từ 7-10m, chiều dài từ 50 - 100m và chiều sâu mặt trượt dưới 2m. Nguyên nhân gây ra trượt dòng là do lớp đất gần đỉnh sườn dốc có độ dày mỏng, khả năng kết dính kém và thiếu lớp phủ thực vật. Dưới tác động của mưa lớn, dòng chảy mạnh gây ra xói mòn và đất bị bão hòa nước làm suy giảm độ bền và dẫn đến hiện tượng trượt kéo dài tích tụ tại chân sườn dốc (Hình 2.6).

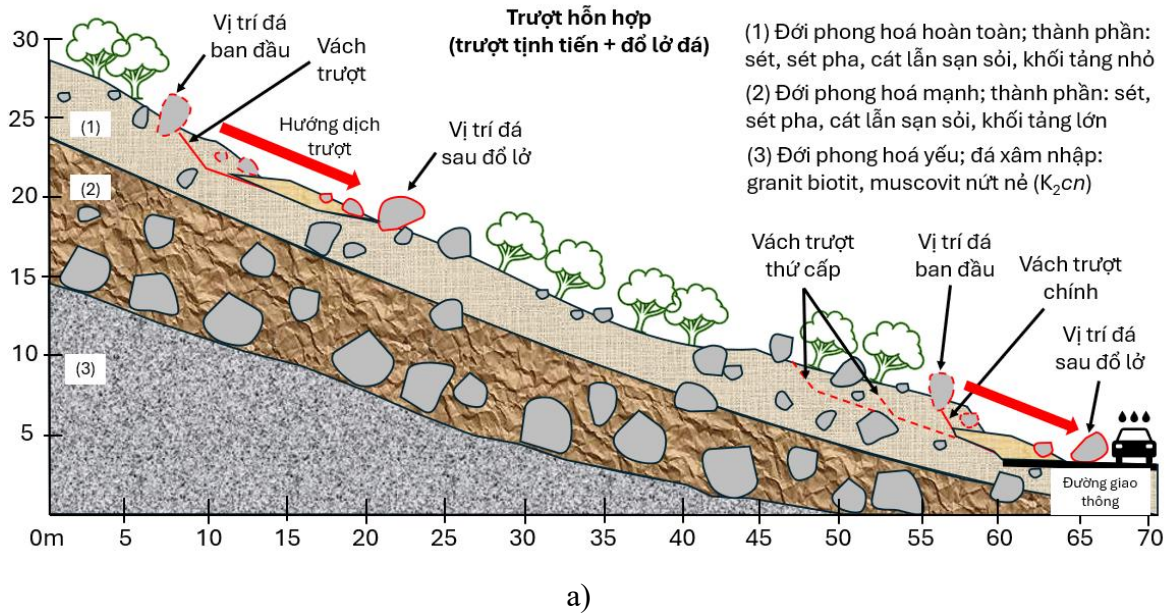


Hình 2.6. Kiểu trượt dòng (EFl), trên sườn dốc tại xã Tà Nung, Tp. Đà Lạt:
a) Mặt cắt mô tả và b) Ảnh chụp
Google Earth (2018)

4) Trượt hỗn hợp là hiện tượng trượt phát triển hai hay ba kiểu chuyển động trong vật liệu đất dính và hỗn hợp đất đá. Tùy theo sự kết hợp giữa các kiểu chuyển động tạo thành các khối trượt có quy mô từ trung bình đến lớn.

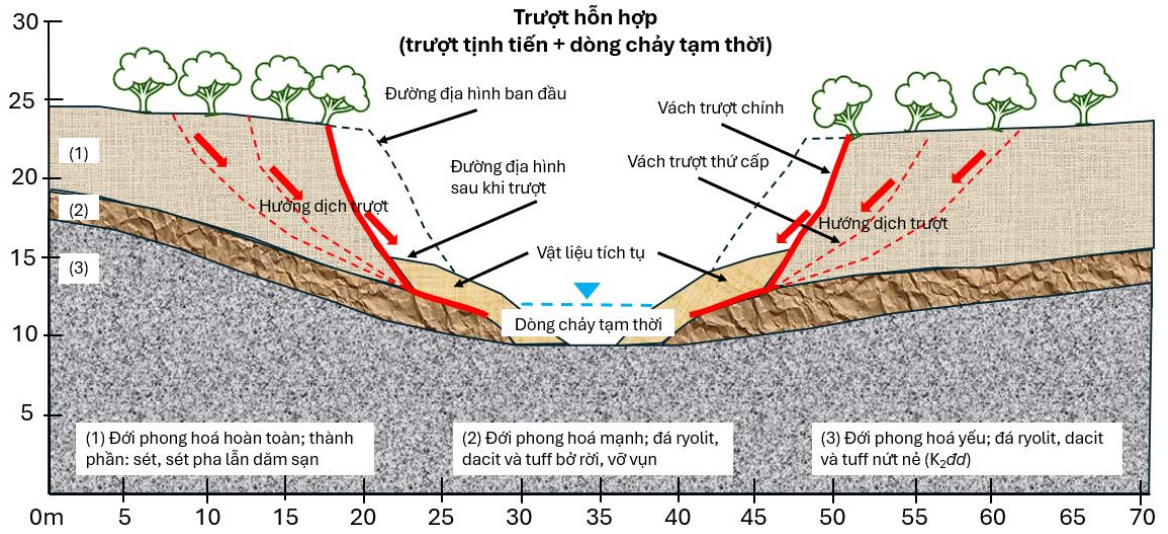
4a) Trượt tịnh tiến kết hợp kiểu đổ lở xảy ra trong hỗn hợp đất đá trên các mái dốc có sườn dốc tự nhiên kéo dài lên đỉnh. Vật liệu là cát pha, sét pha chứa sạn, dăm mảnh, khối tảng kích thước lớn ($d < 2m$) của lớp sườn tàn tích của thuộc phức hệ Cà Ná, pha 1 (K_2cn_1); kiểu trượt này có quy mô từ nhỏ đến lớn. Ban đầu, trượt tịnh tiến xuất hiện trên mái dốc gây mất ổn định tại nơi tiếp giáp giữa mái dốc nhân tạo và sườn dốc tự nhiên, khiến cho các khối đá hòn tảng có dạng đẳng thước phía trên sườn dốc lăn và rơi xuống tích tụ tại chân mái dốc gây phá hủy đường và rủi ro cho phương tiện và con người. Nguyên nhân do sườn dốc tự nhiên có góc dốc $> 25^\circ$ bị cắt xẻ tạo

thành góc mái dốc $>50^\circ$, khiến lớp đất đá trên mái dốc trở nên không ổn định, dễ bị thấm nước và chịu tác động của tải trọng lớn của đất đá phía trên phát sinh trượt tịnh tiến khiến cho đất đá phía trên mất điểm tựa gây đổ lở (Hình 2.7).



Hình 2.7. Kiểu trượt hỗn hợp (DCo), tại đường tỉnh lộ 725, TP. Đà Lạt: a) Mặt cắt mô tả và b) ảnh chụp hiện trường (2020)

4b) Trượt tịnh tiến kết hợp dòng chảy tạm thời thường xảy ra trong các bồn thu nước lớn. Ban đầu, trượt tịnh tiến xuất hiện trên sườn dốc có dạng cung tại đỉnh, sau đó mở rộng ra hai bên và dịch chuyển tích tụ tại chân sườn dốc. Khi dòng chảy tập trung đủ mạnh, cuốn theo vật liệu trượt xuống nền địa hình thấp hơn, trong quá trình di chuyển ma sát giữa vật liệu với đất đá hai bên sườn dốc có khả năng tiếp tục gây phá hủy phần chân sườn dốc dọc theo dòng chảy. Kiểu trượt này chủ yếu bị ảnh hưởng bởi động lực của dòng nước mặt tập trung, thường phát triển quy mô lớn ở khu vực chân núi Langbiang của lớp đất sườn tàn tích được hình thành từ đá ryolit dacit và các tuff thuộc hệ tầng Đơn Dương (K_2dd), cùng với đá sét kết và bột kết của hệ tầng La Ngà (J_2ln). Nguyên nhân chính là do mưa lớn trên địa hình thiếu lớp thực vật che phủ, nơi đất đá kém bền vững dễ phát sinh trượt lở; vật liệu bờ rời tích tụ theo khe rãnh, bị bão hòa nước và di chuyển theo trọng lực (Hình 2.8).



a)



b)

Hình 2.8. Kiểu trượt hỗn hợp (DCo), trên sườn dốc tại chân núi Lang Biang, TT. Lạc Dương: a) Mặt cắt mô tả và b) Ảnh chụp Google Earth (2017)

2.2.1.2. Hiện trạng phân bố trượt đất

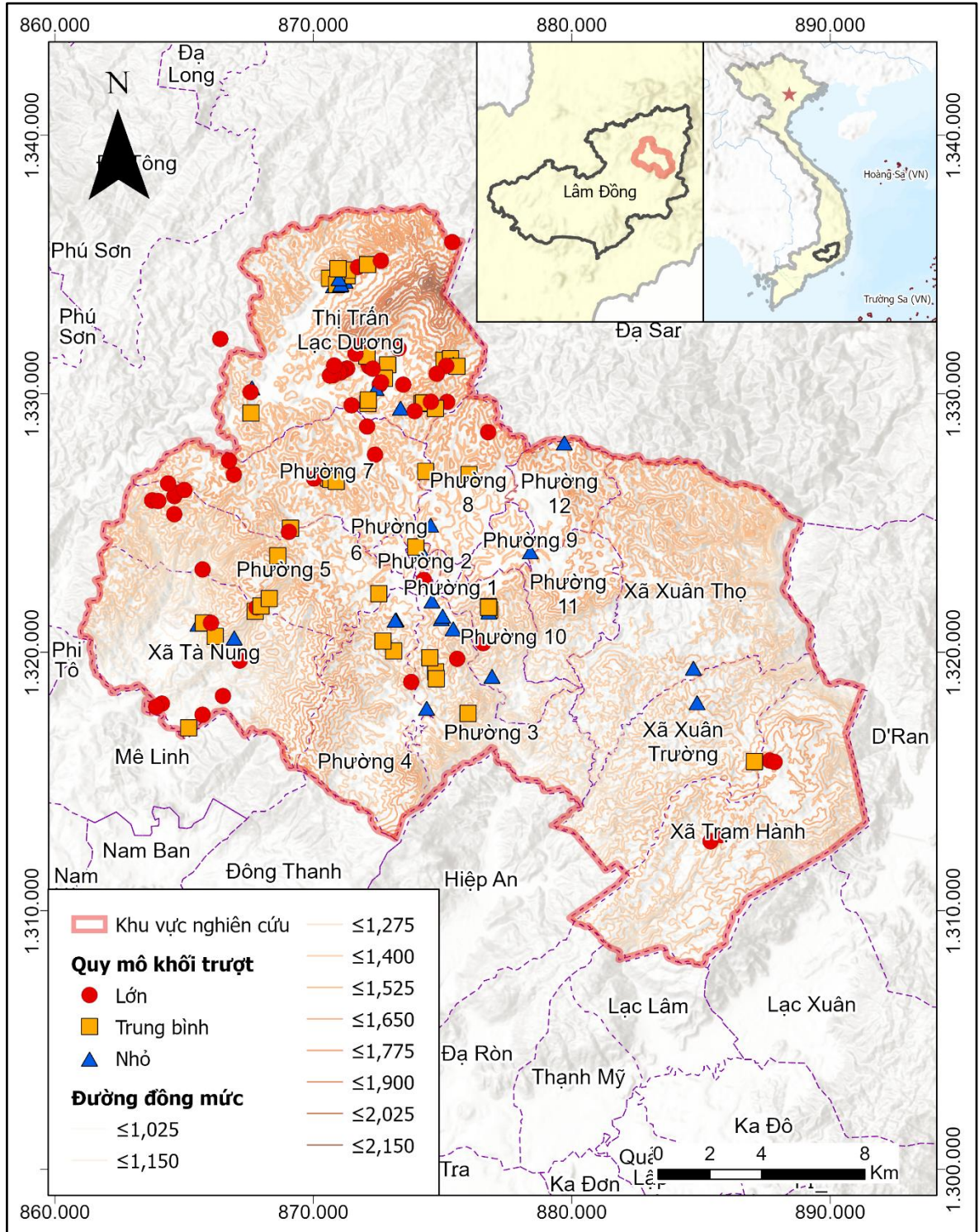
Cơ sở dữ liệu về hiện trạng trượt đất do NCS thực hiện đã thống kê được tổng cộng 125 vị trí trượt đất, trong đó 83 vị trí xảy ra trước năm 2016 và 42 vị trí phát sinh từ năm 2016 đến nay [4].

Phân bố trượt đất theo không gian cho thấy sự chênh lệch rõ rệt giữa các khu vực trong khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương như sau (Hình 2.9):

- Khu vực phía Tây Bắc, bao gồm Thị trấn Lạc Dương, Phường 7, Phường 5 và xã Tà Nung, là nơi tập trung nhiều điểm trượt nhất, đặc biệt là các điểm trượt quy mô lớn, cho thấy đặc trưng địa hình dốc mạnh, chia cắt phức tạp và có hoạt động nhân sinh xen lẫn với rừng trồng hoặc đất trống.

- Khu vực trung tâm đô thị Đà Lạt, bao gồm Phường 1, Phường 2, Phường 5, Phường 6 và Phường 10, có mật độ trượt đất quy mô trung bình khá cao, phân bố dọc theo các tuyến đường chính và khu vực có mật độ xây dựng dày đặc. Đây là khu vực chịu ảnh hưởng của điều kiện địa hình dốc và áp lực phát triển hạ tầng đô thị.

- Phía Nam và Đông Nam khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, gồm các phường như Phường 3, Phường 4, Phường 11, xã Xuân Thọ và xã Tràm Hành, ghi nhận nhiều điểm trượt đất quy mô nhỏ đến trung bình, chủ yếu phân bố rải rác dọc các sườn thấp và vùng chuyển tiếp giữa đô thị và đất sản xuất nông nghiệp.



Hình 2.9. Hiện trạng phân bố trượt đất theo quy mô tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

Phân loại 125 điểm trượt đất theo kiểu chuyển động do Varnes đề xuất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (Bảng 2.2), cho thấy:

- Kiểu trượt phổ biến nhất là trượt tịnh tiến (Translation) với 62 điểm (49,6%), phân bố đều ở các quy mô: nhỏ (23), trung bình (23), lớn (16).

- Kiểu trượt xoay (Rotation) phổ biến thứ hai với 33 điểm (26,4%), phân bố chủ yếu ở quy mô lớn (21), tiếp đến là trung bình (10) và nhỏ (2).

- Kiểu trượt hỗn hợp (Complex) có 19 điểm (15,2%), tập trung phần lớn ở quy mô lớn (13), còn lại là trung bình (6), không ghi nhận ở quy mô nhỏ.

- Kiểu trượt dòng (Flow) có 11 điểm (8,8%), tập trung phần lớn ở quy mô lớn (6) và trung bình (4), quy mô nhỏ (1).

Bảng 2.2. Phân loại trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (theo Varnes đề xuất)

TT	Kiểu chuyển động	Ký hiệu	Quy mô			Tổng số	Tỷ lệ (%)
			Nhỏ	TB	Lớn		
1	Trượt tịnh tiến (Tr)	Tr	23	23	16	62	49.6
2	Trượt xoay (Ro)	Ro	2	10	21	33	26.4
3	Trượt hỗn hợp (Co)	Co	0	6	13	19	15.2
4	Trượt dòng (Fl)	Fl	1	4	6	11	8.8
Tổng cộng			26	43	56	125	100

Phân loại trượt đất theo kiểu chuyển động và nguồn gốc VPH phát sinh (kiểu thạch học đặc trưng), được xác định như sau (Bảng 2.3):

- VPH của đá trầm tích lục nguyên (thành phần là sét, sét pha) xảy ra phổ biến nhất với tổng cộng 65 điểm trượt, chiếm hơn một nửa tổng số điểm ghi nhận. Trong loại thạch học này, kiểu trượt tịnh tiến chiếm ưu thế (34 điểm), tiếp đến là kiểu trượt xoay (17 điểm), kiểu trượt dòng (8 điểm) và kiểu trượt hỗn hợp (6 điểm).

- VPH của đá xâm nhập và phun trào axit - trung tính (thành phần là sét, sét pha, cát pha chứa sạn sỏi, dăm mảnh), tổng số điểm trượt ghi nhận là 53, trong đó kiểu trượt tịnh tiến và trượt xoay tiếp tục chiếm ưu thế (lần lượt 26 và 15 điểm), các kiểu còn lại gồm hỗn hợp (9 điểm) và không có trượt dòng.

- VPH trên đá phun trào bazơ (thành phần là sét lẫn sạn sỏi) có số điểm trượt thấp nhất với 7 trường hợp, trong đó kiểu trượt hỗn hợp chiếm ưu thế (4 điểm), còn lại mỗi kiểu trượt tịnh tiến ghi nhận 2 điểm và trượt xoay là 1 điểm.

Tổng hợp cho thấy kiểu trượt tịnh tiến và kiểu trượt xoay là phổ biến nhất trong tất cả các nhóm thạch học, đặc biệt là tại các khu vực có thành phần sét, sét pha và cát pha chứa dăm sạn.

Bảng 2.3. Thống kê kiểu chuyển động trên các VPH sườn - tàn tích (kiểu thạch học đặc trưng) tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương

TT	Kiểu trượt đất	VPH đá trầm tích lục nguyên	VPH đá xâm nhập axit - trung tính	VPH đá phun trào axit - trung tính	VPH đá phun trào bazơ	Tổng cộng
		Kiểu thạch học				
		Sét, sét pha	Sét, sét pha, cát pha chứa sạn sỏi, dăm mảnh		Sét lẫn sạn sỏi	
1	Trượt tịnh tiến (Tr)	34	19	7	2	62
2	Trượt xoay (Ro)	17	7	8	1	33
3	Trượt hỗn hợp (Co)	6	7	2	4	19
4	Trượt dòng (Fl)	8	3	0	0	11
Tổng cộng		65	36	17	7	125

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 trống (DTR). Các điểm trượt được phân loại theo ba quy mô: nhỏ, trung bình và lớn, phản ánh mức độ có khả năng gây tổn thương với từng đối tượng, cụ thể như sau:

- Đối tượng chịu ảnh hưởng nhiều nhất là CTXD với 33 điểm trượt (26,4%), phân bố đều theo quy mô: lớn (12), nhỏ (11) và trung bình (10); phản ánh vai trò trực tiếp của các hoạt động đào đắp, cắt xẻ sườn dốc trong xây dựng gây mất ổn định mái dốc.

- Đường giao thông có 31 điểm trượt (24,8%), tập trung chủ yếu ở quy mô trung bình (19), còn lại là nhỏ (7) và lớn (5); cho thấy quá trình cắt xẻ sườn dốc mở rộng hạ tầng giao thông trên địa hình dốc là yếu tố kích hoạt phổ biến.

- Đất trống có 27 điểm trượt (21,6%), phân bố chủ yếu với ở quy mô lớn (12) và trung bình (9), một số ở quy mô nhỏ (6). Những khu vực này thường là sườn dốc chưa xây dựng nhưng đã khai thác lớp thảm phủ thực vật.

- Vườn hoa màu (VHM) có 20 điểm trượt (16,0%), chủ yếu ở quy mô lớn (14), còn lại là trung bình (4) và nhỏ (2); xuất phát từ việc cải tạo địa hình san gạt bề mặt, canh tác trên sườn dốc, gây xói mòn và tích nước tầng đất.

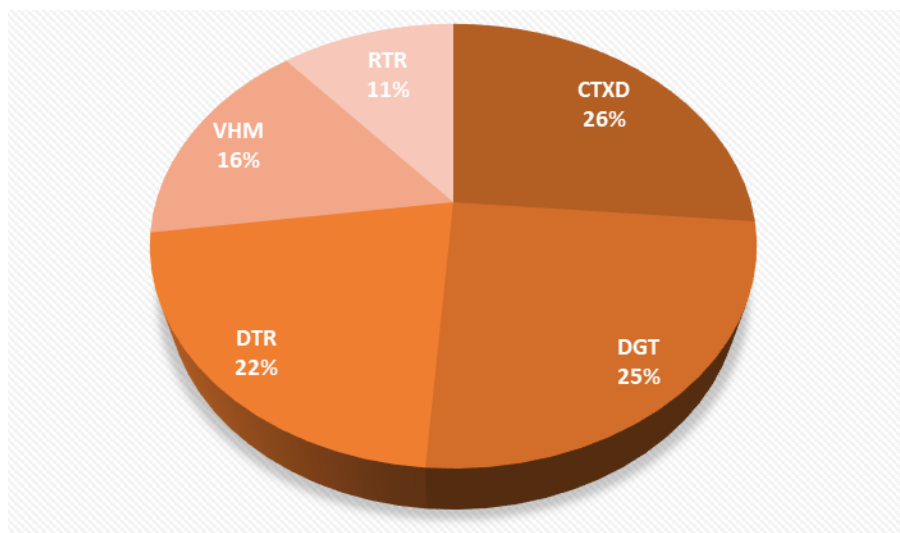
- Rừng trồng là đối tượng ít bị ảnh hưởng nhất với 14 điểm trượt (11,2%), hầu

hết ở quy mô lớn (13), chỉ 1 điểm ở trung bình và không có ở quy mô nhỏ. Các điểm trượt này thường phân bố tại các khu vực địa hình cao, phân cắt mạnh, nơi có lớp VPH phát triển.

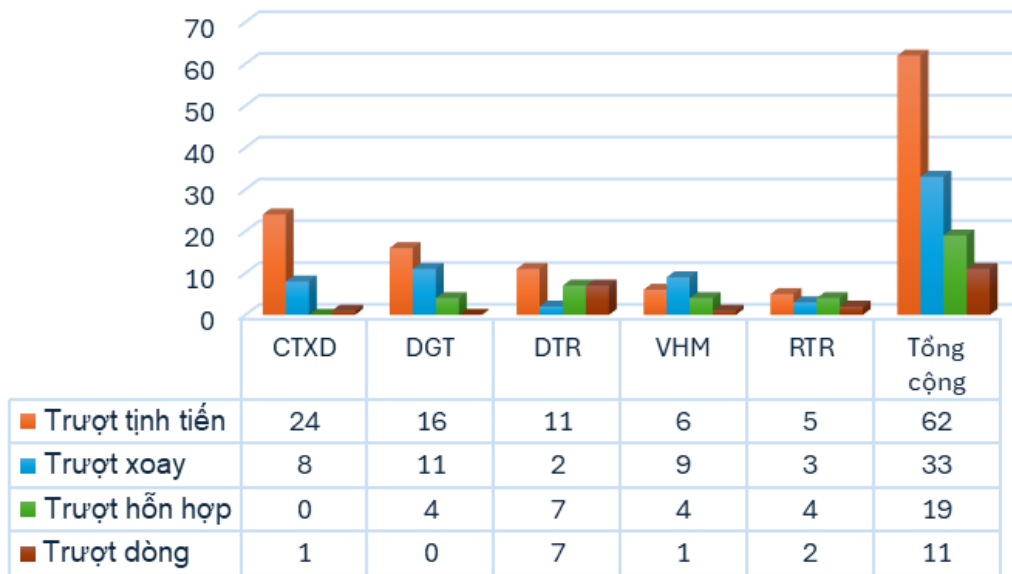
Nhìn chung, kết quả cho thấy các hoạt động nhân sinh là nguyên nhân thúc đẩy chính dẫn đến trượt đất tại khu vực Đà Lạt - Lạc Dương, trong khi các yếu tố tự nhiên đóng vai trò điều kiện nhưng ít xảy ra trượt đất nếu không bị tác động từ bên ngoài, chi tiết tại *Bảng 2.4* và *Hình 2.10*.

Bảng 2.4. Thống kê các đối tượng chịu ảnh hưởng của trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương

TT	Đối tượng chịu ảnh hưởng	Ký hiệu	Số điểm trượt	Tỉ lệ (%)	Quy mô trượt đất			Vai trò thúc đẩy
					Nhỏ	Trung bình	Lớn	
1	Công trình xây dựng	CTXD	33	26,4	11	10	12	Nhân sinh
2	Đường giao thông	DGT	31	24,8	7	19	5	Nhân sinh
3	Đất trống	DTR	27	21,6	6	9	12	Tự nhiên và Nhân sinh
4	Vườn hoa màu	VHM	20	16,0	2	4	14	Nhân sinh
5	Rừng trồng	RTR	14	11,2	0	1	13	Tự nhiên
Tổng cộng			125	100,0	26	43	56	-



Hình 2.10. Biểu đồ tỷ lệ phần trăm các đối tượng chịu ảnh hưởng do trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương



Hình 2.11. Biểu đồ các kiểu trượt đất tác động tới đối tượng chịu ảnh hưởng tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương

Phân loại kiểu trượt đất tác động lên các đối tượng chịu ảnh hưởng tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương cho thấy (Hình 2.11):

- Trượt tịnh tiến là kiểu trượt phổ biến nhất (54 điểm), tác động đến hầu hết các đối tượng sử dụng đất, đặc biệt là CTXD (24 điểm), tiếp theo là đường giao thông (16 điểm) và đất trống (11 điểm). Trượt tịnh tiến là dễ xảy ra ở các khu vực có can thiệp mạnh vào sườn dốc như xây dựng và mở đường.

- Trượt xoay cũng xuất hiện khá phổ biến (33 điểm), trong đó đường giao thông (11 điểm), vườn hoa màu (9 điểm) và là hai đối tượng chính bị ảnh hưởng. Sự phổ biến của trượt xoay tại khu vực sản xuất nông nghiệp phản ánh ảnh hưởng của quá trình cải tạo bề mặt, giữ nước và biến dạng nền trên sườn dốc tự nhiên.

- Trượt hỗn hợp (19 điểm) xảy ra chủ yếu ở khu vực đất trống (7 điểm) và các khu vực trồng rừng hoặc vườn hoa màu (4 điểm mỗi đối tượng), đây là kiểu trượt phát sinh ở nơi có sự tương tác giữa mất ổn định tự nhiên và biến đổi do con người.

- Trượt dòng, tuy ít phổ biến hơn (11 điểm), lại phân bố nhiều nhất tại đất trống (7 điểm) và rừng trồng (2 điểm) là các khu vực chịu ảnh hưởng lớn bởi dòng chảy tự nhiên khi có mưa lớn kéo dài.

Tại biến trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương đặc trưng bởi các kiểu trượt tịnh tiến, trượt xoay và trượt hỗn hợp, chủ yếu được hình thành và phát triển do quá trình đô thị hóa mạnh mẽ trên địa hình dốc.

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

Trên cơ sở phân tích tài liệu nghiên cứu trước và kết quả khảo sát thực địa, nghiên cứu lựa chọn 8 yếu tố chính đại diện cho nhóm điều kiện - nguyên nhân gây trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, phản ánh đầy đủ mối quan hệ giữa

điều kiện tự nhiên và tác động nhân sinh. Các yếu tố được đánh giá theo thứ tự mức độ ảnh hưởng như sau: 1) Độ dốc địa hình đóng vai trò quan trọng quyết định, có quan hệ trực tiếp đến sự thay đổi hệ số ổn định sườn dốc; 2) Lượng mưa là yếu tố động lực ngoại sinh, có vai trò quan trọng chính do có khả năng thúc đẩy mạnh quá trình trượt diễn ra nhanh hơn. Nước mưa không chỉ làm tăng tải trọng thể tích mà còn giảm độ bền của đất, gia tăng áp lực thủy tĩnh và thủy động trong mái dốc; 3) Đặc điểm thạch học của các thành tạo địa chất đóng vai trò quan trọng tiếp theo, chi phối khả năng chống trượt của khối đất thông qua độ bền cơ học của vật liệu tạo nên sườn dốc; 4) Kiểu vỏ phong hoá và 5) Cơ cấu sử dụng đất có vai trò thấp hơn và tương đương nhau. Trong đó, kiểu vỏ phong hoá đặc trưng bởi thành phần khoáng vật sét (như kaolinit, montmorillonit, hydromica) với khả năng hút nước, trương nở và liên kết khác nhau, ảnh hưởng rõ rệt đến độ bền và tính ổn định của sườn dốc. Trong khi đó, cơ cấu sử dụng đất phản ánh tác động của hoạt động nhân sinh như san gạt địa hình, xây dựng công trình và suy giảm thảm phủ thực vật, làm thay đổi điều kiện ổn định tự nhiên và gia tăng tải trọng trên mái dốc.; 6) Khoảng cách tới đứt gãy có vai trò nhất định, thể hiện mức độ dập vỡ, nứt nẻ của đất đá - tạo điều kiện cho dòng thấm phát triển sâu, làm suy giảm độ bền đất theo thời gian và góp phần thúc đẩy hiện tượng trượt; nhóm yếu tố 7) Mật độ phân cắt sâu địa hình và 8) Mật độ phân cắt ngang địa hình đóng vai trò gián tiếp và tương đương nhau. Phân cắt sâu làm gia tăng thể năng trọng lực và lực gây trượt tiềm tàng, trong khi phân cắt ngang phản ánh mức độ xâm thực chân dốc của dòng chảy, qua đó góp phần làm suy yếu điều kiện ổn định của sườn dốc.

Mỗi yếu tố lựa chọn đánh giá được phân chia thành 5 cấp ảnh hưởng, với mức độ nguy cơ được xác định dựa trên mật độ điểm trượt lở (số điểm trượt/ diện tích phân bố theo cấp). Cách tiếp cận này cho phép lượng hóa vai trò tương đối của từng yếu tố trong cơ chế hình thành trượt đất, từ đó hỗ trợ xây dựng bản đồ nguy cơ trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

2.2.3.1. Ảnh hưởng của yếu tố độ dốc

Độ dốc địa hình là một trong những yếu tố có vai trò quyết định tới sự hình thành và phát triển trượt lở. Trên cơ sở dữ liệu địa hình số tỷ lệ 1:25.000, khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương được chia thành 05 khoảng độ dốc: từ 0° - 15° , 15° - 25° , 25° - 35° , 35° - 45° và lớn hơn 45° (Phụ lục 1, Bảng PL1.1 và Hình PL1.1).

Kết quả cho thấy độ dốc là yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến trượt lở đất nhưng không theo tuyến tính. Khoảng 15° - 25° có mật độ điểm trượt cao nhất (0,342 điểm/km²), được đánh giá mức ảnh hưởng 9 điểm - cao nhất. Khoảng 25° - 35° (0,289 điểm/km²) có ảnh hưởng 7 điểm; 0° - 15° (0,216 điểm/km²) và 35° - 45° (0,206

điểm/km²) lần lượt được đánh giá 5 và 3 điểm. Khoảng $>45^\circ$ không ghi nhận điểm trượt nào, ảnh hưởng 1 điểm. Như vậy, nguy cơ trượt cao nhất tập trung ở khoảng độ dốc từ $15-35^\circ$.

2.2.3.2. Ảnh hưởng của yếu tố phân cắt sâu địa hình

Mật độ phân cắt sâu địa hình thể hiện thế năng địa hình bởi khi độ cao tương đối càng lớn thì thế năng địa hình càng cao do đó dưới tác động của trọng lực và yếu tố ảnh hưởng khác sẽ thúc đẩy quá trình dịch chuyển của đất đá xảy ra với động năng lớn hơn. Mật độ phân cắt sâu địa hình được tính bằng độ chênh cao tương đối đỉnh các địa hình dương và đáy của các địa hình âm gần nhất. Giá trị này ở khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương được xây dựng từ bản đồ địa hình số tỷ lệ 1:25.000 thành 5 cấp khác nhau (*Phụ lục 1, Bảng PL1.2 và Hình PL1.2*).

Kết quả phân tích cho thấy mật độ điểm trượt không tăng tuyến tính theo mật độ phân cắt sâu. Khoảng 200-400 m/km² có diện tích lớn nhất (231,97 km²), ghi nhận mật độ điểm trượt cao nhất (0,323 điểm/km²), được đánh giá ảnh hưởng 9 điểm - cao nhất. Khoảng 0-200 m/km² có mật độ điểm trượt lớn thứ hai (0,285 điểm/km²), ảnh hưởng 7 điểm. Các khoảng 400-600 m/km² và 600-800 m/km² có mật độ lần lượt là 0,171 và 0,165 điểm/km², được đánh giá 5 và 3 điểm. Riêng khoảng 800-1000 m/km² không ghi nhận điểm trượt nào, ảnh hưởng 1 điểm. Như vậy, nguy cơ trượt lở cao nhất xảy ra tại các khu vực có phân cắt trung bình (200-400 m/km²), nơi điều kiện địa hình thuận lợi cho tích tụ vật liệu và phát sinh mất ổn định mái dốc.

2.2.3.3. Ảnh hưởng của yếu tố phân cắt ngang địa hình

Mật độ phân cắt ngang địa hình thể hiện khả năng xâm thực của địa hình bởi mạng lưới dòng chảy càng phát triển thì khả năng xâm thực của nước càng lớn do đó tác động trực tiếp đến độ ổn định của đất đá trên sườn dốc địa hình, từ đó thúc đẩy quá trình phong hoá mạnh mẽ hơn dẫn đến phát sinh trượt lở. Mật độ phân cắt ngang được xây dựng dựa trên chiều dài mạng lưới sông suối cơ sở và dữ liệu nền địa hình số tỷ lệ 1: 25.000. Như vậy, giá trị này càng lớn thể hiện mức độ xâm thực của dòng chảy càng cao trên đơn vị diện tích xác định (thường là 1km²) và ngược lại (*Phụ lục 1, Bảng PL1.3 và Hình PL1.3*).

Kết quả cho thấy mật độ điểm trượt không tăng tuyến tính theo mật độ phân cắt ngang địa hình. Nhóm có mật độ phân cắt >2 km/km² có diện tích nhỏ nhất (63,23 km²) nhưng mật độ điểm trượt cao nhất (0,459 điểm/km²), được đánh giá ảnh hưởng 9 điểm - cao nhất. Nhóm 0,5-1 km/km² có mật độ 0,255 điểm/km² - cao thứ hai, ảnh hưởng 7 điểm. Các nhóm $<0,5$ km/km² và 1,5-2 km/km² có mật độ tương đương (0,254 và 0,249 điểm/km²), lần lượt được xếp 5 và 3 điểm. Nhóm 1-1,5 km/km² có mật độ điểm trượt thấp nhất (0,196 điểm/km²), ảnh hưởng 1 điểm. Như

vậy, trượt đất có xu hướng tập trung ở khu vực địa hình bị chia cắt mạnh (phân cắt ngang $>2 \text{ km/km}^2$), nơi dễ hình thành sườn dốc ngấn, gãy khúc và tích tụ nước hoặc vật liệu rời, tạo điều kiện thuận lợi cho trượt đất xảy ra.

2.2.3.4. Ảnh hưởng của yếu tố thạch học

Khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương có sự phân bố của 07 thành tạo địa chất chính, có tuổi Jura, Kreta và Đệ tứ. Trên cơ sở đặc điểm thạch học của các thành tạo địa chất có cùng nguồn gốc, nhóm thành 05 nhóm chính có diện phân bố rộng trong khu vực nghiên cứu, gồm: 1) Nhóm đá trầm tích lục nguyên (J_2ln , K_2dr); 2) Nhóm đá xâm nhập axit (K_2cn_1 , K_2cn_2 , $J_3đq_3$); 3) Nhóm đá phun trào axit và các tuff ($K_2đđ$); 4) Nhóm đá phun trào bazơ ($\beta_{Q_{IIXI}}$) và 5) Trầm tích Đệ tứ không phân chia (apQ) (*Phụ lục 1, Bảng PL1.4 và Hình PL1.4*).

Kết quả phân tích cho thấy mật độ điểm trượt đất có sự khác biệt rõ rệt giữa các nhóm thạch học. Nhóm đá trầm tích lục nguyên (J_2ln , K_2dr) có mật độ điểm trượt cao nhất ($0,44 \text{ điểm/km}^2$) và được đánh giá ảnh hưởng 9 điểm. Nhóm đá xâm nhập axit - trung tính (K_2cn_1 , K_2cn_2 , $J_3đq_3$) đạt mật độ $0,28 \text{ điểm/km}^2$ - xếp thứ hai, tương ứng 7 điểm. Nhóm đá phun trào axit và các tuff ($K_2đđ$) có diện tích phân bố lớn nhất nhưng mật độ điểm trượt chỉ $0,18 \text{ điểm/km}^2$ - mức ảnh hưởng 5 điểm. Đá phun trào bazơ ($\beta_{Q_{IIXI}}$) có mật độ thấp ($0,14 \text{ điểm/km}^2$), ảnh hưởng 3 điểm. Trầm tích Đệ tứ không phân chia (apQ) không ghi nhận điểm trượt nhưng vẫn tiềm ẩn nguy cơ, được đánh giá ở mức 1 điểm. Như vậy, mức độ trượt đất có xu hướng gia tăng tại các khu vực phân bố nhóm đá trầm tích lục nguyên và nhóm đá xâm nhập axit - trung tính.

2.2.3.5. Ảnh hưởng của yếu tố vỏ phong hoá

Vỏ phong hóa (VPH) là yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình hình thành và quy mô phát triển trượt đất. VPH được hình thành từ các loại đá gốc khác nhau dưới tác động của phong hóa cơ học và hóa học, chịu chi phối bởi đặc điểm địa hình, khí hậu, thảm thực vật và loại đá nền. Quá trình này làm suy yếu cấu trúc ban đầu của đất, gia tăng độ rời rạc và tính thấm. Đặc biệt, hàm lượng sét cao trong VPH thường chứa các khoáng vật như kaolinit, montmorilonit và hydromica - những khoáng vật có khả năng trương nở, ưa nước và độ dẻo khác nhau, ảnh hưởng đáng kể đến độ ổn định sườn dốc trong điều kiện ẩm ướt. Như vậy, đặc tính thành phần, cấu trúc và độ dày của VPH là một trong những yếu tố nền tảng chi phối mức độ nhạy cảm trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (*Phụ lục 1, Bảng PL1.5 và Hình PL1.5*).

Kết quả cho thấy kiểu vỏ phong hóa (VPH) có ảnh hưởng khác nhau đến mật độ trượt đất. Kiểu $FeSiAl$ ghi nhận số điểm trượt nhiều nhất (73 điểm), với mật độ cao nhất ($0,384 \text{ điểm/km}^2$), được đánh giá mức ảnh hưởng 9 điểm - cao nhất. Kiểu $AlFe$ có diện tích nhỏ ($11,84 \text{ km}^2$) nhưng mật độ đạt $0,253 \text{ điểm/km}^2$ - đứng thứ hai,

được xếp 7 điểm. Kiểu SiAlFe phân bố rộng nhất (242,48 km²), ghi nhận 45 điểm trượt, mật độ 0,186 điểm/km² - ảnh hưởng 5 điểm. Kiểu apdQ có mật độ trung bình (0,218 điểm/km²), được đánh giá 3 điểm. Riêng kiểu Sa không ghi nhận điểm trượt, được xếp ảnh hưởng thấp nhất - 1 điểm. Như vậy, FeSiAl và SiAlFe là hai kiểu vỏ phong hoá có liên quan nhiều nhất đến hiện tượng trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

2.2.3.6. Ảnh hưởng của yếu tố kiến tạo

Hoạt động kiến tạo hình thành lên đới đứt gãy (đới phá huỷ) có quy mô khác nhau tùy vào mức độ hoạt động trong từng thời kỳ. Hệ thống đứt gãy càng phát triển càng làm mất đi tính liên tục của cấu trúc địa chất. Dọc theo các đới đứt gãy các thành tạo địa chất bị phá huỷ, đập vỡ tạo điều kiện cho quá trình xâm thực, phong hoá diễn ra nhanh hơn so với các thành tạo địa chất nằm ngoài phạm vi ảnh hưởng trực tiếp, nơi chỉ phát triển các hệ thống khe nứt thứ sinh đi kèm (*Phụ lục 1, Bảng PL1.6 và Hình PL1.6*).

Kết quả cho thấy mật độ điểm trượt giảm dần theo khoảng cách đến đứt gãy. Khoảng cách <200 m ghi nhận mật độ trượt cao nhất (0,439 điểm/km²), được đánh giá ảnh hưởng 9 điểm. Khoảng 200-400 m có mật độ gần tương đương (0,437 điểm/km²), xếp 7 điểm. Khoảng 400-700 m đạt mật độ 0,425 điểm/km², ảnh hưởng 5 điểm. Các khoảng cách xa hơn như 700-1000 m và >1000 m có mật độ giảm mạnh (0,291 và 0,158 điểm/km²), tương ứng mức ảnh hưởng 3 và 1 điểm. Như vậy, các khu vực gần đứt gãy có nguy cơ trượt đất cao hơn đáng kể, cho thấy đứt gãy là yếu tố địa chất quan trọng ảnh hưởng đến sự mất ổn định mái dốc tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

2.2.3.7. Ảnh hưởng của yếu tố sử dụng đất

Kết quả phân tích cho thấy mật độ các điểm trượt đất có sự khác biệt rõ rệt theo loại hình sử dụng đất, phản ánh vai trò quan trọng của yếu tố nhân sinh kết hợp với điều kiện tự nhiên trong quá trình phát sinh trượt đất (*Phụ lục 1, Bảng PL1.7 và Hình PL1.7*).

Kết quả cho thấy mật độ điểm trượt có sự khác biệt đáng kể giữa loại hình sử dụng đất. Nhóm đất chưa sử dụng, ít được che phủ thực vật ổn định có mật độ điểm trượt cao nhất (0,652 điểm/km²), tương ứng mức độ ảnh hưởng cao nhất (9 điểm). Nhóm đất ở và cơ sở văn hóa có diện tích khá lớn (94,62 km²) và ghi nhận mật độ trượt cao (0,433 điểm/km²), xếp 7 điểm ảnh hưởng. Nhóm đất trồng cây công nghiệp lâu năm có mật độ trượt ở mức trung bình (0,393 điểm/km², tương ứng 5 điểm ảnh hưởng). Nhóm đất rừng tự nhiên và rừng phòng hộ, mặc dù chiếm diện tích lớn nhất (299,69 km²), chỉ ghi nhận mật độ trượt thấp (0,180 điểm/km²), tương ứng 3 điểm

ảnh hưởng. Nhóm đất trồng cây hàng năm khác không ghi nhận điểm trượt trong giai đoạn nghiên cứu, có mức độ ảnh hưởng thấp nhất (1 điểm), tuy nhiên kết quả này có thể chịu ảnh hưởng bởi diện tích phân bố nhỏ và đặc điểm địa hình tương đối thoải của loại hình sử dụng đất này. Như vậy, loại hình sử dụng đất thể hiện nguy cơ trượt đất cao hơn rõ rệt giữa khu vực chịu tác động mạnh của con người hoặc có điều kiện tự nhiên bất lợi so với các khu vực có thảm phủ tự nhiên ổn định.

2.2.3.8. Ảnh hưởng của yếu tố mưa

Kết quả cho thấy mật độ điểm trượt có xu hướng tăng theo lượng mưa. Vùng có lượng mưa $>2000\text{mm}$ ghi nhận mật độ điểm trượt cao nhất ($414,54$ điểm/ km^2), được đánh giá ảnh hưởng 9 điểm. Khoảng $1800\text{-}2000$ mm có mật độ gần tương đương ($414,38$ điểm/ km^2), xếp 7 điểm. Hai khoảng mưa trung bình $1600\text{-}1800$ mm và $1400\text{-}1600$ mm lần lượt đạt $82,00$ và $60,74$ điểm/ km^2 , được đánh giá 5 và 3 điểm. Vùng có lượng mưa dưới 1400 mm không ghi nhận điểm trượt nào, ảnh hưởng 1 điểm. Như vậy, nguy cơ trượt lở tăng rõ rệt tại các khu vực có lượng mưa cao hơn, cho thấy mưa là yếu tố kích hoạt quan trọng trong các sự kiện trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (Phụ lục 1, Bảng PL1.8 và Hình PL1.8).

2.2.4. Đánh giá nguy cơ trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương

2.2.4.1. Diễn biến nguy cơ trượt đất theo thời gian

Mức độ tác động của các yếu tố tự nhiên đến quá trình trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương được xác định thông qua phương pháp phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process - AHP) theo đề xuất của Saaty. Phương pháp này cho phép lượng hóa tầm quan trọng tương đối giữa các yếu tố thông qua ma trận so sánh cặp, từ đó xác định trọng số đặc trưng cho từng yếu tố trong mô hình đánh giá.

Trước hết, ma trận so sánh cặp giữa các yếu tố được xây dựng dựa trên thang đo 1-9 của Saaty, phản ánh mức độ ưu tiên tương đối giữa từng cặp yếu tố (Bảng 2.5). Các phần tử trên đường chéo chính có giá trị bằng 1, trong khi các phần tử đối xứng qua đường chéo chính là nghịch đảo của nhau, đảm bảo tính nhất quán hình thức của ma trận.

Tiếp theo, tổng giá trị của từng cột trong ma trận được tính toán để phục vụ quá trình chuẩn hóa. Mỗi phần tử của ma trận được chia cho tổng cột tương ứng nhằm thu được ma trận chuẩn hóa (Bảng 2.6). Trên cơ sở đó, trọng số của từng yếu tố được xác định bằng giá trị trung bình cộng của các phần tử theo từng hàng trong ma trận chuẩn hóa. Kết quả cho thấy, yếu tố độ dốc (DDOC) có mức độ ảnh hưởng lớn nhất với trọng số $0,359$; tiếp theo là lượng mưa (LMUA) với trọng số $0,226$ và đặc điểm thạch học (TH) với trọng số $0,141$. Các yếu tố còn lại bao gồm vỏ phong hóa (VPH) và sử dụng đất (SDD) có trọng số tương đương ($0,082$); tiếp đến là khoảng cách tới

đứt gãy (DGAY) với trọng số 0,051 và thấp nhất là các yếu tố phân cắt sâu địa hình (PCS) và phân cắt ngang địa hình (PCN) với trọng số 0,030.

Để đánh giá độ tin cậy của ma trận so sánh cặp, chỉ số nhất quán (Consistency Index - CI) và tỷ số nhất quán (Consistency Ratio - CR) được tính toán. Kết quả cho thấy giá trị CR nhỏ hơn 0,1, do đó ma trận so sánh cặp được xem là đạt yêu cầu về tính nhất quán và các trọng số xác định là đáng tin cậy.

*Bảng 2.5. Ma trận so sánh giữa các yếu tố tự nhiên ảnh hưởng
khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương*

Các yếu tố	DDOC	LMUA	TH	VPH	SDD	DGAY	PCS	PCN
DDOC	1,000	2,000	3,000	5,000	5,000	7,000	9,000	9,000
LMUA	0,500	1,000	2,000	3,000	3,000	5,000	7,000	7,000
TH	0,333	0,500	1,000	2,000	2,000	3,000	5,000	5,000
VPH	0,200	0,333	0,500	1,000	1,000	2,000	3,000	3,000
SDD	0,200	0,333	0,500	1,000	1,000	2,000	3,000	3,000
DGAY	0,143	0,200	0,333	0,500	0,714	1,000	2,000	2,000
PCS	0,111	0,143	0,200	0,333	0,333	0,500	1,000	1,000
PCN	0,111	0,143	0,200	0,333	0,333	0,500	1,000	1,000
Tổng	2,598	4,652	7,733	13,167	13,381	21,000	31,000	31,000

*Bảng 2.6. Ma trận xác định trọng số các yếu tố tự nhiên ảnh hưởng
khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương*

Các yếu tố	DDOC	LMUA	TH	VPH	SDD	DGAY	PCS	PCN	Trọng số
DDOC	0,385	0,430	0,388	0,380	0,374	0,333	0,290	0,290	0,359
LMUA	0,192	0,215	0,259	0,228	0,224	0,238	0,226	0,226	0,226
TH	0,128	0,107	0,129	0,152	0,149	0,143	0,161	0,161	0,141
VPH	0,077	0,072	0,065	0,076	0,075	0,095	0,097	0,097	0,082
SDD	0,077	0,072	0,065	0,076	0,075	0,095	0,097	0,097	0,082
DGAY	0,055	0,043	0,043	0,038	0,053	0,048	0,065	0,065	0,051
PCS	0,043	0,031	0,026	0,025	0,025	0,024	0,032	0,032	0,030
PCN	0,043	0,031	0,026	0,025	0,025	0,024	0,032	0,032	0,030

Tỷ số nhất quán CR = 0,069 < 0,1 - Thỏa mãn; trong đó CI = 0,097 và RI = 1,41 (n=8)

Bản đồ chỉ số nguy cơ trượt lở được chồng chập từ các lớp bản đồ yếu tố tự nhiên ảnh hưởng được phân cấp có gán trọng số bằng công cụ Weight sum trên phần mềm ESRI - ArcGIS Pro 3.4. Chỉ số nguy cơ trượt lở (LSI) được xác định theo công thức:

$$LSI = 0,359 * DDOC + 0,226 * LMUA + 0,141 * DCTH + 0,082 * VPH + 0,082 * SDD + 0,051 * DGAY + 0,030 * PCS + 0,030 * PCN$$

Trong đó:

LSI - Chỉ số nguy cơ trượt lở

DDOC - Yếu tố độ dốc

LMUA - Yếu tố lượng mưa

TH - Yếu tố thạch học

VPH - Yếu tố vỏ phong hóa

SDD - Sử dụng đất

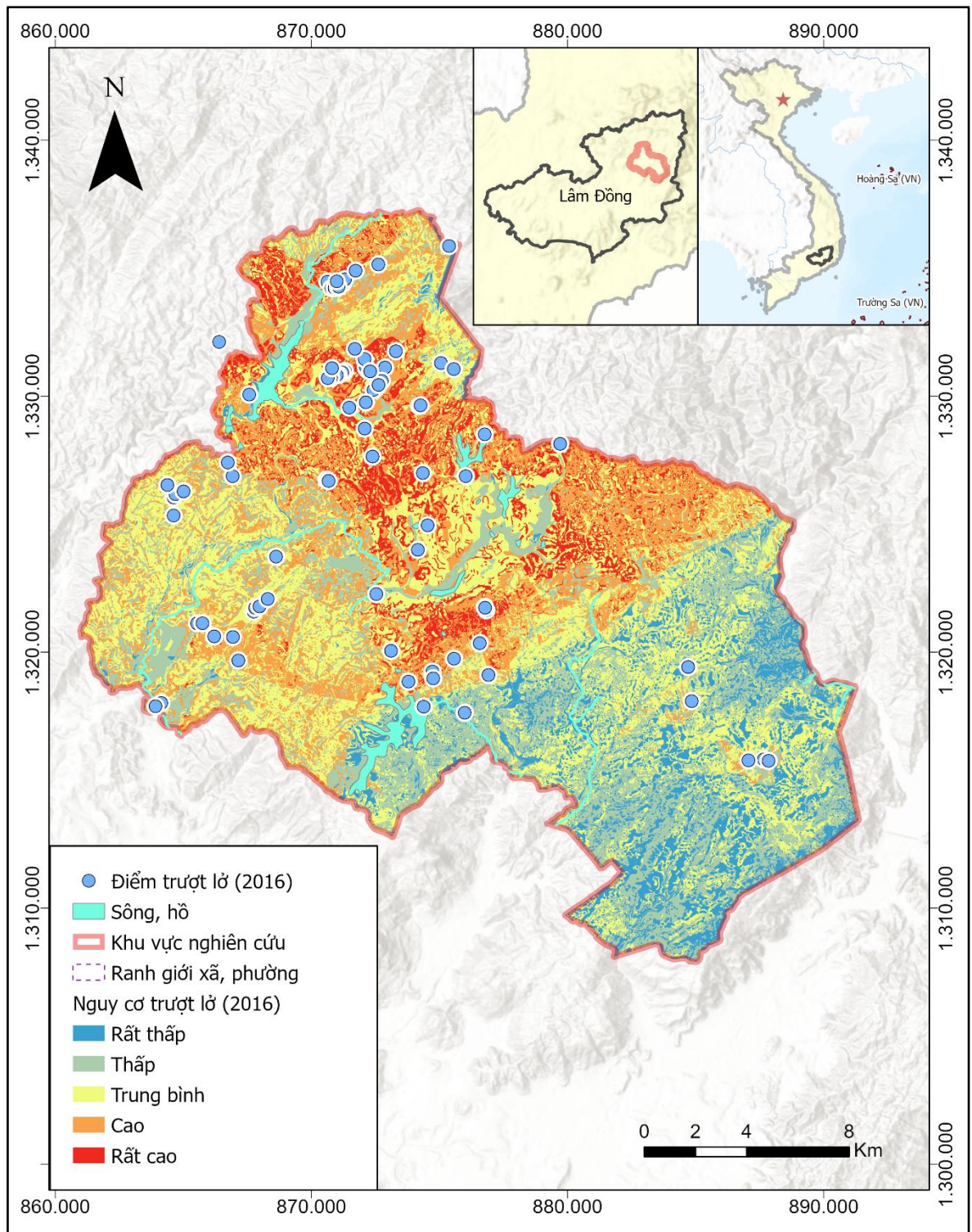
DGAY - Khoảng cách tới đứt gãy

PCS - Yếu tố phân cắt sâu

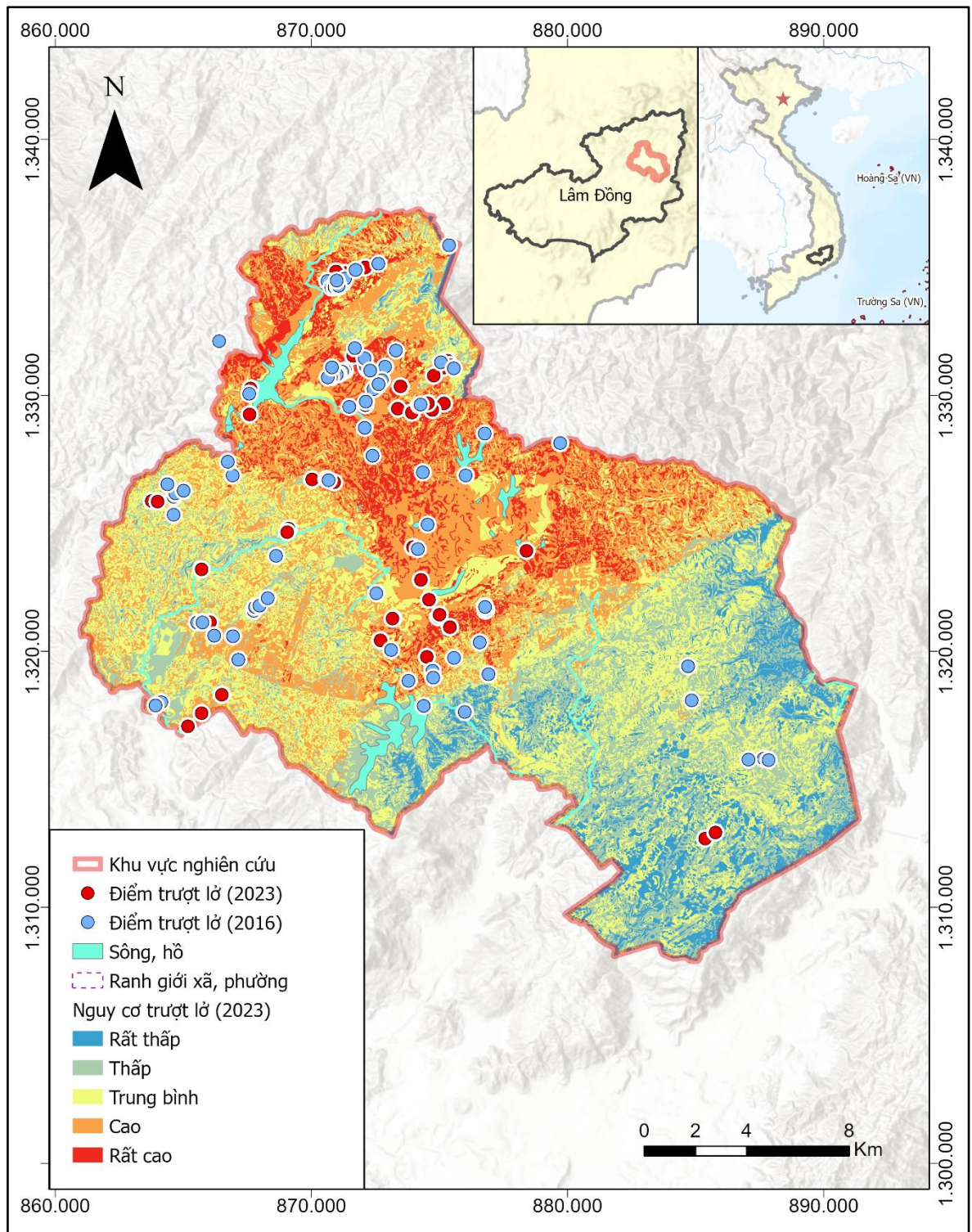
PCN - Yếu tố phân cắt ngang

Tỷ số nhất quán (CR) xác định được bằng $0,069 < 0,1$ là thỏa mãn điều kiện đối với các yếu tố ảnh hưởng được xét đến.

Bản đồ nguy cơ trượt đất khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương tỷ lệ 1: 25.000 được xây dựng tại hai thời điểm năm 2016 và 2023 (*Hình 2.12 và 2.13*), dựa trên kết quả đánh giá tổng hợp các bản đồ nguy cơ yếu tố thành phần nêu trên nhằm đánh giá diễn biến nguy cơ trượt đất theo không gian - thời gian và xác định xu hướng gia tăng nguy cơ dưới tác động của quá trình đô thị hóa. Bản đồ nguy cơ trượt đất, có tỷ lệ phần trăm diện tích nguy cơ trượt đất tương ứng cho từng cấp tại *Bảng 2.7*:



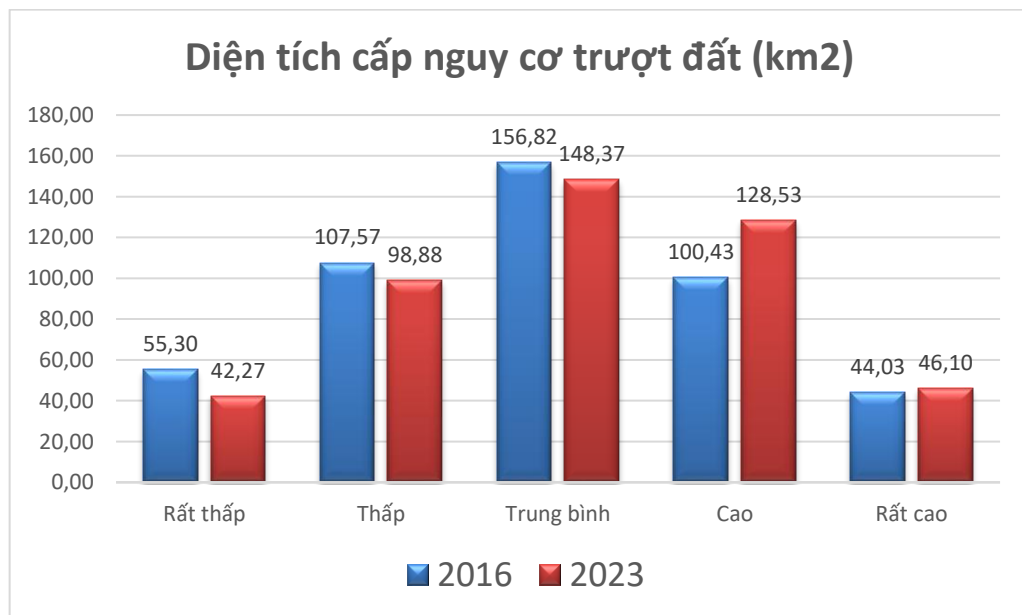
Hình 2.12. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố tự nhiên khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2016 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)



Hình 2.13. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố tự nhiên khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

Bảng 2.7. Mức độ tăng/ giảm theo tỷ lệ % cấp nguy cơ trượt đất so sánh giữa năm 2016 và 2023

TT	Chỉ số phân cấp nguy cơ (LSI)	Cấp nguy cơ	Năm 2016		Năm 2023		Mức độ tăng (+)/giảm (-)	
			Diện tích (km ²)	Tỷ lệ phần trăm diện tích (%)	Diện tích (km ²)	Tỷ lệ phần trăm diện tích (%)	Theo diện tích (km ²)	Theo tỷ lệ phần trăm diện tích (%)
1	$LSI \leq 4$	Rất thấp	55,30	11,91	42,27	8,96	-13,67	-2,95
2	$4 < LSI \leq 5$	Thấp	107,57	23,17	98,88	21,34	-8,52	-1,84
3	$5 < LSI \leq 6$	Trung bình	156,82	33,79	148,37	32,02	-8,20	-1,77
4	$6 < LSI \leq 7$	Cao	100,43	21,64	128,53	27,74	+28,25	+ 6,10
5	$LSI > 7$	Rất cao	44,03	9,49	46,10	9,95	+ 2,15	+ 0,46
Tổng cộng			464,15	100,00	464,15	100,00	0,00	0,00



Hình 2.14. Biểu đồ so sánh diện tích nguy cơ trượt đất năm 2016 và năm 2023

So sánh diện tích các cấp nguy cơ trượt đất theo yếu tố tự nhiên trong hai thời điểm năm 2016 và 2023 cho thấy xu hướng dịch chuyển rõ rệt giữa các vùng nguy cơ (Hình 2.14), như sau: Diện tích thuộc nhóm nguy cơ rất thấp và thấp có xu hướng giảm đáng kể, lần lượt từ 55,30 km² xuống 42,27 km² và từ 107,57 km² xuống 98,88 km², phản ánh sự thu hẹp của các khu vực an toàn. Trong khi đó, diện tích thuộc nhóm nguy cơ trung bình vẫn chiếm tỷ lệ lớn nhất trong cả hai năm (156,82 km² năm 2016 và 148,37 km² năm 2023). Đáng chú ý, diện tích vùng nguy cơ cao tăng mạnh từ 100,43 km² lên 128,53 km² và vùng nguy cơ rất cao cũng tăng nhẹ từ 44,03 km²

lên 46,10 km². Điều này cho thấy mức độ nguy cơ trượt đất đang có xu hướng gia tăng rõ rệt trong giai đoạn 2016-2023, đòi hỏi các giải pháp kiểm soát và tích hợp kịp thời vào quy hoạch phát triển không gian đô thị và công tác phòng ngừa thiên tai tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

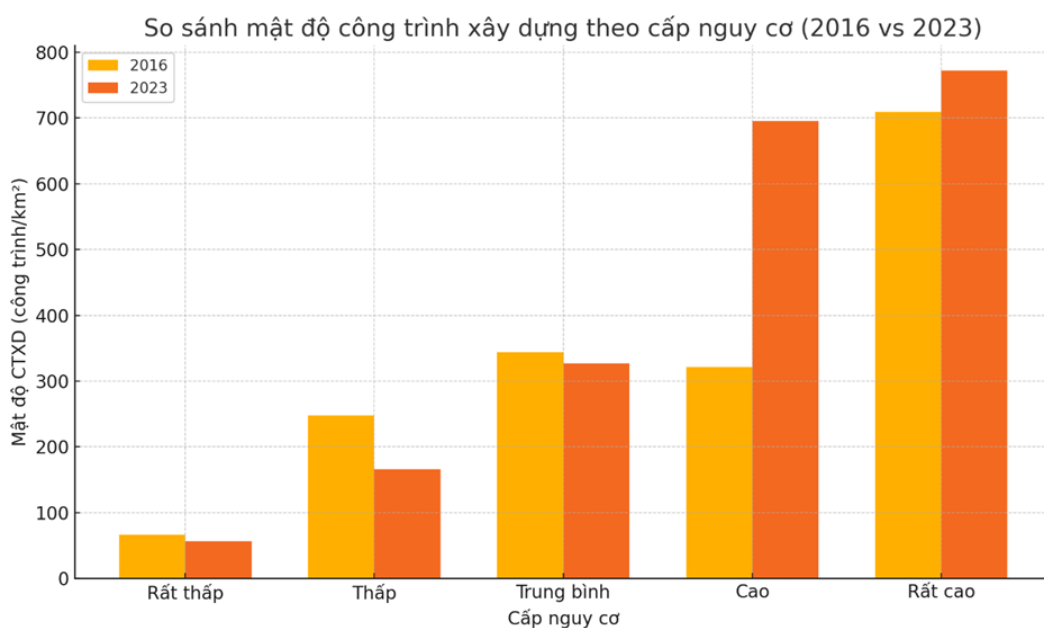
2.2.4.2. Nguy cơ trượt đất đối với CTXD

Trong giai đoạn 2016-2023, số lượng và mật độ CTXD trên toàn khu vực đã gia tăng đáng kể. Đặc biệt, sự phát triển nhanh chóng của các công trình tại những khu vực trước đây có nguy cơ trung bình trở xuống đã tạo ra áp lực lên nền địa hình - địa chất, do tác động tích lũy từ hoạt động xây dựng, thay đổi tải trọng bề mặt và phá vỡ ổn định mái dốc. Hệ quả là nhiều khu vực từng được phân cấp nguy cơ năm 2016 ở mức “trung bình”, “thấp” và “rất thấp” đã chuyển thành vùng có cấp nguy cơ cao hơn tại năm 2023. Diễn biến này dẫn đến sự gia tăng đáng kể nguy cơ thiệt hại khi trượt đất xảy ra, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu và mưa cực đoan ngày càng gia tăng.

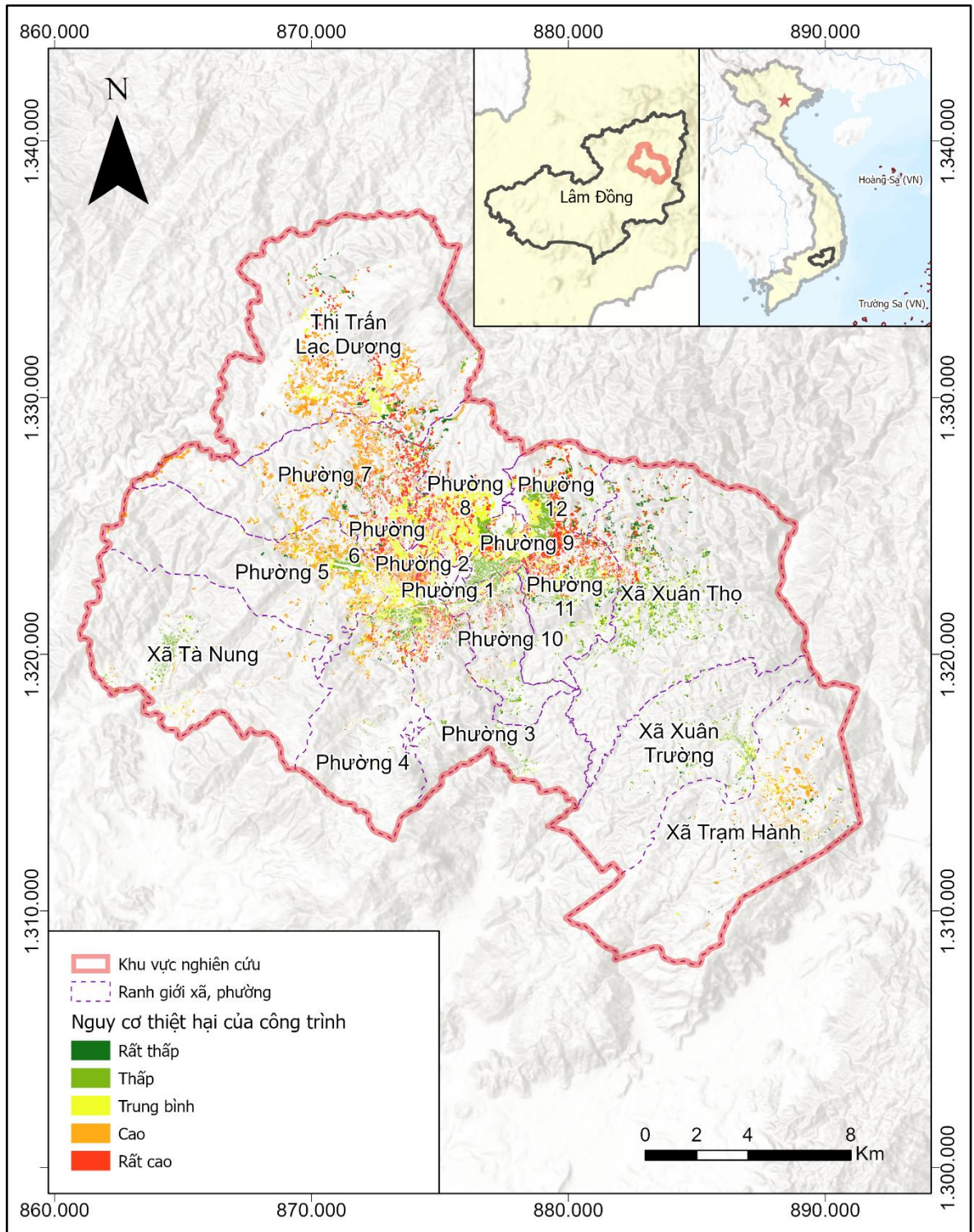
Theo đó, tổng số lượng CTXD trong khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương đã tăng từ 147.800 (2016) lên 192.283 (2023) công trình, tương ứng số lượng CTXD tăng lên là 44.483 công trình (tăng khoảng 30%), mức độ tăng/ giảm phân bố không đồng đều giữa các cấp nguy cơ, trong đó sự gia tăng về số lượng CTXD tập trung chủ yếu ở khu vực cấp nguy cơ cao và rất cao. Cụ thể, tại các khu vực có cấp nguy cơ từ rất thấp đến trung bình, số lượng CTXD đều giảm: khu vực rất thấp giảm 1.271 công trình (mật độ giảm từ 66,17 xuống 56,52 CTXD/km²), khu vực nguy cơ thấp giảm 10.288 công trình (mật độ giảm từ 247,85 xuống 165,60 CTXD/km²), và khu vực trung bình giảm 5.434 công trình (mật độ giảm từ 344,19 xuống 327,17 CTXD/km²). Ngược lại, các khu vực nguy cơ cao và rất cao lại ghi nhận mức tăng đột biến. Tại khu vực nguy cơ cao, số lượng CTXD tăng 57.096 (mật độ tăng mạnh từ 321,38 lên 695,35 CTXD/km²), tức là hơn gấp hai lần trong vòng 7 năm. Ở khu vực nguy cơ rất cao, số CTXD cũng tăng 4.380 công trình (mật độ tăng mạnh từ 321,38 lên 695,35 CTXD/km²), mật độ xây dựng đạt mức cao nhất toàn khu với 772,28 CTXD/km² (Bảng 2.8; Hình 2.15 và 2.16).

Bảng 2.8. Số lượng CTXD và mật độ CTXD tăng/ giảm theo diện tích cấp nguy cơ trượt đất so sánh giữa năm 2016 và 2023

TT	Cấp nguy cơ	2016			2023			Tăng (+)/giảm (-)	
		Diện tích (km ²)	Số lượng CTXD	Mật độ CTXD/ Diện tích	Diện tích (km ²)	Số lượng CTXD	Mật độ CTXD/ Diện tích	Số lượng CTXD	Mật độ CTXD/ Diện tích
1	Rất thấp	55,30	3.659	66,17	42,25	2.388	56,52	-1.271	-9,64
2	Thấp	107,57	26.662	247,85	98,88	16.374	165,60	-10.288	-82,25
3	Trung bình	156,82	53.977	344,19	148,37	48.543	327,17	-5.434	-17,02
4	Cao	100,43	32.276	321,38	128,53	89.372	695,35	57.096	373,97
5	Rất cao	44,03	31.226	709,25	46,10	35.606	772,28	4.380	63,03
Tổng cộng		464,15	147.800	-	464,13	192.283	-	44.483	-



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



Hình 2.16. Bản đồ phân bố CTXD theo cấp nguy cơ trượt đất năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

2.3. Các nguyên nhân gây trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt – Lạc Dương

Theo Lomtadze (1977), trượt đất là hậu quả của sự mất cân bằng trọng lực trên sườn dốc khi khối đất đá bị tác động vượt ngưỡng ổn định. Các nguyên nhân chính gồm: (1) tăng độ dốc sườn do hoạt động xây dựng hoặc khai thác; (2) giảm độ bền đất đá do biến đổi vật lý như ngấm nước, trương nở, rửa trôi, mất kết cấu; (3) áp lực

thủy tĩnh - thủy động trong môi trường bão hòa gây biến dạng thấm (xói ngầm, rò rỉ, cát chảy); (4) thay đổi trạng thái ứng suất do hoạt động kiến tạo hoặc biến dạng địa hình; và (5) tăng tải trọng cục bộ do xây dựng hoặc đắp đất. Trong thực tế, trượt đất thường phát sinh do tổng hợp nhiều nguyên nhân kể trên.

Tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, hiện tượng trượt đất chủ yếu xảy ra ở các sườn có độ dốc từ $15-35^\circ$, song cũng ghi nhận tại các khu vực có độ dốc $<15^\circ$, đặc biệt trong mùa mưa và tại các khu dân cư. Điều này cho thấy vai trò đáng kể của yếu tố mưa trong kích hoạt trượt, cần được làm rõ thông qua đánh giá mối quan hệ giữa lượng mưa và sự kiện trượt thực tế, kết hợp với phân tích độ bền theo độ ẩm và khả năng chịu tải của nền đất ở các trạng thái vật lý khác nhau. Những phân tích này là cơ sở để xác định chính xác nguyên nhân và đề xuất các biện pháp phòng tránh hiệu quả.

2.3.1. Đặc điểm mưa gây trượt đất

Cơ sở lý thuyết dựa vào cơ học đất không bão hòa và thực tế phân tích chỉ ra rằng khi độ ẩm đất tăng lên, lực dính kết giảm dẫn đến sức chống cắt của đất giảm; đồng thời, dưới tác động của tải trọng công trình khả năng ổn định của sườn dốc/ mái dốc cho thấy sự thay đổi rõ rệt ở các trạng thái vật lý khác nhau. Thực tế ở nhiều nơi, các sườn dốc có nguồn gốc sườn - tàn tích thường duy trì được sự ổn định trong một thời gian nhất định như ở mùa khô, còn ở mùa mưa sự ổn định này có khả năng bị phá vỡ nhanh chóng.

a. Phân tích mối quan hệ giữa lượng mưa và trượt đất

Trong giai đoạn 2016-2020, khu vực TP. Đà Lạt và thị trấn Lạc Dương đã ghi nhận tổng cộng 21 sự kiện trượt đất có thông tin thời gian rõ ràng. Năm 2017 có số lượng trượt đất cao nhất (8 sự kiện), tiếp theo là năm 2018 (6 sự kiện), năm 2019 (3 sự kiện), còn lại 2016 và 2020 mỗi năm có 2 sự kiện (*Phụ lục 2, Bảng PL2.1*). Phần lớn các sự kiện này xảy ra trong mùa mưa (tháng 4 đến tháng 11). Hai trường hợp được loại khỏi phân tích do không liên quan đến mưa là sự kiện ngày 10/3/2020 (gắn với hoạt động xây dựng) và ngày 11/11/2018 (không có mưa), do đó 19 sự kiện còn lại được sử dụng trong đánh giá mối liên hệ với lượng mưa.

Mô hình phân phối Poisson là mô hình thời gian liên tục có xuất hiện các điểm sự kiện ngẫu nhiên trong thời gian một các thông thường, tự nhiên liên tục để tập trung xác định ngưỡng mưa gây trượt đất và xác định xác suất xảy ra trượt theo thời gian [105], [109].

Dữ liệu mưa ngày tại trạm khí tượng Đà Lạt tại trung tâm thành phố trong 5 năm (1.461 ngày) được phân tích, trong đó có 747 (giá trị đo $>0\text{mm/ngày}$) ngày mưa và 714 ngày không mưa (giá trị mưa ngày = 0). Các thông số lượng mưa ngày (Pm)

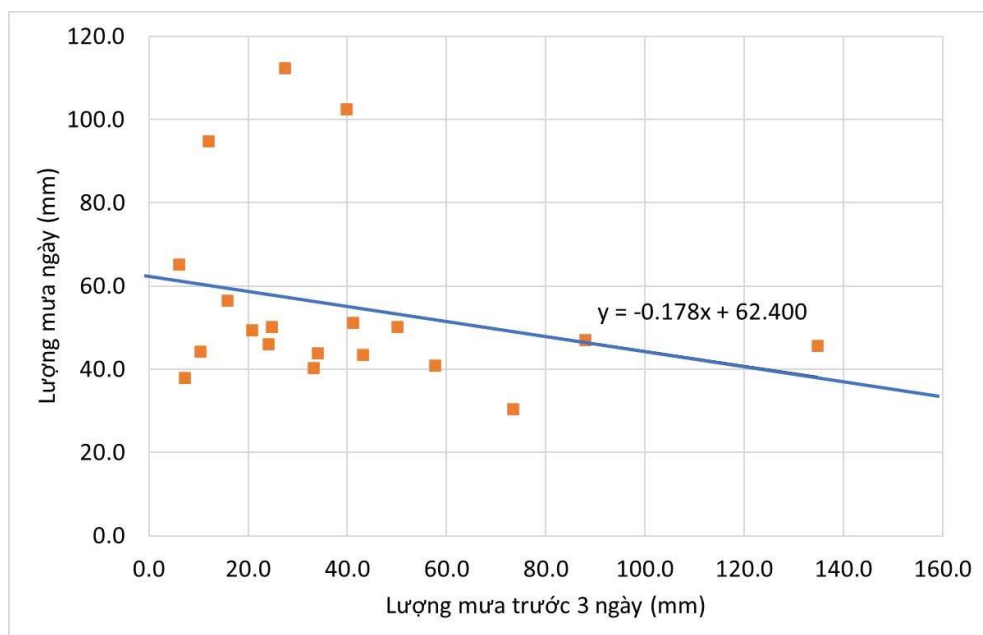
và lượng mưa cộng dồn trong các khoảng thời gian Pm3, Pm5, Pm7, Pm10, Pm13, Pm15, Pm17 và Pm20 ngày trước khi xảy ra sự kiện trượt đất được phân tích để xác định mối tương quan với trượt đất (*Phụ lục 2, Bảng PL2.2 và Hình PL2.1*).

Kết quả cho thấy tập hợp các ngày mưa có và không có trượt đất tạo thành hai vùng phân biệt trên đồ thị, từ đó xác định được các ngưỡng mưa có thể gây trượt. Trong đó, quan hệ giữa lượng mưa ngày (Pm) và mưa 3 ngày trước đó (Pm3) cho thấy mức độ phân biệt cao nhất, với 40,4% điểm trượt đất rơi vào vùng vượt ngưỡng, cao hơn so với các kịch bản khác (*Bảng 2.9*). Từ kết quả phân tích, đường ngưỡng mưa được thiết lập dưới dạng phương trình mô tả ranh giới kích hoạt trượt đất. Trong điều kiện không có mưa tích lũy trong 3 ngày trước đó (Pm3), ngưỡng mưa ngày trung bình có khả năng gây trượt được xác định khoảng 62,4 mm/24h (*Hình 2.17*).

Bảng 2.9. Giá trị mưa (mm) ngày nhỏ nhất trong trường hợp quan hệ giữa lượng mưa ngày với lượng mưa các ngày trước đó

Pm ≥ 30,5mm	Pm3 ≥ 6,1mm	Pm5 ≥ 10,6mm	Pm7 ≥ 10,6mm	Pm10 ≥ 10,7mm	Pm13 ≥ 36,6mm	Pm15 ≥ 36,6mm	Pm17 ≥ 43,1mm	Pm20 ≥ 44,7mm
01 ngày	03 ngày	05 ngày	07 ngày	10 ngày	13 ngày	15 ngày	17 ngày	20 ngày
Sự kiện TL	Không TL	Không TL	Không TL	Không TL	Không TL	Không TL	Không TL	Không TL
19	47	50	55	56	49	50	50	51
Tỷ lệ xảy ra TL = (Sự kiện / Ko TL) * 100%	40,4%	38,0%	34,5%	33,9%	38,8%	38,0%	38,0%	37,3%

$$P = 62,4 - 0,178P_3$$



Hình 2.17. Ngưỡng mưa đề xuất đánh giá gây trượt đất khu vực Đà Lạt - Lạc Dương, tỉnh Lâm Đồng

Phân tích thống kê các sự kiện trượt đất cho thấy lượng mưa ngày tại thời điểm xảy ra trượt đất dao động trong khoảng từ 30,5mm đến 112,4mm, trong khi lượng mưa tích lũy 3 ngày trước đó biến thiên từ 6,1mm đến 134,7mm (*Phụ lục 2, Bảng PL2.2*). Sự phân tán này không phải là ngẫu nhiên mà thể hiện rõ cơ chế tương tác giữa hai thành phần mưa: 1) Mưa tích lũy đóng vai trò làm tăng độ bão hòa, gia tăng áp lực nước lỗ rỗng và làm suy giảm lực kháng cắt của đất; 2) Mưa ngày đóng vai trò là yếu tố kích hoạt, gây mất ổn định khi trạng thái cân bằng đã bị suy yếu.

Do đó, trong các trường hợp mưa tích lũy lớn, trượt đất vẫn có thể xảy ra với lượng mưa ngày tương đối nhỏ ($\approx 30\text{-}50\text{ mm}$); trong khi ở điều kiện mưa tích lũy nhỏ, cần lượng mưa ngày lớn hơn ($\approx 60\text{-}100\text{ mm}$) để kích hoạt. Điều này cho thấy phương trình ngưỡng mưa không chỉ mang ý nghĩa thống kê mà còn phù hợp với cơ chế thủy - cơ học của quá trình trượt đất, qua đó nâng cao tính tin cậy của kết quả.

Tuy nhiên, trong 38 ngày vượt ngưỡng này, chỉ có 19 ngày xảy ra trượt đất (tương đương 50%) theo số liệu được ghi nhận, cho thấy hiện tượng trượt đất không chỉ phụ thuộc vào lượng mưa mà còn chịu tác động bởi các yếu tố khác như địa hình, điều kiện địa chất và hoạt động nhân sinh. Do đó, ngưỡng mưa này có ý nghĩa như một công cụ cảnh báo sớm, cần được tích hợp với các yếu tố khác trong hệ thống dự báo nguy cơ trượt đất hiệu quả.

b. Sự giảm độ bền của đất theo độ ẩm

Tính chất cơ lý của đất sườn - tàn tích là yếu tố quyết định đến độ ổn định của sườn dốc tự nhiên và mái dốc nhân tạo. Để đánh giá đặc trưng này, nghiên cứu đã thực hiện thí nghiệm đầm chặt Proctor cải tiến đối với năm loại đất phong hóa phổ biến trong khu vực Đà Lạt - Lạc Dương nhằm xác định độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất. Trong nghiên cứu này, trạng thái tham chiếu của đất được xác định là trạng thái đạt khối lượng thể tích khô lớn nhất tại độ ẩm tối ưu, phản ánh điều kiện đất sườn bị cải biến dưới tác động san gạt và chất tải công trình trong môi trường đô thị. Trạng thái này được sử dụng làm mốc so sánh để đánh giá sự biến đổi tính chất cơ lý của đất dưới tác động của độ ẩm và điều kiện bão hòa. Các mẫu đất sau khi được chế bị ở độ chặt lớn nhất tiếp tục được thí nghiệm cắt phẳng trực tiếp bằng thiết bị Cooper TS-2060 tại các cấp độ ẩm khác nhau (15–35%). Đất sườn - tàn tích trong khu vực nghiên cứu có khối lượng thể tích tự nhiên trung bình khoảng 18 kN/m^3 . Theo nguyên tắc của tiêu chuẩn ASTM D3080, các cấp áp lực pháp tuyến 35, 70 và 105 kPa được lựa chọn để mô phỏng điều kiện ứng suất phủ của đất tại hiện trường, tương ứng với chiều sâu khoảng 2m, 4m và 6m (*Phụ lục 2, Bảng PL2.3*). Các cấp áp lực này phù hợp với điều kiện làm việc của lớp đất phong hóa trong khu vực nghiên

cứu, đồng thời bảo đảm xác định được các thông số sức kháng cắt phục vụ đánh giá sự biến đổi độ bền của đất theo độ ẩm và tính toán ổn định mái dốc.

Kết quả cho thấy sức kháng cắt của đất có xu hướng giảm rõ rệt khi độ ẩm vượt ngưỡng 25%, đặc biệt trong điều kiện bão hòa. Bên cạnh đó, sự hiện diện của các khoáng vật sét ưa nước như kaolinit, halloysit, illite, gibbsit, montmorillonit, cùng với các oxit sắt (goethit, hematit), vốn có khả năng hấp phụ nước dẫn đến làm suy giảm liên kết trong cấu trúc đất [4], [93]. Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X (XRD) xác nhận sự khác biệt rõ rệt về thành phần khoáng vật giữa các loại đất, qua đó ảnh hưởng đến cơ chế mất ổn định (*Phụ lục 2, Bảng PL2.4*). Một số đặc điểm đáng chú ý:

- Đất phong hoá edQ(J_{3đq}): có sức chống cắt giảm nhanh và mạnh theo độ ẩm, đặc biệt khi $W \geq 25\%$. Tại $W = 35\%$, sức chống cắt chỉ còn 2.3-11.9 kPa (ở $\sigma = 35-105$ kPa), phản ánh rõ mức độ ổn định thấp khi bão hòa. Thành phần khoáng vật có đặc điểm là giàu khoáng sét kaolinit + halloysit (52-58%) và chứa thạch anh với hàm lượng (22-28%), goethit và hematit với tỷ lệ thấp (1-7%), illite có mặt với hàm lượng thấp (2-6%), gibbsit (9-12%) một khoáng vật có cấu trúc ngậm nước. Tổ hợp khoáng vật trên có khả năng tương tác với nước ở mức trung bình đến thấp với sự hiện diện của kaolinit và các oxit sắt (goethit, hematit) có thể làm giảm lực dính trong điều kiện ẩm. Đây cũng là loại đất ghi nhận kiểu trượt tịnh tiến.

- Đất phong hoá edQ(K_{2cn}) có sự dao động khá mạnh về sức chống cắt, không theo xu hướng tuyến tính rõ ràng. Tuy có một số điểm cao bất thường ($\tau > 90$ kPa), nhưng cũng xuất hiện các giá trị thấp tại $W = 35\%$. Thành phần khoáng vật giàu khoáng sét kaolinit + halloysit (54-68%) và chứa thạch anh với hàm lượng tương đối cao (23-34%), goethit và hematit với tỷ lệ thấp (1-7%), illite có hàm lượng thấp (2-6%). Tổ hợp khoáng vật trên có khả năng tương tác với nước ở mức trung bình đến thấp với sự hiện diện của kaolinit và các oxit sắt (goethit, hematit) có thể tăng độ hút ẩm và làm giảm lực dính. Điều này cho thấy đất phong hoá không đồng nhất thường xảy ra hiện tượng trượt tịnh tiến, trượt xoay và trượt hỗn hợp đã ghi nhận trên loại đất này.

- Đất phong hoá edQ(K_{2đđ}) cho thấy đặc tính cơ học ổn định hơn so với các nhóm khác. Trong khoảng $W = 15-30\%$, sức chống cắt duy trì ở mức cao và ít biến động (ví dụ: $\tau = 66-73$ kPa ở $\sigma = 35$ kPa). Tuy nhiên, ở $W = 35\%$, giá trị giảm đáng kể chỉ còn 16.8 kPa. Điều này cho thấy mặc dù nhóm đất này khá ổn định trong điều kiện ẩm trung bình, nhưng vẫn tiềm ẩn nguy cơ mất ổn định khi bị bão hòa kéo dài. Thành phần khoáng vật với hàm lượng thạch anh (19-46%), kaolinit + halloysit (27-66%), illite (3-21%), kèm theo hematit và lượng nhỏ montmorillonit. Khả năng tương tác với nước ở mức trung bình đến cao, tùy theo tỷ lệ montmorillonit là khoáng vật

có xu hướng giữ nước và ảnh hưởng đến độ dẻo. Trượt tịnh tiến và trượt xoay ghi nhận tại các khu vực phát triển trên loại đất này có thể liên quan đến sự suy giảm khi nước thấm sâu.

- Đất phong hoá edQ(J_2ln) thể hiện biến động lớn về sức chống cắt theo độ ẩm, với giá trị cao nhất đạt 67.0 kPa ở $W = 20\%$ ($\sigma = 35$ kPa), giảm mạnh xuống còn 10.7 kPa ở $W = 35\%$. Xu hướng này phản ánh độ nhạy cao với độ ẩm, đặc biệt khi đất gần trạng thái bão hòa. Thành phần khoáng vật của đất có đặc điểm nổi bật là hàm lượng illite rất cao (48-55%), cùng với kaolinit + halloysit (27-33%) và thạch anh thấp (9-12%). Illite có khả năng hấp phụ nước trên bề mặt và gây trượt tại các lớp phân cách, kết hợp với sét mịn tạo nên cấu trúc phân lớp dễ mất ổn định, đặc biệt trong điều kiện bị thấm nước. Trượt tịnh tiến và trượt xoay được ghi nhận phổ biến trên nền đá này phù hợp với kết quả thí nghiệm, cho thấy sự mất ổn định xảy ra nhanh khi đất phong hoá bị ngấm nước.

- Đất phong hoá edQ(βQ_{2xl}) có xu hướng giảm nhanh sức chống cắt khi độ ẩm tăng, đặc biệt rõ ở $W = 30-35\%$, với giá trị còn lại chỉ từ 2.4-5.3 kPa (ở $\sigma = 35$ kPa). Mặc dù một số điểm có τ cao đột biến tại $W = 25\%$, xu hướng chung vẫn là mất ổn định khi bị ngấm nước. Thành phần khoáng vật của đất không chứa thạch anh và feldspat, nhưng lại có hàm lượng cao các khoáng sét như kaolinit + halloysit (24-39%), montmorillonit (3-5%), gibbsit (6-9%) cùng với magnetit (13-16%). Sự hiện diện của montmorillonit là loại khoáng vật sét có khả năng trương nở mạnh, kết hợp với các khoáng vật oxit như goethit, magnetit và gibbsit, cho thấy đất có khả năng hút và giữ nước cao, dễ bị mất ổn định khi bão hòa. Các điểm trượt được ghi nhận trên loại đất này chủ yếu là trượt hỗn hợp.

Như vậy, sự suy giảm sức kháng cắt của các loại đất phong hóa khi bão hòa phản ánh rõ tính không đồng nhất của nền địa chất khu vực, chịu sự chi phối bởi đặc điểm cấu trúc, độ ẩm và thành phần khoáng vật. Đây là căn cứ khoa học quan trọng cho nhận diện vùng nguy cơ trượt đất, thiết kế ổn định mái dốc và xây dựng các giải pháp KSRR phù hợp với điều kiện thực tế địa phương.

2.3.2. Hoạt động đô thị hoá gây trượt đất

Những đặc điểm về thành phần khoáng vật, độ ẩm và sức kháng cắt của các loại đất phong hoá trong khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương là những điều kiện bất lợi đối với độ ổn định của sườn dốc tự nhiên. Khi có tác động bên ngoài như chất tải công trình hoặc thay đổi hình thái sườn dốc, các mái dốc cấu tạo bởi đất phong hoá này rất dễ bị mất ổn định. Trong bối cảnh đó, quá trình đô thị hóa nhanh tại Đà Lạt - Lạc Dương, với sự gia tăng dân số, mở rộng xây dựng và cải tạo địa hình, đã làm gia tăng đáng kể các yếu tố kích hoạt trượt đất. Tác động của hoạt động xây dựng đến

nguy cơ mất ổn định mái dốc được phân tích cụ thể theo ba khía cạnh chính: (i) mức độ gia tăng công trình theo cấp độ dốc, (ii) mức độ xâm lấn dòng chảy tự nhiên, và (iii) ảnh hưởng của cải tạo sườn dốc và chất tải công trình đến ổn định mái dốc.

a. Mức độ gia tăng CTXD trên cấp độ dốc

Kết quả thống kê số lượng CTXD theo các cấp độ dốc tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương trong giai đoạn 2016-2023, nguồn dữ liệu công trình: Sử dụng dữ liệu “Open Buildings 2.5D Temporal Dataset” (Google Open Building) cho thấy xu hướng gia tăng mạnh mẽ ở tất cả các cấp độ dốc. Tổng số công trình tăng từ 147.800 công trình năm 2016 lên 192.283 công trình năm 2023, tương ứng tăng 44.483 công trình, tức tăng khoảng 30,1% trong vòng 7 năm. Phân tích theo từng nhóm độ dốc cho thấy:

- Khoảng độ dốc 0-15°: Số lượng CTXD tăng từ 84.212 lên 103.884 công trình (+19.672 công trình, tương ứng +23,4%);

- Khoảng độ dốc 15-25°: Số lượng CTXD tăng từ 38.346 lên 51.407 công trình (+13.061, tương ứng +34,1%)

- Khoảng độ dốc 25-35°: Số lượng CTXD tăng từ 20.991 lên 29.834 công trình (+8.843, tương ứng +42,1%)

- Khoảng độ dốc 35-45°: Số lượng CTXD tăng từ 3.949 lên 6.558 công trình (+2.609, tương ứng +66,1%)

- Khoảng độ dốc >45°: Số lượng CTXD tăng từ 302 lên 600 công trình (+298, tương ứng +98,7%).

Mặc dù số lượng các CTXD tập trung nhiều nhất ở nhóm độ dốc thấp (0-15°). Các khoảng độ dốc cao hơn có mức tăng tương đối lớn và ảnh hưởng trực tiếp đến hình thái sườn, tải trọng trên sườn dốc và hệ thống thoát nước bề mặt. Đáng lưu ý, tại nhóm độ dốc >35°, tổng số công trình đã tăng từ 4.251 lên 7.158 công trình, tức tăng 68,4%, điều này thể hiện rõ xu hướng đô thị hóa lấn dần vào các khu vực có địa hình dốc lớn, nơi có điều kiện địa hình bất lợi cho hoạt động xây dựng công trình (Bảng 2.10).

Bảng 2.10. Thống kê số lượng CTXD gia tăng trên cấp độ dốc, từ năm 2016 - 2023

TT	Cấp độ dốc (độ)	Diện tích (km ²)	Số lượng CTXD		
			Năm 2016	Năm 2023	Mức độ tăng (+)/ giảm (-)
1	0 - 15	134,38	84.212	103.884	+ 19.672
2	15 - 25	131,47	38.346	51.407	+ 13.061
3	25 - 35	141,85	20.991	29.834	+ 8.843
4	35 - 45	48,60	3.949	6.558	+ 2.609
5	> 45	7,82	302	600	+ 298
Tổng cộng			147.800	192.283	+ 44.483

b. Mức độ CTXD xâm lấn dòng chảy tự nhiên

Xu hướng gia tăng số lượng CTXD trên các cấp độ dốc còn ảnh hưởng đến khả năng thoát nước tự nhiên của các sườn dốc tự nhiên. Để phân tích và đánh giá sự xâm lấn của CTXD vào dòng chảy tự nhiên trong khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương qua hai thời kỳ (năm 2016 và 2023). Bộ dữ liệu này cung cấp thông tin hiện diện công trình, số lượng công trình phân bố theo thời gian ở độ phân giải không gian hiệu quả khoảng 4m (dữ liệu raster 0.5m) và có chu kỳ hàng năm từ 2016 - 2023 kết hợp dữ liệu địa hình và thủy văn xác định số điểm trượt đất nằm trong các khoảng cách khác nhau (<50m, <100m, <200m) so với CTXD xâm lấn dòng chảy tự nhiên. So sánh dữ liệu theo thời gian (năm 2017 và năm 2023) để đánh giá mức độ ảnh hưởng của sự xâm lấn dòng chảy đến nguy cơ trượt đất (Bảng 2.11).

Bảng 2.11. Thống kê số lượng CTXD xâm lấn dòng chảy tự nhiên (DCTN) và khoảng cách điểm trượt đất đến CTXD xâm lấn dòng chảy

TT	Thời gian	Tổng số CTXD (công trình)	Số lượng CTXD xâm lấn DCTN (công trình)	Tổng chiều dài DCTN (m)	Chiều dài DCTN bị CTXD xâm lấn (m)	Số lượng điểm trượt đất theo khoảng cách tới CTXD xâm lấn dòng chảy (điểm)			
						<50m	<100m	<200m	Tổng số
1	2016	147.800	1.674	1.206.489	49.541	08	12	20	40
2	2023	192.283	2.693	1.206.489	97.907	23	12	26	61

Năm 2016, số lượng CTXD kiểm đếm được có tổng cộng 147.800 công trình, trong đó có 1.674 CTXD tác động đến dòng chảy tự nhiên khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương. Tổng chiều dài dòng chảy tự nhiên là 1.206.489 m, trong đó 49.541m bị xâm lấn bởi các CTXD. Số lượng điểm trượt đất xuất hiện gần CTXD xâm lấn với khoảng cách <50m là 08 điểm, phạm vi <100m là 12 điểm, phạm vi <200m là 20 điểm, tổng số có 40 điểm trượt đất.

Năm 2023, số lượng CTXD kiểm đếm được có tổng cộng 192.283 công trình, trong đó có 2.693 CTXD tác động đến dòng chảy tự nhiên khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương. Tổng chiều dài dòng chảy tự nhiên không đổi so với năm 2016, nhưng chiều dài dòng chảy bị xâm lấn tăng lên 97.907 m. Số lượng điểm trượt đất xuất hiện gần CTXD xâm lấn với khoảng cách <50m tăng lên là 23 điểm, phạm vi <100m vẫn chỉ là 12 điểm, phạm vi <200m tăng lên là 26 điểm, tổng số có 61 điểm trượt đất.

Sự gia tăng mạnh mẽ của các CTXD phản ánh quá trình đô thị hóa nhanh tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương. Cụ thể, số lượng CTXD đã tăng từ 147.800 công trình (năm 2016) lên 192.283 công trình (năm 2023), cho thấy mức độ phát triển đáng kể về cơ sở hạ tầng. Đồng thời, chiều dài dòng chảy tự nhiên bị xâm lấn bởi công

trình cũng tăng gấp đôi, từ 49.541m (năm 2016) lên 97.907m (năm 2023). Đáng chú ý, số lượng điểm trượt đất có xu hướng gia tăng rõ rệt tại các vị trí nằm trong phạm vi 50m tính từ các CTXD xâm lấn dòng chảy tự nhiên, cho thấy tác động tiêu cực của hoạt động xây dựng đến sự mất ổn định mái dốc và phát sinh hiện tượng trượt đất.

c. Đánh giá ổn định sườn dốc do biến đổi hình thái sườn dốc và chất tải công trình

Hiện trạng trượt đất tại khu vực Đà Lạt - Lạc Dương cho thấy sự phân bố các điểm trượt có mối liên hệ chặt chẽ với đặc tính cơ lý của lớp đất phong hoá sườn - tàn tích, đặc biệt trong bối cảnh có sự can thiệp của hoạt động xây dựng làm thay đổi địa hình và gia tăng tải trọng. Để đánh giá khả năng ổn định của mái dốc sau cải tạo và sức chịu tải của nền đất, NCS đã tiến hành tính toán ổn định mái dốc điển hình phát triển trên đất phong hoá hệ tầng La Ngà - edQ(J₂ln), nơi có nhiều điểm trượt được ghi nhận và hoạt động xây dựng diễn ra thường xuyên [94].

Trong số các loại đất phong hoá tại khu vực, edQ(J₂ln) là nhóm đất có độ bền giảm mạnh theo độ ẩm, với sức kháng cắt giảm từ 67.0 kPa (W = 20%) xuống 10.7 kPa (W = 35%), thể hiện độ nhạy cao với nước. Hàm lượng illite cao (48-55%) khiến loại đất này dễ mất ổn định khi bị thấm nước. So với các nhóm khác, edQ(J₂ln) có khả năng giữ nước và suy giảm liên kết cao hơn, phù hợp với kiểu trượt tịnh tiến và trượt xoay đã được quan sát. Đây là loại đất cần đặc biệt lưu ý trong công tác kiểm soát trượt lở tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

Kết quả tổng hợp các chỉ tiêu cơ lý các mẫu đất sườn - tàn tích trên mái dốc đồng nhất của hệ tầng La Ngà thuộc khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương theo tổng hợp từ đề tài mã số TN18/T13 và đề tài mã số ĐL.01 20-21, được trình bày tại *Bảng 2.12*.

Bảng 2.12. Chỉ tiêu cơ lý đầu vào trong mô hình tính toán hệ số ổn định

Khối lượng thể tích, γ_w (g/cm ³)		Góc ma sát trong, ϕ (độ)		Lực dính kết, C (kG/cm ²)	
Trạng thái tự nhiên	Trạng thái bão hòa	Trạng thái tự nhiên	Trạng thái bão hòa 24h	Trạng thái tự nhiên	Trạng thái bão hòa 24h
1,79	2,00	20°05'	12°59'	0,35	0,21

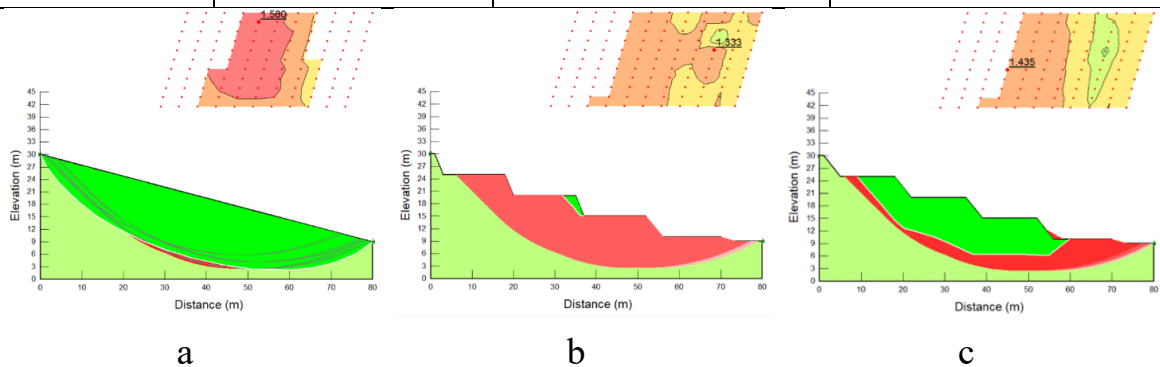
1) Trường hợp mái dốc sau cải tạo, chưa chịu tải trọng công trình

Kết quả tính hệ số ổn định sườn dốc tự nhiên được cải tạo thành 4 bậc địa hình thể hiện trong *Bảng 2.13* và *Hình 2.18*. Khi góc dốc thứ cấp giữa các bậc địa hình ban đầu là 70°, mặt trượt nguy hiểm xuất hiện ở dạng phẳng, với hệ số ổn định (FS) từ 1,333 (trạng thái bão hòa - BH) đến 2,473 (trạng thái tự nhiên - TN). Điều chỉnh góc dốc xuống 50° làm hình thái mặt trượt chuyển thành dạng cung tròn, FS cải thiện lên mức 1,425 (BH) đến 2,473 (TN). Tuy nhiên, trong cả hai kịch bản góc dốc, FS của

mái dốc sau cải tạo vẫn thấp hơn so với sườn tự nhiên ban đầu với giá trị FS là 1,560 (BH) và 2,663 (TN).

Bảng 2.13. Kết quả tính toán hệ số ổn định mái dốc ở trạng thái tự nhiên và bão hòa

Trạng thái	Hệ số ổn định		
	Sườn dốc tự nhiên với góc dốc $\sim 15^\circ$	Mái dốc 4 bậc địa hình, góc MD thứ cấp 70°	Mái dốc 4 bậc địa hình, góc MD thứ cấp 50°
Tự nhiên (TN)	2,663	2,415	2,473
Bão hòa (BH)	1,560	1,333	1,435
Mặt trượt	Cung tròn	Cung tròn (TN) Phẳng (BH)	Cung tròn



Hình 2.18. Mô hình tính toán hệ số ổn định sườn dốc tự nhiên và sau cải tạo chưa chịu tải trọng công trình theo trạng thái tính chất cơ lý bão hòa của đất

2) Trường hợp mái dốc sau cải tạo, chịu tải trọng công trình

Mô hình cải tạo mái dốc được thiết kế gồm 1-4 bậc địa hình, mỗi bậc có chiều dài 15 m (góc dốc thứ cấp 70°) hoặc 13 m (góc 50°), hạ thấp 5 m so với bề mặt phía trên. Mỗi bậc được ký hiệu lần lượt là A, B, C và D, kèm theo số tầng công trình n ($A_n, B_n, \dots$ với $n = 0, 1, 3, 5, 7$). Công trình giả định cao từ 3-21 m (1-7 tầng), tải trọng 10 kN/m^2 , rộng 11 m, đặt cách mép mái dốc 0-2 m.

Kết quả tính toán hệ số ổn định mái dốc theo các bước được xây dựng dựa trên cách bố trí công trình trên từng bậc địa hình được thể hiện tại Phụ lục 2 (Bảng PL2.5 và Hình PL2.2).

- Bước 1, mái dốc chỉ cải tạo bậc địa hình đầu tiên (A), sau đó chịu tải trọng nhà 7 tầng (A_7). Hình thái mặt trượt nguy hiểm có dạng cung tròn. FS đạt 2,869 (TN) và 1,675 (BH) khi chưa chịu tải. Khi chịu tải trọng nhà 7 tầng, FS giảm xuống 1,915 (TN) và 1,170 (BH) nhưng vẫn đảm bảo ổn định.

- Bước 2, mái dốc mở rộng thêm bậc địa hình thứ hai (B) với tải trọng nhà 1 tầng hoặc 7 tầng ($A_7B_1|7$). Khi góc dốc thứ cấp giữa bậc A và B giữ nguyên 70° , mặt trượt tịnh tiến xuất hiện, với FS cùng đạt giá trị 1,172 (TN) và 0,697 (BH, mất ổn định). Điều chỉnh góc dốc xuống 50° làm mặt trượt chuyển sang dạng cung tròn,

FS tăng lên 1,692 (TN) và 1,055 (BH), đảm bảo ổn định ngay cả khi chịu tải trọng nhà 7 tầng.

- Bước 3, mái dốc được mở rộng thêm bậc thứ ba (C) với tải trọng công trình nhà 1 tầng (A7B7C1). Khi góc dốc thứ cấp giữa bậc B và C là 70° , mặt trượt nông xuất hiện, FS đạt 1,047 (TN) và 0,625 (BH, mất ổn định). Điều chỉnh góc xuống 50° giúp FS cải thiện lên 0,998 (BH), và khi tăng tải trọng từ 1 tầng lên 7 tầng ở bậc thứ ba (A7B7C1|7|), FS đạt 1,045 (BH), duy trì cân bằng tạm thời.

- Bước 4, mái dốc hoàn thiện với 4 bậc địa hình (D), chịu tải trọng tương tự với tải trọng công trình từ nhà 1 - 7 tầng (A7B7C7D1|7|). Khi góc dốc thứ cấp giữa bậc C và D là 70° , mặt trượt nông nguy hiểm xuất hiện với FS giảm xuống 0,931 (TN) và 0,559 (BH, mất ổn định hoàn toàn). Điều chỉnh góc dốc xuống 50° với tải trọng lớn nhất là nhà 7 tầng ở bậc thứ tư (A7B7C7D1|7|) vẫn không đủ an toàn (FS = 0,712, BH).

- Bước 5, các tính toán cuối cùng tập trung vào phân bố tải trọng công trình tối ưu nhất. Phương án giảm dần tải trọng từ bậc A đến bậc D với góc dốc thứ cấp 50° , ban đầu là tải trọng tại bậc C giảm cấp công trình từ 7 tầng xuống 3 tầng và tiếp tục tương tự với bậc B cho đến khi FS cải thiện lên 1,040 (BH), đảm bảo ổn định khi tải trọng công trình phân bố theo A7-B3-C3-D7.

Nhận xét về ảnh hưởng của cải tạo mái dốc, cụ thể như sau:

- Hoạt động chất tải công trình đến hệ số ổn định mái dốc cho thấy, sườn dốc sau cải tạo chưa chịu tải trọng công trình đã cho thấy xu hướng giảm mức độ ổn định rõ rệt so với sườn dốc tự nhiên ban đầu.

- Đối với mái dốc cải tạo và chịu tải trọng công trình, kết quả tính toán và phân tích cho thấy các yếu tố như góc dốc, tải trọng công trình và trạng thái đất ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng làm việc của mái dốc. Cụ thể:

+ *Khi thay đổi góc dốc*: Điều chỉnh góc mái dốc từ 70° xuống 50° giúp cải thiện rõ rệt hệ số ổn định của mái dốc, với giá trị hệ số ổn định (Fs) tăng đáng kể. Tuy nhiên, giá trị cụ thể cần được xác định dựa trên điều kiện địa hình và trạng thái đất. Mặc dù việc giảm góc dốc là một giải pháp hiệu quả, nó không thể áp dụng theo một cách chung mà cần được đánh giá theo từng trường hợp cụ thể. Việc giảm góc dốc cũng có thể làm thay đổi diện tích mặt bằng có thể sử dụng, dẫn đến sự hạn chế không gian xây dựng, đặc biệt tại các khu vực đô thị có yêu cầu mật độ xây dựng cao.

+ *Khi chịu tải trọng công trình*: Phân bố tải trọng công trình có tác động lớn đến sự ổn định của mái dốc. Nếu tải trọng không được phân bố hợp lý, nó có thể làm giảm khả năng ổn định, đặc biệt ở các mái dốc chưa được cải tạo. Kết quả cho thấy việc phân bố tải trọng giữa các bậc địa hình có vai trò quan trọng. Chẳng hạn, khi góc

mái dốc là 50° , việc bố trí nhà 7 tầng tại bậc 1, nhà 3 tầng tại bậc 2 và 3, và nhà 7 tầng tại bậc 4 giúp tăng giá trị F_s , đảm bảo sự ổn định trong cả trạng thái tự nhiên và bão hòa. Ngược lại, tải trọng quá lớn trên các bậc địa hình 2 và 3 có thể dẫn đến nguy cơ mất ổn định. Ví dụ, trong trạng thái bão hòa, giá trị F_s giảm xuống 0,559 với góc mái dốc 70° và 0,715 với góc mái dốc 50° . Điều này nhấn mạnh sự cần thiết của việc tính toán và bố trí tải trọng hợp lý để tránh các nguy cơ tiềm ẩn.

Như vậy, hệ số ổn định mái dốc được cải thiện đáng kể khi kết hợp các biện pháp điều chỉnh góc dốc và phân bố tải trọng công trình trên đất sườn - tàn tích thuộc hệ tầng La Ngà. Các biện pháp này không chỉ tối ưu hóa khả năng sử dụng đất cho mục đích xây dựng mà còn mang lại hiệu quả kinh tế - xã hội, phù hợp với xu thế phát triển đô thị.

Tiểu kết Chương 2

Nội dung của chương đã đánh giá được hiện trạng và phân tích nguyên nhân trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương trên cơ sở điều kiện địa chất, địa hình - địa mạo, khí hậu và tác động nhân sinh. Kết quả cho thấy trượt đất phân bố không đồng đều trong không gian, tập trung chủ yếu tại các khu vực có lớp sườn - tàn tích phát triển trên đá trầm tích lục nguyên, đá phun trào axit - trung tính và đá xâm nhập axit - trung tính, nơi phát triển lớp vỏ phong hóa dày, địa hình dốc và chịu tác động mạnh của quá trình đô thị hóa.

Bốn kiểu trượt chính được ghi nhận gồm trượt tịnh tiến, trượt xoay, trượt hỗn hợp và trượt dòng, trong đó trượt tịnh tiến quy mô nhỏ - trung bình chiếm ưu thế. Quá trình đô thị hóa có mối liên hệ chặt chẽ với sự gia tăng trượt đất, thông qua việc làm thay đổi điều kiện ổn định tự nhiên của mái dốc và gia tăng mức độ phơi bày của công trình và dân cư. Những phân tích này là cơ sở khoa học quan trọng để chuyển từ đánh giá nguy cơ sang lượng hóa rủi ro và đề xuất giải pháp QLRR trượt đất trong Chương 3.

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

Trong nghiên cứu tai biến địa chất, đặc biệt là trượt đất, việc đánh giá được phân cấp theo mục tiêu và mức độ chi tiết, gồm: đánh giá hiện trạng (inventory), mức độ nhạy cảm/nguy cơ (susceptibility), nguy cơ tai biến (hazard) và rủi ro (risk) [37], [91]. Phạm vi và mức độ nghiên cứu trượt đất có nội dung như sau:

- Đánh giá hiện trạng cung cấp thông tin tổng quát về sự phân bố các khối trượt, bao gồm loại trượt, diện tích, thể tích và khoảng vùi lấp.

- Đánh giá mức độ nhạy cảm nguy cơ trượt đất, dự báo sự phân bố không gian của các khối trượt tiềm năng dựa trên hiện trạng và các đặc điểm của khối trượt đã từng xảy ra. Phương pháp đánh giá có thể là định tính, bán định lượng hoặc định lượng.

- Đánh giá nguy cơ tai biến trượt đất là một hình thức nghiên cứu sâu hơn, nhằm xác định xác suất xảy ra các khối trượt tiềm năng trong một khoảng thời gian và không gian cụ thể.

- Đánh giá rủi ro là cấp độ cao nhất, gắn với việc lượng hóa hậu quả (về người, tài sản, hạ tầng), từ đó đề xuất các giải pháp và biện pháp KSRR hiệu quả phục vụ QLRR trượt đất.

3.1. Lượng hoá rủi ro trượt đất

3.1.1. Lượng hoá rủi ro trượt đất đối với khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương

3.1.1.1. Tần suất trượt đất

Dựa trên dữ liệu thống kê trượt đất do NCS tổng hợp từ năm 2016 - 2022 có 42 vụ trượt đất thực hiện đánh giá xác suất số vụ trượt đất xảy ra tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, sau đó kết hợp dữ liệu thu thập số vụ trượt đất phát sinh từ năm 2023 đến năm 2024 là 10 vụ trượt đất để kiểm nghiệm kết quả xác suất số vụ trượt đất có thể xảy ra (Bảng 3.1), cụ thể như sau:

Bảng 3.1. Thống kê số vụ trượt đất theo năm từ năm 2016 đến năm 2024

TT	Thời gian (năm)	Số vụ trượt đất	Ghi chú
1	2016	13	Số liệu Đề tài TN18/T13 và số liệu khảo sát bổ sung do NCS thực hiện
2	2017	08	
3	2018	07	
4	2019	06	
5	2020	05	
6	2021	01	
7	2022	01	
8	2023	07	Ghi nhận theo thông tin truyền thông
9	2024	03	
Tổng cộng		51	

Thống kê số vụ trượt đất từ năm 2016 đến 2022 (7 năm) tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương có 42 vụ trượt đất, trong đó chỉ có 2021 và 2022 chỉ ghi nhận 01 vụ trượt đất, các năm còn lại hầu hết xảy ra trên 05 vụ trượt đất. Như vậy:

Tần suất trượt đất trung bình năm có xảy ra (λ) là:

$$\lambda = \frac{k}{T} = \frac{42}{7} = 6 \text{ vụ/năm} \quad (3.1)$$

3.1.1.2. Phân tích xác suất trượt đất

a. Xác suất số vụ trượt đất

Để lượng hóa xác suất xuất hiện trượt đất theo thời gian, luận án sử dụng phân bố Poisson. Việc lựa chọn mô hình này xuất phát từ đặc điểm dữ liệu nghiên cứu là số vụ trượt đất được ghi nhận theo năm, thuộc dạng dữ liệu đếm và phản ánh các sự kiện xảy ra rời rạc theo thời gian. Phân bố Poisson cho phép mô tả số lần xuất hiện của một hiện tượng dựa trên tần suất trung bình λ và đã được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu thiên tai để đánh giá xác suất xuất hiện sự kiện trong tương lai [18]. Trong nghiên cứu này, phân bố Poisson được sử dụng để ước tính xác suất xuất hiện trượt đất theo thời gian phục vụ đánh giá nguy cơ và rủi ro ở quy mô khu vực. Tuy nhiên, phương pháp giả định tần suất xuất hiện sự kiện trung bình không đổi theo thời gian và chưa xét trực tiếp các yếu tố kích hoạt như mưa cực đoan hoặc tác động nhân sinh.

Trên cơ sở đó, xác suất xảy ra đúng k vụ trượt đất trong một năm được tính theo công thức tổng quát của phân phối Poisson như sau [22]:

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (3.2)$$

Trong đó:

- $P(X=k)$ là xác suất xảy ra k vụ trượt đất trong một năm.
- λ là số vụ trượt đất trung bình mỗi năm.
- k là số vụ trượt đất có thể tính xác suất.
- e là số Euler (~ 2.71828).

Kết quả tính toán xác suất Poisson cho số vụ trượt đất từ 1 đến 10 vụ trong một năm tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (trung bình 6 vụ/năm trong giai đoạn 2016-2022), ta có thể thấy một xu hướng phân bố xác suất đặc trưng (Bảng 3.2), cụ thể như sau:

- Số vụ trượt đất xảy ra 1-2 vụ có xác suất lần lượt là 1,49% và 4,46%, tức đều dưới 5%.
- Số vụ trượt đất trong khoảng 3-4 vụ mỗi năm có xác suất lần lượt là 8,92% và 13,39%, cao hơn nhóm trước nhưng vẫn chưa phải mức phổ biến.
- Xác suất cao nhất rơi vào số vụ trượt đất từ 5-6 mỗi năm, với giá trị cùng đạt là 16,06%. Đây là khoảng có xác suất lớn nhất trong bảng phân bố, phản ánh rằng số vụ trượt đất từ 5 đến 6 vụ/năm là mức phổ biến nhất.

- Năm có 7-8 vụ trượt đất vẫn xuất hiện với xác suất 13,76% và 10,32%, cho thấy hiện tượng trượt đất vẫn có thể gia tăng.

- Số vụ trượt đất tăng lên 9-10 vụ/năm, xác suất giảm dần xuống còn 6,19% và 3,09%.

Bảng 3.2. Tỷ lệ xác suất số vụ trượt đất xảy ra mỗi năm theo tính toán

TT	Số vụ trượt đất (k)	Xác suất số vụ trượt đất xảy ra mỗi năm, $P(X = k)$
1	1	1.49%
2	2	4.46%
3	3	8.92%
4	4	13.39%
5	5	16.06%
6	6	16.06%
7	7	13.77%
8	8	10.33%
9	9	6.88%
10	10	4.13%

Như vậy, mỗi năm tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương xác suất trượt đất phổ biến là từ 5-6 vụ trượt đất. Những năm có số vụ trượt đất từ 1-2 vụ hoặc trên 9 vụ là ít có khả năng xảy ra. Xu hướng xác suất này cho thấy nguy cơ trượt đất tại Đà Lạt - Lạc Dương là hiện tượng diễn ra thường xuyên hàng năm do ảnh hưởng của điều kiện thời tiết và hoạt động sử dụng đất của con người. Kiểm chứng theo thực tế phản ánh trên phương tiện thông tin đại chúng tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, năm 2023 và 2024 số vụ trượt đất lần lượt thống kê được là 7 và 3 vụ, trung bình 2 năm có 5 vụ trượt đất.

b. Xác suất trượt đất theo thời gian

Trên cơ sở kết quả phân tích phân bố Poisson cho toàn bộ khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (Bảng 3.5), NCS tiếp tục phân tách số vụ trượt đất trung bình năm ($\lambda=6$ vụ/năm) theo từng cấp nguy cơ trượt đất trên bản đồ nguy cơ đã xây dựng. Số vụ trượt đất trong giai đoạn 2016-2022 được gán vào các cấp nguy cơ dựa trên vị trí điểm trượt thực tế, từ đó xác định được tần suất trung bình λ_i cho từng cấp nguy cơ theo công thức:

$$\lambda_i = \lambda \times \frac{n_i}{N} \quad (3.3)$$

trong đó:

λ_i - là số vụ trượt đất trung bình/năm trên từng cấp nguy cơ;

λ - là số vụ trượt đất trung bình/năm cho toàn khu vực (6 vụ/năm);

n_i - là số vụ trượt đất ghi nhận trong cấp nguy cơ i ;

N - là tổng số vụ trượt đất ghi nhận trong toàn khu vực (42 vụ).

Các giá trị λ_i là cơ sở để xác định xác suất xảy ra ít nhất một vụ trượt đất trong khoảng thời gian t năm tại cấp nguy cơ i theo công thức của phân bố Poisson:

$$P(H)_{t,i} = 1 - e^{-t \lambda_i} \quad (3.4)$$

Trong đó:

- $P(H)_{t,i}$: xác suất xảy ra ít nhất một vụ trượt đất trong t năm tại cấp nguy cơ i ;
- t : số năm xét (1 năm, 3 năm hoặc 5 năm).

Công thức này phản ánh mối quan hệ giữa tần suất trung bình và xác suất xuất hiện trượt đất, đồng thời đảm bảo tính nhất quán xác suất cho từng cấp nguy cơ. Các giá trị $P(H)_{t,i}$ thu được được gán trực tiếp cho từng cấp nguy cơ trên bản đồ, thay thế cho chỉ số tương đối của bản đồ susceptibility, từ đó hình thành bản đồ nguy cơ tai biến trượt đất (hazard map) định lượng theo năm (Bảng 3.3).

Bảng 3.3. Xác suất số vụ trượt đất có khả năng xảy ra ở mỗi cấp nguy cơ

Cấp nguy cơ	Số vụ	Tỷ lệ (%)	Tần suất trượt đất, $\lambda_i (\lambda = 6)$	Xác suất trượt đất theo thời gian (năm) trên từng cấp nguy cơ		
				$P(H)_{1,i}$	$P(H)_{3,i}$	$P(H)_{5,i}$
Rất thấp	0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
Thấp	6	14,29	0,861	0,577	0,924	0,986
Trung bình	13	30,95	1,857	0,844	0,996	1,000
Cao	11	26,19	1,571	0,792	0,991	1,000
Rất cao	12	28,57	1,709	0,819	0,994	1,000
Tổng cộng	42	100,00	6,000	-	-	-

c. Xác suất tại biến trượt đất theo không gian

Giá trị $P(H)_{t,i}$ phản ánh xác suất xảy ra trượt đất theo phạm vi khu vực cấp i . Để lượng hoá khả năng một CTXD cụ thể bị tác động khi có trượt đất, cần xét tới diện tích trung bình của một khối trượt $\bar{a}_i$ so với diện tích toàn cấp A_i . Khi đó, xác suất một công trình bất kỳ trong cấp i bị ảnh hưởng do trượt đất trong t năm được xác định là $P(S/H)_{t,i}$:

$$P(S | H)_{t,i} = 1 - \exp\left(-t \lambda_i \frac{\bar{a}_i}{A_i}\right) \quad (3.5)$$

Trong đó:

- $\bar{a}_i$: diện tích trung bình một khối trượt đất trong cấp i (m^2).
- A_i diện tích toàn bộ vùng cấp nguy cơ i (m^2);

Sử dụng hàm mũ từ phân bố Poisson giúp chuyển giá trị trung bình này thành xác suất có thiệt hại (S) đối với một CTXD, với điều kiện là có xảy ra trượt đất (H) trong vùng cấp nguy cơ đó và trong khoảng thời gian t. Số lượng CTXD có khả năng bị ảnh hưởng trên mỗi cấp nguy cơ được xác định bằng tích số của $P(S/H)_{i,t}$ nhân với tổng số công trình N_i trong cấp nguy cơ, theo công thức:

$$N'_{i,t}(\text{CTXD}) = P(S | H)_{t,i} \times N_i(\text{CTXD}) \quad (3.6)$$

Trong đó:

- $N'_{i,t}$ (CTXD): số CTXD có khả năng bị ảnh hưởng trong cấp nguy cơ i trong khoảng thời gian t (năm).

- N_i (CTXD): tổng số CTXD nằm trong cấp nguy cơ i .

Bảng 3.4. Xác suất trượt đất theo không gian và số lượng CTXD có khả năng bị ảnh hưởng trên cấp nguy cơ theo thời gian (năm)

Cấp nguy cơ	Diện tích cấp nguy cơ (km ²)	Diện tích tác động khối trượt, $\bar{a}$ (m ²)	Số lượng CTXD, N_i (công trình)	Xác suất trượt đất đối với CTXD $P(S/H)_{t,i}; t = \text{năm}$			Ước tính số lượng CTXD (công trình) có khả năng bị ảnh hưởng ($N'_{i,t}$), $t = \text{năm}$		
				$P(S/H)_{1,i}$	$P(S/H)_{3,i}$	$P(S/H)_{5,i}$	$N'_{i,1}$	$N'_{i,3}$	$N'_{i,5}$
Rất thấp	42.25	600	2388	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,00	0,00	0,00
Thấp	98.88	878	16374	0,0008%	0,0023%	0,0038%	0,13	0,38	0,63
Trung bình	148.36	2168	48543	0,0027%	0,0081%	0,0136%	1,32	3,95	6,59
Cao	128.53	1035	89372	0,0013%	0,0038%	0,0063%	1,13	3,39	5,65
Rất cao	46.10	692	35606	0,0026%	0,0077%	0,0128%	0,91	2,74	4,57
Tổng cộng	464.12	-	192283	-	-	-	3,49	10,46	17,43

3.1.1.3. Đánh giá đối tượng khả năng bị thiệt hại

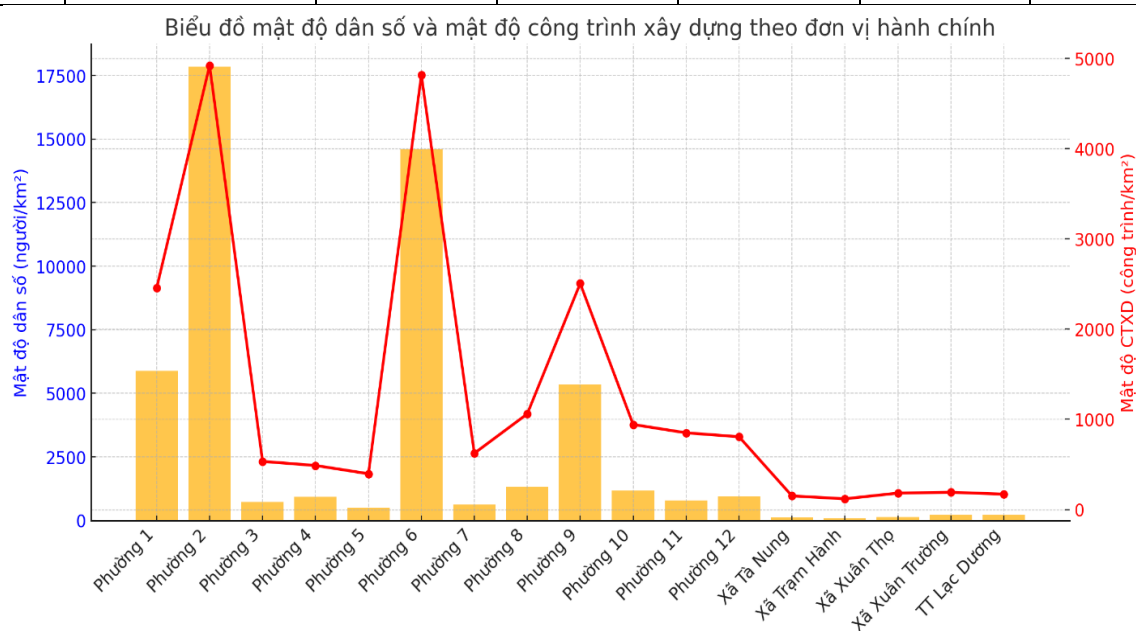
a. Sự phân bố dân cư và CTXD tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương

Yếu tố con người luôn được xem là đối tượng trung tâm, bởi thiệt hại về nhân mạng là mất mát lớn nhất và khó khắc phục nhất. Mức độ nguy cơ trượt đất đối với con người không chỉ phụ thuộc vào điều kiện tự nhiên như địa hình, mưa, thổ nhưỡng, mà còn bị chi phối mạnh bởi mật độ dân cư, mức độ tập trung CTXD trong phạm vi khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.

Để nhận diện nguy cơ này một cách có hệ thống, nghiên cứu đã tiến hành thống kê và phân nhóm các đơn vị hành chính theo mật độ dân số và mật độ CTXD, từ đó làm cơ sở đánh giá giữa phân bố dân cư và vùng có nguy cơ trượt đất để xác định khả năng tổn thương về người, đồng thời giúp xác định mức độ ưu tiên nhằm có biện pháp kiểm soát và phòng tránh tai biến trượt đất (Bảng 3.5).

Bảng 3.5. Thống kê mật độ CTXD và mật độ dân số theo cấp hành chính tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương

TT	Đơn vị hành chính	Diện tích (km ²)	Dân số năm 2022 (người)	Số lượng CTXD năm 2023	Mật độ dân số	Mật độ CTXD
1	Phường 1	1,79	10551	4397	5894,4	2456,4
2	Phường 2	1,25	22316	6152	17852,8	4921,6
3	Phường 3	27,16	19936	14478	734,0	533,1
4	Phường 4	29,55	27515	14416	931,1	487,9
5	Phường 5	33,31	16576	13205	497,6	396,4
6	Phường 6	1,6	23382	7705	14613,8	4815,6
7	Phường 7	32,92	20558	20515	624,5	623,2
8	Phường 8	17,65	23439	18702	1328,0	1059,6
9	Phường 9	4,9	26284	12281	5364,1	2506,3
10	Phường 10	13,7	16034	12908	1170,4	942,2
11	Phường 11	16,55	13084	14066	790,6	849,9
12	Phường 12	12,48	11988	10064	960,6	806,4
13	Xã Tà Nung	45,92	5269	6916	114,7	150,6
14	Xã Trạm Hành	55,45	5777	6562	104,2	118,3
15	Xã Xuân Thọ	62,66	8116	11403	129,5	182,0
16	Xã Xuân Trường	34,17	7485	6525	219,1	191,0
17	TT Lạc Dương	70,6	14905	12023	211,1	170,3



Hình 3.1. Biểu đồ mật độ dân số và mật độ CTXD theo đơn vị hành chính khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023

Kết quả rà soát chi tiết cho thấy 17 đơn vị hành chính trong khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương được phân thành 5 nhóm theo tổ hợp giữa mật độ dân số và mật độ CTXD, phản ánh rõ sự khác biệt về mức độ đô thị hóa, áp lực nhân sinh và nguy cơ tiềm ẩn đối với rủi ro trượt đất tại Hình 3.1 và Bảng 3.6.

Bảng 3.6. Thống kê mức độ tập trung dân số và CTXD theo cấp hành chính

Mật độ dân số (người /km²)	Mật độ CTXD (công trình /km²)		
	Cao (≥1000)	Trung bình (300-999)	Thấp (<300)
Cao (≥5.000)	Phường 1, 2, 6, 9	-	-
Trung bình (1.000-4.999)	Phường 8	Phường 10	-
Thấp (<1.000)	-	Phường 3, 4, 5, 7, 11, 12	Xã Tà Nung, Trạm Hành, Xuân Thọ, Xuân Trường, TT Lạc Dương

Kết quả rà soát chi tiết cho thấy 17 đơn vị hành chính trong khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương được phân thành 4 nhóm theo tổ hợp giữa mật độ dân số và mật độ CTXD, phản ánh rõ sự khác biệt về mức độ đô thị hóa, áp lực nhân sinh và nguy cơ tiềm ẩn đối với rủi ro trượt đất.

- Nhóm mật độ dân số cao - mật độ CTXD cao gồm 4 đơn vị: Phường 1, Phường 2, Phường 6 và Phường 9. Đây là các phường trung tâm có diện tích nhỏ nhưng mức độ phát triển hạ tầng dày đặc và dân số tập trung rất cao.

- Nhóm mật độ dân số trung bình - mật độ CTXD trung bình đến cao, gồm 2 đơn vị: Phường 8 và Phường 10.

- Nhóm mật độ dân số thấp - mật độ CTXD trung bình, gồm 6 đơn vị: Phường 3, 4, 5, 7, 11, 12. Đây là khu vực có mật độ dân số tương đối thấp nhưng số lượng công trình khá tập trung.

- Nhóm mật độ dân số thấp - mật độ CTXD thấp gồm 5 đơn vị: Xã Tà Nung, Trạm Hành, Xuân Thọ, Xuân Trường và TT Lạc Dương. Đây là các khu vực có diện tích rộng, quỹ đất lớn, nhưng phân bố dân cư thưa thớt và ít công trình.

Sự khác biệt lớn giữa các nhóm về mật độ dân số và mật độ CTXD là cơ sở quan trọng để đánh giá mức độ tổn thương và xác định khu vực ưu tiên can thiệp.

b. Khả năng tác động của trượt đất đối với CTXD theo đơn vị hành chính

Kết quả tính toán cho thấy tổng số CTXD ước tính có khả năng bị ảnh hưởng toàn khu vực là 3,49 công trình/năm, tăng lên 10,46 công trình/3 năm và 17,43 công trình/5 năm, phản ánh xu thế tích lũy rủi ro theo thời gian (Bảng 3.4). Xét theo cấp nguy cơ:

- Cấp rất cao: có diện tích 46,10 km², phân bố 35.606 CTXD. Số CTXD ước tính bị ảnh hưởng là 0,91 CTXD/năm, 2,74 CTXD/3 năm và 4,57 CTXD/5 năm. Đây là cấp nguy cơ chiếm tỷ lệ khoảng 26% tổng rủi ro trong 5 năm.

- Cấp cao: chiếm 128,53 km² với 89.372 CTXD. Ước tính 1,13 CTXD/năm, 3,39 CTXD/3 năm và 5,65 CTXD/5 năm. Nhóm này cũng có tỷ lệ khoảng 32% tổng rủi ro trong 5 năm.

- Cấp trung bình: diện tích 148,36 km², 48.543 CTXD, với kết quả 1,32 CTXD/năm, 3,95 CTXD/3 năm và 6,59 CTXD/5 năm, chiếm 38% tổng 5 năm, cấp này có tỷ lệ rủi ro cao nhất trong các cấp nguy cơ.

- Cấp thấp và rất thấp: lần lượt 98,88 km² (16.374 CTXD) và 42,25 km² (2.388 CTXD), nhưng số công trình ước tính bị ảnh hưởng hầu như không đáng kể (tổng cộng < 0,13 CTXD/năm và < 0,63 CTXD/5 năm).

Xét theo cấp nguy cơ, các vùng trung bình (6,59 CTXD/5 năm), cao (5,65 CTXD/5 năm) và rất cao (4,57 CTXD/5 năm) chiếm tới hơn 95% tổng số công trình bị ảnh hưởng. Ngược lại, các cấp thấp và rất thấp gần như không đáng kể (<0,13 CTXD/năm, chỉ 0,63 CTXD sau 5 năm).

Theo đơn vị hành chính có khả năng chịu ảnh hưởng lớn nhất lần lượt là phường 7 (1,92 CTXD/5 năm), phường 8 (1,50), phường 3 (1,43), phường 4 (1,40), phường 5 (1,34), phường 10 (1,32) và phường 11 (1,28). Đây là những khu vực tập trung nhiều công trình trong vùng nguy cơ cao và rất cao, nên giá trị ước tính tổn thất về công trình vượt trội. Thị trấn Lạc Dương cũng đáng lưu ý, với hơn 1 CTXD bị ảnh hưởng sau 5 năm. Ngược lại, các xã vùng ven như Tà Nung, Trạm Hành, Xuân Thọ, Xuân Trường có giá trị thấp (<1 CTXD/5 năm), phản ánh mật độ công trình phân bố trong vùng nguy cơ không cao (Bảng 3.7 và 3.8).

Bảng 3.7. Phần trăm (%) xác suất nguy cơ tại biến $P(S/H)_{t,i}$ theo đơn vị hành chính

T T	Đơn vị hành chính	Ký hiệu	Phần trăm (%) xác suất nguy cơ tại biến $P(S/H)_{t,i}$					Tổng số
		$P(S/H)_{1,i}$	0,0026	0,0013	0,0027	0,0008	0,00	
		$P(S/H)_{3,i}$	0,0077	0,0038	0,0081	0,0023	0,00	
		$P(S/H)_{5,i}$	0.0128	0.0063	0.0136	0.0038	0,00	
		S_{hc}	Diện tích cấp nguy cơ (ha) theo đơn vị hành chính					
		N_i	Số CTXD phân bố theo cấp nguy cơ (công trình)					
		Cấp nguy cơ	Rất cao	Cao	Trung bình	Thấp	Rất thấp	
1	Phường 1	S_{hc}	24,63	121,32	34,34	0,00	0,00	180,29
		N_i	750	3332	181	0	0	4263
2	Phường 2	S_{hc}	29,58	94,06	0,20	0,00	0,38	124,22
		N_i	1498	4607	8	0	28	6141
3	Phường 3	S_{hc}	210,27	372,23	870,82	827,61	451,48	2732,42

T T	Đơn vị hành chính	Ký hiệu	Phần trăm (%) xác suất nguy cơ tai biến $P(S/H)_{t,i}$					Tổng số
		$P(S/H)_{1,i}$	0,0026	0,0013	0,0027	0,0008	0,00	
		$P(S/H)_{3,i}$	0,0077	0,0038	0,0081	0,0023	0,00	
		$P(S/H)_{5,i}$	0.0128	0.0063	0.0136	0.0038	0,00	
		S_{hc}	Diện tích cấp nguy cơ (ha) theo đơn vị hành chính					
		N_i	Số CTXD phân bố theo cấp nguy cơ (công trình)					
		Cấp nguy cơ	Rất cao	Cao	Trung bình	Thấp	Rất thấp	
		N_i	4695	5616	3278	613	158	14360
4	Phường 4	S_{hc}	100,17	757,34	1013,99	926,24	137,52	2935,26
		N_i	979	6730	6032	687	7	14435
5	Phường 5	S_{hc}	7,17	929,04	1811,15	643,98	60,03	3451,37
		N_i	199	5005	7108	986	46	13344
6	Phường 6	S_{hc}	52,70	108,59	13,79	0,58	0,00	175,66
		N_i	2103	5422	150	10	0	7685
7	Phường 7	S_{hc}	823,32	1605,35	873,16	126,29	14,17	3442,28
		N_i	7444	10669	2063	329	40	20545
8	Phường 8	S_{hc}	444,46	1158,11	198,62	5,36	2,33	1808,88
		N_i	3689	13849	1105	5	3	18651
9	Phường 9	S_{hc}	66,53	257,70	153,25	0,21	0,01	477,70
		N_i	1730	5645	4946	0	0	12321
10	Phường 10	S_{hc}	208,79	432,33	434,23	219,25	80,05	1374,65
		N_i	3193	4771	4270	695	87	13016
11	Phường 11	S_{hc}	218,36	610,32	519,47	291,42	18,59	1658,16
		N_i	3243	7276	2825	666	16	14026
12	Phường 12	S_{hc}	353,93	648,96	219,87	4,46	5,03	1232,25
		N_i	1880	5054	3131	4	4	10073
13	Xã Tà Nung	S_{hc}	25,48	1554,10	2092,37	895,58	54,13	4621,65
		N_i	10	778	2696	3361	63	6908
14	Xã Trạm Hành	S_{hc}	0,00	0,00	1556,41	2185,42	1809,46	5551,29
		N_i	0	0	2190	3390	991	6571
15	Xã Xuân Thọ	S_{hc}	373,52	1200,14	2263,77	1729,30	713,86	6280,58
		N_i	1076	3103	4097	2795	288	11359
16	Xã Xuân Trường	S_{hc}	0,00	12,87	1154,42	1586,42	730,04	3483,75
		N_i	0	10	3125	2736	648	6519
17	Thị Trấn Lạc Dương	S_{hc}	1671,57	2990,26	1627,30	445,68	147,70	6882,51
		N_i	3117	7505	1338	97	9	12066
	Tổng cộng	ΣS_{hc}	4610,49	12852,73	14837,16	9887,78	4224,77	46412,92
		ΣN_i	35606	89372	48543	16374	2388	192283

Bảng 3.8. Ước tính số CTXD có khả năng bị ảnh hưởng trên đơn vị hành chính theo thời gian (1 năm, 3 năm và 5 năm)

T T	Đơn vị hành chính	Ước tính số CTXD có khả năng bị ảnh hưởng trên đơn vị hành chính theo cấp nguy cơ (công trình)					Tổng số CTXD ước tính có khả năng bị ảnh hưởng theo thời gian (công trình)		
		Rất cao	Cao	Trung bình	Thấp	Rất thấp	1 năm	3 năm	5 năm
1	Phường 1	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,07	0,20	0,33
2	Phường 2	0,04	0,06	0,00	0,00	0,00	0,10	0,29	0,48
3	Phường 3	0,12	0,07	0,09	0,00	0,00	0,29	0,86	1,43
4	Phường 4	0,03	0,09	0,16	0,01	0,00	0,28	0,84	1,40
5	Phường 5	0,01	0,06	0,19	0,01	0,00	0,27	0,81	1,34
6	Phường 6	0,05	0,07	0,00	0,00	0,00	0,13	0,38	0,63
7	Phường 7	0,19	0,13	0,06	0,00	0,00	0,38	1,15	1,92
8	Phường 8	0,09	0,18	0,03	0,00	0,00	0,30	0,90	1,50
9	Phường 9	0,04	0,07	0,13	0,00	0,00	0,25	0,75	1,25
10	Phường 10	0,08	0,06	0,12	0,01	0,00	0,26	0,79	1,32
11	Phường 11	0,08	0,09	0,08	0,01	0,00	0,26	0,77	1,28
12	Phường 12	0,05	0,06	0,08	0,00	0,00	0,20	0,59	0,99
13	Xã Tà Nung	0,00	0,01	0,07	0,03	0,00	0,11	0,33	0,54
14	Xã Trạm Hành	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	0,09	0,26	0,43
15	Xã Xuân Thọ	0,03	0,04	0,11	0,02	0,00	0,20	0,60	1,00
16	Xã Xuân Trường	0,00	0,00	0,08	0,02	0,00	0,11	0,32	0,53
17	Thị trấn Lạc Dương	0,08	0,09	0,04	0,00	0,00	0,21	0,64	1,06
Tổng cộng	1 năm	0,91	1,13	1,32	0,13	0,00	3,49	-	-
	3 năm	2,74	3,39	3,95	0,38	0,00	-	10,46	-
	5 năm	4,57	5,65	6,59	0,63	0,00	-	-	17,43

3.1.1.4. Ước tính thiệt hại về tài sản và người

a. Ước tính rủi ro về tài sản

Căn cứ bảng giá nhà ở, CTXD tại Quyết định số 45/2022/QĐ-UBND ngày 05/10/2022 của UBND tỉnh Lâm Đồng tại *Phụ lục 3 (Bảng PL3.3)*. Giá trị tài sản tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương đối với các đơn vị hành chính được ước tính như sau:

- Đối với 05 đơn vị hành chính (các phường 1, 2, 6, 8, 9) có mật độ CTXD cao, ước tính số lượng CTXD cấp III là 80% với giá trị tài sản lấy là 8.330.653 đồng/m² sàn xây dựng và số lượng CTXD cấp IV là 20% với giá trị tài sản là 5.846.537 đồng/m² sàn xây dựng. Giá trị trung bình thiệt hại về tài sản là 7.833.830 đồng/m² sàn xây dựng, làm tròn số 7.8 triệu đồng/m².

- Đối với 12 đơn vị hành chính (các phường 3, 4, 5, 7, 10, 11, 12, xã Tà Xung, Xuân Trường, Trạm Hành, Xuân Thọ và thị trấn Lạc Dương) có mật độ CTXD từ thấp đến trung bình, ước tính số lượng CTXD cấp III là 20% với giá trị tài sản lấy là 8.330.653 đồng/m² sàn xây dựng và số lượng CTXD cấp IV là 80% với giá trị tài sản là 5.846.537 đồng/m² sàn xây dựng. Giá trị trung bình thiệt hại về tài sản là 6.343.360 đồng/m² sàn xây dựng, làm tròn số 6.4 triệu đồng/m².

Diện tích bị ảnh hưởng trong từng đơn vị hành chính được xác định theo công thức:

$$S_{ah,l} = S_{hc} \times P(S/H)_{l,l} \quad (3.7)$$

với S_{hc} là diện tích cấp nguy cơ thuộc đơn vị hành chính và $P(S/H)_{l,i}$ là xác suất xảy ra trượt lở. Từ đó, số công trình có khả năng bị tổn thương (n_i) được tính theo:

$$n_{i,l} = S_{ah,l} \times N_i \times V(P/S) \quad (3.8)$$

trong đó N_i là số công trình phân bố trong cấp nguy cơ và $V(P/S)$ là giá trị tổn thương khuyến nghị (0,7-0,05 cho các cấp rất cao → rất thấp).

Kết quả tổng hợp cho thấy số CTXD có khả năng bị tổn thương (n_i), toàn khu vực có thể ghi nhận khoảng 1,61 CTXD/năm, tăng lên 4,84 công trình/3 năm và 8,06 công trình/5 năm. Xu hướng tăng đều theo thời gian phản ánh đặc trưng tích lũy của rủi ro (Bảng 3.9). Xét theo đơn vị hành chính:

- Nhóm rất cao và cao: Phường 7 (0,218 CTXD/năm), Phường 8 (0,163), Phường 3 (0,147), Phường 11 (0,128) và Thị trấn Lạc Dương (0,114). Đây là các địa bàn tập trung diện tích nguy cơ lớn (0,03-0,13 ha bị ảnh hưởng) và mật độ công trình từ trung bình đến cao, nên số công trình ước tính bị tổn thương vượt trội, chiếm khoảng 50% tổng toàn khu vực.

- Nhóm trung bình: Phường 4, 9, 10, 12 dao động từ 0,09-0,12 CTXD/năm, chiếm 6-7% tổng khu vực. Đây là nhóm có quy mô rủi ro đáng kể, cần theo dõi sát.

- Nhóm thấp: Phường 1, 2, 5, 6 và Xã Xuân Thọ, dao động từ 0,036-0,094 CT/năm.

- Nhóm rất thấp: Các xã Tà Nung, Trạm Hành, Xuân Trường, chỉ ghi nhận <0,03 CTXD/năm, gần như không đáng kể trong tổng thể.

Như vậy, cấp trung bình, cao và rất cao là khu vực có số CTXD có khả năng bị tổn thương chủ yếu, chiếm hơn 95% tổng số công trình có khả năng bị tổn thương. Trong đó, cấp trung bình có giá trị cộng dồn cao nhất (1,98 CTXD/5 năm) do diện tích bị ảnh hưởng lớn (≈2.013 ha), mặc dù xác suất thấp hơn cấp rất cao.

Bảng 3.9. Ước tính số CTXD có khả năng bị tổn thương (n_i) trên đơn vị hành chính theo cấp nguy cơ (công trình)

TT	Đơn vị hành chính	Ký hiệu	Ước tính diện tích bị ảnh hưởng (S_{ah}) trên đơn vị hành chính theo cấp nguy cơ (ha), $S_{ah,l} = S_{hc} \times P(S/H)_{l,i}$					Tổng cộng (n)	Diện tích trung vị CTXD (1 tầng), S_{CTXD} (m ²)	Giá xây dựng, G_{XD} (triệu đồng)
			Giá trị tổn thương CTXD khuyến nghị - V(P/S)							
			0,7	0,5	0,3	0,1	0,05			
			Ước tính số CTXD có khả năng bị tổn thương (n_i) trên đơn vị hành chính theo cấp nguy cơ (công trình), $n_{i,l} = S_{ah,l} \times N_i \times V(P/S)$							
			Rất cao	Cao	Trung bình	Thấp	Rất thấp			
1	Phường 1	$S_{ah,l}$	0,0006	0,0015	0,0009	0,0000	0,0000	0,0031	64	7,8
		$n_{i,l}$	0,013	0,021	0,001	0,000	0,000	0,036		
2	Phường 2	$S_{ah,l}$	0,0008	0,0012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0020	64	7,8
		$n_{i,l}$	0,027	0,029	0,000	0,000	0,000	0,056		
3	Phường 3	$S_{ah,l}$	0,0054	0,0047	0,0236	0,0063	0,0000	0,0401	53	6,4
		$n_{i,l}$	0,084	0,036	0,027	0,000	0,000	0,147		
4	Phường 4	$S_{ah,l}$	0,0026	0,0096	0,0275	0,0071	0,0000	0,0467	59	6,4
		$n_{i,l}$	0,018	0,043	0,049	0,001	0,000	0,110		
5	Phường 5	$S_{ah,l}$	0,0002	0,0118	0,0491	0,0049	0,0000	0,0660	60	6,4
		$n_{i,l}$	0,004	0,032	0,058	0,001	0,000	0,094		
6	Phường 6	$S_{ah,l}$	0,0014	0,0014	0,0004	0,0000	0,0000	0,0031	62	7,8
		$n_{i,l}$	0,038	0,034	0,001	0,000	0,000	0,073		
7	Phường 7	$S_{ah,l}$	0,0211	0,0203	0,0237	0,0010	0,0000	0,0661	74	6,4
		$n_{i,l}$	0,134	0,067	0,017	0,000	0,000	0,218		
8	Phường 8	$S_{ah,l}$	0,0114	0,0147	0,0054	0,0000	0,0000	0,0315	78	7,8
		$n_{i,l}$	0,066	0,088	0,009	0,000	0,000	0,163		
9	Phường 9	$S_{ah,l}$	0,0017	0,0033	0,0042	0,0000	0,0000	0,0091	66	7,8
		$n_{i,l}$	0,031	0,036	0,040	0,000	0,000	0,107		
10	Phường 10	$S_{ah,l}$	0,0054	0,0055	0,0118	0,0017	0,0000	0,0243	52	6,4
		$n_{i,l}$	0,057	0,030	0,035	0,001	0,000	0,123		
11	Phường 11	$S_{ah,l}$	0,0056	0,0077	0,0141	0,0022	0,0000	0,0296	74	6,4
		$n_{i,l}$	0,058	0,046	0,023	0,001	0,000	0,128		
12	Phường 12	$S_{ah,l}$	0,0091	0,0082	0,0060	0,0000	0,0000	0,0233	81	6,4
		$n_{i,l}$	0,034	0,032	0,025	0,000	0,000	0,091		
13	Xã Tà Nung	$S_{ah,l}$	0,0007	0,0197	0,0568	0,0068	0,0000	0,0839	72	6,4
		$n_{i,l}$	0,000	0,005	0,022	0,003	0,000	0,030		
14	Xã Trạm Hành	$S_{ah,l}$	0,0000	0,0000	0,0422	0,0167	0,0000	0,0589	45	6,4
		$n_{i,l}$	0,000	0,000	0,018	0,003	0,000	0,020		
15	Xã Xuân Thọ	$S_{ah,l}$	0,0096	0,0152	0,0614	0,0132	0,0000	0,0994	60	6,4
		$n_{i,l}$	0,019	0,020	0,033	0,002	0,000	0,074		
16		$S_{ah,l}$	0,0000	0,0002	0,0313	0,0121	0,0000	0,0436	82	6,4

	Xã Xuân Trường	$n_{i,l}$	0,000	0,000	0,025	0,002	0,000	0,028		
17	Thị Trấn Lạc Dương	$S_{ah,l}$	0,0429	0,0378	0,0442	0,0034	0,0000	0,1283	54	6,4
		$n_{i,l}$	0,056	0,047	0,011	0,000	0,000	0,114		
Tổng cộng		$\Sigma S_{ah,l}$	0,1183	0,1626	0,4026	0,0756	0,0000	0,7590	-	-
		$\Sigma n_{i,l}$	0,639	0,565	0,395	0,013	0,000	1,612	-	-
		$\Sigma S_{ah,3}$	0,3548	0,4878	1,2077	0,2268	0,0000	2,2771	-	-
		$\Sigma n_{i,3}$	1,918	1,696	1,185	0,038	0,000	4,837	-	-
		$\Sigma S_{ah,5}$	0,5913	0,8130	2,0128	0,3780	0,0000	3,7951	-	-
		$\Sigma n_{i,5}$	3,196	2,826	1,976	0,063	0,000	8,061	-	-

Rủi ro về tài sản được xác định theo công thức:

$$R_{tsi,l} = n_{i,l} \times S_{CTXD} \times G_{XD} \quad (3.9)$$

Trong đó: $n_{i,t}$ là số CTXD có khả năng bị ảnh hưởng trong đơn vị hành chính theo thời gian ở từng cấp nguy cơ; S_{CTXD} là diện tích trung vị của công trình; và G_{XD} là đơn giá xây dựng trung bình tại khu vực. Kết quả tính toán được tổng hợp theo từng cấp nguy cơ và cộng dồn để ước lượng tổng thiệt hại tài sản theo 1 năm, 3 năm và 5 năm.

Kết quả cho thấy tổng rủi ro về tài sản toàn khu vực ước tính đạt 732,6 triệu đồng/năm, tăng lên 2.197,9 triệu đồng ($\approx 2,2$ tỷ đồng) sau 3 năm và 3.663,1 triệu đồng ($\approx 3,7$ tỷ đồng) sau 5 năm, phản ánh xu thế tích lũy rủi ro rõ rệt theo thời gian (Bảng 3.10 và Hình 3.2).

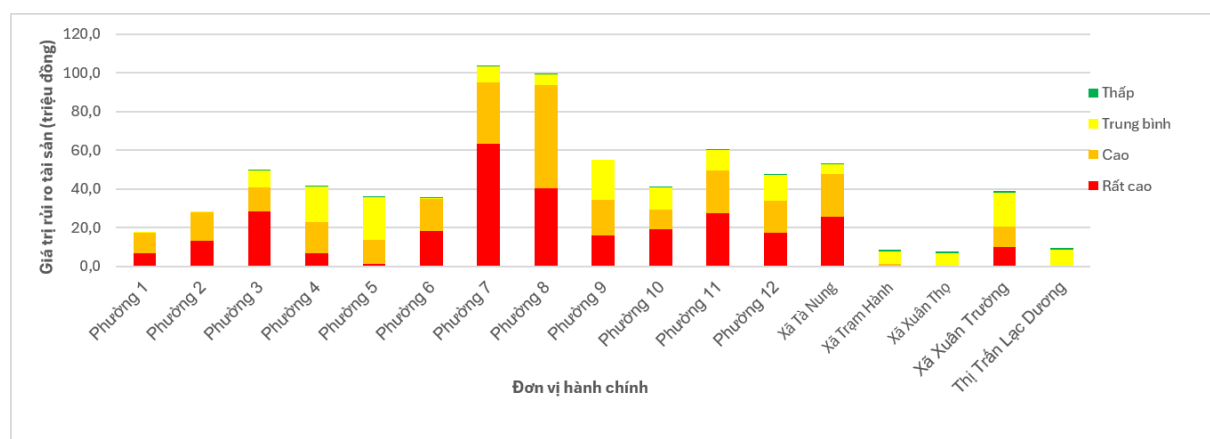
Xét theo đơn vị hành chính có mức rủi ro tài sản rất cao và cao, là Phường 7 với 103,3 triệu đồng/năm và lên tới 516,7 triệu đồng/5 năm (chiếm 14,1% tổng giá trị), tiếp theo là Phường 8 (495,3 triệu đồng/5 năm, chiếm 13,5%), Phường 11 (302,5 triệu đồng/5 năm, 8,3%), và Phường 9 (275,5 triệu đồng/5 năm, 7,5%). Đây là những địa bàn có mật độ xây dựng cao và nằm trong vùng nguy cơ trượt lở.

Nhóm rủi ro về tài sản trung bình bao gồm các phường 3, 4, 10, 12 và thị trấn Lạc Dương, với giá trị thiệt hại dao động từ 200-260 triệu đồng/5 năm (5-7% tổng khu vực). Các phường 1, 2, 5, 6 và xã Xuân Thọ có mức rủi ro thấp hơn, từ 90-195 triệu đồng/5 năm (2-5%).

Nhóm rủi ro rất thấp thuộc về các xã Xuân Trường, Tà Nung và Trạm Hành, nơi thiệt hại ước tính chỉ 39-48 triệu đồng/5 năm ($\sim 1\%$ tổng khu vực), phản ánh mật độ công trình thấp và nguy cơ hạn chế.

Bảng 3.10. Giá trị ước tính rủi ro về tài sản (Rts) trên đơn vị hành chính theo thời gian (triệu đồng)

TT	Đơn vị hành chính	Rủi ro về tài sản (R_{ts}) ước tính trên đơn vị hành chính theo cấp nguy cơ (triệu đồng), $R_{tsi,l} = n_{i,l} \times S_{CTXD} \times G_{XD}$				Tổng thiệt hại về tài sản ước tính theo năm (triệu đồng)		
		Rất cao	Cao	Trung bình	Thấp + Rất thấp	1 năm	3 năm	5 năm
1	Phường 1	6,7	10,5	0,7	0,0	18,0	53,9	89,9
2	Phường 2	13,4	14,5	0,0	0,0	28,0	84,0	140,0
3	Phường 3	28,6	12,0	9,1	0,2	49,9	149,6	249,3
4	Phường 4	6,6	16,1	18,5	0,2	41,5	124,4	207,3
5	Phường 5	1,4	12,2	22,2	0,3	36,0	108,1	180,2
6	Phường 6	18,3	16,6	0,6	0,0	35,4	106,3	177,2
7	Phường 7	63,3	32,0	8,0	0,1	103,3	310,0	516,7
8	Phường 8	40,3	53,3	5,5	0,0	99,1	297,2	495,3
9	Phường 9	16,0	18,4	20,7	0,0	55,1	165,3	275,5
10	Phường 10	19,1	10,0	11,6	0,2	40,9	122,6	204,3
11	Phường 11	27,6	21,8	10,9	0,2	60,5	181,5	302,5
12	Phường 12	17,5	16,6	13,2	0,0	47,3	141,9	236,4
13	Xã Tà Nung	0,1	1,4	6,3	0,7	8,5	25,6	42,6
14	Xã Trạm Hành	0,0	0,0	6,8	1,0	7,8	23,5	39,2
15	Xã Xuân Thọ	10,1	10,3	17,5	1,1	39,1	117,2	195,3
16	Xã Xuân Trường	0,0	0,0	8,8	0,7	9,5	28,6	47,7
17	Thị trấn Lạc Dương	25,8	21,9	5,0	0,0	52,7	158,2	263,6
Tổng cộng		294,7	267,6	165,5	4,8	732,6	-	-
		884,2	802,8	496,4	14,4	-	2197,9	-
		1473,7	1338,0	827,4	24,0	-	-	3663,1



Hình 3.2. Biểu đồ ước tính giá trị rủi ro tài sản tại các đơn vị hành chính theo thời gian (1 năm, 3 năm và 5 năm)

b. Ước tính giá trị rủi ro về người

Giá trị rủi ro về người (Rcn) được ước tính dựa trên số công trình có khả năng bị ảnh hưởng trong từng đơn vị hành chính, nhân với giá trị tổn thương khuyến nghị cho từng 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_i).

$$Rcn_{i,l} = n_{i,l} \times V(L/T) \times \varphi_i \quad (3.10)$$

Kết quả cho thấy giá trị rủi ro về người toàn khu vực ước tính khoảng 1,75 người/năm, 5,26 người/3 năm và 8,77 người/5 năm, phản ánh xu hướng gia tăng tích lũy theo thời gian. Rủi ro cao tập trung ở các phường nội đô như phường 2, 3, 6, 7, 8, 9 và thị trấn Lạc Dương, với giá trị Rcn từ 0,46-0,94 người/5 năm (chiếm 5-11% tổng rủi ro), trong đó phường 6 và phường 7 nổi bật nhất, mỗi nơi giá trị rủi ro về người tới 0,94 người/5 năm. Nhóm giá trị rủi ro về người trung bình gồm phường 1, 4, 5, 10, 11, 12, dao động từ 0,31-0,64 người/5 năm (4-7%), phản ánh nguy cơ đáng kể do mật độ dân cư cao. Các xã vùng ven như Tà Nung, Trạm Hành, Xuân Thọ, Xuân Trường có giá trị Rcn rất nhỏ ($<0,2$ người/5 năm, dưới 2%) tại *Bảng 3.11*.

Bảng 3.11. Giá trị ước tính rủi ro về người (Rcn) trên đơn vị hành chính theo thời gian (người)

TT	Đơn vị hành chính	Mật độ dân cư trên mỗi CTXD	Giá trị rủi ro về người (Rcn) ước tính trên đơn vị hành chính theo cấp nguy cơ, $Rcn_{i,l} = n_{i,l} \times V(L/T) \times \varphi_i$				Tổng giá trị rủi ro về người ước tính theo thời gian		
			Giá trị tổn thương về người khuyến nghị $V(L/T)$						
			1.0	0.7	0.4	0.1			
		φ_i	Rất cao	Cao	Trung bình	Thấp + Rất thấp	1 năm	3 năm	5 năm
1	Phường 1	2,40	0,03	0,04	0,00	0,00	0,07	0,21	0,35
2	Phường 2	3,63	0,10	0,07	0,00	0,00	0,17	0,52	0,86
3	Phường 3	1,38	0,12	0,03	0,01	0,00	0,17	0,50	0,83
4	Phường 4	1,91	0,03	0,06	0,04	0,00	0,13	0,38	0,64
5	Phường 5	1,26	0,00	0,03	0,03	0,00	0,06	0,19	0,31
6	Phường 6	3,03	0,11	0,07	0,00	0,00	0,19	0,57	0,94
7	Phường 7	1,00	0,13	0,05	0,01	0,00	0,19	0,56	0,94
8	Phường 8	1,25	0,08	0,08	0,00	0,00	0,16	0,49	0,82
9	Phường 9	2,14	0,07	0,05	0,03	0,00	0,15	0,46	0,77
10	Phường 10	1,24	0,07	0,03	0,02	0,00	0,11	0,34	0,57
11	Phường 11	0,93	0,05	0,03	0,01	0,00	0,09	0,28	0,46
12	Phường 12	1,19	0,04	0,03	0,01	0,00	0,08	0,24	0,39
13	Xã Tà Nung	0,76	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,05

TT	Đơn vị hành chính	Mật độ dân cư trên mỗi CTXD	Giá trị rủi ro về người (Rcn) ước tính trên đơn vị hành chính theo cấp nguy cơ, $R_{cn,i,l} = n_{i,l} \times V(L/T) \times \varphi_i$				Tổng giá trị rủi ro về người ước tính theo thời gian		
			Giá trị tổn thương về người khuyến nghị $V(L/T)$						
			1.0	0.7	0.4	0.1			
		φ_i	Rất cao	Cao	Trung bình	Thấp + Rất thấp	1 năm	3 năm	5 năm
14	Xã Trạm Hành	0,88	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03
15	Xã Xuân Thọ	0,71	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,10	0,17
16	Xã Xuân Trường	1,15	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,06
17	Thị Trấn Lạc Dương	1,24	0,07	0,04	0,01	0,00	0,12	0,35	0,58
Tổng cộng		1 năm	0,93	0,62	0,21	0,00	1,75	-	-
		3 năm	2,79	1,85	0,62	0,00	-	5,26	-
		5 năm	4,65	3,08	1,04	0,01	-	-	8,77

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

3.1.2.1. Ước lượng khoảng vùi lấp

Phạm vi khối trượt và khoảng vùi lấp của khối trượt có khả năng gây thiệt hại tới CTXD được xác định bằng mô hình trượt đất theo phương pháp động lực học [17], [133] được phân chia thành các vùng ảnh hưởng (V) như sau (Hình 3.3):

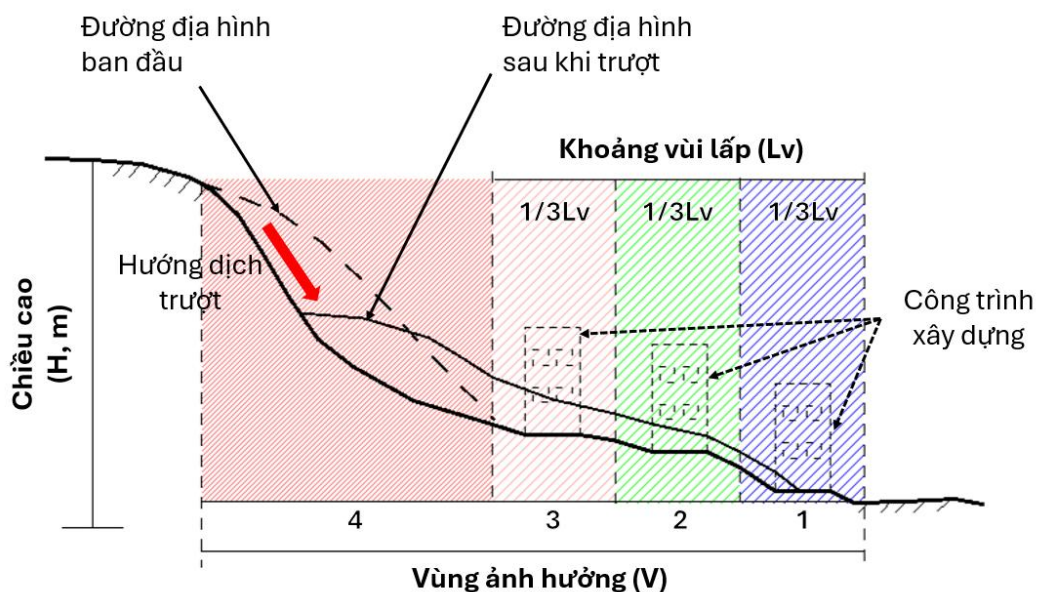
- Phạm vi khối trượt (V4 - nền gạch chéo mau màu đỏ): là phạm vi CTXD bị phá huỷ hoàn toàn, nguy cơ chết người rất cao.

- Phạm vi tác động mạnh (V3 - nền gạch chéo thưa màu đỏ): tương ứng phạm vi thứ nhất bằng 1/3 chiều dài của L_v , là phạm vi có mức năng lượng cao nhất tác động tới CTXD do động năng lớn và sự tập trung của vật liệu trượt. Phạm vi này thường chịu tổn thương nghiêm trọng nhất, do đất di chuyển với tốc độ cao và va chạm mạnh vào các công trình gây chết người cao.

- Phạm vi tác động trung bình (V2 - nền gạch chéo thưa màu xanh lá cây): tương ứng phạm vi thứ hai bằng 1/3, là phạm vi có mức năng lượng thấp hơn do ma sát và sự phân tán của vật liệu trong quá trình dịch chuyển. Phạm vi này có thể gây tổn thương ở mức trung bình, vì dù vật liệu đã bắt đầu phân tán, nhưng vẫn tạo ra lực tác động phá huỷ lên CTXD, người có khả năng sống sót nhưng bị thương.

- Phạm vi tác động thấp (V1 - nền gạch chéo thưa màu xanh lam): tương ứng bằng 1/3 thứ ba của L_v , là phạm vi không còn động lực mạnh, chỉ còn các mảnh vụn nhỏ tích tụ tràn xuống phía chân sườn dốc. Phạm vi này sự dịch trượt đất đã dừng lại,

gây tổn thương nhẹ hoặc đơn thuần là vùng tích tụ, người có khả năng sống sót và ít khi bị thương.



Hình 3.3. Sơ đồ phân chia phạm vi tác động (L_v) tại vị trí trượt đất (theo Fu et. al., 2020)

Theo đó, các giá trị tổn thương theo vùng (V) dựa vào khoảng chia của khoảng bị vùi lấp (L_v) được đề xuất như sau (Bảng 3.12):

- Vùng 4 (V4): giá trị khuyến nghị bằng 1; CTXD bị cuốn theo, phá hủy hoàn toàn, gần như chắc chắn gây tử vong về người khi có mặt.
- Vùng 3 (V3): giá trị từ 0,5 - 1; CTXD bị phá hủy, hầu hết bị vùi lấp, có khả năng tử vong hoặc bị thương nặng.
- Vùng 2 (V2): giá trị từ 0,3 - 0,9; CTXD bị hư hỏng một phần, người có thể bị thương nhẹ.
- Vùng 1 (V1): giá trị từ 0 - 0,3; CTXD bị hư hỏng nhẹ, ít có khả năng bị thương.

Bảng 3.12. Ước lượng giá trị tổn thương theo khoảng vùi lấp

TT	Chiều cao H (m)	Khoảng vùi lấp đánh giá L_v (m)	Vùng 4 (V4) phạm vi thân khối trượt	Vùng 3 (V3) phạm vi tác động mạnh (m)	Vùng 2 (V2) phạm vi tác động trung bình (m)	Vùng 1 (V1) phạm vi tác động thấp (m)
1	8,7	4,5	-	1,5	1,5	1,5
2	14,7	9,0	-	3,0	3,0	3,0
3	23,3	18,0	-	9,0	9,0	9,0
Giá trị tổn thương V(L_v) khuyến nghị			1	0,5 - 1	0,3 - 0,9	0 - 0,3

3.1.2.2. Đánh giá mức độ tổn thương về tài sản

Trong bối cảnh đô thị hóa diễn ra nhanh chóng cùng với sự gia tăng rõ rệt của rủi ro trượt đất tại các khu vực miền núi, việc quản lý hiệu quả các CTXD nằm trong vùng nguy cơ trở thành một yêu cầu cấp thiết nhằm giảm thiểu thiệt hại và nâng cao năng lực ứng phó. Trên thực tế, tại nhiều địa phương mặc dù chính quyền cấp trên đã ban hành mẫu hướng dẫn về việc thu thập thông tin liên quan đến CTXD, bao gồm tên công trình, vị trí, quy mô, đánh giá sơ bộ nguy cơ và mức độ ảnh hưởng do trượt đất, nhưng quá trình này thường chỉ được triển khai khi có sự cố xảy ra. Điều này khiến cán bộ cơ sở ít có chuyên môn gặp nhiều khó khăn, lúng túng khi triển khai và xử lý thông tin, đồng thời thiếu tính chủ động trong công tác phòng ngừa. Hệ quả là cơ sở dữ liệu được thu thập còn đơn giản, chưa đáp ứng đầy đủ các yêu cầu về tính chi tiết và độ tin cậy cần thiết để hỗ trợ chính quyền địa phương đưa ra các quyết định kịp thời và phù hợp trong QLRR. Thông tin thu được chủ yếu chỉ dừng lại ở mô tả cơ bản như vị trí thửa đất, tên chủ hộ, đơn vị hành chính (xã/phường) đối 59 vị trí trên địa bàn khu đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, trong khi lại thiếu các yếu tố định lượng và kỹ thuật cần thiết để xác định mức độ ưu tiên can thiệp (theo Theo Báo cáo số 1272/QLĐT-TTĐD ngày 19/7/2023 của Phòng Quản lý đô thị thành phố Đà Lạt và Báo cáo số 347/BC-UBND ngày 18/7/2023 của UBND huyện Lạc Dương) [134], [135].

Cơ sở dữ liệu thông tin tổng quát bao gồm các thông tin cơ bản và có thể mở rộng, chi tiết tại *Bảng 3.13*.

Bảng 3.13. Thông tin đánh giá rủi ro tai biến trượt đất đối với vị trí cụ thể

Thành phần	Ý nghĩa	Mã ký hiệu	Điểm ưu tiên
KV	Mã khu vực hành chính (phường/xã), Toạ độ	Phường 1 - 12 (P1 - P12), Xã Tà Nung (TN), Trạm Hành (TH), Xuân Thọ (XT), Xuân Trường (XT), TT. Lạc Dương (LD)	Mã định vị, không tính điểm
LSI	Cấp nguy cơ tai biến trượt đất	Rất thấp (RT), Thấp (T), Trung bình (TB), Cao (C), Rất cao (RC)	Điểm LSI tương ứng theo cấp độ nguy cơ
H	Chiều cao mái dốc (m)	$\geq 5\text{m}$ $< 5\text{m}$	~ 7 điểm ~ 3 điểm
GD	Góc dốc (độ)	$\geq 45^\circ$ $< 45^\circ$	~ 1 điểm ~ 0 điểm
CN	Công năng sử dụng	Đất trống (DT), Vườn hoa (VH), Đường giao thông	0, 1, 2, 3, 4, 5 điểm tương ứng theo tầm quan trọng

Thành phần	Ý nghĩa	Mã ký hiệu	Điểm ưu tiên
		(DG), Nhà ở (NO), Y tế (YT), Trường học hoặc Công sở (TS)	
PL	Cấp công trình	Cấp I - IV (C1-C4),	1, 2, 3, 4 điểm theo cấp (Cấp IV ưu tiên cao hơn)
VL	Vật liệu chủ yếu	Bê tông (BT), Gạch (GA), Gỗ (GO)	1, 2, 3 điểm tương ứng theo vật liệu
Lv	Khoảng tác động	Vùng 1 (V1), Vùng 2 (V2), Vùng 3 (V3), Vùng 4 (V4)	V _b (0.3, 0.7, 0.9, 1) và V _p (0.1, 0.4, 0.9, 1) điểm tương ứng theo vùng ảnh hưởng
...	Các thông tin mở rộng khác (nếu có)	Tùy bổ sung	Theo nhu cầu đánh giá thực tế
ID	Số thứ tự định danh duy nhất	xx001, 002, ...	Không tính điểm

Cấu trúc thông tin cơ bản tổng hợp xây dựng cơ sở dữ liệu QLRR trượt đất đối với vị trí cụ thể trong nghiên cứu này được đánh giá theo điểm với 05 thành phần cơ bản: Cấp độ nguy cơ TBTĐ, loại công trình, cấp công trình, vật liệu và mức độ tổn thương; các thông tin khác được xem là dữ liệu bổ sung. Tổng điểm của các thành phần là giá trị xác định thứ tự ưu tiên KSRR trong không gian. Cụ thể tại *Bảng 3.14*:

Bảng 3.14. Hệ thống thông tin thu thập và giá trị đánh giá mức độ rủi ro

Khu vực /Tọa độ) (KV)		Cấp nguy cơ (LSI)	Chiều cao MD (H)	Góc MD (GD)	Công năng (CN)	Cấp CT (PL)	Vật liệu (VL)	Khoảng tác động (Lv)	Vùng ảnh hưởng tới CTXD (V _b)*10	Vùng ảnh hưởng về người (V _p)*10	Tổng điểm
Đơn vị hành chính	X Y	Rất Cao	6m	≥ 45°	NO	Cấp IV	GA	2.6	V2	V2	35.1
Điểm đánh giá		7.1	7	1	3	4	2	-	0.7*10	0.4*10	

3.1.2.2. Đánh giá mức độ tổn thương về người

Căn cứ theo quy mô kết cấu công trình quy định tại ban hành kèm theo Thông tư 06/2021/TT-BXD và Dự thảo Quản lý kiến trúc đô thị Đà Lạt năm 2023 của UBND tỉnh Lâm Đồng [136], [137], nhà ở riêng lẻ được phân thành các hạng khác nhau, gồm: Cấp I, cấp II, cấp III, cấp IV, cụ thể tại *Bảng 3.15*:

Bảng 3.15. Quy định về kết cấu, chiều cao giới hạn các cấp công trình (theo Thông tư 06/2021/TT-BXD)

Loại kết cấu	Tiêu chí phân cấp	Cấp công trình				
		Đặc biệt	I	II	III	IV
Cấp công trình của nhà ở riêng lẻ, nhà ở riêng lẻ kết hợp các mục đích dân dụng khác được xác định theo quy mô kết cấu này. Nhà ở biệt thự không thấp hơn cấp III.	1. Chiều cao (m)	> 200	> 75 ÷ 200	> 28 ÷ 75	> 6 ÷ 28	≤ 6
	2. Số tầng cao	> 50	25 ÷ 50	8 ÷ 24	2 ÷ 7	1
	3. Tổng diện tích sàn (nghìn m ²)	-	> 30	> 10 ÷ 30	1 ÷ 10	< 1
Trong các hạng trên thì nhà cấp IV (cấp 4) là loại nhà ở 01 tầng, chiều cao từ 06 mét trở xuống và diện tích nhỏ hơn 1.000 mét vuông						

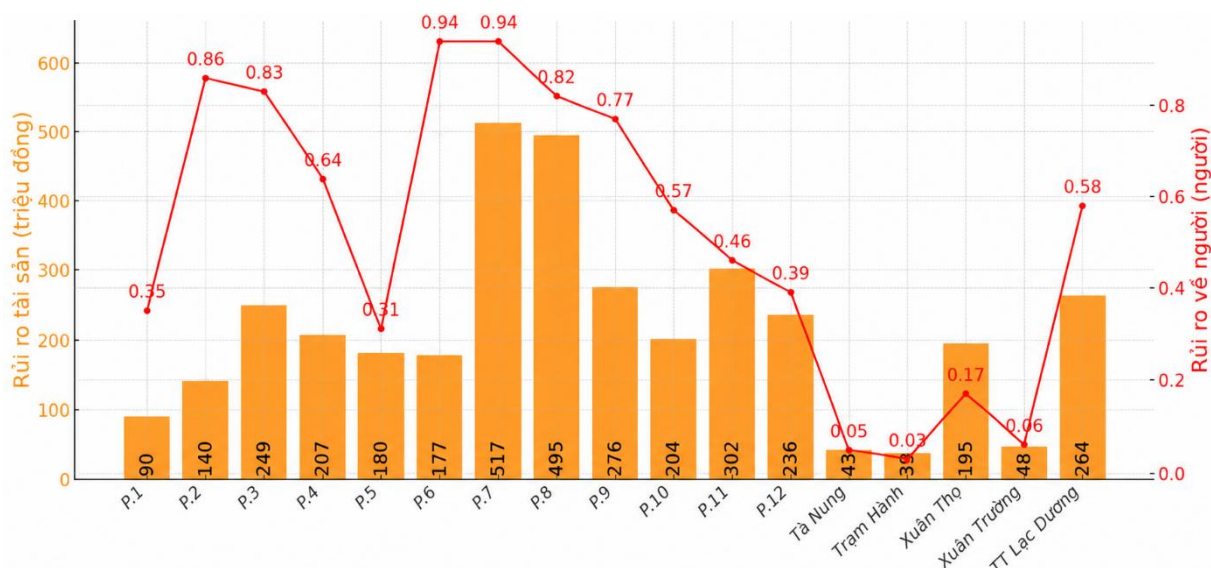
Dựa trên hiện trạng thực tế về CTXD tại khu đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, chỉ có một số ít các công trình cấp II như toà nhà Liên cơ và một số khách sạn quy mô lớn, chủ yếu phân bố ở các địa hình tương đối bằng phẳng, cách xa mái dốc không có nguy cơ bị ảnh hưởng bởi trượt đất. Trong khi đó, chiếm đại đa số là công trình cấp III và cấp IV phân bố trên khu vực địa hình dốc, sát với mái dốc và có nguy cơ bị ảnh hưởng bởi trượt đất. Giá trị mức độ tổn thương về người trong từng cấp công trình theo phạm vi tác động của khoảng vùi lấp (*L_v*) tại vị trí cụ thể được đề xuất tại *Bảng 3.16*

Bảng 3.16. Giá trị mức độ tổn thương về người theo phạm vi tác động của khoảng vùi lấp đối với CTXD

TT	Trường hợp		Mức độ tổn thương (V)				Ghi chú
			Khoảng giá trị về tài sản (Vb)		Khoảng giá trị về người (Vp)		
			Giá trị khuyến nghị	Giá trị đánh giá	Giá trị khuyến nghị	Giá trị đánh giá	
1	Người trong nhà công trình cấp IV	Vùng 4	1	1	0.9-1	0.9	Nhà bị cuốn theo, phá hủy hoàn toàn, hầu như chắc chắn gây chết người
		Vùng 3	0.5-1	0.9	0.8-1	0.8	Nhà ngập đất, bị phá hủy, người bị vùi lấp khả năng chết người cao
		Vùng 2	0.3-0.9	0.7	0-0.5	0.4	Nhà ngập đất, bị phá hủy một phần, người không bị vùi lấp có khả năng bị thương
		Vùng 1	0.1-0.4	0.3	0-0.1	0.1	Nhà bị đất va đập, hư hỏng nhẹ, ít có khả năng bị thương
2	Người trong công trình cấp III trở lên	Vùng 4	1	1	0.9-1	0.9	Nhà bị cuốn theo, phá hủy hoàn toàn, hầu như chắc chắn gây chết người
		Vùng 3	0.5-1	0.7	0.8-1	0.8	Nhà ngập đất, bị phá hủy, người bị vùi lấp một phần có khả năng chết người
		Vùng 2	0.3-0.9	0.5	0-0.5	0.2	Nhà ngập đất, hư hỏng nhẹ, người không bị vùi lấp có khả năng bị thương nhẹ
		Vùng 1	0.1-0.4	0.2	0-0.1	0.1	Nhà bị đất va đập, ít hư hỏng, ít có khả năng bị thương

3.2. Đánh giá rủi ro tai biến trượt đất

3.2.1. Mức độ rủi ro tai biến trượt đất đối với khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương



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

Biểu đồ thể hiện giá trị 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). Các phường trung tâm như Phường 7, Phường 8, Phường 11 và một phần Phường 3, Phường 10 có mức rủi ro tài sản cao, đặc biệt Phường 7 vượt trội với giá trị trên 600 triệu đồng, phản ánh mật độ xây dựng lớn. Ngược lại, các xã ngoại thành như Tà Nung, Trạm Hành hay Xuân Trường chỉ ghi nhận rủi ro về tài sản thấp hơn, phù hợp với thực tế mật độ xây dựng và quy mô công trình nhỏ hơn. Rủi ro về người nhìn chung có giá trị tuyệt đối thấp, trung bình dưới 1 người trong 5 năm tại mỗi đơn vị, nhưng khi xét toàn khu vực vẫn đạt gần 9 người, cho thấy ý nghĩa cảnh báo xã hội đáng lưu tâm. Đáng chú ý, xu thế phân bố rủi ro về người nhìn chung đồng biến với tài sản, song tồn tại ngoại lệ như Phường 2 có rủi ro tài sản ở mức trung bình nhưng rủi ro về người cao do mật độ dân cư trên công trình lớn. Những kết quả này cho thấy khu vực tập trung dân cư Đà Lạt - Lạc Dương cần được ưu tiên trong QLRR, đặc biệt là các biện pháp bảo vệ tính mạng con người, bởi ngay cả tổn thất về người ở mức nhỏ cũng mang ý nghĩa xã hội nghiêm trọng.

Thiệt hại do trượt đất thực tế ghi nhận theo thông tin đại chúng từ năm 2023-2025, nhiều vụ trượt lở nghiêm trọng đã xảy ra tại Phường 3, Phường 10, Phường 11 và một số vị trí ven đô, gây thiệt hại nặng nề với 06 trường hợp tử vong, 05 người bị thương, phá hủy 03 ngôi nhà và làm sập, hư hỏng 06 ngôi nhà khác. Quy mô thiệt hại này tương đương, thậm chí có thời điểm cao hơn so với mức dự báo trung bình năm, đặc biệt trong các đợt mưa cực đoan. Sự tương đồng giữa kết quả mô hình và thực tế

làm căn cứ khoa học cho công tác quản lý, quy hoạch và giảm nhẹ rủi ro tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (Bảng 3.17).

Bảng 3.17. Thống kê thiệt hại về người và CTXD từ năm 2023 đến 2025

TT	Địa điểm	Thời gian	Thiệt hại về người	Thiệt hại về tài sản
1	Đèo Prenn, phường 3	17/6/2023	02 người thiệt mạng	Không ghi nhận
Nguồn: https://dantocmiennui.baotintuc.vn/ubnd-tinh-lam-dong-chi-dao-khan-sau-cac-vu-sat-lo-lam-3-nguoi-thiet-mang-post334482.html				
2	Khu Tự Tạo, phường 11	28/6/2023	-	Sập tường 01 căn nhà cấp 4
3	Tổ Tây Hồ và Tây Hồ 1, phường 11	28/6/2023	-	Sập tường 02 căn nhà cấp 4
4	Đường Thi Sách, phường 6	28/6/2023	-	-
5	Hẻm 36 Hoàng Hoa Thám, phường 10	29/6/2023	02 người thiệt mạng và 05 người bị thương	Phá huỷ 02 ngôi nhà cấp 3 và sập tường 02 nhà cấp 3
Nguồn: https://cand.vn/can-canhh-nhung-diem-sat-lo-dat-dang-de-doa-nhieu-khu-vuc-o-da-lat-post698531.html				
6	Số 22, đường Khởi nghĩa Bắc Sơn, phường 10	23/10/2023	-	-
Nguồn: https://laodong.vn/xa-hoi/mua-lon-bo-taluy-cao-hon-5-met-sat-lo-o-tp-da-lat-1-oto-1-moto-hu-hong-1258193.ldo				
7	Quốc lộ 20B, xã Xuân Trường	03/9/2024	-	-
Nguồn: https://thanhnien.vn/quoc-lo-27-va-quoc-lo-20b-tren-dia-ban-lam-dong-bi-sat-lo-185240903105100956.htm				
8	Đường hẻm sau 136 Hà Huy Tập, phường 3	04/9/2024	-	Sập tường nhà cấp 4
Nguồn: https://vietnamnet.vn/sat-lo-gay-sap-tuong-nha-dan-o-da-lat-nhieu-nguoi-phai-so-tan-2318641.html				
9	Đèo D'ran, Km242+500, Quốc lộ 20B, xã Trạm Hành	12/9/2024	-	-
Nguồn: https://danviet.vn/sat-lo-tren-deo-dran-noi-huyen-don-duong-voi-xa-tram-hanh-tpda-lat-sau-2-tieng-mua-lon-20240912164046602-d1183868.html				
10	Đèo Frenn, Km224+800, Quốc lộ 20, phường 3	03/10/2024	-	-
Nguồn: https://baoxaydung.vn/mua-lon-khien-ta-luy-tren-deo-prenn-da-lat-bi-sat-lo-1926868385308.htm				
11	Hẻm 108, đường Hùng Vương, phường 11	12/8/2025	02 người thiệt mạng	Phá huỷ nhà cấp 4
Nguồn: https://tuoitre.vn/dulichthphcm/chuyen-dong/lam-dong-chi-dao-khan-sau-vu-sat-lo-dat-khien-2-du-khach-tu-vong-c2a102240.html				

Dựa trên kết quả thống kê, rủi ro được phân chia thành hai nhóm chính: rủi ro về tài sản và rủi ro về người. Để phục vụ cho việc lượng hóa và đánh giá rủi ro, các giá trị được chuẩn hóa và phân cấp theo các khoảng cụ thể như sau (Bảng 3.18):

Bảng 3.18. Phân cấp mức độ rủi ro về tài sản và người

TT	Mức độ rủi ro	Rủi ro về tài sản, Rts (triệu đồng)	Rủi ro về người, Rcn (người)	Điểm đánh giá
1	Rất thấp	< 50	< 0,1	1
2	Thấp	50 - 150	0,1 - 0,3	2
3	Trung bình	150 - 300	0,3 - 0,6	3
4	Cao	300 - 500	0,6 - 0,9	4
5	Rất cao	> 500	> 0,9	5

Công thức xác định mức độ rủi ro tổng hợp được áp dụng như sau:

$$R_{th} = w_1 \times R_{cn} + w_2 \times R_{ts} \quad (3.11)$$

Trong đó:

- $w_1 = 0,7$: trọng số cho giá trị rủi ro về người;
- $w_2 = 0,3$: trọng số cho giá trị rủi ro về tài sản;
- R_{cn} , R_{ts} : điểm số đã quy đổi theo các phân cấp nêu trên.

Chỉ số rủi ro tổng hợp được phân cấp theo khoảng giá trị như sau:

- Rất thấp: $R_{th} < 1,5$
- Thấp: $1,5 \leq R_{th} < 2,5$
- Trung bình: $2,5 \leq R_{th} < 3,5$
- Cao: $3,5 \leq R_{th} < 4,5$
- Rất cao: $R_{th} \geq 4,5$

Bảng 3.19. Phân cấp rủi ro tổng hợp theo đơn vị hành chính

TT	Đơn vị hành chính	Rcn_5y (người)	Tỷ trọng Rcn (%)	Cấp Rcn (1-5)	Rts_5y (triệu)	Tỷ trọng Rts (%)	Cấp Rts (1-5)	Rth (0,7*Rcn + 0,3*Rts)	Phân cấp Rth
1	Phường 7	0,94	10,7	5	516,7	14,1	5	5,0	Rất cao
2	Phường 6	0,94	10,7	5	177,2	4,8	2	4,1	Cao
3	Phường 2	0,86	9,8	5	140,0	3,8	2	4,1	Cao
4	Phường 3	0,83	9,5	4	249,3	6,8	4	4,0	Cao
5	Phường 8	0,82	9,4	4	495,3	13,5	5	4,3	Cao
6	Phường 9	0,77	8,8	4	275,5	7,5	4	4,0	Cao
7	Phường 11	0,46	5,2	3	302,5	8,3	5	3,6	Cao
8	Phường 4	0,64	7,3	3	207,3	5,7	3	3,0	Trung bình
9	TT Lạc Dương	0,58	6,6	3	263,6	7,2	4	3,3	Trung bình

10	Phường 10	0,57	6,5	3	204,3	5,6	3	3,0	Trung bình
11	Phường 12	0,39	4,4	2	236,4	6,5	3	2,3	Thấp
12	Phường 1	0,35	4,0	2	89,9	2,5	1	1,7	Thấp
13	Phường 5	0,31	3,5	2	180,2	4,9	2	2,0	Thấp
14	Xã Xuân Thọ	0,17	1,9	1	195,3	5,3	3	1,6	Thấp
15	Xã Xuân Trường	0,06	0,7	1	47,7	1,3	1	1,0	Rất thấp
16	Xã Tà Nung	0,05	0,6	1	42,6	1,2	1	1,0	Rất thấp
17	Xã Trạm Hành	0,03	0,3	1	39,2	1,0	1	1,0	Rất thấp

Kết quả đánh giá rủi ro tổng hợp (Rth) cho thấy sự phân hóa rõ rệt về mức độ rủi ro giữa các đơn vị hành chính trong khu vực Đà Lạt - Lạc Dương (Bảng 3.19 và Hình 3.5), cụ thể như sau:

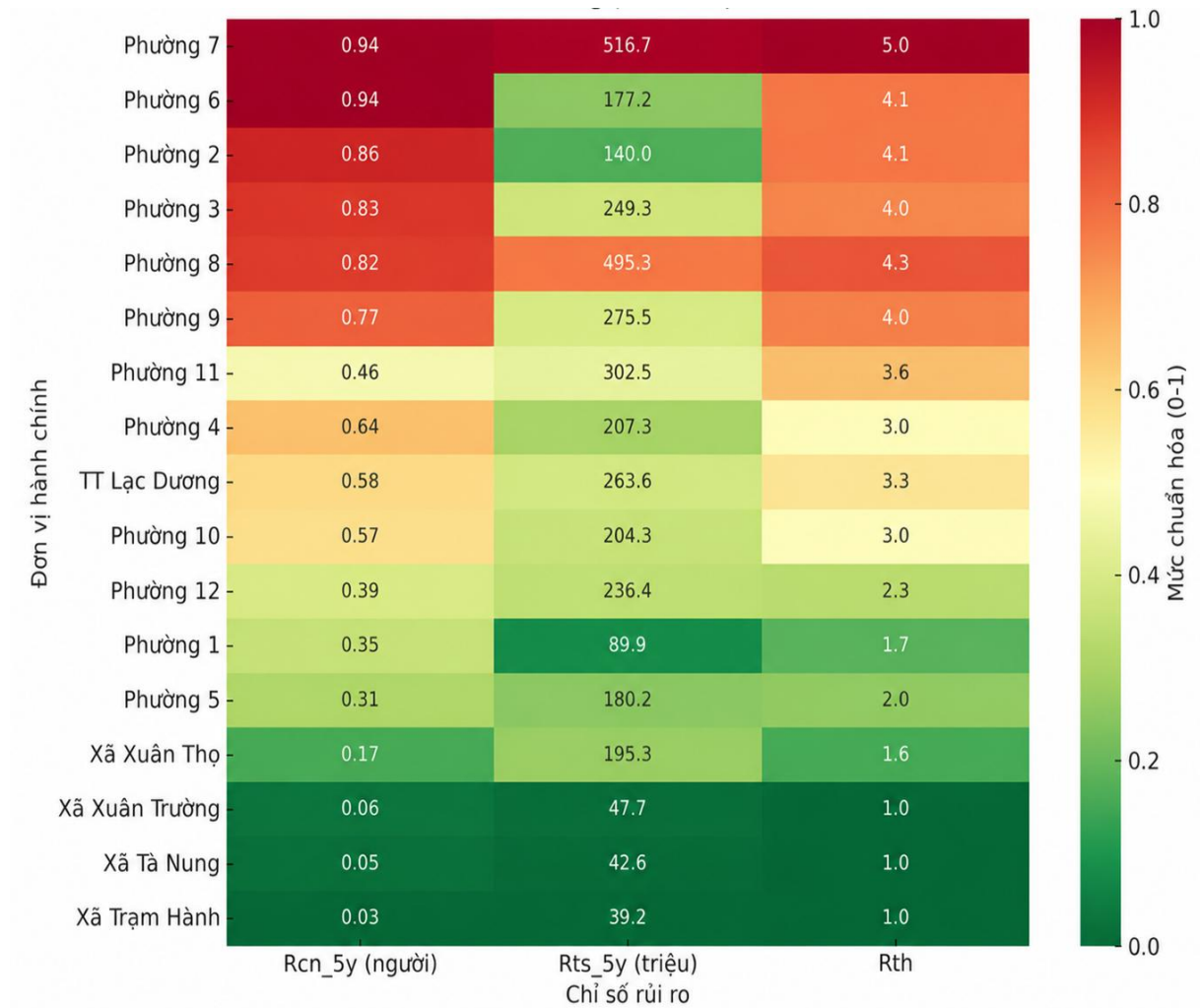
- Nhóm rất cao ($R_{th} \geq 4,5$): Phường 7 với giá trị R_{cn} đạt 0,94 người/5 năm (chiếm 10,7% tổng toàn khu vực) và R_{ts} đạt 516,7 triệu đồng/5 năm (chiếm 14,1%). Đây là khu vực có giá trị rủi ro cao nhất cả về người và tài sản, phản ánh sự tập trung dân cư - công trình trong vùng nguy cơ rất cao. Do đó, phường 7 cần được ưu tiên trong công tác quản lý, cảnh báo và đầu tư phòng tránh giảm thiểu rủi ro.

- Nhóm cao ($3,5 \leq R_{th} < 4,5$): Gồm các phường 6, 2, 3, 8, 9 và 11. R_{cn} dao động từ 0,46-0,94 người/5 năm (chiếm 5-11%) trong khi R_{ts} từ 140-495 triệu đồng/5 năm (3,7-13%). Trong đó, phường 6 và phường 2 có giá trị rủi ro về người lớn, còn phường 8 và phường 11 nổi bật với giá trị rủi ro tài sản cao. Đây là nhóm địa bàn có mức rủi ro tổng hợp cao, cần được ưu tiên QLRR tiếp theo.

- Nhóm trung bình ($2,5 \leq R_{th} < 3,5$): Bao gồm phường 4, thị trấn Lạc Dương và phường 10, với R_{cn} từ 0,57-0,64 người/5 năm (chiếm 6-7%) và R_{ts} từ 204-263 triệu đồng/5 năm (5-7%). Nhóm này có nguy cơ ở mức độ rủi ro vừa phải, song vẫn cần được giám sát thường xuyên và kiểm soát chặt chẽ các hoạt động xây dựng, nhằm hạn chế gia tăng rủi ro trong tương lai.

- Nhóm thấp ($1,5 \leq R_{th} < 2,5$): Gồm phường 12, phường 1, phường 5 và xã Xuân Thọ. R_{cn} chỉ đạt 0,17-0,39 người/5 năm (2-4%), trong khi R_{ts} từ 90-236 triệu đồng/5 năm (2-6%). Đây là các địa bàn có mức độ rủi ro thấp, cần thiết lập hệ thống cảnh báo và áp dụng biện pháp phòng ngừa cơ bản.

- Nhóm rất thấp ($R_{th} < 1,5$): Bao gồm xã Xuân Trường, xã Tà Nung và xã Trạm Hành. R_{cn} dưới 0,06 người/5 năm (<1%) và R_{ts} dưới 50 triệu đồng/5 năm (~1%), phản ánh mức độ rủi ro không đáng kể. Đây là khu vực tương đối an toàn, chỉ cần quản lý nền tảng, chưa đòi hỏi nguồn lực lớn cho KSRR.



Hình 3.5 Biểu đồ phân cấp giá trị rủi ro tổng hợp tại các đơn vị hành chính

3.2.2. Mức độ rủi ro tại biến trượt đất đối với vị trí cụ thể

Đánh giá khả năng rủi ro cho từng vị trí cụ thể dựa trên thông tin do chính quyền địa phương cung cấp và kết quả nghiên cứu đánh giá rủi ro tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương. Cách phân chia này dựa trên nguyên tắc tổng hợp đa tiêu chí, đồng thời tham khảo kinh nghiệm quốc tế trong đánh giá rủi ro thiên tai [18], [39], nhằm đảm bảo công tác QLRR được thực hiện có trọng tâm, trọng điểm, phù hợp với điều kiện thực tế và nguồn lực quản lý tại địa phương (Bảng 3.20).

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

TT	Khoảng tổng điểm	Mức độ rủi ro	Số lượng 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

Theo phân cấp mức độ rủi ro đối với CTXD, cho thấy:

- Nhóm Rất cao (12 CTXD, ~36%): 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.

- Nhóm Cao (6 CTXD, ~18%): Công trình có khả năng rủi ro cao, tổn thương đáng kể, cần gia cố, cảnh báo và kiểm tra định kỳ

- Nhóm Trung bình (7 CTXD, ~21%): Công trình có khả năng rủi ro trung bình, cần theo dõi thường xuyên và có kế hoạch phòng ngừa

- Nhóm Thấp (8 CTXD, ~24%): Công trình có khả năng rủi ro thấp, tổn thương nhẹ, cần giám sát định kỳ.

NCS đã xác định được 33/59 vị trí có nguy cơ từ các báo cáo của các cấp chính quyền địa phương. Trên cơ sở tổng điểm đánh giá rủi ro cho từng công trình, tiến hành phân chia mức độ ưu tiên được thực hiện nhằm xác định thứ tự kiểm soát, bổ sung giải pháp gia cố hoặc can thiệp, với nguyên tắc tổng điểm càng cao thì mức độ rủi ro càng lớn (Bảng 3.21).

Bảng 3.21. Đánh giá mức độ ưu tiên phục vụ công tác QLRR tại biến trượt đất đối với vị trí cụ thể

TT	Khu vực /Tọa độ)		Cấp nguy cơ	Chiều cao MD	Góc MD	Công năng	Cấp CT	Vật liệu	Khoảng tác động	Vùng ảnh hưởng tới CTXD	Vùng ảnh hưởng về người	Tổng điểm
	(KV)		(LSI)	(H)	(GD)	(CN)	(PL)	(VL)	(Lv)	V _b *10	V _p *10	
1	P1 Thửa đất 66 - Tờ 4	11°56'42.9"N 108°26'17.7"E	Rất cao	6	≥ 45°	NO	IV	GA	2,6	V2	V2	
	Điểm đánh giá		7,1	7	1	3	4	2	N/A	7	4	35,1
2	P2 Số 98 Thông Thiên Học	11°57'19.34"N 108°26'14.27"E	Rất cao	4	≥ 45°	NO	IV	GA	1,5	V2	V2	
	Điểm đánh giá		7,6	3	1	3	4	2	N/A	7	4	31,6
3	P2 98/24 Thông Thiên Học	11°57'20.39"N 108°26'16.21"E	Cao	7	≥ 45°	NO	III	BT	3,3	V1	V1	
	Điểm đánh giá		6,4	7	1	3	3	1	N/A	2	1	24,4
4	P2 98/32 Thông Thiên Học	11°57'20.86"N 108°26'13.3"E	Cao	7	≥ 45°	NO	IV	GA	3,3	V3	V3	
	Điểm đánh giá		6,4	3	1	3	3	2	N/A	9	8	35,4
5	P2 233 Nguyễn Công Trứ	11°57'20.16"N 108°26'4.10"E	Cao	12	≥ 45°	NO	III	BT	7,0	V2	V2	
	Điểm đánh giá		6,5	7	1	3	3	1	N/A	5	2	28,5
6	P3 Thửa đất 647 - Tờ 22	11°55'50.5"N 108°26'57.30"E	Rất cao	30	≥ 45°	TS	III	BT	25,2	V2	V2	
	Điểm đánh giá		7,1	7	1	5	3	1	N/A	5	2	31,1
7	P3 Thửa đất 454 - Tờ 29	11°55'39.07"N 108°26'41.68"E	Cao	4	≥ 45°	NO	III	BT	1,5	V1	V1	
	Điểm đánh giá		6,6	3	1	3	3	1	N/A	3	1	21,6
8	P5 Thửa đất 1201 - Tờ 8	11°56'46.7"N 108°24'48.6"E	Trung bình	6	< 45°	NO	III	BT	2,6	V4	V4	
	Điểm đánh giá		5,6	7	0	3	3	1	N/A	10	9	38,6
9	P6 04 Thi Sách	11°56'47.75"N 108°25'56.17"E	Trung bình	5	≥ 45°	NO	IV	GA	2,0	V2	V2	

TT	Khu vực /Tọa độ)		Cấp nguy cơ	Chiều cao MD	Góc MD	Công năng	Cấp CT	Vật liệu	Khoảng tác động	Vùng ảnh hưởng tới CTXD	Vùng ảnh hưởng về người	Tổng điểm
	(KV)		(LSI)	(H)	(GD)	(CN)	(PL)	(VL)	(Lv)	V _b *10	V _p *10	
	Điểm đánh giá		5,3	7	1	3	4	2	N/A	7	4	33,3
10	P6 46 Yết Kiêu	11°57'1.32"N 108°25'39.65"E	Cao	3	≥ 45°	NO	IV	GA	1,0	V1	V1	
	Điểm đánh giá		6,3	3	1	3	4	2	N/A	3	1	23,3
11	P6 CV KQH Bạch Đằng- Ngô Quyền	11°57'28.34"N 108°25'29.00"E	Rất cao	15	≥ 45°	NO	IV	GA	9,5	V3	V3	
	Điểm đánh giá		7,8	7	1	3	4	2	N/A	9	8	41,8
12	P7 Thửa đất 557 - Tờ 16	11°58'46.36"N 108°23'29.46"E	Thấp	5	< 45°	NO	III	BT	2,0	V4	V4	
	Điểm đánh giá		5,0	7	0	3	3	1	N/A	10	9	38,0
13	P7 Thửa đất 558 - Tờ 16	11°58'46.62"N 108°23'29.24"E	Thấp	5	< 45°	NO	III	BT	2,0	V4	V4	
	Điểm đánh giá		5,0	7	0	3	3	1	N/A	10	9	38,0
14	P7 Thửa đất 559 - Tờ 16	11°58'46.86"N 108°23'28.98"E	Thấp	5	< 45°	NO	III	BT	2,0	V4	V4	
	Điểm đánh giá		5,0	7	0	3	3	1	N/A	10	9	38,0
15	P7 Thửa đất 613 - Tờ 16	11°58'49.22"N 108°23'33.02"E	Trung bình	7	< 45°	NO	III	BT	3,3	V4	V4	
	Điểm đánh giá		5,1	7	0	3	3	1	N/A	10	9	38,1
16	P7 Thửa đất 614 - Tờ 16	11°58'48.94"N 108°23'33.18"E	Trung bình	7	< 45°	NO	III	BT	3,3	V4	V4	
	Điểm đánh giá		5,1	7	0	3	3	1	N/A	10	9	38,1
17	P7 Thửa đất 615 - Tờ 16	11°58'48.68"N 108°23'33.36"E	Trung bình	7	< 45°	NO	III	BT	3,3	V4	V4	
	Điểm đánh giá		5,1	7	0	3	3	1	N/A	10	9	38,1
18	P7 Thửa đất 616 - Tờ 16	11°58'48.43"N 108°23'33.51"E	Trung bình	7	< 45°	NO	III	BT	3,3	V4	V4	
	Điểm đánh giá		5,1	7	0	3	3	1	N/A	10	9	38,1

TT	Khu vực /Tọa độ)		Cấp nguy cơ	Chiều cao MD	Góc MD	Công năng	Cấp CT	Vật liệu	Khoảng tác động	Vùng ảnh hưởng tới CTXD	Vùng ảnh hưởng về người	Tổng điểm
	(KV)		(LSI)	(H)	(GD)	(CN)	(PL)	(VL)	(Lv)	V _b *10	V _p *10	
19	P7 Thửa đất 617 - Tờ 16	11°58'48.13"N 108°23'33.66"E	Thấp	7	<45°	NO	III	BT	3,3	V4	V4	
	Điểm đánh giá		4,9	7	0	3	3	1	N/A	10	9	37,9
20	P7 Thửa đất 618 - Tờ 16	11°58'47.85"N 108°23'33.84"E	Thấp	7	<45°	NO	III	BT	3,3	V4	V4	
	Điểm đánh giá		4,9	7	0	3	3	1	N/A	10	9	37,9
21	P7 Thửa đất 619 - Tờ 16	11°58'47.54"N 108°23'34.02"E	Thấp	7	<45°	NO	III	BT	3,3	V4	V4	
	Điểm đánh giá		4,9	7	0	3	3	1	N/A	10	9	37,9
22	P7 Thửa đất 906 - Tờ 18	11°58'40.40"N 108°23'36.90"E	Cao	6	<45°	NO	III	BT	2,6	V4	V4	
	Điểm đánh giá		6,7	7	0	3	3	1	N/A	10	9	39,7
23	P8 Thửa đất 1483 - Tờ 13	11°58'11.70"N 108°26'25.90"E	Cao	4	<45°	NO	III	BT	1,5	V1	V1	
	Điểm đánh giá		6,1	3	0	3	3	1	N/A	2	1	19,1
24	P8 Thửa đất 1463 - Tờ 16	11°58'10.81"N 108°26'24.71"E	Cao	4	<45°	NO	III	BT	1,5	V1	V1	
	Điểm đánh giá		6,1	3	0	3	3	1	N/A	2	1	19,1
25	P10 18 Hoàng Hoa Thám	11°56'17.80"N 108°27'47.80"E	Trung bình	5	≥45°	NO	III	BT	2,0	V1	V1	
	Điểm đánh giá		5,5	7	1	3	3	1	N/A	2	1	23,5
26	P10 18 Khe Sanh	11°56'23.33"N 108°27'31.88"E	Trung bình	10	<45°	NO	IV	GA	5,4	V4	V4	
	Điểm đánh giá		5,6	7	0	3	4	2	N/A	10	9	40,6
27	P11 Thửa đất 1709 - Tờ 9	11°56'45.10"N 108°28'54.80"E	Rất cao	5	<45°	NO	III	BT	2,0	V1	V1	
	Điểm đánh giá		7,6	7	0	3	3	1	N/A	3	1	25,6
28	P11 Thửa đất 1781 - Tờ 9	11°56'44.50"N 108°28'52.70"E	Rất cao	7	<45°	NO	III	BT	3,3	V4	V4	

TT	Khu vực /Tọa độ		Cấp nguy cơ	Chiều cao MD	Góc MD	Công năng	Cấp CT	Vật liệu	Khoảng tác động	Vùng ảnh hưởng tới CTXD	Vùng ảnh hưởng về người	Tổng điểm
	(KV)		(LSI)	(H)	(GD)	(CN)	(PL)	(VL)	(Lv)	V _b *10	V _p *10	
	Điểm đánh giá		7,6	7	0	3	4	2	N/A	10	9	42,6
29	P11 Khu dân cư Trịnh Hoài Đức	11°56'49.73"N 108°28'53.85"E	Rất cao	10	≥ 45°	NO	IV	GA	5,4	V3	V3	
	Điểm đánh giá		7,2	7	1	3	4	2	N/A	9	8	41,2
30	P11 KQH NC viện hạt nhân	11°56'42.75"N 108°28'29.26"E	Cao	6	≥ 45°	NO	III	BT	2,6	V2	V2	
	Điểm đánh giá		6,6	7	1	3	4	2	N/A	5	2	30,6
31	TN Thửa đất 314 (108) - Tờ 9	11°55'45.03"N 108°20'50.07"E	Trung bình	10	< 45°	DG	DT	BT	5,4	N/A	N/A	
	Điểm đánh giá		5,1	7	0	2	N/A	2	N/A	N/A	N/A	16,1
32	TN Thửa đất 315 (108) - Tờ 9	11°55'44.72"N 108°20'50.53"E	Trung bình	10	< 45°	DG	DT	BT	5,4	N/A	N/A	
	Điểm đánh giá		5,1	7	0	2	N/A	2	N/A	N/A	N/A	16,1
33	LD Đường 14/3	12° 0'34.82"N 108°24'17.19"E	Trung bình	5	≥ 45°	NO	III	BT	2,0	V1	V1	
	Điểm đánh giá		6,0	7	1	3	4	2	N/A	2	1	26,0

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

3.3.1. Xác định khu vực ưu tiên KSRR tại biến trượt đất

a. Phân cấp khu vực rủi ro tại biến trượt đất

Trong nghiên cứu này, rủi ro trượt đất tại khu vực Đà Lạt - Lạc Dương được phân chia thành ba cấp độ chính: rủi ro chấp nhận được (acceptable risk), rủi ro có thể chấp nhận được (tolerable risk) và rủi ro khó chấp nhận (unacceptable risk). Phân cấp này dựa trên kết quả đánh giá rủi ro tổng hợp, trong đó tích hợp đồng thời rủi ro về tài sản và con người với trọng số ưu tiên rủi ro về người - yếu tố thường được đặt lên hàng đầu trong mọi chiến lược phòng ngừa thiên tai, cụ thể như sau:

- Cấp rủi ro chấp nhận được là các đơn vị hành chính có mức độ rủi ro rất thấp ($R_{th} < 2,5$), không gây hậu quả nghiêm trọng, hoặc hoàn toàn nằm trong khả năng kiểm soát của cộng đồng mà không cần đến các biện pháp can thiệp lớn. Các khu vực này chỉ cần duy trì giám sát định kỳ và cảnh báo cơ bản.

- Cấp rủi ro cần khắc phục được là các đơn vị hành chính có mức độ rủi ro từ thấp đến trung bình ($R_{th} = 2,5 - 3,5$), tiềm ẩn khả năng gây thiệt hại nhưng có khả

năng kiểm soát nếu được quản lý hiệu quả. Đây là nhóm cần được giám sát thường xuyên, có quy hoạch sử dụng đất hợp lý và các phương án ứng phó sẵn sàng khi có dấu hiệu bất thường.

- Cấp rủi ro khó chấp nhận là các đơn vị hành chính có mức độ rủi ro từ cao đến rất cao ($R_{th} > 3,5$), có thể gây thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản nếu không được kiểm soát. Các khu vực này bắt buộc phải áp dụng ngay các biện pháp phòng ngừa, kiểm soát kỹ thuật, cảnh báo sớm hoặc tổ chức sơ tán, đặc biệt là những nơi có rủi ro về người ở mức cao trở lên.

Tùy vào loại đối tượng bị ảnh hưởng, mức độ tổn thương và mục tiêu quản lý, ngưỡng rủi ro chấp nhận được có thể khác nhau, thường được thiết lập dưới dạng rủi ro cá nhân có thể chấp nhận được hay mức thiệt hại tài sản cho phép dưới một ngưỡng kinh tế nhất định. Việc định nghĩa rõ ngưỡng rủi ro chấp nhận được giúp ưu tiên khắc phục các khu vực có rủi ro khó chấp nhận và rủi ro cần khắc phục để đầu tư giảm thiểu (Bảng 3.22).

Bảng 3.22. Phân cấp mức độ chấp nhận rủi ro và định hướng KSRR tại biển 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 (Unacceptable risk)	$R_{th} > 3,5$	$R_{cn} = 0,77 - 0,94$ người $R_{ts} = 249,3 - 516,7$ triệu đồng	Phường 7, Phường 8, Phường 3, Phường 6, Phường 2, Phường 9, Phường 11	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 (Tolerable risk)	$R_{th} = 2,5 - 3,5$	$R_{cn} = 0,46 - 0,64$ người $R_{ts} = 204,3 - 302,5$ triệu đồng	Phường 4, Phường 10, 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 (Acceptable risk)	$R_{th} < 2,5$	$R_{cn} = 0,03 - 0,39$ người $R_{ts} = 39,2 - 236,4$ triệu đồng	Phường 12, Phường 1, Phường 5, Xã Xuân Thọ, Xã Xuân Trường, Xã Tà Nung, Xã Trại Hành	Giám sát định kỳ, cảnh báo cơ bản, quản lý phát triển đô thị hợp lý để tránh gia tăng nguy cơ

b. 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

Kết quả sắp xếp đơn vị hành chính theo tiêu chí ưu tiên KSRR trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương có thể phân thành 04 nhóm, cụ thể như sau (Bảng 3.24):

- Nhóm ưu tiên thứ nhất gồm 05 đơn vị hành chính: thứ tự ưu tiên lần lượt là P7, P8, P6, P2, và P3. Đây là các địa phương có chỉ số rủi ro tổng hợp $R_{th} > 3,5$, đồng thời R_{cn} từ 0,82 đến 0,94. Khu vực cần được ưu tiên kiểm soát ngay bằng các biện pháp công trình và cảnh báo sớm, quy hoạch lại sử dụng đất và đầu tư hệ thống công trình phòng tránh.

- Nhóm ưu tiên thứ hai gồm 05 đơn vị hành chính: thứ tự ưu tiên lần lượt là P9, P11, P4, TT. Lạc Dương và P10. Đây là các địa phương có chỉ số rủi ro tổng hợp $R_{th} > 3,0$, đồng thời R_{cn} từ 0,46 đến 0,77 người. Khu vực cần được ưu tiên kiểm soát bằng cách tăng cường giám sát biến đổi bề mặt địa hình, lượng mưa, kiểm tra định kỳ các điểm có nguy cơ trượt và lập kế hoạch sơ tán khi cần thiết.

- Nhóm ưu tiên thứ ba gồm 04 đơn vị hành chính: Phường 12, Phường 1, Phường 5 và Xã Xuân Thọ. Đây là các địa phương có chỉ số rủi ro tổng hợp $R_{th} > 1,0$, đồng thời R_{cn} từ 0,17 đến 0,39 người. Khu vực cần được ưu tiên kiểm soát theo hướng quy hoạch sử dụng đất hợp lý, kết hợp truyền thông nâng cao nhận thức cộng đồng và triển khai giải pháp kỹ thuật cơ bản nhằm giảm thiểu thiệt hại.

- Nhóm ưu tiên thứ tư gồm 03 đơn vị hành chính: Xã Xuân Trường, Xã Tà Nung và Xã Trạm Hành. Đây là các địa phương có chỉ số rủi ro tổng hợp $R_{th} < 1,0$, đồng thời R_{cn} từ 0,003 đến 0,06 người. Khu vực duy trì kiểm soát bằng công tác giám

sát định kỳ, bảo vệ hiện trạng địa hình và tăng cường hệ thống thoát nước, đồng thời hạn chế gia tăng tải trọng trên mái dốc.

Bảng 3.24. Phân cấp mức độ ưu tiên KSRR

TT	Đơn vị hành chính		Ren_5y (người)	Rts_5y (triệu đồng)	Rth	Nhóm mức độ ưu tiên KSRR
	Trước 01/7/2025	Sau 01/7/2025				
1	Phường 7	P. Lang Biang - Đà Lạt	0,94	516,7	5,0	Ưu tiên 1
2	Phường 8	P. Lâm Viên - Đà Lạt	0,82	495,3	4,3	Ưu tiên 1
3	Phường 6	P. Cam Ly - Đà Lạt	0,94	177,2	4,1	Ưu tiên 1
4	Phường 2	P. Xuân Hương - Đà Lạt	0,86	140,0	4,1	Ưu tiên 1
5	Phường 3	P. Xuân Hương - Đà Lạt	0,83	249,3	4,0	Ưu tiên 1
6	Phường 9	P. Lâm Viên - Đà Lạt	0,77	275,5	4,0	Ưu tiên 2
7	Phường 11	P. Xuân Trường - Đà Lạt	0,46	302,5	3,6	Ưu tiên 2
8	Phường 4	P. Xuân Hương - Đà Lạt	0,64	207,3	3,0	Ưu tiên 2
9	TT Lạc Dương	P. Lang Biang - Đà Lạt	0,58	263,6	3,3	Ưu tiên 2
10	Phường 10	P. Xuân Hương - Đà Lạt	0,57	204,3	3,0	Ưu tiên 2
11	Phường 12	P. Lâm Viên - Đà Lạt	0,39	236,4	2,3	Ưu tiên 3
12	Phường 5	P. Cam Ly - Đà Lạt	0,31	180,2	2,0	Ưu tiên 3
13	Phường 1	P. Xuân Hương - Đà Lạt	0,35	89,9	1,7	Ưu tiên 3
14	Xã Xuân Thọ	P. Xuân Trường - Đà Lạt	0,17	195,3	1,6	Ưu tiên 3
15	Xã Xuân Trường	P. Xuân Trường - Đà Lạt	0,06	47,7	1,0	Ưu tiên 4
16	Xã Tà Nung	P. Cam Ly - Đà Lạt	0,05	42,6	1,0	Ưu tiên 4
17	Xã Trạm Hành	P. Xuân Trường - Đà Lạt	0,03	39,2	1,0	Ưu tiên 4

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

Việc xác định rủi ro cụ thể cho từng công trình được thực hiện dựa trên hệ thống tiêu chí phản ánh cả điều kiện phát sinh trượt đất và mức độ thiệt hại tiềm tàng. Các tiêu chí chính bao gồm: (i) vị trí công trình theo cấp nguy cơ trượt đất (LSI), thể hiện khả năng bị tác động của hiện tượng; (ii) đặc điểm công trình chịu ảnh hưởng như công năng sử dụng, cấp công trình và loại vật liệu xây dựng, quyết định mức độ tổn thương khi xảy ra trượt; (iii) điều kiện địa hình tại vị trí công trình, bao gồm chiều

cao mái dốc và góc dốc, có ảnh hưởng trực tiếp đến cơ chế và quy mô trượt; và (iv) khoảng tác động của trượt đất đối với công trình và con người. Các yếu tố này được định lượng thông qua chấm điểm và tổng hợp thành chỉ số rủi ro công trình, từ đó làm cơ sở khoa học để xếp hạng mức độ ưu tiên KSRR một cách khách quan, hệ thống và có khả năng so sánh giữa các vị trí.

Để phục vụ công tác QLRR trượt đất đối với các CTXD đã được đánh giá và sắp xếp theo thứ tự ưu tiên KSRR tại từng đơn vị hành chính, các vị trí được mã hoá thông tin theo cấu trúc cơ bản sau để thuận tiện theo dõi và cập nhật theo thời gian, nguyên tắc chung được khuyến nghị là:

Chỉ mã hóa những yếu tố không thay đổi thường xuyên và xác định đặc trưng chính, như sau (*Bảng 3.25, 3.26 và 3.27*):

- Khu vực (phường/xã),
- Năm ghi nhận,
- Số thứ tự (ID)
- Mức độ ưu tiên.

Bảng 3.25. Thông tin mã hoá đối với từng vị trí cụ thể

Thành phần	Nội dung mã hóa	Ví dụ
KV	Phường/Xã/Thị trấn	P1 (Phường 1), TN (Xã Tà Nung), LD (TT. Lạc Dương)
YY	Năm khảo sát	24 (2024), 25 (2025),...
ID	Số thứ tự công trình	001, 002, 003...
UT	Mức độ ưu tiên KSRR	Thứ nhất (A), thứ hai (B), thứ ba (C), thứ tư (D)

Kết quả phân loại mức độ ưu tiên KSRR cho thấy (*Bảng 3.21*):

- Nhóm A (ưu tiên thứ nhất, rất cao): Gồm 12 công trình có tổng điểm từ 38 trở lên, là nhóm cần được ưu tiên đánh giá chi tiết và can thiệp sớm, bao gồm cả biện pháp kỹ thuật và kiểm soát quy hoạch.

- Nhóm B (ưu tiên thứ hai, cao): Gồm 06 công trình có tổng điểm từ 32 đến 37.9, là nhóm cần có kế hoạch gia cố, cảnh báo và kiểm tra định kỳ để hạn chế rủi ro.

- Nhóm C (ưu tiên thứ ba, trung bình): Gồm 07 công trình có tổng điểm từ 24 đến 31.9, là nhóm cần được giám sát thường xuyên và lồng ghép các biện pháp phòng ngừa trong quy hoạch dài hạn.

- Nhóm D (ưu tiên thứ tư, thấp): Gồm 08 công trình có tổng điểm dưới 24, là nhóm cần được theo dõi định kỳ vì rủi ro có thể gia tăng dưới tác động của thời tiết cực đoan và đô thị hóa.

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

Bảng 3.27. Tổng hợp mức độ ưu tiên KSRR và mã hoá công trình đối với từng vị trí cụ thể

TT	Khu vực	Thông tin quản lý	Tọa độ (X,Y)	Tổng điểm	Ưu tiên	Mã hoá công trình
1	P1	Thửa đất 66 - Tờ 4	11°56'42,9"N 108°26'17,7"E	35,1	B	P1-24-001-B
2	P2	98 Thông Thiên Học	11°57'19,34"N 108°26'14,27"E	31,6	C	P2-24-001-C
3	P2	98/24 Thông Thiên Học	11°57'20,39"N 108°26'16,21"E	24,4	C	P2-24-002-C
4	P2	98/32 Thông Thiên Học	11°57'20,86"N 108°26'13,3"E	35,4	B	P2-24-003-B
5	P2	233 Nguyễn Công Trứ	11°57'20,16"N 108°26'4,10"E	28,5	C	P2-24-004-C
6	P3	Thửa đất 647 - Tờ 22	11°55'50,5"N 108°26'57,30"E	31,1	C	P3-24-001-C
7	P3	Thửa đất 454 - Tờ 29	11°55'39,07"N 108°26'41,68"E	21,6	D	P3-24-002-D
8	P5	Thửa đất 1201 - Tờ 8	11°56'46,7"N 108°24'48,6"E	38,6	A	P5-24-001-A
9	P6	04 Thi Sách	11°56'47,75"N 108°25'56,17"E	33,3	B	P6-24-001-B
10	P6	46 Yết Kiêu	11°57'1,32"N 108°25'39,65"E	23,3	D	P6-24-002-D
11	P6	CV KQH Bạch Đằng - Ngô Quyền	11°57'28,34"N 108°25'29,00"E	41,8	A	P6-24-003-A
12	P7	Thửa đất 557 - Tờ 16	11°58'46,36"N 108°23'29,46"E	38,0	A	P7-24-001-A
13	P7	Thửa đất 558 - Tờ 16	11°58'46,62"N 108°23'29,24"E	38,0	A	P7-24-002-A
14	P7	Thửa đất 559 - Tờ 16	11°58'46,86"N 108°23'28,98"E	38,0	A	P7-24-003-A
15	P7	Thửa đất 613 - Tờ 16	11°58'49,22"N 108°23'33,02"E	38,1	A	P7-24-004-A
16	P7	Thửa đất 614 - Tờ 16	11°58'48,94"N 108°23'33,18"E	38,1	A	P7-24-005-A
17	P7	Thửa đất 615 - Tờ 16	11°58'48,68"N 108°23'33,36"E	38,1	A	P7-24-006-A

TT	Khu vực	Thông tin quản lý	Tọa độ (X,Y)	Tổng điểm	Ưu tiên	Mã hoá công trình
18	P7	Thửa đất 616 - Tờ 16	11°58'48,43"N 108°23'33,51"E	38,1	A	P7-24-007-A
19	P7	Thửa đất 617 - Tờ 16	11°58'48,13"N 108°23'33,66"E	37,9	B	P7-24-008-B
20	P7	Thửa đất 618 - Tờ 16	11°58'47,85"N 108°23'33,84"E	37,9	B	P7-24-009-B
21	P7	Thửa đất 619 - Tờ 16	11°58'47,54"N 108°23'34,02"E	37,9	B	P7-24-010-B
22	P7	Thửa đất 906 - Tờ 18	11°58'40,40"N 108°23'36,90"E	39,7	A	P7-24-011-A
23	P8	Thửa đất 1483 - Tờ 13	11°58'11,70"N 108°26'25,90"E	19,1	D	P8-24-001-D
24	P8	Thửa đất 1463 - Tờ 16	11°58'10,81"N 108°26'24,71"E	19,1	D	P8-24-002-D
25	P10	18 Hoàng Hoa Thám	11°56'17,80"N 108°27'47,80"E	23,5	D	P10-24-001-D
26	P10	18 Khe Sanh	11°56'23,33"N 108°27'31,88"E	40,6	A	P10-24-002-A
27	P11	Thửa đất 1709 - Tờ 9	11°56'45,10"N 108°28'54,80"E	25,6	C	P11-24-001-C
28	P11	Thửa đất 1781 - Tờ 9	11°56'44,50"N 108°28'52,70"E	42,6	A	P11-24-002-A
29	P11	Khu dân cư Trịnh Hoài Đức	11°56'49,73"N 108°28'53,85"E	41,2	A	P11-24-003-A
30	P11	KQH nghiên cứu viện hạt nhân	11°56'42,75"N 108°28'29,26"E	30,6	C	P11-24-004-C
31	TN	Thửa đất 314 (108) - Tờ 9	11°55'45,03"N 108°20'50,07"E	16,1	D	TN-24-001-D
32	TN	Thửa đất 315 (108) - Tờ 9	11°55'44,72"N 108°20'50,53"E	16,1	D	TN-24-002-D
33	LD	Đường 14/3	12°0'34,82"N 108°24'17,19"E	26,0	C	LD-24-001-C

3.4. Giải pháp KSRR tại biên trọt đất

Kế hoạch kiểm soát rủi ro (KSRR) trượt đất đô thị cần được xem là một quá trình mở, có tính thích ứng, cho phép cập nhật, điều chỉnh và hoàn thiện theo sự biến đổi của điều kiện tự nhiên, quá trình đô thị hóa và kết quả giám sát trong thực tiễn; nhằm bảo đảm tính linh hoạt, tính khả thi và hiệu quả của công tác quản lý rủi ro trong dài hạn.

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

Thực tiễn công tác phòng, tránh và giảm nhẹ thiệt hại do trượt đất tại địa phương trong thời gian qua cho thấy vẫn còn tồn tại nhiều hạn chế, cả về quản lý quy hoạch, ứng dụng khoa học công nghệ và tổ chức thực hiện. Việc nhận diện rõ các hạn

chế này là cơ sở quan trọng để xây dựng kế hoạch KSRR trượt đất phù hợp, khả thi và có hiệu quả trong bối cảnh đô thị hóa nhanh.

a. Về công tác quản lý quy hoạch và ứng dụng công nghệ

- Phát triển đô thị tại Đà Lạt - Lạc Dương chưa gắn với quy hoạch bền vững, dẫn đến mở rộng xây dựng vào các khu vực sườn dốc, ven suối có nguy cơ trượt đất.

- Thiếu tích hợp dữ liệu nguy cơ trượt đất vào quy hoạch sử dụng đất và xây dựng; nhiều công trình không có biện pháp phòng ngừa phù hợp.

- Hoạt động san gạt địa hình tự nhiên làm giảm khả năng tiêu thoát nước, gián tiếp làm tăng nguy cơ trượt đất.

- Dù có nghiên cứu và hệ thống cảnh báo trực tuyến, nhưng chưa được ứng dụng hiệu quả trong quản lý và truyền thông rủi ro.

- Thông tin cảnh báo không được chia sẻ kịp thời, khiến người dân khó chủ động ứng phó; chính quyền gặp khó khăn khi tổ chức sơ tán, ứng phó khẩn cấp.

- Sự phối hợp liên ngành còn yếu, dữ liệu giữa các cơ quan (quy hoạch, xây dựng, tài nguyên, phòng chống thiên tai) chưa đồng bộ.

- Cán bộ cấp cơ sở thiếu năng lực giám sát và phát hiện sớm nguy cơ trượt đất.

- Truyền thông rủi ro chưa thành hệ thống, chủ yếu là các đợt tuyên truyền ngắn hạn, thiếu gắn kết với sinh hoạt cộng đồng.

- Quản lý thiên tai chủ yếu ở mức ứng phó sau sự cố; chưa chuyển mạnh sang phòng ngừa chủ động, chưa tích hợp đánh giá rủi ro vào quy hoạch phát triển.

b. Về áp dụng các công trình phòng chống trượt

- Một số công trình đã triển khai nhưng còn đơn lẻ, thiếu hệ thống, chưa đạt chuẩn kỹ thuật tại các điểm nguy cơ cao.

- Công trình tường chắn, kè đá chủ yếu có quy mô nhỏ (1-3 m), thiết kế đơn giản, thiếu móng sâu và không có thoát nước sau tường dễ mất ổn định khi mưa lớn.

- Hệ thống thoát nước mặt đã xây dựng tại nhiều tuyến đường chính nhưng thường bị tắc, xuống cấp hoặc thiết kế chưa phù hợp ở khu dân cư, nhà kính, khu đồi san gạt.

- Mái dốc dọc theo các tuyến đường chưa được xây dựng công trình phân tán dòng chảy như bậc nước, dốc dẫn dòng, gây xói chân dốc, thúc đẩy trượt đất.

- Công trình thoát nước ngầm mới được thí điểm tại Phường 2 (giếng đứng kết hợp lỗ khoan ngang), bước đầu cho kết quả tốt nhưng chưa được nhân rộng.

- Mái dốc tại một số công trình công cộng được phun xi măng hoặc trồng cỏ nhưng diện tích bảo vệ còn hạn chế; các vùng dân cư mở rộng và nhà kính hầu như không được bảo vệ, dễ bị xói mòn.

3.4.2. Nhóm giải pháp về quy hoạch - xây dựng

Việc tích hợp cơ sở dữ liệu khoa học vào quy hoạch và quản lý xây dựng là hướng đi cần thiết để giảm thiểu thiệt hại và đảm bảo phát triển đô thị bền vững. Dưới đây là các nhóm giải pháp đề xuất cụ thể:

a. Giải pháp áp dụng theo cấp nguy cơ trượt đất

Để bảo đảm hiệu quả trong công tác KSRR trượt đất, việc lựa chọn giải pháp cần được gắn trực tiếp với cấp nguy cơ trượt đất đã được xác định thông qua bản đồ phân vùng nguy cơ. Trên cơ sở đó, công tác quản lý cần được lồng ghép vào các công cụ quy hoạch ở cấp cơ sở. Cụ thể, các đơn vị hành chính phải cập nhật bản đồ trượt đất vào quy hoạch sử dụng đất cấp xã và kế hoạch phát triển KTXH hằng năm, nhằm bảo đảm các quyết định phát triển không làm gia tăng mức độ phơi bày và tổn thương. Đồng thời, không quy hoạch mở rộng khu dân cư tại các khu vực có cảnh báo nguy cơ trượt đất cao trở lên nếu chưa có giải pháp kỹ thuật đảm bảo an toàn đi kèm.

Theo từng cấp nguy cơ trượt đất của các đơn vị hành chính, luận án kiến nghị những nhóm giải pháp phù hợp tương ứng nhằm tối ưu hóa nguồn lực và nâng cao hiệu quả giảm nhẹ rủi ro. Chi tiết giải pháp đề xuất theo từng nhóm ưu tiên được trình bày tại *Bảng 3.28*:

Bảng 3.28. Bảng đề xuất giải pháp ưu tiên áp dụng theo cấp nguy cơ trượt đất

TT	Cấp nguy cơ trượt đất	Giải pháp ưu tiên áp dụng
1	Rất cao	- Phân bố lại cư dân và tài sản ra khỏi khu vực nguy hiểm. - Hạn chế tối đa xây dựng mới, cải tạo công trình cần có biện pháp công trình cụ thể. - Thiết lập hành lang an toàn nghiêm ngặt. - Ưu tiên đầu tư hệ thống gia cố mái dốc kết hợp quan trắc tự động.
2	Cao	- Gia cố mái dốc bằng giải pháp kỹ thuật (kè mềm, thoát nước, làm bậc giảm dốc). - Kiểm soát nghiêm ngặt hoạt động xây dựng. - Triển khai hệ thống cảnh báo sớm và giám sát trượt đất.
3	Trung bình	- Giới hạn quy hoạch sử dụng đất (ưu tiên đất công viên, cây xanh). - Lắp đặt hệ thống thoát nước mặt. - Xây dựng cơ chế cảnh báo cộng đồng và diễn tập ứng phó.
4	Thấp và Rất thấp	- Theo dõi định kỳ hiện trạng mái dốc. - Tuyên truyền nâng cao nhận thức cộng đồng. - Bổ sung cây xanh phòng hộ và ổn định mái dốc tự nhiên.

b. Giải pháp quy hoạch phát triển đô thị

Hiện nay theo Luật Quy hoạch đô thị ở nước ta [138], công tác quy hoạch đô thị được thực hiện qua ba giai đoạn chính:

b.1. Thực hiện quy hoạch tổng thể:

- Quy hoạch tổng thể được lập cho các thành phố trực thuộc trung ương, thành phố trực thuộc tỉnh, thị xã, thị trấn và khu đô thị mới.

- Mục tiêu: Xác định định hướng phát triển không gian tổng thể, cơ cấu sử dụng đất, mạng lưới hạ tầng kỹ thuật và bảo vệ môi trường.

- Yêu cầu thực hiện: Tổng hợp điều kiện tự nhiên - địa chất - thủy văn khu vực, đặc biệt chú trọng đến các yếu tố ảnh hưởng đến quy hoạch mặt bằng tổng thể, như: điều kiện địa hình, địa chất, địa chất thủy văn, khoáng sản và các hiện tượng địa chất động lực hiện đại.

- Sản phẩm: Cung cấp các tài liệu nền để định hướng quy hoạch mặt bằng và phân vùng chức năng của đô thị.

b.2. Thực hiện quy hoạch chi tiết đô thị

- Mục tiêu: Phân chia rõ ràng không gian sử dụng đất, xác định vị trí các công trình, tuyến đường, hạ tầng kỹ thuật cụ thể. Bao gồm: 1) Quy hoạch phân khu cho từng khu vực trong đô thị hoặc đô thị mới; 2) Quy hoạch chi tiết cho các khu vực cụ thể cần phát triển, quản lý hoặc đầu tư xây dựng.

- Yêu cầu thực hiện: 1) Khảo sát chi tiết hơn về thành phần cơ lý đất, điều kiện nước ngầm, địa chất công trình tại các khu vực được quy hoạch để phục vụ bố trí các công trình dân dụng, công nghiệp và hạ tầng; 2) Các bản đồ khảo sát yêu cầu tỷ lệ chi tiết hơn, thường từ 1/2.000 đến 1/500.

- Sản phẩm: Các báo cáo khảo sát phục vụ lập quy hoạch chi tiết và thiết kế cơ sở ban đầu cho từng khu vực cụ thể.

b.3. Thực hiện quy hoạch thiết kế công trình cải tạo hạ tầng đô thị hiện có

- Mục tiêu: Thiết kế chi tiết các công trình, hạng mục cụ thể trong khu đô thị (nhà ở, công trình công cộng, công trình hạ tầng kỹ thuật...).

- Yêu cầu thực hiện: 1) Khảo sát chi tiết tại từng vị trí công trình nhằm cung cấp thông tin phục vụ thiết kế nền móng, đảm bảo ổn định công trình; 2) Yêu cầu độ chính xác rất cao về đặc tính cơ lý đất, địa chất thủy văn, trạng thái hiện tại của địa hình và nền đất; 3) Tỷ lệ bản đồ địa hình từ 1/500 đến 1/2.000 tùy theo yêu cầu.

- Sản phẩm: Cung cấp đầy đủ dữ liệu địa chất để phục vụ tính toán thiết kế kỹ thuật chi tiết, thi công xây dựng công trình.

c. Thực hiện quản lý xây dựng theo mức độ rủi ro trượt đất

Dựa trên kết quả khảo sát và đánh giá nguy cơ trượt đất thực hiện rà soát các vị trí có nguy cơ trượt đất đánh giá mức độ rủi ro làm cơ sở kiểm soát hoạt động xây dựng.

- Vị trí rủi ro trượt đất rất cao: không cấp phép xây dựng mới các công trình dân sinh; chỉ cho phép hạ tầng kỹ thuật khi có giải pháp công trình phòng chống hiệu quả.

- Vị trí rủi ro trượt đất cao: cho phép xây dựng hạn chế và có phải thực hiện khảo sát địa chất và thiết kế kỹ thuật chống trượt phù hợp đi kèm.

- Vị trí rủi ro trượt đất trung bình và thấp: kiểm soát mật độ xây dựng, yêu cầu hệ thống thoát nước phù hợp địa hình.

- Vị trí rủi ro trượt đất rất thấp: xây dựng phù hợp với kiến trúc và kết cấu quy định.

3.4.3. Nhóm biện pháp về kỹ thuật - hạ tầng

Các biện pháp kỹ thuật - hạ tầng nhằm kiểm soát và giảm thiểu rủi ro trượt đất được tổng hợp và phân loại thành năm nhóm chính dựa trên mục tiêu can thiệp, điều kiện áp dụng và các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành như TCVN 9861:2013, TCVN 11823-1:2017, 22TCN 171-87 và 22TCN 263-2000, bao gồm (*Chi tiết tại Phụ lục 4*):

- Nhóm thứ nhất là các biện pháp công trình chống đỡ cơ học như tường chắn, dè phản áp, cọc ghim, hệ thống neo và tường đất có cốt, thường áp dụng tại khu vực có mái dốc cao, nền đất yếu và yêu cầu ổn định lâu dài.

- Nhóm thứ hai là các biện pháp giảm tải trên mái dốc như cắt cơ học, đánh cấp, làm thoải mái dốc hoặc hạn chế chiều cao mái, giúp giảm lực trượt và phân tán tải trọng công trình.

- Nhóm thứ ba tập trung vào biện pháp kiểm soát dòng chảy bề mặt nhằm ngăn chặn xói mòn và tập trung dòng gây mất ổn định, bao gồm hệ thống rãnh thoát nước, bậc nước và lớp chống thấm mái dốc.

- Nhóm thứ tư là các biện pháp thoát nước ngầm như hào, giếng, lỗ khoan hoặc hàm thu nước nhằm giảm áp lực nước lỗ rỗng - một trong những yếu tố thúc đẩy trượt lở phổ biến.

- Cuối cùng, nhóm biện pháp gia cố và bảo vệ mặt dốc như phủ thực vật, phun vữa, lát bê tông hoặc sử dụng lưới thép và vải địa kỹ thuật nhằm chống xói mòn, ổn định lớp đất mặt và bảo vệ mái dốc khỏi tác động khí hậu - nhân sinh.

Các biện pháp này cần được lựa chọn và kết hợp linh hoạt dựa trên điều kiện địa hình - địa chất cụ thể, quy mô công trình và mục tiêu KSRR tại từng khu vực đô thị hóa có nguy cơ trượt đất.

3.4.4. Nhóm giải pháp về xã hội - cộng đồng

Trong điều kiện địa hình địa hình dốc biến đổi như Đà Lạt - Lạc Dương, nơi có nhiều khu dân cư nằm tại vùng nguy cơ trượt đất cao và rất cao, việc triển khai các giải pháp công trình thường tốn kém, phức tạp và khó bao phủ toàn diện. Trong khi đó, cộng đồng địa phương là lực lượng đầu tiên chịu tác động và đồng thời cũng là lực lượng phản ứng nhanh nhất với các tình huống nguy cơ. Do vậy, tiếp cận QLRR thiên tai dựa vào cộng đồng (Community-Based Disaster Risk Management - CDBRM) đã được chứng minh là hiệu quả, bền vững và có chi phí thấp hơn, đặc biệt trong các tình huống thiên tai nhanh như trượt đất. Phương pháp này được khuyến nghị bởi Bộ NN&PTNT (2015) và đang áp dụng hiệu quả tại nhiều địa phương vùng cao như Lào Cai, Yên Bái và Hà Giang.

a. Tổ chức bộ máy QLRR cấp cơ sở

- Thành lập Ban Quản lý RRTT cấp thôn/xã: gồm đại diện UBND, trưởng thôn, hội phụ nữ, đoàn thanh niên, y tế, người cao tuổi, giáo viên...
- Thành lập Nhóm cộng đồng QLRR (5-7 người), là lực lượng nòng cốt thực hiện các hoạt động giám sát - cảnh báo - sơ tán.
- Có quy định rõ chức năng - nhiệm vụ - kênh thông tin báo cáo và phản ứng nhanh.

b. Đánh giá rủi ro có sự tham gia của cộng đồng

- Áp dụng phương pháp RRA - Rapid Rural Appraisal: 1) Thu thập thông tin lịch sử trượt đất, thiệt hại đã xảy ra; 2) Sơ họa các vị trí nguy cơ trượt đất thực tế; 3) Đánh giá khả năng tổn thương của các nhóm dân cư (già, trẻ, hộ nghèo...).
- Kết quả được đưa vào bản đồ nguy cơ trượt đất cấp thôn/xã với mức độ chi tiết cao và phù hợp thực tế địa phương.

c. Xây dựng kế hoạch phòng chống thiên tai cộng đồng (KHPCTT-CD)

- Cấu trúc kế hoạch gồm: 1) Bảng tổng hợp điểm nguy hiểm - dấu hiệu nhận biết; 2) Danh sách hộ có nguy cơ cao cần sơ tán trước; 3) Sơ đồ tuyến sơ tán - nơi tập trung; 4) Phân công nhiệm vụ cụ thể: người phát loa, người hỗ trợ người già, đội y tế... 5) Danh sách vật tư thiết yếu: dây thừng, áo mưa, gậy, túi sơ cứu.
- Kế hoạch được niêm yết tại nhà văn hóa thôn, được cập nhật hàng năm và lồng ghép trong các cuộc họp cộng đồng.

d. Tuyên truyền, đào tạo và nâng cao năng lực

- Tổ chức diễn tập sơ tán trượt đất cấp thôn/xã định kỳ 1 năm/lần.
- Tổ chức tập huấn các chủ đề: 1) Dấu hiệu nhận biết nguy cơ trượt đất; 2) Hành vi an toàn khi mưa lớn kéo dài; 3) Sơ cứu cơ bản khi xảy ra tai nạn; 4) Cảnh báo sớm và báo động cộng đồng.

- Lồng ghép tuyên truyền vào các kênh: loa phát thanh, nhóm Zalo cộng đồng, pano tại chợ - trường học - trạm y tế.

- Xây dựng ứng dụng di động nhắn tin cảnh báo trượt đất cho người dân khi mưa lớn vượt ngưỡng.

e. Cơ chế giám sát và cảnh báo cộng đồng

- Thiết lập các điểm quan trắc cộng đồng: đánh dấu vị trí có nứt mái dốc, mốc theo dõi dịch chuyển.

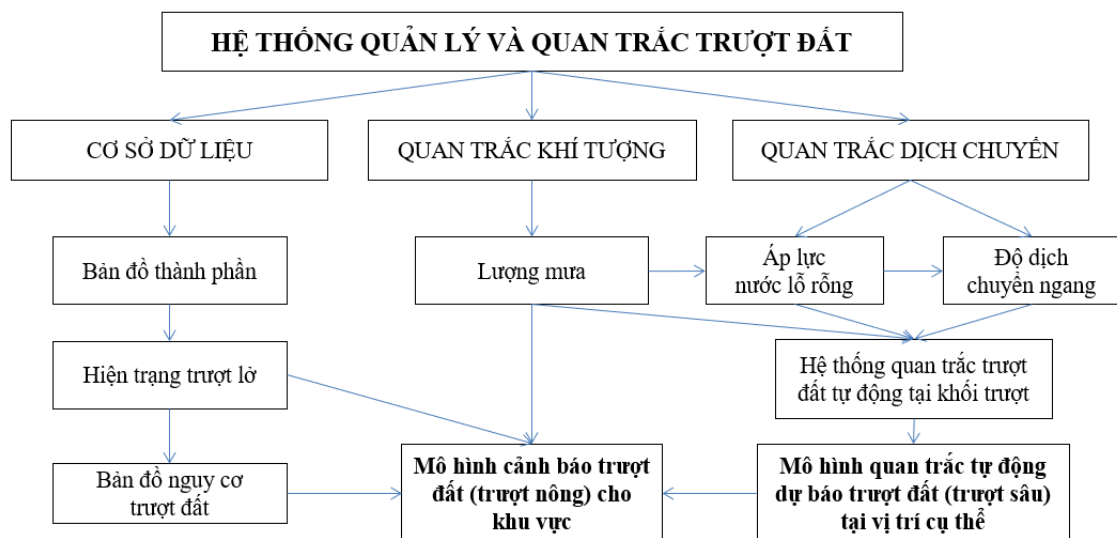
- Cung cấp sổ nhật ký theo dõi mưa và hiện tượng bất thường cho các hộ dân tại vùng nguy cơ.

- Lắp loa cảnh báo bán tự động tại các cụm dân cư có nguy cơ cao (có thể kết nối với dữ liệu mưa của Trung tâm Khí tượng hoặc cảm biến tại chỗ).

3.5. Giám sát và cập nhật thông tin quản lý rủi ro trượt đất

Nhằm hỗ trợ công tác phòng ngừa và QLRR trượt đất tại các đô thị địa hình dốc, nghiên cứu đề xuất mô hình hệ thống quan trắc và cảnh báo trượt đất định kỳ, được xây dựng trên nền tảng WebGIS tích hợp. Hệ thống này tổng hợp các lớp dữ liệu cơ sở bao gồm: bản đồ địa hình, hiện trạng trượt lở, bản đồ phân vùng nguy cơ và dữ liệu quan trắc thời gian thực từ các trạm đo tự động (gồm chuyển vị ngang, áp lực nước lỗ rỗng, lượng mưa). Nhờ khả năng trực quan hóa theo không gian và thời gian, hệ thống giúp các cơ quan quản lý và cộng đồng địa phương dễ dàng tiếp cận thông tin, giám sát diễn biến và chủ động cảnh báo sớm các nguy cơ trượt đất.

Mô hình được thiết kế với tính linh hoạt cao, có thể mở rộng phạm vi địa lý, bổ sung lớp dữ liệu chuyên sâu, phục vụ hiệu quả công tác cập nhật và điều chỉnh mức độ rủi ro theo diễn biến thực tế. Nghiên cứu xây dựng hai cấu phần mô hình giám sát phù hợp với đặc điểm địa chất - địa hình tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (Hình 3.6):



Hình 3.6. Sơ đồ hệ thống quản lý về công nghệ quan trắc và mô hình cảnh báo trượt lở đất được áp dụng cho khu vực và vị trí khối trượt do NCS đề xuất

Quy trình thiết lập mô hình quan trắc cảnh báo trượt đất chi tiết tại *Phụ lục 5*.

1) Mô hình cảnh báo khu vực trên nền WebGIS: Thiết lập hệ thống cảnh báo quy mô khu vực bằng cách tích hợp các lớp thông tin nền (hiện trạng trượt lở, bản đồ địa hình, bản đồ nguy cơ), kết hợp với dữ liệu mưa và chuỗi số liệu quan trắc tự động. Mô hình này cho phép giám sát đồng thời toàn khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, hỗ trợ đánh giá xu thế phát triển trượt đất theo thời gian - không gian, phục vụ việc cập nhật bản đồ rủi ro, điều chỉnh hành lang an toàn và ưu tiên khu vực cần kiểm soát. Để đảm bảo tính liên tục và hiệu quả trong công tác QLRR, NCS đề xuất thiết lập cơ chế giám sát - cập nhật định kỳ như sau:

- Cập nhật dữ liệu vị trí nguy cơ tai biến định kỳ 2 lần mỗi năm, hoặc sau các sự kiện mưa cực đoan, hoạt động xây dựng thay đổi mạnh địa hình.

- Tích hợp dữ liệu quan trắc thực tế (chuyển vị, lượng mưa, tốc độ dịch chuyển mái dốc) vào bản đồ rủi ro để điều chỉnh mức độ nguy cơ.

- Rà soát lại khu vực ưu tiên kiểm soát sau mỗi lần cập nhật, điều chỉnh hành lang an toàn hoặc giải pháp kỹ thuật phù hợp với tình hình mới.

- Xây dựng hệ thống lưu trữ dữ liệu số hóa để đảm bảo đồng bộ giữa các cấp quản lý từ tỉnh đến thành phố, phường/xã.

2) Mô hình quan trắc và dự báo dịch chuyển khối trượt sâu được áp dụng tại vị trí LangBiang, sử dụng đồng bộ hệ thống đo dịch chuyển ngang trong hố khoan, cảm biến áp lực nước lỗ rỗng và lượng mưa, độ ẩm tại chỗ. Hệ thống cảnh báo tự động này đã xác lập được mối quan hệ định lượng giữa các yếu tố mưa - áp lực nước lỗ rỗng - chuyển vị ngang trong hố khoan, cho phép phát hiện sớm biến động bất thường tại các khối trượt nguy hiểm.

Phân tích đồng bộ chuỗi dữ liệu quan trắc tự động cho thấy các pha tăng tốc dịch chuyển của khối trượt thường xảy ra ngay sau các đợt mưa lớn kéo dài, khi lượng mưa tích lũy tăng mạnh và áp lực nước lỗ rỗng (PWP) tăng đột ngột. Điều này thể hiện rõ trong các thời kỳ mưa lớn tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương (đặc biệt tháng 8 và tháng 10 năm 2023), khi đường cong dịch chuyển tại các độ sâu -8 m chuyển từ trạng thái ổn định sang tăng tốc rõ rệt.

Các mô hình học máy thuộc nhóm dự báo dịch chuyển (MLPR, GB, SVR) và nhóm nhận dạng tác nhân kích hoạt (DT, RF, LSTM) đồng thời chỉ ra rằng hai nhóm yếu tố chi phối mạnh nhất đến sự dịch chuyển gồm: 1) lượng mưa tích lũy 3-10 ngày, 2) sự gia tăng nhanh của PWP trong thời gian ngắn. Trong đó:

- Các mô hình RF, DT và LSTM khẳng định các biến mưa tích lũy (Rx3d, Rx5d, Rx7d, Rx10d) có vai trò quan trọng nhất trong kích hoạt dịch chuyển.

- Mô hình MLPR ($R^2 = 0,920$) mô phỏng chính xác phản ứng tức thời của dịch chuyển khi chịu tác động của áp lực nước lỗ rỗng (PWP), cho thấy PWP tăng mạnh là tín hiệu kích hoạt trực tiếp đối với khối trượt sâu.

Sự thống nhất giữa kết quả mô hình và dữ liệu thực đo cho thấy khối trượt chuyển sang trạng thái nguy hiểm khi:

- Lượng mưa tích lũy nhiều ngày đạt ngưỡng, làm gia tăng PWP;
- PWP tăng đột ngột, phản ánh quá trình bão hòa nhanh trong thân khối trượt và giảm sức kháng cắt của vật liệu trượt;
- Giá trị chuyển vị tại độ sâu -8 m tăng tốc rõ rệt, thể hiện tái kích hoạt mặt trượt chính dịch chuyển.

Cơ sở đề xuất ngưỡng cảnh báo dựa trên ba nhóm thông tin nhất quán, bao gồm: i) Thời điểm dịch chuyển tăng tốc, nhận diện từ mô hình MLPR ($R^2 = 0,920$); ii) Các mức tăng PWP tương ứng với các pha tăng tốc; iii) Giá trị lượng mưa tích lũy gây bão hòa, xác định theo tầm quan trọng của biến trong RF, DT và LSTM.

Trong đó, kết quả của mô hình dự báo (MLPR, GB, SVR) cho phép mô phỏng theo thời gian thực ứng xử dịch chuyển tại độ sâu -8 m, còn các mô hình DT, RF và LSTM cung cấp bằng chứng về vai trò chi phối của các biến mưa tích lũy và PWP trong cơ chế kích hoạt trượt. Kết hợp cả hai nguồn kết quả, ngưỡng cảnh báo mưa và dịch chuyển được đề xuất như sau:

- Cấp 1 cảnh báo theo dõi: khi $R_{x3d} > 75\text{mm}$ hoặc $R_{x5d} > 100\text{mm}$, dịch chuyển $< 10\text{mm}$;
- Cấp 2 cảnh báo sớm khi $R_{x7d} > 130\text{mm}$ hoặc $R_{x10d} > 150\text{mm}$, dịch chuyển $< 20\text{mm}$;
- Cấp 3 cảnh báo nguy hiểm: khi đồng thời lượng mưa vượt ngưỡng $R_{x3d} > 75\text{mm}$ và $R_{x10d} > 150\text{mm}$, kèm theo dịch chuyển tích lũy $> 20\text{mm}$.

Các ngưỡng này được kiểm chứng lại bằng các sự kiện trượt đã ghi nhận, thể hiện mối liên hệ nhất quán giữa mưa tích lũy - áp lực nước lỗ rỗng (thông qua PWP) - gia tăng dịch chuyển, và được sử dụng làm cơ sở chính để đề xuất ngưỡng cảnh báo sớm (Bảng 3.29).

Bảng 3.29. Phân cấp ngưỡng cảnh báo trượt đất khối trượt sâu, quy mô lớn

Cấp cảnh báo	Điều kiện mưa tích lũy	Dấu hiệu dịch chuyển	Ý nghĩa / Ứng xử cần thiết
Cấp 1 - Theo dõi	$R_{x3d} > 75\text{mm}$ hoặc $R_{x5d} > 100\text{mm}$	Chưa ghi nhận gia tăng đáng kể dịch chuyển; Giá trị dịch chuyển $< 10\text{mm}$	Theo dõi tăng cường; kiểm tra hoạt động thiết bị; nâng tần suất giám sát.
Cấp 2 - Cảnh báo sớm	$R_{x7d} > 130\text{mm}$ hoặc $R_{x10d} > 150\text{mm}$	Dịch chuyển bắt đầu tăng nhanh, bắt đầu mất ổn định; Giá trị dịch chuyển $< 20\text{mm}$	Chủ động cảnh báo chính quyền địa phương; tăng tần suất ghi đo; rà soát nguy cơ tại hiện trường.
Cấp 3 - Cảnh báo nguy hiểm	Đồng thời vượt ngưỡng R_{x3d} và R_{x10d}	Dịch chuyển tăng tốc rõ rệt; mất ổn định cao; Giá trị dịch chuyển $> 20\text{mm}$	Kích hoạt phương án ứng phó khẩn cấp; cảnh báo di dời; hạn chế tiếp cận khu vực nguy hiểm.

Tiểu kết Chương 3

Nội dung đã xây dựng và hoàn thiện khung QLRR trượt đất cho khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương trên cơ sở tích hợp xác suất xảy ra trượt đất, mức độ tổn thương và đối tượng phơi bày. Thông qua mô hình lượng hóa rủi ro theo không gian và thời gian, luận án đã phân biệt rõ giữa nguy cơ và rủi ro, đồng thời xác định được giá trị rủi ro về người và tài sản cho từng đơn vị hành chính.

Trong nghiên cứu này, rủi ro được tiếp cận theo hướng định lượng và biến đổi theo thời gian, do đó không được biểu diễn bằng bản đồ tĩnh mà được lượng hóa theo các đơn vị hành chính và các kịch bản thời gian (1 năm, 3 năm và 5 năm). Cách tiếp cận này phản ánh đúng bản chất động của rủi ro, đồng thời khắc phục hạn chế do sự không đồng nhất của dữ liệu về đối tượng chịu tác động và mức độ tổn thương.

Kết quả phân cấp rủi ro tổng hợp (R_{th}) cho thấy sự phân hóa rõ rệt giữa các khu vực trung tâm đô thị và vùng ven, làm cơ sở xác định khu vực ưu tiên kiểm soát rủi ro. Ở quy mô vị trí cụ thể, hệ thống chấm điểm đa tiêu chí và cơ chế mã hóa công trình (KV-YY-ID-UT) đã cho phép xếp hạng mức độ ưu tiên can thiệp và có khả năng cập nhật theo thời gian.

Đề xuất hệ thống giải pháp đồng bộ gồm: tích hợp rủi ro vào quy hoạch - xây dựng, biện pháp kỹ thuật - hạ tầng, tiếp cận dựa vào cộng đồng và mô hình quan trắc - cảnh báo định kỳ trên nền tảng WebGIS kết hợp học máy. Cách tiếp cận này không chỉ nâng cao tính chủ động trong phòng ngừa mà còn đảm bảo khả năng thích ứng và cập nhật rủi ro trong bối cảnh đô thị hóa và biến đổi khí hậu.

Như vậy, Chương 3 đã chuyển hóa kết quả phân tích hiện trạng và nguy cơ (Chương 2) thành hệ thống QLRR có cấu trúc, định lượng và khả năng ứng dụng thực tiễn, góp phần hoàn thiện quy trình QLRR trượt đất cho đô thị miền núi.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. 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 thuần túy, phù hợp với điều kiện dữ liệu địa phương và làm rõ sự phân bố rủi ro theo không gian thông qua lượng hóa theo đơn vị hành chính và theo thời 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, gồm: P7, P8, P3, P6, P2, P9 và P11 với $R_{th} \geq 3,5$; nhóm rủi ro cần khắc phục được, gồm: P4, P10, TT. Lạc Dương với $R_{th} = 2,5 - 3,5$; và nhóm rủi ro chấp nhận được, 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 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) Một số tồn tại của luận án

- Bên cạnh những kết quả đạt được, luận án vẫn còn một số hạn chế nhất định. Cơ sở dữ liệu trượt đất lịch sử tại KVNC chưa đầy đủ và đồng nhất theo thời gian; chuỗi số liệu quan trắc còn ngắn nên chưa phản ánh đầy đủ mối quan hệ giữa các yếu tố kích hoạt và diễn biến trượt đất. Phương pháp xây dựng bản đồ nguy cơ trượt đất dựa trên AHP và phân tích thống kê nên vẫn phụ thuộc vào kinh nghiệm chuyên gia. Ngoài ra, nghiên cứu tập trung vào trượt đất trong lớp vỏ phong hóa, trong khi một số dạng tai biến liên quan khác chưa được xem xét đầy đủ. Những hạn chế này đồng thời cũng mở ra các hướng nghiên cứu tiếp theo nhằm hoàn thiện hơn cơ sở khoa học và phương pháp đánh giá, quản lý rủi ro trượt đất trong điều kiện đô thị miền núi.

- Dự báo trượt đất theo ngưỡng mưa được xây dựng dựa trên số liệu mưa ngày tại trạm Đà Lạt, trong khi thực tế quá trình kích hoạt trượt đất chịu ảnh hưởng mạnh của cường độ mưa theo thời gian ngắn (giờ). Việc sử dụng số liệu ngày có thể làm giảm các đỉnh mưa cường độ lớn, dẫn đến sai số nhất định trong xác định ngưỡng mưa kích hoạt trượt đất. Ngoài ra, số lượng sự kiện trượt đất còn hạn chế cũng ảnh hưởng đến độ ổn định của mô hình. Với xu thế phát triển của các hệ thống quan trắc mưa tự động theo thời gian thực, việc bổ sung dữ liệu mưa theo giờ kết hợp với các thông số quan trắc địa kỹ thuật (dịch chuyển, áp lực nước lỗ rỗng) sẽ cho phép hiệu chỉnh và nâng cấp phương trình ngưỡng mưa theo hướng phản ánh tốt hơn cơ chế kích hoạt. Do đó, ngưỡng mưa được đề xuất trong nghiên cứu này có thể được xem là cơ sở ban đầu có ý nghĩa thực tiễn, đồng thời là nền tảng để phát triển các mô hình cảnh báo sớm trượt đất chính xác hơn trong tương lai.

2. 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 CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

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. <https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2025.en.5.4.87-106>
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 <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5439>

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

(Tài liệu tham khảo xếp theo thứ tự xuất hiện trong luận án, được đánh số từ [1] cho đến kết thúc theo quy định của Học viện Khoa học và Công nghệ)

1. World Health Organization, 2022, WHO guidance on research methods for health emergency and disaster risk management, revised 2022.
2. Cổng thông tin điện tử Chính phủ, Một số thông tin về địa lý Việt Nam. <<https://chinhphu.vn/dia-ly-68387>>.
3. Cổng thông tin điện tử Bộ Nông nghiệp và Môi trường, Báo cáo tình hình thiệt hại do thiên tai 2020 - 2024. <<https://www.mard.gov.vn/Pages/phong-chong-thien-tai.aspx>>.
4. Nguyễn Việt Tiến, 2021, *Nghiên cứu cơ sở khoa học, xây dựng hệ thống quan trắc cảnh báo trượt tự động tại một số khu đô thị trọng điểm khu vực Tây Nguyên*, Viện Địa chất, Hà Nội, tr. 1-268.
5. Quyết định số 379/QĐ-TTg ngày 17/3/2021 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Chiến lược quốc gia phòng, chống thiên tai đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050.
6. United Nations, 2019, World urbanization prospects: the 2018 revision, New York.
7. OECD Regional Development Working Papers, 2019, The EU-OECD definition of a functional urban area.
8. World Bank Group, World Bank Group Urban Development. <<https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment>>.
9. UN Habitat, 2022, *World Cities Report 2022*, UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME.
10. Lomtadze V.D., 1977, *Địa chất công trình - Địa chất động lực công trình*, NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp (bản dịch 1982), Hà Nội.
11. Varnes D.J., 1978, Slope movement types and processes. *Special report*, 176, 11-33.
12. D.M. Cruden và D.J. Varnes, 1996, Landslide types and processes. *Transp Res Board*, 247(*US national academy of sciences, special report*), 36-57.
13. Nguyễn Quốc Thành và Nguyễn Trọng Yên, 2015, *Atlas thiên tai Việt Nam - phần đất liền*, NXB Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam.
14. Lynn Highland, 2004, Landslide types and processes. *USGS Report*, 15.
15. Tiêu chuẩn quốc gia về quản lý rủi ro, 2018, ISO31000:2018 TCVN.
16. Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction. <<https://www.undrr.org/terminology/disaster-risk>>.

17. Hungr O., Corominas J., và Eberhardt E., 2005, Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocity. *Landslide risk management*. CRC Press, 109-138.
18. Fell R., Ho K.S., Lacasse S., Leroi E., 2005, A framework for landslide risk assessment and management. *Landslide risk management*. CRC Press, 13-36.
19. Hutchins G., 2018, *ISO 31000: 2018 enterprise risk management*, Greg Hutchins.
20. Hungr O., 2005, *Landslide risk management: proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada, 31 May - 3 June 2005*, Balkema, Leiden.
21. Varnes D.J., 1984, *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*, United Nations, pp. 1-126.
22. Lacasse S., Nadim F., và Uzielli M., 2007, Hazard and risk assessment of landslides. *Computer Applications In Geotechnical Engineering*. 1-10.
23. Wu T. H., Tang W. H., và Einstein H. H., 1996, *Landslides: Investigation and Mitigation* - Chapter 6 Landslide hazard and risk assessment, Transportation Research Board, pp. 106-118.
24. Fell R., Hartford D., 2018, *Landslide risk assessment*. Routledge, 51-109.
25. Leroi E., Bonnard Ch., Fell R., McInnes R., 2005, *Landslide risk management - Risk assessment and management*, CRC Press, 169-208.
26. Ho K.K.S., 2013, *Managing the Uncertainties of Natural Terrain Landslides and Extreme Rainfall in Hong Kong*. In: Margottini, C., Canuti, P., Sassa, K. (eds) *Landslide Science and Practice*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 285-302.
27. Thomson S., Tiedemann C., 1982, *A review of factors affecting landslides in urban areas*. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 19(1), pp. 55-65.
28. Schuster R.L. và Highland L.M. (2007). *The Third Hans Cloos Lecture. Urban landslides: socioeconomic impacts and overview of mitigative strategies*, Bulletin Engineering Geological Environment, 66(1), 1-27.
29. Martire D.D., Rosa M.D., Pesce V., Santangelo M.A., Calcaterra D., 2012, *Landslide hazard and land management in high-density urban areas of Campania region, Italy*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 12(4), 905-926.
30. Kechebour B.E., 2015, *Relation between Stability of Slope and the Urban Density: Case Study*, Procedia Engineering, 114, 824-831.

31. Pushpa, Joshi J., 2016, *Urbanization and Anthropogenic Transformation of Hill Slopes in Almora Town of Kumaun Himalaya*, Universal Journal of Environmental Research & Technology, 6(1), p19 .
32. Varnes D., 1984, Commission on the Landslides of the IAEG, UNESCO, *Natural Hazard - Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*, **3**, 61.
33. Einstein H.H., 1988, Landslide risk assessment procedure, *Landslides Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, 2.
34. Fell R., 1994, Landslide risk assessment and acceptable risk, *Canadian Geotechnical Journal*, 31(2), 261-272.
35. Lee E.M., Jones D.K.C., 2023, *Landslide risk assessment*, ICE publishing.
36. Morgan M. G., 1992, Risk analysis and management, *Scientific American*, 269(1), 32-41.
37. Australian Geomechanics Society, 2009, Landslide risk management for Australia. *The Australian Journal of Emergency Management*, 24(1), 39-52.
38. UNISDR, 2017, *National Disaster Risk Assessment: Governance System, Methodologies and Use of Results*, United Nation.
39. UNDRR, 2022, *Disaster risk reduction in the ASEAN Region*, United Nation.
40. Van Den Eeckhaut M., Hervás J., 2012, State of the art of national landslide databases in Europe and their potential for assessing landslide susceptibility, hazard and risk. *Geomorphology*, 139, 545-558.
41. Hays W.W., 1995, *USGS natural hazards programs: Lessons learned for reducing risk*, US Government Printing Office.
42. Elena P., 2020, Natural hazard impacts on transport infrastructure in Russia, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(7), 1969-1983.
43. Trigila A., Iadanza C., Guerrieri L., 2007, *The IFFI project (Italian landslide inventory): Methodology and results*, Guidelines for mapping areas at risk of landslides in Europe, 23, 15.
44. Hobbs P., 2007, *BGS landslide data and mapping in Britain*, Guidelines for Mapping Areas at Risk of Landslides in Europe, 23, 11.
45. Chacón J., 2007, *Landslide susceptibility, hazard and risk GIS mapping in the Betic Cordillera Spain: areas with limited information about triggering factors*, Guidelines for mapping areas at risk of landslides in Europe, 23, 24.
46. Malet J-P., Maquaire O., Thiery Y., 2007, Landslide risk zoning-what can be expected from model simulations? A tentative application in the South French Alps. *Guidelines for Mapping Areas at Risk of Landslides in Europe*, 23, 31.

47. Wong H.N., 2005, *Landslide risk assessment for individual facilities - Landslide risk management*. CRC Press, 247-306.
48. Wong H.N., Ho K.K.S., 2006, Landslide risk management and slope engineering in Hong Kong. *Proceedings of the State-Of-The-Practice of Geotechnical Engineering in Taiwan and Hong Kong Hong Kong*.
49. Cheung R.W.M., 2021, Landslide risk management in Hong Kong. *Landslides*, 18(10), 3457-3473.
50. Ko C.K., Flentje P., Chowdhury R., 2021, Landslide risk assessment-Development of a hazard-consequence approach. *Slope stability engineering*. Routledge, 1309-1315.
51. Quyết định số 18/2021/QĐ-TTg ngày 22/4/2021 của Thủ tướng Chính phủ quy định về dự báo, cảnh báo, truyền tin thiên tai và cấp độ rủi ro thiên tai. .
52. Quyết định số 1033/QĐ-BKHCN ngày 20/6/2022 phê duyệt Chương trình KHCN cấp quốc gia giai đoạn đến năm 2023 “Nghiên cứu khoa học và công nghệ phục vụ bảo vệ môi trường, phòng tránh thiên tai và ứng phó với biến đổi khí hậu”, mã số KC.08/21-30.
53. Quyết định số 1262/QĐ-TTg ngày 27/10/2023 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Đề án Cảnh báo sớm sạt lở đất, lũ quét khu vực miền núi, trung du Việt Nam.
54. Quyết định số 553/QĐ-TTg ngày 06/4/2021 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Đề án “Nâng cao nhận thức cộng đồng và quản lý rủi ro thiên tai dựa vào cộng đồng, đến năm 2030”.
55. Nguyễn Trọng Yêm, 2006, *Nghiên cứu xây dựng bản đồ phân vùng tai biến môi trường tự nhiên lãnh thổ Việt Nam*, Viện Địa chất, Hà Nội.
56. Nguyễn Xuân Huyền, 2009, *Đánh giá nguy cơ và đề xuất các giải pháp phòng chống, phòng tránh tai biến trượt lở đất thành phố Đà Nẵng*, Viện Địa chất, Hà Nội.
57. Vũ Cao Minh, 1996, *Nghiên cứu dự báo trượt lở, lũ quét - lũ bùn đá và các giải pháp phòng chống (giai đoạn II)*, Viện Địa chất, Hà Nội.
58. Vũ Cao Minh, 2000, *Nghiên cứu tai biến trượt lở ở Việt Nam*, Viện Địa chất, Hà Nội.
59. Vũ Cao Minh, 1996, *Nghiên cứu dự báo trượt lở, lũ bùn đá, lũ quét ở Lai Châu và các biện pháp phòng chống*, Viện Địa chất, Hà Nội.
60. Đinh Văn Toàn, 2000, *Đánh giá dự báo diễn biến và đề xuất một số giải pháp giảm nhẹ thiệt hại do hiện tượng nứt, trượt đất khu đồi Ông Tượng - thị xã Hoà Bình*, Viện Địa chất, Hà Nội.

61. Trần Tân Văn, 2006, *Nghiên cứu, đánh giá điều kiện địa chất, kiến tạo và các yếu tố liên quan đến tai biến địa chất, môi trường dọc một số đoạn trên tuyến đường Hồ Chí Minh*, Viện Địa chất và Khoáng sản, Hà Nội.
62. Chu Văn Ngợi, Nguyễn Thị Thu Hà, 2008, *Đánh giá nguy cơ tai biến trượt lở dọc tuyến đường 4D trên cơ sở nghiên cứu mối quan hệ giữa cấu trúc địa chất và địa hình*. Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội.
63. Đỗ Minh Đức (2006). Phân tích ảnh hưởng của mưa đến độ ổn định mái dốc đất tàn tích (lấy ví dụ tuyến đường thị xã Bắc Kạn - Chợ Đồn). *Tạp chí Khoa học - Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 2 (2006).
64. Trần Mạnh Liễu, Nguyễn Quang Huy, Nguyễn Thị Khang, Hoàng Đình Thiện, Bùi Bảo Trung, 2013, Dự báo nguy cơ và cường độ phát triển trượt lở khu vực thị xã Bắc Kạn, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 3(4).
65. Nghiêm Hữu Hạnh, 2009, Biến đổi khí hậu, nguy cơ tai biến trượt lở ở vùng núi Việt Nam và một số giải pháp quản lý, phòng chống. *Tạp chí Địa kỹ thuật*, 3-2009, tr. 41-50.
66. Đào Văn Thịnh, 2005, Điều tra tổng thể, xây dựng cơ sở dữ liệu về địa chất, tài nguyên khoáng sản và tai biến địa chất, đề xuất khả năng khai thác, sử dụng hợp lý tài nguyên khoáng sản, phòng tránh tai biến địa chất và bảo vệ môi trường trên địa bàn tỉnh Lào Cai, Sở KH-CN Lào Cai.
67. Nguyễn Ngọc Thạch (2014). Ứng dụng viễn thám và GIS thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở đất tại tỉnh Bắc Kạn. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, (22), 37-44.
68. Trần Anh Tuấn, Nguyễn Tứ Dân, 2012, Nghiên cứu nhạy cảm và phân vùng nguy cơ trượt- lở đất khu vực hồ thủy điện Sơn La theo phương pháp phân tích cấp bậc Saaty, *Tạp chí Các Khoa học về Trái đất*, 34(3), tr. 223-232.
69. Bui Tien Dieu, Pradhan B., Lofman O., Revhaug I., 2012, Landslide susceptibility assessment in vietnam using support vector machines, decision tree, and Naive Bayes Models. *Mathematical problems in Engineering*, 2012(1), 974638.
70. Das R., Pham Van Tien, Wegmann K. W., Chakraborty M., 2024, Machine learning-based assessment of regional-scale variation of landslide susceptibility in central Vietnam. *PLoS One*, 19(10), e0308494.
71. Huu Duy Nguyen, Quoc Huy Nguyen, Quan Vu Viet Du, Viet Thanh Pham, Le Tuan Pham, Thanh Van Hoang, Quang-Hai Truong, Quang-Thanh Bui, Petrisor A-I., 2024, Landslide susceptibility prediction using machine learning and remote sensing: Case study in Thua Thien Hue province, Vietnam. *Geological Journal*, 59(2), 636-658.

72. Lan Chau Nguyen, Pham Van Tien, Tuan-Nghia Do, 2020, Deep-seated rainfall-induced landslides on a new expressway: a case study in Vietnam. *Landslides*, 17(2), 395-407.
73. Pham Van Tien, Le Hong Luong, Do Minh Duc, Phan Trong Trinh, Dinh Thi Quynh, Nguyen Chau Lan, Dang Thi Thuy, Nguyen Quoc Phi, Tran Quoc Cuong, Khang Dang, Doan Huy Loi, 2021, Rainfall-induced catastrophic landslide in Quang Tri Province: the deadliest single landslide event in Vietnam in 2020, *Landslides*, 18, pp. 2323-2327.
74. Pham Van Tien, Vu Cao Minh, Dao Minh Duc, Le Hong Luong, Dao Hai Nam, Tran Trung Hieu, 2025, Rainfall-induced catastrophic rapid and long-traveling landslide in Lang Nu hamlet: the worst natural landslide disaster in Vietnam, *Landslides*, 22, pp. 1761-1767.
75. Nguyễn Quốc Thành, 2004, *Nghiên cứu xây dựng hệ thống quan trắc cảnh báo trượt đất ở các vùng trọng điểm khu vực thị xã Hoà Bình*, Viện Địa chất, Hà Nội.
76. Đỗ Minh Đức, 2020, *Nghiên cứu dự báo nguy cơ tai biến trượt lở mái dốc dọc các tuyến giao thông trọng điểm miền núi tỉnh Quảng Nam và đề xuất giải pháp ứng phó*, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội.
77. Nguyễn Trọng Yên, 2015, *Thành lập bộ bản đồ phân vùng tai biến môi trường tự nhiên lãnh thổ nước CHDCND Lào*, Viện Địa chất, Hà Nội.
78. Trần Mạnh Liễu, 2007, Đặc điểm thông tin địa chất và khả năng sử dụng các mô hình xác suất trong nghiên cứu tai biến địa chất, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, pp. 1-5.
79. Nguyễn Thị Vĩnh Hà, 2014, Đánh giá rủi ro tai biến trượt lở về người và tài sản tại thị xã Bắc Kạn, *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Kinh tế và Kinh doanh*, 30(1) tr. 26-35 .
80. Đặng Thị Thuỳ, Đỗ Minh Đức, Dương Thị Toan, 2020, Xây dựng website cảnh báo sớm tai biến trượt lở dọc các tuyến giao thông trọng điểm miền núi tỉnh Quảng Nam, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 1, tr. 60-66.
81. Trần Văn Đạt, Phạm Thị Diệp, Nguyễn Tuấn Anh, 2023, Khung hành động quản lý rủi ro trượt lở đất ở miền núi phía Bắc Việt Nam. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, 9-2023, tr. 46-58.
82. Nguyễn Trọng Yên, 1998, *Điều tra đánh giá sự cố môi trường quan trọng và kiến nghị giải pháp phòng tránh, giảm nhẹ thiệt hại nhằm phát triển kinh tế- xã hội vùng Tây Nguyên*, Viện Địa chất, Hà Nội.
83. Nguyễn Xuân Huyền, 2015, *Nghiên cứu một số dạng tai biến địa chất điển hình phục vụ phát triển kinh tế xã hội khu vực Tây Nguyên*, Viện Địa chất, Hà Nội.

84. Lê Ngọc Thanh, 2021, *Nghiên cứu tai biến địa chất: nứt, sụt đất, trượt lở đất và đề xuất các biện pháp cảnh báo, ngăn ngừa và khắc phục trên địa bàn thành phố Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng*, Sở Khoa học Công nghệ tỉnh Lâm Đồng.
85. Nguyễn Trọng Yên, 2016, *Tài liệu hướng dẫn về phương pháp luận và phương pháp xây dựng bản đồ tai biến tự nhiên lãnh thổ Việt Nam*, Nhà xuất bản khoa học tự nhiên và công nghệ, Hà Nội.
86. Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P., 2000, Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental management*, 25(3).
87. Nghiêm Hữu Hạnh, 2010, *Nghiên cứu bước đầu về trượt lở đất ở vùng núi một số tỉnh duyên hải miền Trung - Phương pháp đánh giá*, Viện Địa kỹ thuật, pp. 1-18.
88. Trần Quang Bảo, Lê Sỹ Doanh, Hoàng Thị Hồng, 2018, Sử dụng ảnh Google Earth để xây dựng bản đồ hiện trạng rừng và đánh giá biến động rừng tại công ty lâm nghiệp La ngà, tỉnh Đồng Nai. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, 1-2018, tr. 79-88.
89. Rabby Y.W., Li Y., 2019, An integrated approach to map landslides in Chittagong Hilly Areas, Bangladesh, using Google Earth and field mapping. *Landslides*, 16(3), pp. 633-645.
90. Viện Địa chất và khoáng sản, 2013, Quy định và hướng dẫn điều tra và thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá tỷ lệ 1:50.000.
91. Đỗ Minh Đức, 2020, *Trượt đất đá - Nghiên cứu tai biến và ổn định mái dốc*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, pp. 1-310.
92. Saaty T.L., 2008, Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
93. Hà Ngọc Anh, Thái Hồng Anh, Hoàng Hải Yến và cộng sự. (2021). Ảnh hưởng của sự biến đổi tính chất cơ lý theo độ ẩm đến độ ổn định mái dốc trên các loại đất sườn tàn tích khu vực Đà Lạt. *Tạp chí Địa kỹ thuật*, 2-2021, tr. 28-35..
94. 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*, 4-2024, tr. 29-38.
95. Larsen M.C., Simon A., 1993, A rainfall intensity-duration threshold for landslides in a humid-tropical environment, Puerto Rico. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 75(1-2), pp. 13-23.

96. Corominas J., Moya J., 1999, Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain. *Geomorphology*, 30(1-2), pp. 79-93.
97. Brand E. W., Premchitt J., Phillipson H. B., 1984, Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. *Canadian Geotechnical Society Toronto*, 276-84.
98. Caine N., 1980, The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska annaler: series A, physical geography*, 62(1-2), pp. 23-27.
99. Chleborad A. F., Baum R. L., Godt J. W., 2006. *Rainfall thresholds for forecasting landslides in the Seattle, Washington, area: Exceedance and probability*, US Geological Survey Open-File Report, 1064, p. 31.
100. Dahal R. K., Hasegawa S., 2008, Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya. *Geomorphology*, 100(3-4), pp. 429-443.
101. Glade T., Crozier M., Smith P., 2000, Applying probability determination to refine landslide-triggering rainfall thresholds using an empirical "Antecedent Daily Rainfall Model". *Pure and Applied Geophysics*, 157, pp. 1059-1079.
102. Polemio M., Sdao F., 1999, The role of rainfall in the landslide hazard: the case of the Avigliano urban area (Southern Apennines, Italy). *Engineering Geology*, 53(3-4), pp. 297-309.
103. Aleotti P., 2004, A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering geology*, 73(3-4), pp. 247-265.
104. Lê Đức An, Uông Đình Khanh, Nguyễn Ngọc Thành, 2008, Tai biến trượt lở sòn tại thị xã Hà Giang và vấn đề cảnh báo. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 30(2), tr. 225-232.
105. Tien Bui Dieu, Pradhan B., Lofman O., Revhaug I., Dick O. B., 2013, Regional prediction of landslide hazard using probability analysis of intense rainfall in the Hoa Binh province, Vietnam, *Natural hazards*, 66(2), pp. 707-730.
106. Kwan J., Chan M., Shum W., 2013, *A Review of Slope-specific Early Warning Systems for Rain-induced Landslides (Report No. 316)*, Civil Engineering and Development Department of The Government of the Hong Kong Special Administrative Region.
107. Pecoraro G., Calvello M., Piciullo L., 2019, Monitoring strategies for local landslide early warning systems. *Landslides*, 16, pp. 213-231.
108. Busslinger M., 2009, *Landslide time-forecast methods*, HSR University of Applied Sciences Institut für Bau und Umwelt Report, Rapperswil, Switzerland, <http://http://bau.hsr.ch> (Jan 13, 2012).

109. Mai Thành Tân, Ngô Văn Liêm, Đoàn Anh Tuấn, Nguyễn Việt Tiên, 2015, Phân tích tương quan giữa trượt lở đất và lượng mưa khu vực Mai Châu-Hòa Bình. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 31(4), tr. 51-63.
110. Trần Trọng Huệ, 2010, *Nghiên cứu đánh giá và dự báo chi tiết hiện tượng trượt lở và xây dựng các giải pháp phòng chống cho thị trấn Cốc Pài huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang*, Viện Địa chất, Hà Nội.
111. Matsuoka Y., Rocha E. G., 2020, Sendai voluntary commitments: landslide stakeholders and the all-of-society approach enhanced by UNDRR. *Landslides*, 17(10), pp. 2253-2269.
112. Corominas J., Guzzetti F., Lan H., 2023, *Revisiting landslide risk terms: IAEG commission C-37 working group on landslide risk nomenclature*, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 82(12), p. 450.
113. Papathoma-Köhle M., Neuhäuser B., Ratzinger K., 2007, Elements at risk as a framework for assessing the vulnerability of communities to landslides. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7(6), pp. 765-779.
114. Chen W., Li Y., 2020, GIS-based evaluation of landslide susceptibility using hybrid computational intelligence models. *Catena*, 195, 104777.
115. Chen H., Lee C.F., 2004, Geohazards of slope mass movement and its prevention in Hong Kong. *Engineering Geology*, 76(1-2), pp. 3-25.
116. Carrara A., Crosta G., Frattini P., 2008, Comparing models of debris-flow susceptibility in the alpine environment. *Geomorphology*, 94(3-4), pp. 353-378.
117. Costa J. E., 1984, Physical geomorphology of debris flows, *Developments and applications of geomorphology*, Springer, pp. 268-317.
118. Jackson L. E., 1987, *Terrain Inventory and Quaternary History of Nahanni Map Area, Yukon Territory, and Northwest Territories*, Energy, Mines, and Resources Canada.
119. Hsü K.J., 1978, Albert Heim: observations on landslides and relevance to modern interpretations, *Developments in geotechnical engineering*, Elsevier, pp. 71-93.
120. Dai F.C., Lee C.F., Ngai Y.Y., 2002, Landslide risk assessment and management: an overview, *Engineering geology*, 64(1), pp. 65-87.
121. Fannin R.J., Wise M.P., 2001, An empirical-statistical model for debris flow travel distance, *Canadian Geotechnical Journal*, 38(5), pp. 982-994.
122. Iverson R.M., 2005, Regulation of landslide motion by dilatancy and pore pressure feedback. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 110(F2).

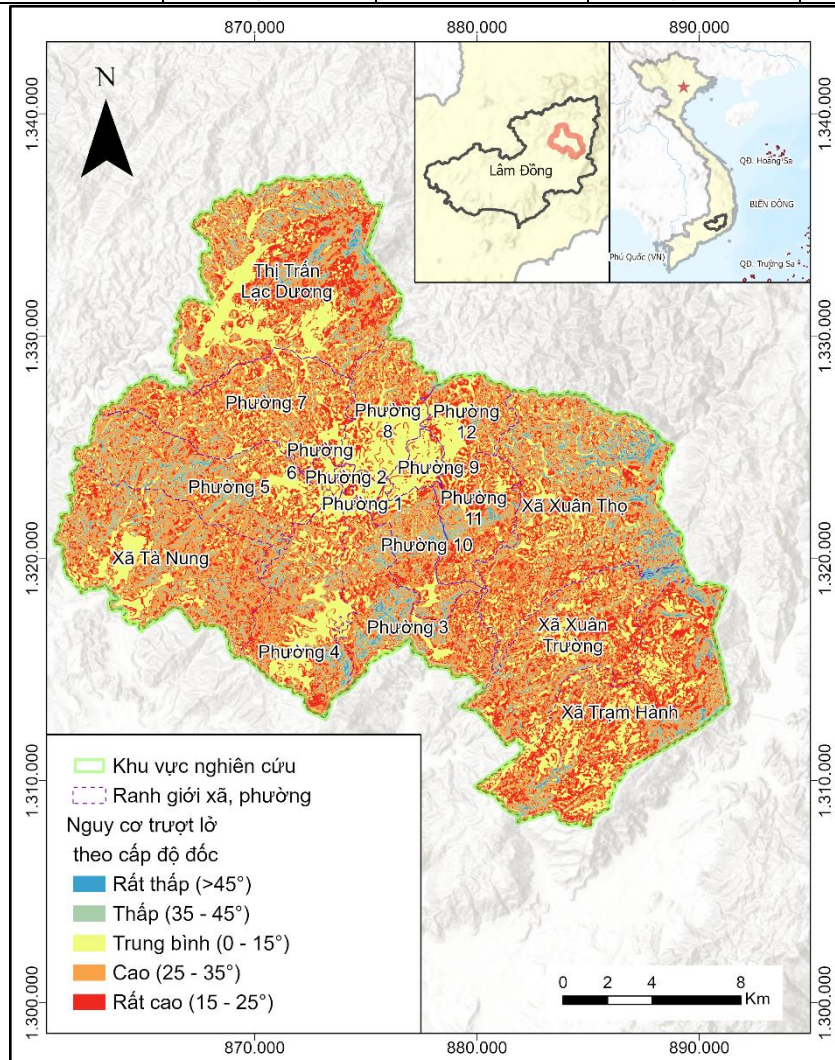
123. Davies T.R., McSaveney M.J., 2009, The role of rock fragmentation in the motion of large landslides. *Engineering Geology*, 109(1-2), pp. 67-79.
124. Hutchinson J., 1986, A sliding-consolidation model for flow slides, *Canadian Geotechnical Journal*, 23(2), pp. 115-126.
125. Hart B., 1993, Large-scale in situ rotational failure on a low-angle delta slope: The Foreslope Hills, Fraser Delta, British Columbia, Canada. *Geo-marine letters*, 13, pp. 219-226.
126. Crosta G.B., Chen H., Lee C.F., 2004, Replay of the 1987 Val Pola landslide, Italian alps. *Geomorphology*, 60(1-2), 127-146.
127. Liên đoàn Địa chất 6, 1997, *Điều tra địa chất thành phố Đà Lạt*, Cục Địa chất Việt Nam.
128. Địa chí Đà Lạt. Cổng thông tin điện tử tỉnh Lâm Đồng, <<https://lamdong.gov.vn/sites/book/diachidalat/INDEX.HTM>>.
129. Cục Thống kê tỉnh Lâm Đồng, 2011, Niên giám thống kê Lâm Đồng 2010.
130. Cục Thống kê tỉnh Lâm Đồng, 2017, Niên giám thống kê Lâm Đồng 2016.
131. Cục Thống kê tỉnh Lâm Đồng, 2023, Niên giám thống kê Lâm Đồng 2022.
132. Hà Ngọc Anh, 2023, *Nghiên cứu sự biến đổi tính chất vật lý hoá học của các loại vỏ phong hoá phục vụ phòng tránh tai biến trượt lở đất khu vực Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng*, Viện Địa chất, Hà Nội.
133. Fu S., Chen L., Woldai T., 2020, Landslide hazard probability and risk assessment at the community level: A case of western Hubei, China, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(2), pp. 581-601.
134. Phòng Quản lý đô thị thành phố Đà Lạt, 2023, Báo cáo tổ chức kiểm tra, rà soát các trường hợp xây dựng công trình thuộc vị trí taluy âm/ dương, sườn dốc trên địa bàn thành phố Đà Lạt.
135. UBND huyện Lạc Dương, 2023, Báo cáo tổ chức kiểm tra, rà soát các trường hợp xây dựng công trình thuộc vị trí taluy âm/ dương, sườn dốc trên địa bàn huyện Lạc Dương.
136. Bộ Xây dựng, 2021, Quy định về phân cấp công trình xây dựng và hướng dẫn áp dụng trong quản lý hoạt động đầu tư xây dựng.
137. UBND thành phố Đà Lạt, 2023, Quy chế quản lý kiến trúc đô thị thành phố Đà Lạt.
138. Quốc hội nước CHXHCN Việt Nam, 2009, Luật Quy hoạch đô thị số 30/2009/QH12.

PHỤ LỤC

Phụ lục 1: Đánh giá các yếu tố tự nhiên ảnh hưởng tới trượt đất tại khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương

Bảng PL1.1. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố độ dốc khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000)

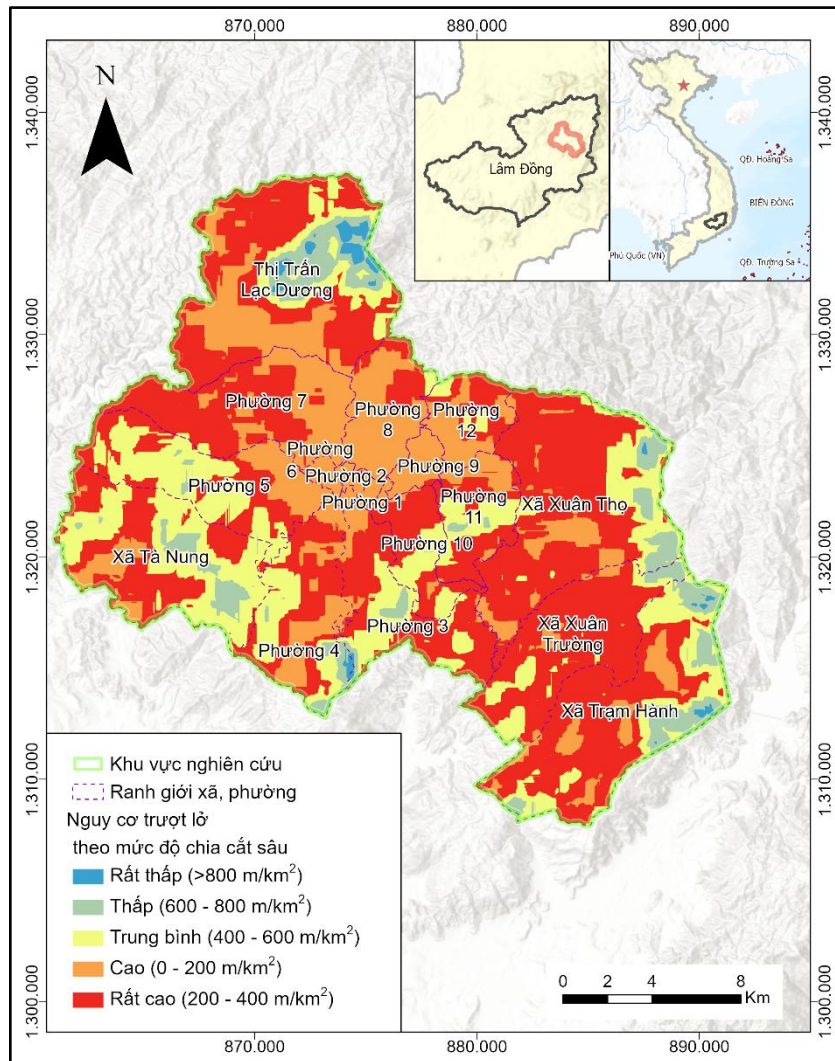
TT	Khoảng độ dốc (độ)	Diện tích (km ²)	Số điểm trượt	Mật độ điểm trượt (điểm/km ²)	Mức độ ảnh hưởng
1	0 - 15	134,38	29	0,216	5
2	15 - 25	131,47	45	0,342	9
3	25 - 35	141,85	41	0,289	7
4	35 - 45	48,60	10	0,206	3
5	> 45	7,82	0	0,000	1



Hình PL1.1. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố độ dốc khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

Bảng PL1.2. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố phân cắt sâu địa hình khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000)

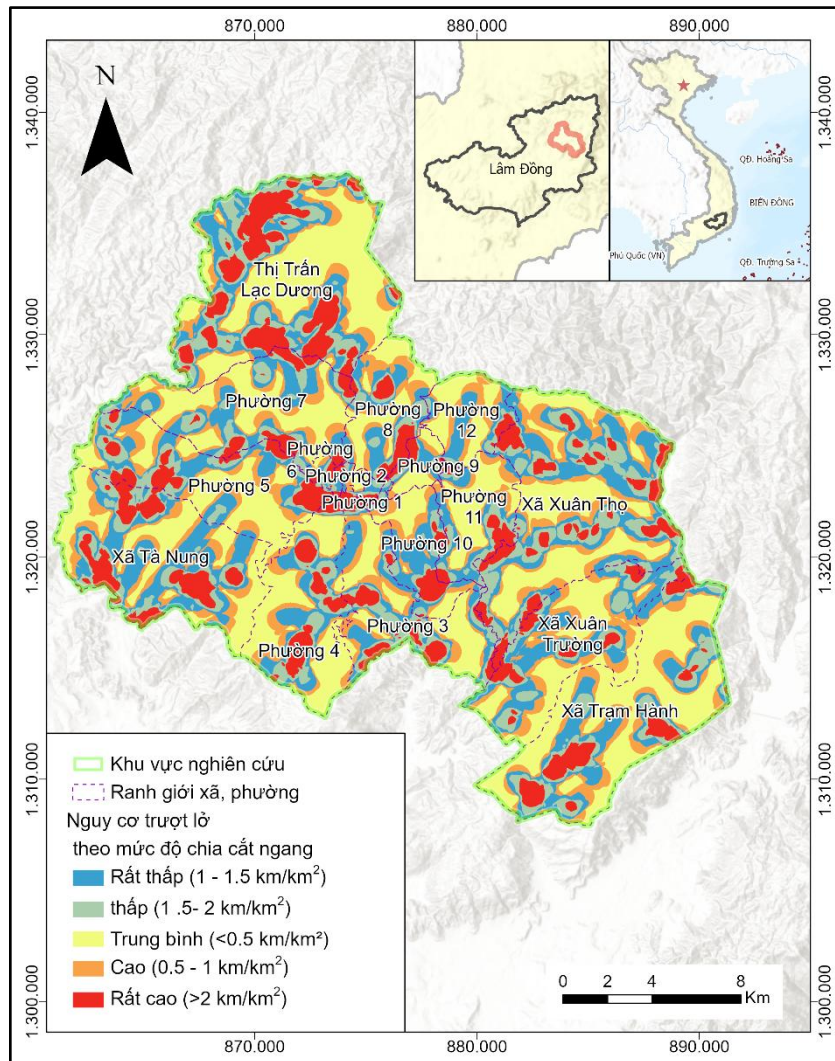
TT	Mật độ phân cắt sâu (m/km ²)	Diện tích (km ²)	Số điểm trượt	Mật độ điểm trượt (điểm/km ²)	Mức độ ảnh hưởng
1	0 - 200	98,43	28	0,285	7
2	200 - 400	231,97	75	0,323	9
3	400 - 600	99,49	17	0,171	5
4	600 - 800	30,38	5	0,165	3
5	800 - 1000	3,85	0	0	1



Hình PL1.2. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố phân cắt sâu địa hình khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

Bảng PL1.3. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố phân cắt ngang địa hình khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000)

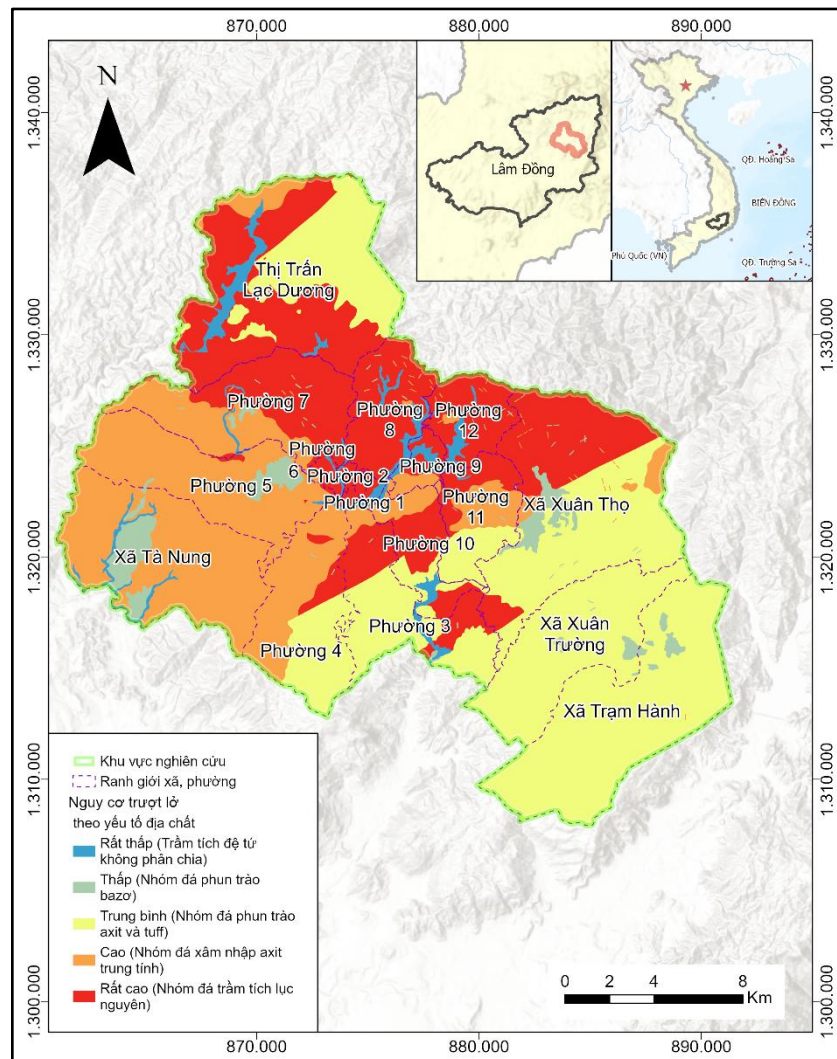
TT	Mật độ phân cắt ngang (km/km ²)	Diện tích (km ²)	Số điểm trượt	Mật độ điểm trượt (điểm/km ²)	Mức độ ảnh hưởng
1	< 0.5	157,17	40	0,254	5
2	0.5 - 1	78,51	20	0,255	7
3	1- 1.5	97,04	19	0,196	1
4	1.5 - 2	68,17	17	0,249	3
5	> 2	63,23	29	0,459	9



Hình PL1.3. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố phân cắt ngang địa hình khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

Bảng PL1.4. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố thạch học khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000)

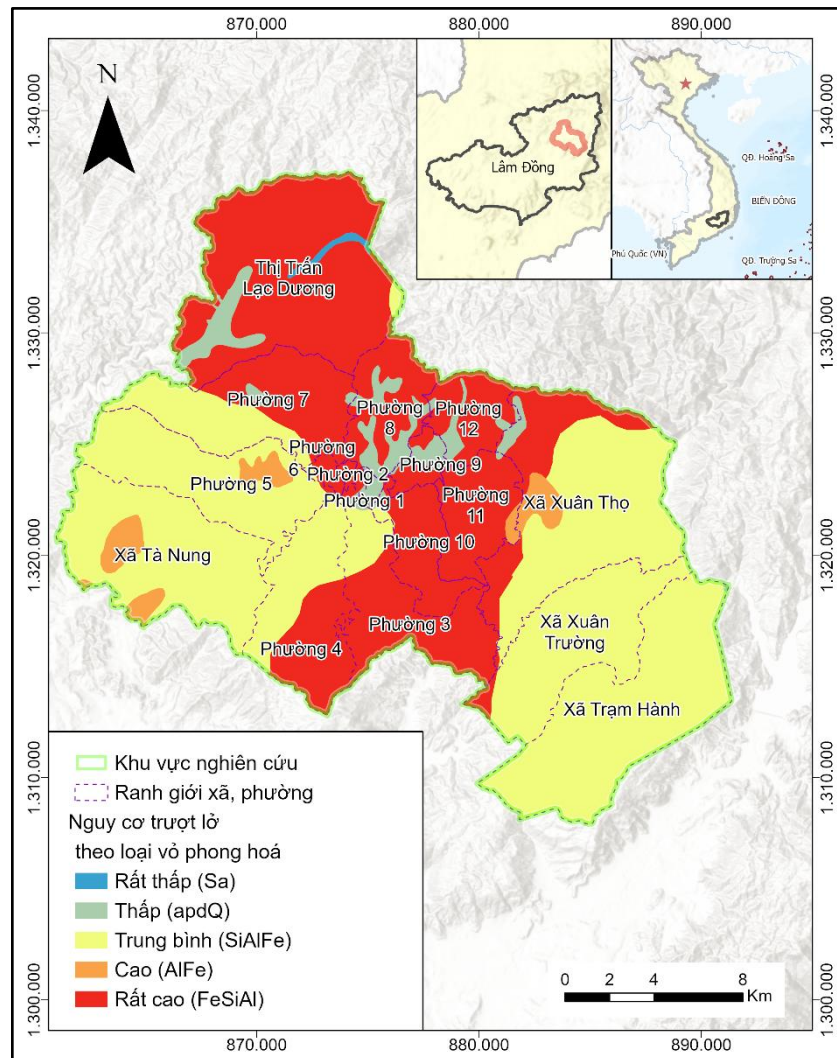
TT	Nhóm thạch học	Ký hiệu	Diện tích (km ²)	Số điểm trượt (điểm)	Mật độ điểm trượt (điểm/km ²)	Mức độ đánh giá
1	Nhóm đá trầm tích lục nguyên	J ₂ ln K ₂ dr	125,85	65	0,44	9
2	Nhóm đá xâm nhập axit - trung tính	K ₂ cn J ₃ đq ₃	121,91	36	0,28	7
3	Nhóm đá phun trào axit và các tuff	K ₂ dd	186,95	17	0,18	5
4	Nhóm đá phun trào bazơ	βQ _{II} x _I	14,68	7	0,14	3
5	Trầm tích Đệ tứ không phân chia	apQ	12,57	0	0	1



Hình PL1.4. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố thạch học khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

Bảng PL1.5. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố kiểu vỏ phong hoá khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000)

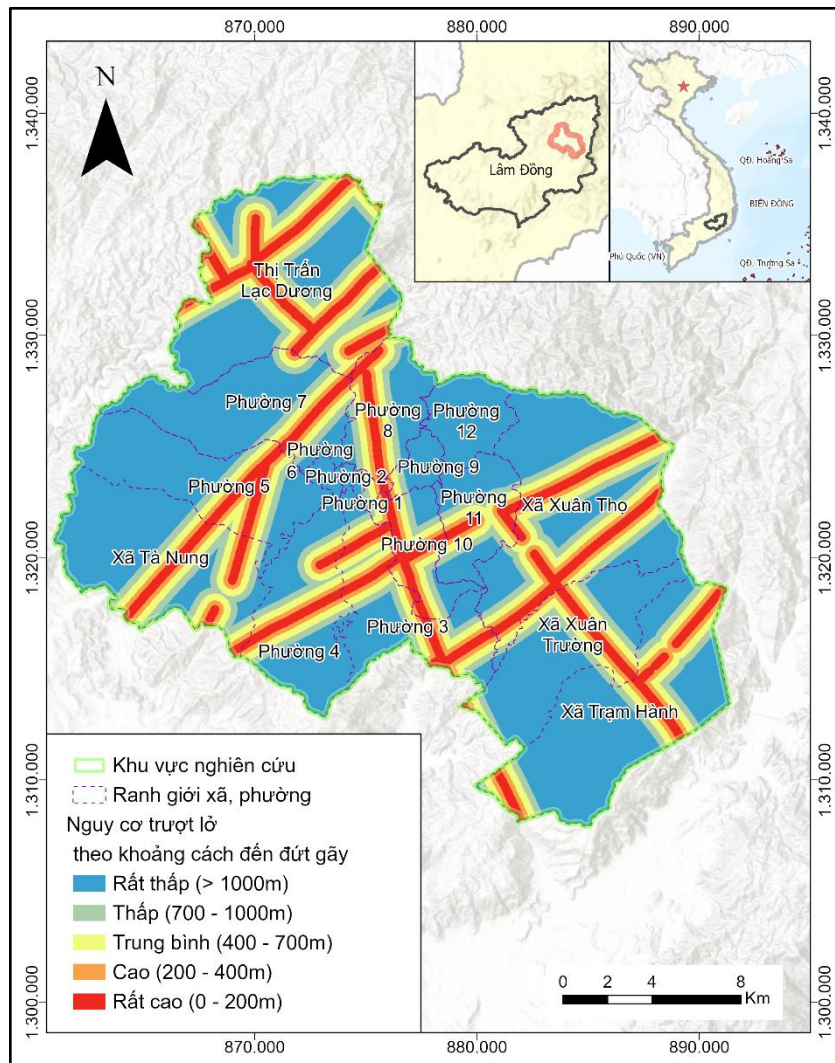
TT	Kiểu vỏ phong hoá	Diện tích (km ²)	Số lượng điểm trượt	Mật độ điểm trượt (điểm/km ²)	Mức độ ảnh hưởng
1	Sa	1,19	0	0	1
2	SiAlFe	242,48	45	0,186	5
3	FeSiAl	190,30	73	0,384	9
4	AlFe	11,84	3	0,253	7
5	apdQ	18,31	4	0,218	3



Hình PL1.5. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố kiểu vỏ phong hoá khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

Bảng PL1.6. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố khoảng cách tới đứt gãy khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000)

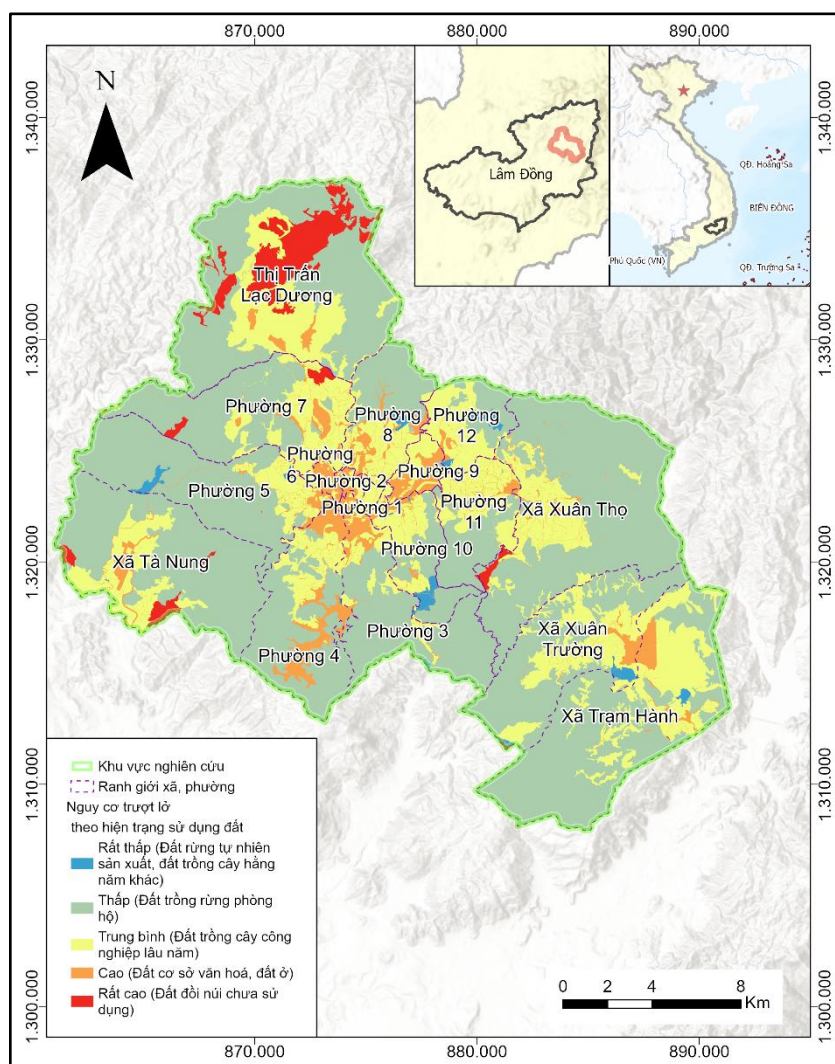
TT	Khoảng cách tới đứt gãy (m)	Diện tích (km ²)	Số lượng điểm trượt	Mật độ điểm trượt (điểm/km ²)	Mức độ ảnh hưởng
1	<200	47,83	21	0,439	9
2	200 - 400	45,71	20	0,437	7
3	400 - 700	65,83	28	0,425	5
4	700 - 1000	58,43	17	0,291	3
5	>1000	246,30	39	0,158	1



Hình PL1.6. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố khoảng cách tới đứt gãy khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

Bảng PL1.7. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố sử dụng đất khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000)

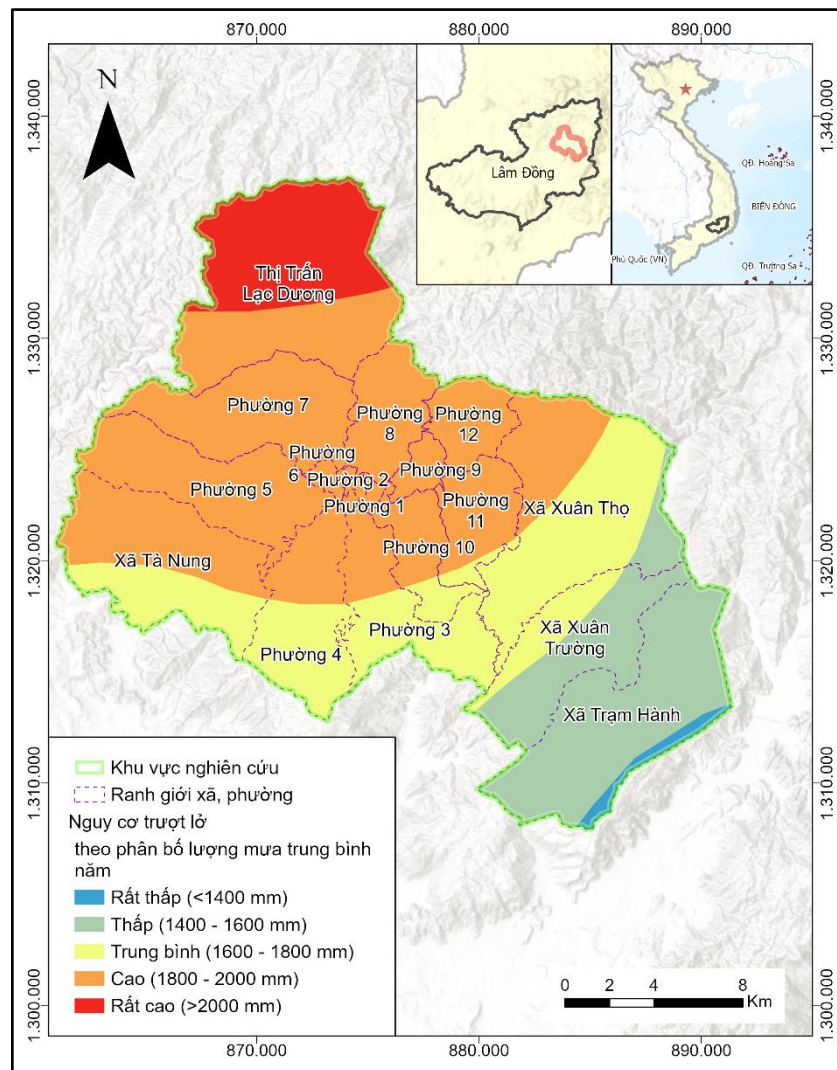
TT	Loại đất sử dụng	Diện tích (km ²)	Số điểm trượt	Mật độ điểm trượt (điểm/km ²)	Mức độ ảnh hưởng
1	Đất rừng tự nhiên và rừng phòng hộ	299,69	54	0,180	3
2	Đất trồng cây công nghiệp lâu năm	50,90	20	0,393	5
4	Đất trồng cây hàng năm khác	3,57	0	0,000	1
3	Đất ở và cơ sở văn hoá	94,62	41	0,433	7
5	Đất chưa sử dụng	15,34	10	0,652	9



Hình PL1.7. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố sử dụng đất khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

Bảng PL1.8. Phân cấp mức độ ảnh hưởng tới trượt đất theo yếu tố lượng mưa khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ tỷ lệ 1: 25.000)

TT	Khoảng lượng mưa (mm)	Diện tích (km ²)	Số điểm trượt	Mật độ điểm trượt (điểm/km ²)	Mức độ ảnh hưởng
1	< 1400	4,19	0	0,000	1
2	1400-1600	82,32	5	0,607	5
4	1600-1800	109,75	9	0,082	3
3	1800-2000	226,85	94	0,414	7
5	> 2000	41,01	17	0,415	9



Hình PL1.8. Bản đồ nguy cơ trượt đất theo yếu tố lượng mưa khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương năm 2023 (thu nhỏ từ bản đồ tỷ lệ 1: 25.000)

Phụ lục 2: Phân tích đặc điểm mưa gây trượt đất

Bảng PL2.1. Thống kê các sự kiện mưa gây trượt lở tại khu vực TP. Đà Lạt và TT. Lạc Dương (từ 2016 đến 2020)

STT	Thời gian ghi nhận trượt lở	Điểm khảo sát/tọa độ	Mô tả sự kiện trượt lở	Kiểu trượt	Lượng mưa ngày (mm)
1	21/9/2016	DLA19-02 11°53'53.46" 108°27'2.43"	Khối trượt trên sườn dốc taluy dương đèo Prenn, bên trái hướng từ TP Đà Lạt đi huyện Đức Trọng. Lớp phủ VPH mỏng 1 - 1,5m, đá gốc là đá cát bột kết. Khối trượt có chiều dài 20m, chiều rộng khoảng 60m. Vật liệu trượt: Dăm vụn đá lẫn cát pha, sét pha màu xám vàng.	Trượt tĩnh tiến	45,7
2	26/9/2016	DLA19-14C 11°56'21.03" 108°22'50.34"	Sườn dốc bên phải tuyến đường hướng từ TP. Đà Lạt đi huyện Lâm Hà. Phía trên đỉnh mái dốc xuất hiện khe nứt dạng cung lớn, tạo bề mặt địa hình gồ ghề, hạ thấp so với bề mặt. Kích thước ước tính: chiều cao 15m, chiều dài 35m, chiều rộng 45m. Vị trí trượt lở nằm trong lớp phủ VPH đá granite là sét pha, cát pha màu nâu đỏ chứa rất nhiều hòn tảng kích thước lớn.	Trượt tĩnh tiến	102,5
3	26/4/2017	ĐL18 11°56'41.96"N 108°26'8.10"E	Khe nứt dài khoảng 18 mét từ nhà số 23 đến nhà số 27 đường Nguyễn Văn Trỗi (trên đỉnh mái dốc) với độ mở từ 2-3cm, dịch trượt từ trên đỉnh xuống phía chân mái dốc gây hư hỏng nhiều công trình nhà ở, các hộ dân cư phải di dời. Khe nứt xuất hiện ngày 26.4.2017 sau những trận mưa lớn đầu mùa; hệ thống cấp nước sạch bị hư hỏng gây mất nước tại một số hộ dân cư. Phạm vi khối trượt được xác định: có chiều cao khoảng 20m, chiều dài 25m, chiều rộng 30m.	Trượt tĩnh tiến	65,2
4	01/05/2017	ĐL01-1B 11°56'3.33" 108°27'31.89"	Khối trượt có chiều cao 20 m, chiều dài 25m, chiều rộng 40m, chiều sâu 2m. Đang kê taluy để tiếp tục xây nhà. Vật liệu trượt: Cát pha, sét pha màu nâu gu, cát hạt thô xám vàng, xám trắng, vỏ phong hóa dày khoảng 20m.	Trượt tĩnh tiến	38,0
5	03/5/2017	ĐL01-1A 11°56'1.72" 108°27'30.67"	Khối trượt dưới chân chung cư Đỏ, trên mái dốc taluy dương của QL20 đi đèo MIMOZA, khu vực Khe Xanh. Mái dốc cao khoảng 15m, chân trượt rộng 5m. Vật liệu trượt: Cát pha, sét	Trượt tĩnh tiến	30,5

STT	Thời gian ghi nhận trượt lở	Điểm khảo sát/tọa độ	Mô tả sự kiện trượt lở	Kiểu trượt	Lượng mưa ngày (mm)
			pha màu nâu gụ, cát hạt thô xám vàng, xám trắng, vỏ phong hóa dày khoảng 20m. Chân khối trượt đã được xây kè bằng bê tông bảo vệ.		
6	27/5/2017	ĐL14 11°59'37.10" 108°29'7.60"	Khu vực canh tác dưới chân đồi, cách đường QL27 khoảng 100m. Xuất hiện nhiều khối trượt nhỏ trên mái dốc có độ dốc lớn do người dân khai đào taluy đồi để trồng hoa màu. Khối trượt có chiều cao 8m, chiều dài 10m, chiều rộng 8m. Vật liệu trượt: cát, cát pha màu nâu vàng lẫn dăm mảnh.	Trượt tĩnh tiến	49,4
7	24/7/2017	DLA23 11°55'41.09"N 108°26'44.64"E	Tường chắn đất phía sau nhà A39 Tô Hiến Thành bị sập đổ gây phá hủy nhà bên dưới. Kích thước chiều dài 5m, chiều rộng 6m.	Trượt tĩnh tiến	47,1
8	08/08/2017	ĐL04 11°54'46.60" 108°31'53.10"	Đoạn đường QL27, hướng từ Đà Lạt đi Ninh Thuận, khối trượt do dân đào vách taluy âm làm mất bằng, đoạn trượt lở dài 5m, rộng 10m, chiều cao 3m; mái dốc taluy âm đã được xây kè chân mái dốc. Vật liệu trượt: vỏ phong hóa cát hạt thô, cát pha, sét pha màu nâu vàng, nâu gụ, phong hóa từ đá gốc granit.	Trượt tĩnh tiến	56,5
9	02/10/2017	ĐL05 11°57'48.73" 108°23'18.86"	Khối trượt lở xảy ra trên sườn đồi thoải, do cắt xẻ sườn dốc làm vườn canh tác, tạo góc mái dốc lớn 70 độ. Khối trượt chiều cao 7m, chiều dài 15m, chiều rộng 40m. Vật liệu: Vỏ phong hóa: Cát, cát pha màu nâu vàng, nâu đỏ, sườn dốc tự nhiên 700.	Trượt tĩnh tiến	40,4
10	04/11/2017	LDU-13 12° 0'14.34" 108°25'59.09"	Sườn dốc bị khai đào làm đất canh tác, tạo góc mái dốc lớn. Khối trượt có chiều cao khoảng 10m, chiều dài 30m, chiều rộng 45m. Mô tả: Thành phần đất đá chủ yếu là sét, sét pha màu xám nâu, nâu vàng	Trượt tĩnh tiến	94,9
11	24/4/2018	LDU-10 12° 0'19.60" 108°25'40.96"	Sườn dốc bị khai đào xây dựng nhà, tạo góc mái dốc lớn. Khối trượt có chiều cao khoảng 5m, chiều dài 6m, chiều rộng 15m. Phương vị mái dốc (MD): 328/70. Mô tả: Thành phần đất đá chủ yếu là sét, sét pha màu xám vàng, nâu vàng.	Trượt tĩnh tiến	43,6

STT	Thời gian ghi nhận trượt lở	Điểm khảo sát/tọa độ	Mô tả sự kiện trượt lở	Kiểu trượt	Lượng mưa ngày (mm)
12	29/6/2018	DLA22 11°56'16.64"N 108°26'18.18"E	Mái dốc do khai đào phía dưới chân gây trượt lở phá hủy tường nhà phía dưới chân mái dốc. Khối trượt cao 5m, chiều dài 7m, chiều rộng 15m. Vật liệu trượt là sét pha lẫn màu xám nâu, xám vàng.	Trượt tĩnh tiến	51,2
		ĐL14 11°59'37.10" 108°29'7.60"	Khu vực canh tác dưới chân đồi, cách đường QL27 khoảng 100m. Xuất hiện nhiều khối trượt nhỏ trên mái dốc có độ dốc lớn do người dân khai đào taluy đồi để trồng hoa màu. Khối trượt có chiều cao 8m, chiều dài 10m, chiều rộng 8m. Vật liệu trượt: cát, cát pha màu nâu vàng lẫn dăm mảnh.	Trượt tĩnh tiến	
		LDU-12 12° 0'24.39"	Sườn dốc tự nhiên bị khai đào làm đất canh tác, tạo góc mái dốc lớn. Khối trượt có chiều cao khoảng 20m, chiều dài 35m, chiều rộng 45m. Mô tả: Thành phần đất đá chủ yếu là sét, sét pha màu xám vàng, nâu vàng	Trượt tĩnh tiến	
13	14/9/2018	ĐL06 11°58'50.77" 108°23'49.90"	Khối trượt nằm phía taluy âm, có chiều dài hơn 100m, ăn sâu hơn một nửa vào nền đường, tạo ra khoảng sâu 20m phía dưới thung lũng; Đoạn đường đã từng xảy ra 2 điểm trượt lở ở mái dốc taluy âm. Trong thân khối trượt là đường cống thoát nước nhỏ, thu nước của khu vực dân cư phía trên mái dốc, trước đây là lòng suối cạn cũ. Vật liệu trượt: Vôi phong hóa là cát pha, sét pha màu nâu đỏ, đất đá dạng bờ dôi.	Trượt xoay	44,0
14	2/10/2018	ĐL08 11°55'25.72" 108°25'15.08"	Vị trí trượt lở khu đô thị An Sơn, địa hình phân cắt biến đổi mạnh. Hoạt động xây dựng đang diễn ra mạnh mẽ tại khu quy hoạch đô thị, dự báo đây là khu vực có nguy cơ trượt lở cao và rất cao trong những năm tiếp theo. Khối trượt xuất hiện trên mái dốc cao 6m, chiều dài 8m, chiều rộng 15m. Vật liệu trượt: Cát pha, sét pha màu nâu đỏ, nâu vàng.	Trượt tĩnh tiến	50,2
		DLA19-01 11°55'2.31" 108°26'49.45"	Khối trượt trên sườn dốc taluy dương đèo Prenn, bên trái hướng từ TP Đà Lạt đi huyện Đức Trọng. Lớp phủ VPH mỏng 2 - 2,5m, đá gốc là đá cát bột kết. Bề mặt sườn dốc xuất hiện hiện tượng sụt lún bề mặt, khe nứt trên bề	Trượt tĩnh tiến	

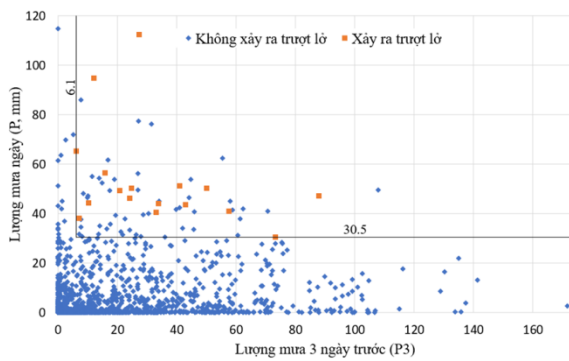
STT	Thời gian ghi nhận trượt lở	Điểm khảo sát/tọa độ	Mô tả sự kiện trượt lở	Kiểu trượt	Lượng mưa ngày (mm)
			mặt theo dạng cung hướng xuống chân mái dốc, cột điện và cây thông nghiêng ngã. Vật liệu trượt: sét pha màu xám nâu, xám vàng lẫn dăm vụn đá.		
15	11/11/2018	DLA21 11°55'57.43" 108°26'31.52"	Phía sau khu nhà số 95 đường Hà Huy Tập bị trượt đất gây phá hủy tường nhà phía chân mái dốc. Khối trượt cao 3,5m, chiều dài 5m, chiều rộng 9m. Vật liệu trượt là sét pha màu nâu vàng nâu đỏ.	Trượt tĩnh tiến	0
16	25/11/2018	ĐL12 11°55'54.42" 108°26'29.80"	Khối trượt xuất hiện khi đào mái dốc để xây nhà, có chiều cao 7m, chiều dài 8m, chiều rộng 10m. Phần trên đỉnh và sườn mái dốc chịu tải trọng của công trình dân cư khác do đó có nguy cơ gây trượt đất. Vật liệu trượt: cát pha, sét pha màu nâu đỏ, nâu vàng.	Trượt tĩnh tiến	44,3
17	04/5/2019	ĐL09 11°55'4.06" 108°26'14.49"	Khối trượt phát triển trên bờ phải suối An Bình, phía sau vườn trồng hoa màu. Khối trượt có chiều cao khoảng 10m, chiều dài 30m, chiều rộng 50m. Vật liệu trượt: Sét pha, cát pha màu nâu đỏ, nâu vàng.	Trượt tĩnh tiến	46,1
18	8/8/2019	LDU19-24 12° 1'10.78" 108°26'40.14"	Sườn dốc bị khai đào xây dựng khu đô thị, thay đổi góc mái dốc lớn. Khối trượt mới có kích thước chiều dài khoảng 145m, chiều rộng khoảng 95m; độ dốc sườn tự nhiên 20-25°, cải tạo bề mặt biến đổi thành mái dốc > 40°. Mô tả: Thành phần đất đá chủ yếu là sét, sét pha màu nâu vàng, xám vàng.	Trượt xoay	112,4
19	18/9/2019	ĐL14 11°59'37.10" 108°29'7.60"	Khu vực canh tác dưới chân đồi, cách đường QL27 khoảng 100m . Xuất hiện nhiều khối trượt nhỏ trên mái dốc có độ dốc lớn do người dân khai đào taluy đồi để trồng hoa màu. Đá gốc là đá cát bột kết bị phong hóa mềm bở vẫn giữ được cấu trúc của đá, dày khoảng 8m. Khối trượt có chiều cao 8m, chiều dài 10m, chiều rộng 8m Vật liệu trượt: cát, cát pha màu nâu vàng lẫn dăm mảnh.	Trượt tĩnh tiến	50,2
20	10/3/2020	DLA24 11°55'53.57"N 108°25'32.02"E	Trượt đất taluy âm phía sau hai khách sạn số 32, 34 Ngô Thị Sỹ, Phường 4, đã xảy ra từ cuối mùa mưa năm trước và đã xảy ra nhiều lần.	Trượt tĩnh tiến	31,5

STT	Thời gian ghi nhận trượt lở	Điểm khảo sát/tọa độ	Mô tả sự kiện trượt lở	Kiểu trượt	Lượng mưa ngày (mm)
			Ngày 10.3.2020, chủ đầu tư của công trình khách sạn đang cho mức đất thi công phân ta luy dưới thấp thì gặp mưa nên tiếp tục xảy ra trượt đất. Sự cố đã uy hiếp trực tiếp đến nhà số 27Y đường Lê Hồng Phong, buộc hai gia đình này phải di dời lánh nạn. Khối trượt có chiều dài 7m, chiều rộng 15m. Vật liệu trượt: Sét pha, cát pha màu xám nâu, xám vàng lẫn sạn, lớp phủ VPH đá granite.		
21	03/06/2020	DLA24A 11°55'53.12"N 108°25'30.93"E	Trượt đất bờ taluy cao 15m, sau nhà số 38, đường Ngô Thị Sỹ, phường 4 gây sập mái nhà số 27E, Lê Hồng Phong. Khối trượt có chiều dài 15m, chiều rộng 10m. Vật liệu trượt: Sét pha, cát pha màu xám nâu, xám vàng lẫn sạn, lớp phủ VPH đá granite.	Trượt tĩnh tiến	41,0

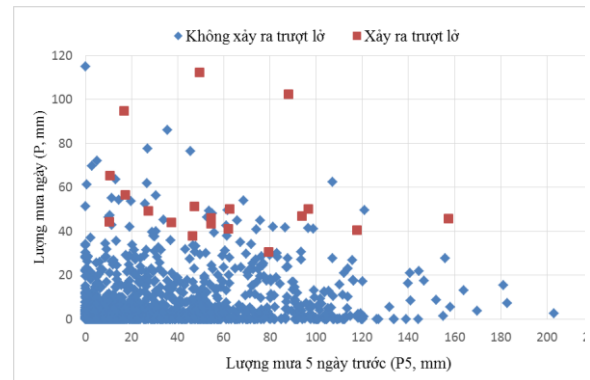
Bảng PL2.2. Thống kê lượng mưa trong các sự kiện trượt đất khu vực Đà Lạt - Lạc Dương (đơn vị tính mm)

TT	Ngày	Đúng ngày	Trước 3 ngày	Trước 5 ngày	Trước 7 ngày	Trước 10 ngày	Trước 13 ngày	Trước 15 ngày	Trước 17 ngày	Trước 20 ngày
1	21/9/2016	45,7	134,7	157,3	171,4	231,1	242,2	264,1	264,1	264,1
2	26/9/2016	102,5	39,7	87,9	213,7	245,2	272,9	319,0	319,4	352,0
3	26/4/2017	65,2	6,1	10,6	10,6	10,7	36,6	36,6	43,1	44,7
4	01/05/2017	38,0	7,2	46,3	65,1	149,9	160,3	160,3	160,3	186,3
5	03/05/2017	30,5	73,3	79,3	118,4	156,6	227,8	232,4	232,4	232,4
6	27/05/2017	49,4	20,7	27,4	48,4	62,1	74,7	74,7	76,7	78,8
7	24/07/2017	47,1	87,9	93,7	114,9	129,2	137,6	160,1	161,9	173,9
8	08/08/2017	56,5	15,8	17,3	19,1	24,8	59,7	127,7	129,5	221,4
9	02/10/2017	40,4	33,1	117,7	136,8	148,4	188,9	191,0	198,1	198,1

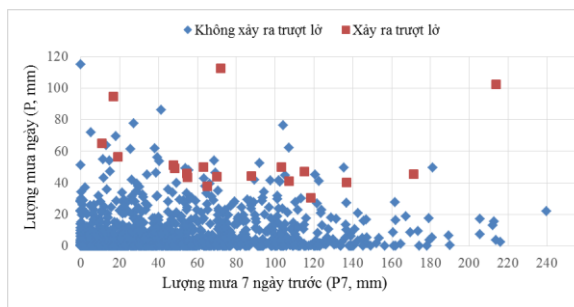
TT	Ngày	Đúng ngày	Trước 3 ngày	Trước 5 ngày	Trước 7 ngày	Trước 10 ngày	Trước 13 ngày	Trước 15 ngày	Trước 17 ngày	Trước 20 ngày
10	04/11/2017	94,9	12,0	16,7	16,7	21,3	87,3	89,6	90,2	90,9
11	24/04/2018	43,6	43,0	54,4	54,7	54,7	54,7	54,7	54,7	54,7
12	29/06/2018	51,2	41,0	47,2	47,6	55,5	68,6	68,6	69,1	86,0
13	14/09/2018	44,0	33,9	37,2	69,9	96,1	115,0	115,0	117,9	124,2
14	02/10/2018	50,2	24,7	62,6	62,9	96,5	129,6	144,7	201,6	258,5
15	25/11/2018	44,3	10,4	10,4	87,9	115,0	115,0	115,0	120,1	157,1
16	04/05/2019	46,1	24,1	54,5	54,6	54,6	54,7	106,3	121,4	157,7
17	08/08/2019	112,4	27,4	49,5	71,8	85,2	86,7	87,4	91,8	97,3
18	18/09/2019	50,2	50,0	96,7	103,3	115,8	142,4	195,9	222,8	289,4
19	03/06/2020	41,0	57,6	61,9	107,3	112,4	113,0	118,0	121,4	180,2



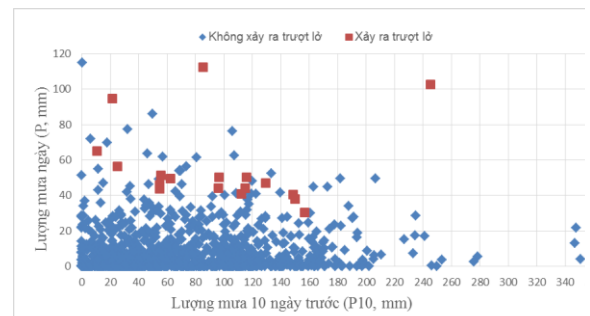
a) Lượng mưa 3 ngày trước đó



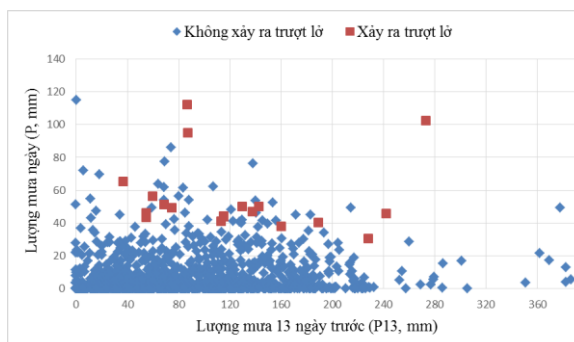
b) Lượng mưa 5 ngày trước đó



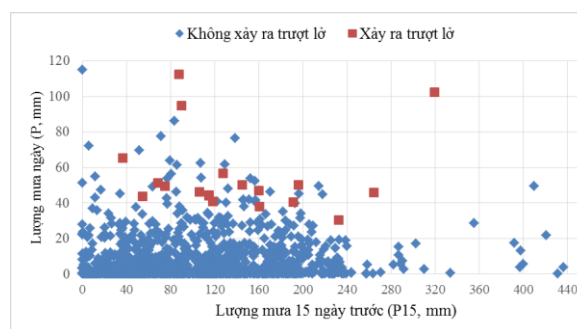
c) Lượng mưa 7 ngày trước đó



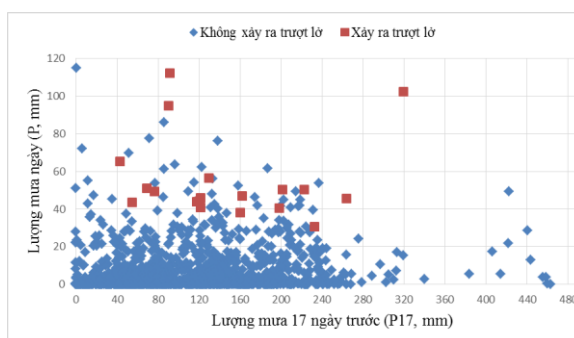
d) Lượng mưa 10 ngày trước đó



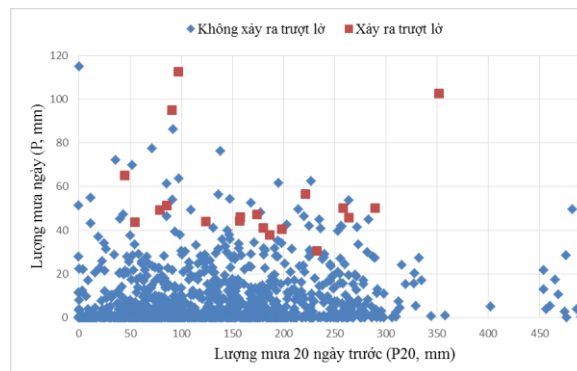
e) Lượng mưa 13 ngày trước đó



f) Lượng mưa 15 ngày trước đó



g) Lượng mưa 17 ngày trước đó



h) Lượng mưa 20 ngày trước đó

Hình PL2.1. Quan hệ giữa lượng mưa ngày và lượng mưa các ngày trước đó với trượt đất khu vực Đà Lạt - Lạc Dương từ 2016 - 2020

Bảng PL2.3. Kết quả xác định sức chống cắt của đất sườn – tàn tích theo độ ẩm tại khu vực nghiên cứu

a. Sức chống cắt của đất sườn – tàn tích $edQ(I_3dq)$ theo độ ẩm

Độ ẩm, W (%)	Sức chống cắt, τ (kPa)		
	$\sigma=35\text{kPa}$	$\sigma=70\text{kPa}$	$\sigma=105\text{kPa}$
15	40,0	82,5	173,3
20	40,3	47,1	98,5
25	7,0	12,8	23,8
30	4,7	12,6	23,0
35	2,3	7,2	11,9

b. Sức chống cắt của đất sườn – tàn tích $edQ(K_2cn)$ theo độ ẩm

Độ ẩm, W (%)	Sức chống cắt, τ (kPa)		
	$\sigma=35\text{kPa}$	$\sigma=70\text{kPa}$	$\sigma=105\text{kPa}$
15	20,1	38,6	39,6
20	60,7	80,3	91,5
25	10,0	95,0	135,6
30	16,2	38,9	82,0
35	9,1	36,0	75,0

c. Sức chống cắt của đất sùon – tàn tích $edQ(K_2\ddot{d}d)$ theo độ ẩm

Độ ẩm, W (%)	Sức chống cắt, τ (kPa)		
	$\sigma=35\text{kPa}$	$\sigma=70\text{kPa}$	$\sigma=105\text{kPa}$
15	70,5	91,0	152,0
20	73,1	118,0	160,2
25	71,8	124,6	177,0
30	66,2	130,8	138,5
35	16,8	49,5	70,6

d. Sức chống cắt của đất sùon – tàn tích $edQ(J_2ln)$ theo độ ẩm

Độ ẩm, W (%)	Sức chống cắt, τ (kPa)		
	$\sigma=35\text{kPa}$	$\sigma=70\text{kPa}$	$\sigma=105\text{kPa}$
15	9,2	58,7	83,0
20	67,0	95,7	121,5
25	47,0	91,4	136,4
30	28,4	82,8	99,7
35	10,7	20,5	55,9

e. Sức chống cắt của đất sùon – tàn tích $edQ(\beta Q_{2xl})$ theo độ ẩm

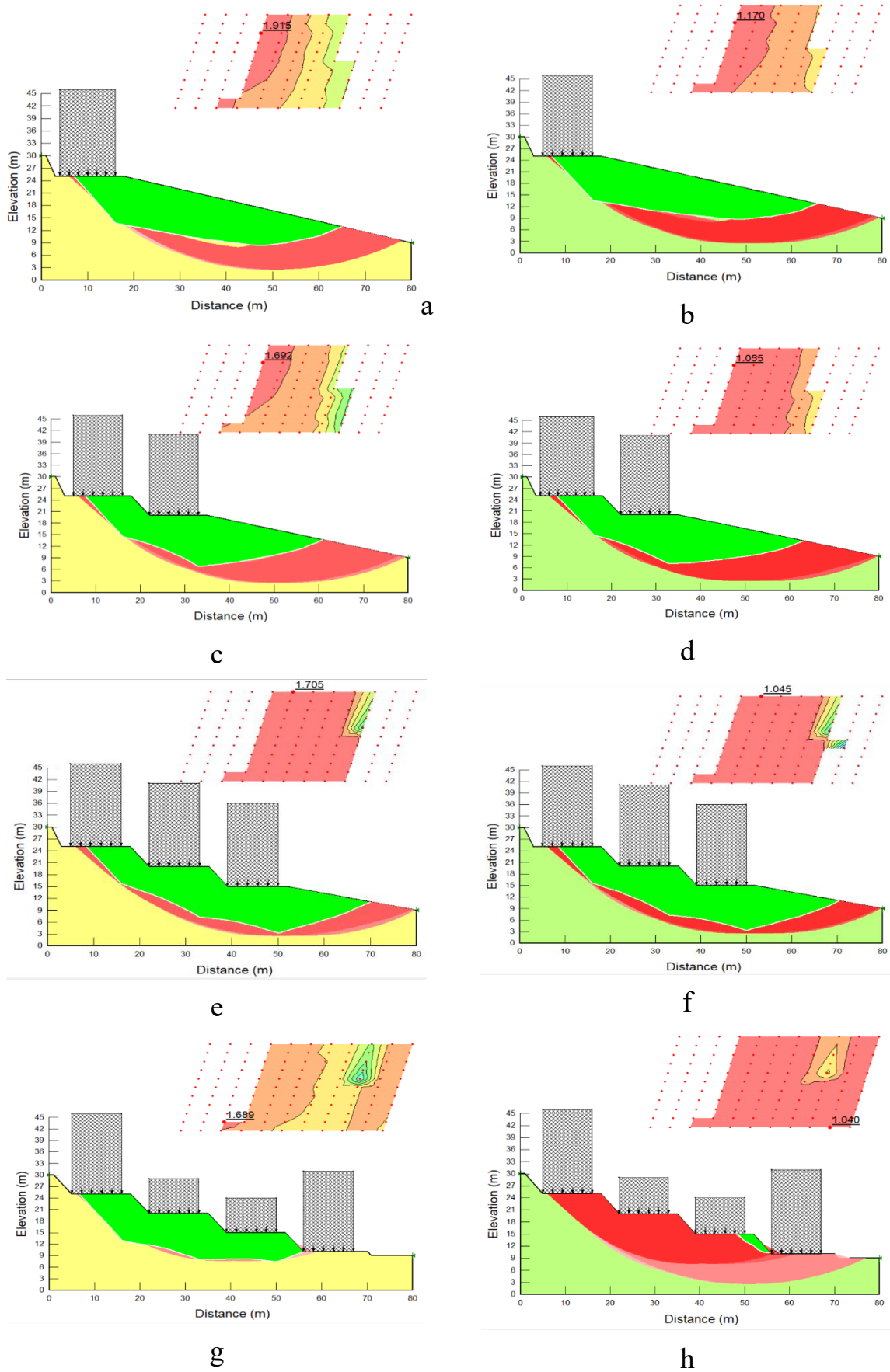
Độ ẩm, W (%)	Sức chống cắt, τ (kPa)		
	$\sigma=35\text{ kPa}$	$\sigma=70\text{ kPa}$	$\sigma=105\text{ kPa}$
15	25,0	64,8	107,7
20	39,5	61,9	93,1
25	15,5	92,7	166,0
30	5,3	31,7	63,3
35	2,4	25,9	40,3

Bảng PL2.4. Tổng hợp thành phần khoáng vật các loại đất sùon - tàn tích phổ biến tại khu vực nghiên cứu

TT	Ký hiệu mẫu	Thành phần và hàm lượng khoáng vật (%)									
		Thạch anh	Kaolinit + Halloysit	Goethit	Illite	Hematit	Gibbsit	Felspat	Montmorillonit	Magnetit	VĐH
1	Q_{2xl}	-	24-39	3-6	3-4	-	6-9	-	3-5	13-16	28-41
2	K_2cn	23-34	54-68	4-6	4-6	1-7	0-2	-	-	-	-
3	$K_2\ddot{d}d$	19-46	27-66	0-1	3-21	1-7	-	0-2	0-1	-	-
4	J_2ln	9-12	27-33	1-4	48-55	-	-	0-2	0-2	-	-
5	$J_3\ddot{d}q$	22-28	52-58	4-7	0-2	0-1	9-12	0-1	-	-	-

Bảng PL2.5. Kết quả kiểm toán hệ số ổn định sườn dốc sau cải tạo và chịu tải trọng công trình theo các trường hợp

Hình thái mái dốc	Trường hợp tính toán	Hệ số ổn định		
		Góc MD thứ cấp 70°, chưa chịu tải trọng công trình	Góc MD thứ cấp 70°, chịu tải trọng công trình	Góc MD thứ cấp 50°, chịu tải trọng công trình
Mái dốc 1 bậc địa hình	Tải trọng công trình	A0	A7	-
	Tự nhiên	2,869	1,915	-
	Bão hòa	1,675	1,170	-
	Mặt trượt nguy hiểm nhất	Cung tròn	Cung tròn (Hình PL2.2a, 2b)	-
Mái dốc 2 bậc địa hình	Tải trọng công trình	A0B0	A7B1 7	A7B1 7
	Tự nhiên	2,616	1,172	1,788 1,692
	Bão hòa	1,431	0,697	1,122 1,055
	Mặt trượt nguy hiểm nhất	Nông	Nông	Cung tròn (Hình PL2.2c, 2d)
Mái dốc 3 bậc địa hình	Tải trọng công trình	A0B0C0	A7B7C1 7	A7B7C1 7
	Tự nhiên	2,439	1,047	1,634 1,705
	Bão hòa	1,333	0,625	0,998 1,045
	Mặt trượt nguy hiểm nhất	Nông	Nông	Cung tròn (Hình PL2.2e, 2f)
Mái dốc 4 bậc địa hình	Tải trọng công trình	A0B0C0D0	A7B7C7D1 7	A7B7C7D1 7
	Tự nhiên	2,415	0,931	1,192
	Bão hòa	1,333	0,559	0,712
	Kiểu mặt trượt nguy hiểm nhất	Cung tròn	Nông	Nông
Mái dốc 4 bậc địa hình, phân bố lại tải trọng	Tải trọng công trình	-	-	A7B7C3D7
	Tự nhiên	-	-	1,536
	Bão hòa	-	-	0,937
	Mặt trượt nguy hiểm nhất	-	-	Cung tròn
	Tải trọng công trình	-	-	A7B5C3D7
	Tự nhiên	-	-	1,631
	Bão hòa	-	-	0,990
	Mặt trượt nguy hiểm nhất	-	-	Cung tròn
	Tải trọng công trình	-	A7B3C3D7	A7B3C3D7
	Tự nhiên	-	1,354	1,689
	Bão hòa	-	0,794	1,040
	Mặt trượt nguy hiểm nhất	-	Nông	Cung tròn (TN) Nông (BH) (Hình PL2.2g, 2h)



Hình PL2.2. Kết quả tính toán mô hình tính hệ số ổn định mái dốc sau cải tạo thành các bậc địa hình và khả năng chịu tải trọng công trình tối ưu

Phụ lục 3. Mức độ nghiên cứu nguy cơ và nội dung chuyên môn

Bảng PL3.1. Quy mô đánh giá theo mục tiêu và diện tích nghiên cứu (AGS, 2007)

Quy mô đánh giá	Tỷ lệ	Mục tiêu nghiên cứu	Diện tích nghiên cứu
Nhỏ	< 1/100.000	Cung cấp thông tin khái quát về hiện trạng và mức độ nhạy cảm của trượt đất	>10.000 km ²
Trung bình	1/100.000 - 1/25.000	Phân tích hiện trạng và đánh giá mức độ nhạy cảm của trượt đất phục vụ quy hoạch, phát triển ở quy mô địa phương (cấp tỉnh, huyện) hoặc tham khảo khi xây dựng các công trình lớn. Lập bản đồ nguy cơ trượt đất tổng thể ở quy mô địa phương	1.000 - 10.000 km ²
Lớn	1/25.000 - 1/5.000	Phân tích hiện trạng, đánh giá mức độ nhạy cảm và rủi ro trượt đất phục vụ quy hoạch, phát triển ở quy mô địa phương (xã, phường). Lập bản đồ rủi ro tai biến trượt đất tổng thể ở quy mô địa phương hoặc giai đoạn khảo sát sơ bộ các công trình lớn, đường bộ, đường sắt.	10 - 1.000 km ²
Chi tiết	> 1/5.000	Đánh giá rủi ro trượt đất phục vụ quy hoạch, phát triển ở quy mô địa phương hay một khu vực cụ thể hoặc phục vụ thiết kế kỹ thuật các công trình lớn, đường bộ, đường sắt	Một vài ha đến hàng chục km ²

Bảng PL3.2. Nội dung tiến hành nghiên cứu trượt đất theo mức độ đánh giá

Nội dung nghiên cứu	Nghiên cứu rủi ro trượt đất						
	Nghiên cứu nguy cơ tại biến trượt đất						
	Nghiên cứu nguy cơ trượt đất						
	Nghiên cứu hiện trạng						
	Hiện trạng các khối trượt	Đặc điểm các khối trượt	Khoảng lẫn xa	Đánh giá tuân suất trượt đất	Xác suất không gian và thời gian	Đối tượng bị ảnh hưởng	Tổn thương
Mức độ đánh giá	Sơ bộ	Sơ bộ	Sơ bộ - Trung bình	Sơ bộ	Sơ bộ	Sơ bộ	Sơ bộ
	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình - Sơ bộ
	Chi tiết	Chi tiết - Trung bình	Chi tiết - Trung bình	Chi tiết - Trung bình	Chi tiết	Chi tiết	Chi tiết - Trung bình

Bảng PL3.3. Bảng giá xây dựng nhà ở, CTXD theo Quyết định số 45/2022/QĐ-UBND của UBND tỉnh Lâm Đồng

STT	Cấp, loại nhà ở	Đơn vị tính	Giá xây dựng tại Đà Lạt - Lạc Dương (đồng)	Cấp công trình
I	Nhà ở riêng lẻ			
1	Nhà 01 tầng (hoặc chiều cao tối đa $\leq 6\text{m}$). Kết cấu: Tường bao xây gạch, nền lát gạch, mái lợp	đồng/m ² sàn xây dựng	5.846.537	Cấp IV
II	Nhà liền kề			
1	Nhà từ 2 đến 3 tầng. Kết cấu: Khung chịu lực BTCT; tường bao xây gạch; sàn BTCT, mái lợp	đồng/m ² sàn xây dựng	7.545.960	Cấp IIIA
2	Nhà từ 4 đến 7 tầng (hoặc chiều cao tối đa $\leq 27\text{m}$). Kết cấu: Khung chịu lực BTCT; tường bao xây gạch; sàn BTCT, mái lợp	đồng/m ² sàn xây dựng	8.330.653	Cấp IIIB
II	Nhà biệt thự (không thấp hơn cấp III)			
1	Nhà từ 2-3 tầng (hoặc chiều cao $> 6 < 19\text{m}$). Kết cấu: Khung chịu lực BTCT; tường bao xây gạch; sàn BTCT, mái lợp	đồng/m ² sàn xây dựng	8.776.526	Cấp IIIC
III	Nhà chung cư ≤ 7 tầng: Kết cấu khung bê tông cốt thép (BTCT); tường bao xây gạch; sàn, mái BTCT; nền sàn lát gạch.	đồng/m ² sàn xây dựng	9.726.835	Cấp II

Phụ lục 4. Hệ thống giải pháp kỹ thuật - hạ tầng kiểm soát trượt đất

Nhóm giải pháp	Tên giải pháp	Mục tiêu chính	Điều kiện áp dụng	Tiêu chuẩn liên quan
1. Chống đỡ cơ học	Tường chắn (đá, BTCT, cọc khoan nhồi)	Ổn định mái dốc, ngăn dịch chuyển	Mái dốc cao, nền yếu	TCVN 11823-1:2017
	Đê phản áp	Cân bằng lực trượt từ chân dốc	Mặt trượt sâu, mái dốc lớn	-
	Rọ đá, kè đá	Linh hoạt, thoát nước tốt	Mái dốc vừa, không quá cao	-
	Cọc ghim (Soil nails)	Gia cố bên trong khối trượt	Đất yếu, mái dốc nhân tạo	-
	Tường đất có cốt	Tăng ổn định trong nền đất yếu	Công trình san nền, đất dễ trượt	-
	Neo, dầm neo	Giữ ổn định tường chắn/mái cao	Mái dốc cao, đá nứt nẻ	-
2. Giảm tải mái dốc	Đánh cấp mái dốc	Giảm ứng suất, chia tải trọng	San gạt đất nền, đô thị hóa	-
	Bạt thoải mái dốc	Giảm lực trượt	Mái dốc nhân tạo	-
	Hạn chế chiều cao mái dốc	Kiểm soát tải trọng	Thiết kế mới hoặc cải tạo	-
3. Thoát nước mặt	Rãnh đỉnh, rãnh chân dốc	Chống dòng chảy tập trung	Mọi loại mái dốc	22TCN 263-2000
	Bậc nước, dốc nước	Dẫn nước an toàn xuống dốc	Mưa lớn, mái dốc dài	-
	Lớp chống thấm mái dốc	Ngăn thấm nước vào đất	Đất dễ bão hòa, trượt nông	-
	Cống ngang, mương hở	Phân tán dòng chảy	Vùng đô thị, mái dốc thấp	-
4. Thoát nước ngầm	Hào, máng thoát nước ngầm	Giảm áp lực nước lỗ rỗng	Đất bão hòa, tầng nước ngầm cao	TCVN 9861:2013
	Giếng đứng, bơm nước	Hút nước tầng sâu	Mái dốc có mạch nước	-
	Khoan ngang, mương ngầm	Dẫn dòng ngầm ra ngoài	Đất đá phong hóa sâu	-
5. Gia cố mặt dốc	Thảm thực vật, cỏ	Chống xói, giữ đất	Mái dốc nhẹ, ổn định sinh học	-

Nhóm giải pháp	Tên giải pháp	Mục tiêu chính	Điều kiện áp dụng	Tiêu chuẩn liên quan
	Phun vữa, phun BT	Gia cố lớp đất mặt	Mưa lớn, trượt lớp nông	-
	Lát BTCT, tấm lát	Chống xói do dòng chảy lớn	Gần đô thị, đường giao thông	-
	Vải địa kỹ thuật	Kiểm soát xói mòn, dòng chảy	Mái dốc cải tạo	-
	Neo dự ứng lực, lưới thép	Chống đá rơi, đá lở	Mái dốc đá, đứng, phong hóa	-

Phụ lục 5. Thiết lập hệ thống quan trắc cảnh báo trượt đất theo khu vực và vị trí cụ thể

a. Thiết lập hệ thống thông tin cảnh báo trượt đất trực tuyến

Để hỗ trợ công tác cảnh báo, quản lý nguy cơ/rủi ro trượt đất trong khu vực đô thị Đà Lạt - Lạc Dương, hệ thống mô hình cảnh báo trực tuyến được thiết lập trên nền tảng WebGIS, cho phép trực quan hóa dữ liệu trượt đất và cung cấp thông tin quan trắc tự động theo thời gian thực.

1) Các bước thiết lập hệ thống mô hình cảnh báo

Bước 1: Thiết kế giao diện WebGIS để truy xuất và hiển thị thông tin trượt đất.

Bước 2: Trực quan hóa các lớp thông tin cơ sở: vị trí trượt đất, bản đồ nguy cơ/ rủi ro trượt đất, mạng lưới trạm đo mưa, ảnh vệ tinh.

Bước 3: Xây dựng giao diện cập nhật và truy xuất chi tiết: thông tin từng điểm trượt, dự báo thời tiết, cảnh báo theo cấp độ nguy cơ/ rủi ro (rất thấp, thấp, trung bình, cao, rất cao), dữ liệu từ trạm quan trắc trượt tự động.

Bước 4: Thiết lập cơ sở dữ liệu quản lý - xử lý - truyền tải:

- Quản lý dữ liệu: Lưu trữ, tích hợp và trực quan hóa.
- Xử lý dữ liệu: Thu thập, giám sát biến đổi, mô hình hóa, dự báo trượt đất.
- Truyền tải thông tin: Cung cấp cảnh báo trực tiếp, dễ tiếp cận cho người dùng.

2) Cấu trúc hệ thống thông tin cảnh báo

- Cơ sở dữ liệu nền:
 - + Dữ liệu địa hình và ảnh vệ tinh Google Map; tên địa danh, hành chính, giao thông.
 - + Dữ liệu dự báo thời tiết (mưa, nhiệt độ, độ ẩm, gió) kết nối với World Weather Online.
- Thông tin cảnh báo nguy cơ trượt đất:
 - + Hiển thị phân bố các khối trượt đã ghi nhận tại khu đô thị Đà Lạt - Lạc Dương.
 - + Hiển thị bản đồ nguy cơ/ rủi ro trượt đất chia 5 cấp mức độ, sử dụng các màu đặc trưng: Rất thấp (xanh nước biển); Thấp (xanh lá cây); Trung bình (vàng); Cao (da cam); Rất cao (đỏ).
- Kết nối dữ liệu quan trắc tự động trượt đất:
 - + Hiển thị vị trí và dữ liệu thời gian thực từ các trạm quan trắc trượt tự động lắp đặt tại các khối trượt nguy hiểm.
 - + Thường xuyên cập nhật số liệu quan trắc, đặc biệt trong mùa mưa lớn.
- Giao diện website: Các thẻ chính gồm: Giới thiệu - Bản đồ - Thời tiết - Quan trắc - Liên hệ - Liên kết mạng xã hội và có thể mở rộng (*Hình PL5.1*).



a) Giao diện website mô hình hệ thống quản lý và cảnh báo trượt đất (đề tài TN18.T13 thực hiện)



b) Hiện thị khu vực đô thị quản lý và vị trí trượt đất trên nền địa hình



c) Hiện thị thông tin bản đồ nguy cơ trượt đất TP. Đà Lạt



d) Hiện thị thông tin bản đồ nguy cơ trượt đất TT. Lạc Dương



e) Hiện thị thông tin vị trí trượt đất trên nền ảnh vệ tinh



f) Hiện thị dự báo mưa tại các khu vực theo lượng mưa và biểu đồ mưa

Hình PL5.1. Các tính năng hiển thị và truy xuất thông tin dành cho người sử dụng

3) Phương thức vận hành:

Để đảm bảo mô hình cảnh báo hoạt động hiệu quả, kịp thời và chính xác, cần thiết lập Trung tâm điều hành và mạng lưới trạm quan trắc khí tượng, địa kỹ thuật theo cơ chế sau:

- Trung tâm điều hành có trách nhiệm theo dõi cập nhật thông tin về các sự kiện trượt đất cụ thể (vị trí, thời gian, quy mô) được quan trắc tự động và các thông tin do các cộng tác viên hoặc người dân cung cấp, xử lý thông tin và đưa ra cảnh báo sớm đến các nhà quản lý và cộng đồng trước khi xảy ra sự cố. Trung tâm điều hành đặt tại đơn vị phụ trách Phòng tránh và giảm nhẹ thiên tai.

+ Đối với cán bộ làm việc tại Trung tâm điều hành, đòi hỏi phải là những người được đào tạo, am hiểu về trượt đất, có kỹ năng cập nhật, xử lý dữ liệu quan trắc cảnh báo trượt đất từ hệ thống mạng trạm. Cán bộ Trung tâm điều hành là những người có trách nhiệm đưa ra nhận định về khả năng và mức độ ảnh hưởng của trượt đất trên phạm vi quan trắc đến Ban Phòng tránh và giảm nhẹ thiên tai Bão lũ để phát lệnh cảnh báo.

+ Cộng tác viên quan trắc tại chỗ có trách nhiệm phát hiện các dấu hiệu bất thường xuất hiện trên sườn dốc/ mái dốc. Các dấu hiệu liên quan với quá trình trượt đất thường gặp là các vết nứt, sụt xuất hiện trên mặt đất, đường xá, tường sân nhà, nứt vỡ, dịch chuyển các hệ thống cấp thoát nước; CTXD, cây cối bị đổ hoặc nghiêng, héo lá,... Các dấu hiệu trượt đất cần được ghi nhận cụ thể về kích thước, quy mô phát triển.

- Xây dựng mạng lưới trạm quan trắc đo mưa, và hệ thống mạng lưới lỗ khoan có lắp đặt các thiết bị đo tự động về dịch chuyển đất, áp lực nước lỗ rỗng dưới sâu. Thiết bị quan trắc tự động cần lắp đặt tại các vị trí có nguy cơ/ rủi ro trượt đất cao và rất cao. Các số liệu quan trắc quan trắc tự động dưới sâu và các dấu hiệu bất thường ghi nhận trên mặt đất phải được cập nhật liên tục về Trung tâm điều hành, nhất là trong các tháng mùa mưa.

b. Thiết lập mô hình công nghệ quan trắc cảnh báo trượt tự động

1) Mô hình hệ thống công nghệ quan trắc trượt tự động tại khối trượt như sau:

Bước 1: Lựa chọn vị trí, phân tích đánh giá nguy cơ trượt của vị trí cụ thể, lựa chọn công nghệ quan trắc phù hợp.

Bước 2: Khảo sát, lắp đặt ống vách quan trắc chu kỳ xác định phạm vi mặt trượt có thể xảy ra.

Bước 3: Thiết kế lắp đặt, vận hành thử nghiệm hệ thống quan trắc và triển khai lắp đặt tại hiện trường.

Bước 4: Lắp đặt các thiết bị đo mưa, độ ẩm cùng hệ thống ghi đo tự động và các thiết bị điều khiển - liên lạc từ xa.

Bước 5: Theo dõi, quan trắc và xác lập các ngưỡng dự báo và cảnh báo, dự đoán khả năng dịch trượt (mô hình dự báo).

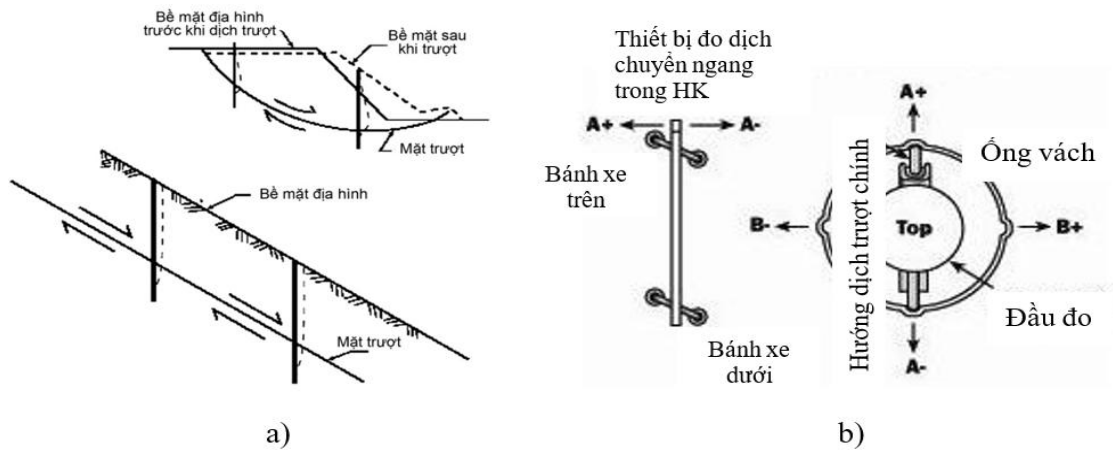
Cơ sở lựa chọn vị trí lắp đặt trạm quan trắc và cảnh báo trượt tự động dựa trên diễn biến dịch trượt trong các khối đất đá tại các bờ dốc bao gồm:

- Sự xuất hiện dịch động tương đối của đất đá qua các mặt trượt hình thành trong các bờ dốc khi sự mất cân bằng lực trong mái dốc.

- Biên độ của dịch trượt và tốc độ dịch chuyển của đất đá tại các độ sâu khác nhau có thể được xác định bằng quan trắc độ nghiêng tại các đoạn của một ống vách

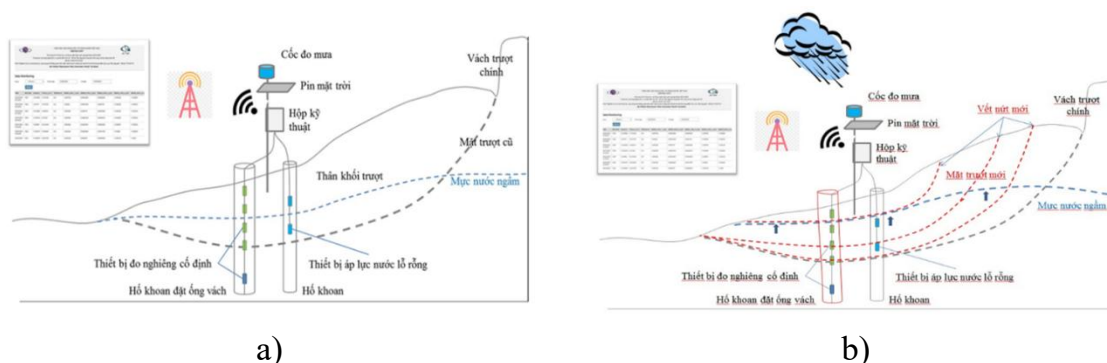
chuyên dụng (thông thường bằng nhựa hoặc bằng nhôm) được lắp đặt trong một hố khoan đặt trong thân của sườn dốc có tiềm năng dịch trượt. Đáy của ống vách được đặt vào độ sâu ổn định, nằm dưới mặt trượt tiềm năng.

- Khi hiện tượng trượt đất xuất hiện, khối đất bên trên của mặt trượt sẽ dịch trượt theo mái dốc gây ra biến dạng ống vách, làm thay đổi độ nghiêng và tiết diện của ống vách với các mức độ khác nhau; mức độ biến dạng của ống vách đặt tại chân mái dốc lớn hơn so với ống vách đặt gần đỉnh trượt (Hình PL5.2a). Biến dạng này trong các môi trường đất đá phong hóa (các sườn đồi, núi) và các bờ đắp nhân tạo (đê, đập, nền đường) thường diễn biến theo thời gian, ít mang tính đột biến. Việc ghi đo chính xác độ nghiêng của ống vách theo độ sâu một cách định kỳ giúp theo dõi diễn biến dịch trượt và xác định chính xác mặt phá hủy trong thân sườn dốc.



Hình PL5.2. a) Tương tác giữa ống vách đo chuyển vị ngang và dịch trượt dưới nền đất; b) Mặt cắt thể hiện đầu dò đo nghiêng trong ống vách

Hệ thống trạm quan trắc trượt đất tự động đã được thiết lập nhằm theo dõi diễn biến trượt đất có mặt trượt sâu. Hệ thống sử dụng công nghệ đo độ dịch chuyển ngang trong hố khoan (inclinometer), áp lực nước lỗ rỗng (piezometer) và lượng mưa tại hiện trường để giám sát động thái khối trượt theo thời gian thực. Trên cơ sở dữ liệu thu thập được, cảnh báo trượt lở dựa trên mối quan hệ giữa độ dịch chuyển ngang, áp lực nước lỗ rỗng và lượng mưa tích lũy tại vị trí nghiên cứu. Mô hình này là bước đầu cho việc xây dựng hệ thống cảnh báo sớm trượt đất ứng dụng tại các khu đô thị có địa hình dốc, góp phần nâng cao hiệu quả công tác quản lý và giảm nhẹ rủi ro thiên tai (Hình PL5.3).



Hình PL5.3. a) Mô phỏng hệ thống lắp đặt trước khi xảy ra dịch trượt; b) Mô phỏng hệ thống ghi nhận sự biến dạng khi xảy ra dịch trượt.

2) Thiết lập hệ thống cảnh báo trượt đất tự động

Hệ thống quan trắc trượt đất tự động được triển khai thực tế tại khu đô thị LangBiang Town, thị trấn Lạc Dương cung cấp số liệu các thông số lượng mưa, áp lực nước lỗ rỗng, độ dịch chuyển ngang ,..., trực tuyến tại trạm quan trắc trên website theo chu kỳ đo 1 giờ/lần với 24 tệp số liệu/ngày (Hình PL5.4). Dữ liệu quan trắc cho phép truy xuất theo thời gian từ thời điểm đo ban đầu đến thời điểm đo hiện tại dưới định dạng file CVS, EXCEL, XML phục vụ công tác phân tích, đánh giá quá trình hiện tượng phát triển theo thời gian và xác lập ngưỡng cảnh báo độ dịch chuyển. Mức độ tin cậy phục thuộc vào thời gian quan trắc đủ dài đi kèm với các thông số quan trắc có sự biến đổi rõ ràng.

103.124.94.210:8004/report/data2.html

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM
VIỆN ĐỊA CHẤT

Chương trình Khoa học và Công nghệ cấp quốc gia giai đoạn 2016-2020
"Khoa học và công nghệ phục vụ phát triển kinh tế - xã hội Tây Nguyên trong liên kết vùng và hội nhập quốc tế"
Mã số: KHCN-TN/16-20

Đề tài "Nghiên cứu cơ sở khoa học, xây dựng hệ thống quan trắc cảnh báo trượt tự động tại một số khu đô thị trọng điểm khu vực Tây Nguyên". Mã số: TN18/T13
HỆ THỐNG TRẠM QUAN TRẮC CẢNH BÁO TRƯỢT TỰ ĐỘNG

IGS - VAST

Data Monitoring

Device: -- Choose -- From date: 03/02/2021 To date: 03/03/2021

Search

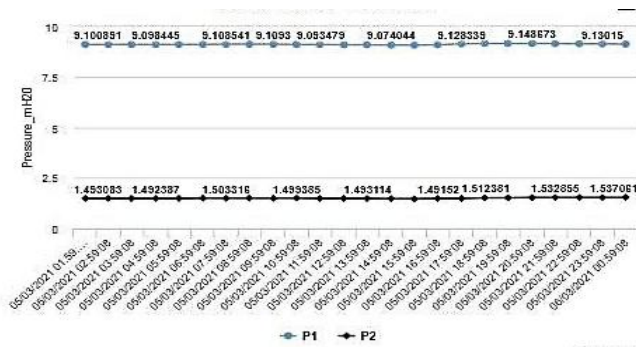
TIME	RECORD	BattV(V)	PTemp_C(°C)	TE525(mm)	MEMS_6150_1_A(V)	MEMS_6150_2_A(V)	MEMS_6150_3_A(V)	MEMS_6150_4_A(V)	MEMS_6150_5_A(V)
03/03/2021 23:59:09	1307	12.87862	17.79138	0.0	1.085759	0.9663404	0.9986228	1.109193	1.182066
03/03/2021 22:59:09	1306	12.9117	18.81707	0.0	1.08559	0.9661404	0.998719	1.109242	1.182232
03/03/2021 21:59:09	1305	12.93926	19.86311	0.0	1.085585	0.966177	0.9985685	1.109125	1.182159
03/03/2021 20:59:09	1304	12.97234	21.5327	0.0	1.085605	0.9662159	0.9984812	1.108965	1.182244
03/03/2021 19:59:09	1303	12.9999	24.10146	0.0	1.085468	0.9661491	0.9984362	1.108951	1.182164
03/03/2021 18:59:09	1302	13.02747	27.94445	0.0	1.085395	0.9660963	0.9981778	1.10896	1.182034
03/03/2021 17:59:09	1301	13.06076	32.91706	0.0	1.085539	0.966337	0.9986939	1.109133	1.1824

Hình PL5.4. Giao diện hiển thị các thông số ghi đo trên website quan trắc cảnh báo trượt tự động tại vị trí nghiên cứu

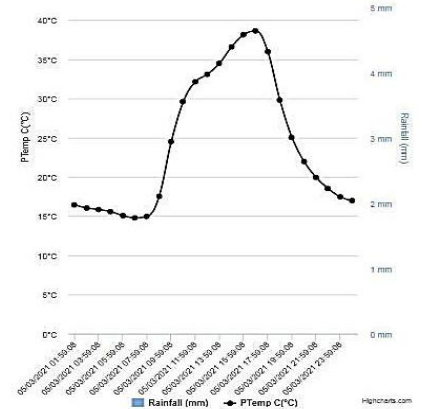
Công tác quan trắc cảnh báo trượt tự động phát hiện tức thời hiện tượng dịch chuyển dựa trên các biểu đồ mô phỏng sự biến đổi các thông số được hiển thị theo thông số quan trắc như sau: Mức độ dịch chuyển tích lũy tại thời điểm đo của các cảm biến đo nghiêng ở các độ sâu quan trắc tại *Hình PL5.5a*; các giá trị biến đổi của nhiệt độ và lượng mưa trong 24h của ngày đo tại *Hình PL5.5b*; các giá trị biến đổi của áp lực nước lỗ rỗng trong 24h của ngày đo tại *Hình PL5.5c*; các giá trị độ dẫn điện và độ chứa ẩm của đất trên bề mặt trong 24h của ngày đo tại *Hình PL5.5d*.



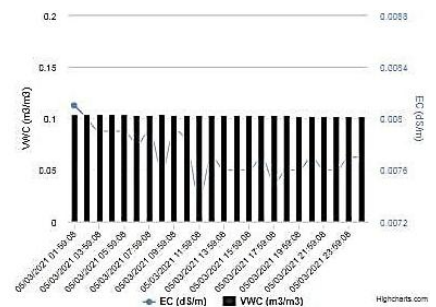
a) Biểu đồ giá trị dịch chuyển tích lũy tại thời điểm đo (mm)



c) Áp lực nước lỗ rỗng tại cảm biến PZ1 và PZ2



b) Biểu đồ biến đổi giá trị lượng mưa và nhiệt độ 24h của ngày đo



d) Độ dẫn điện và chứa ẩm của đất trên bề mặt

Hình PL5.5. Biểu đồ các thông số quan trắc được thể hiện trực tuyến trên website phục vụ công tác cảnh báo trượt đất tự động tại vị trí nghiên cứu