

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

NGUYỄN THANH DANH

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MƯA ĐỐI VỚI TRƯỢT LỞ
VÀ XÂY DỰNG BẢN ĐỒ TAI BIẾN TRƯỢT LỞ
HUYỆN KHÁNH VĨNH, TỈNH KHÁNH HÒA**

Chuyên ngành: Kỹ thuật địa chất
Mã số chuyên ngành: 62.52.05.01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

TP. HỒ CHÍ MINH NĂM 2019

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS. TS. Đậu Văn Ngo

Người hướng dẫn khoa học 2: TS. Tạ Quốc Dũng

Phản biện độc lập 1:.....

Phản biện độc lập 2:.....

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án họp tại

.....

.....

vào lúc giờ ngày tháng năm 2019

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp. HCM
- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Vùng Nam Trung Bộ nói chung và huyện Khánh Vĩnh (tỉnh Khánh Hòa) nói riêng, mùa mưa thường kéo dài và cường độ mưa lớn thường là nguyên nhân chính gây kích hoạt trượt lở các sườn dốc, mái dốc đất trượt tiềm năng và làm tăng thêm mức độ phá hủy khi trượt lở xảy ra.

Mưa tạo nên quá trình ngấm bề mặt, phụ thuộc vào cường độ mưa, tính thấm của đất mà quá trình ngấm diễn ra nhanh hay chậm. Nước mưa ngấm vào sườn dốc, mái dốc, áp lực nước lỗ rỗng tăng dần và đồng thời làm giảm độ hút dính, giảm sức chống cắt của đất và tính ổn định của sườn dốc, mái dốc giảm. Do đó, yếu tố mưa cần phải đưa vào phân tích, đánh giá để lập bản đồ tai biến trượt lở đất.

Một trong những biện pháp cấp thiết hiện nay để các cấp chính quyền phòng, tránh và giảm thiểu những thiệt hại do trượt lở đất gây ra là thành lập các bản đồ phân vùng tai biến trượt lở. Mục đích chính của việc thành lập các bản đồ này là nhằm cảnh báo trước vùng có tai biến trượt lở xảy ra trong tương lai.

2. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu sự ổn định của các sườn dốc, mái dốc đất cấu tạo bởi đất tàn tích phong hóa dưới ảnh hưởng của mưa và xây dựng bản đồ phân vùng tai biến trượt lở đất trong phạm vi địa giới hành chính của huyện Khánh Vĩnh, tỉnh Khánh Hòa.

3. Mục đích của luận án

- Làm sáng tỏ mối tương quan giữa hệ số an toàn của mái dốc với cường độ mưa, hệ số thấm, góc dốc và chiều cao của mái dốc. Từ đó xác định ngưỡng cường độ mưa tương ứng với hệ số an toàn nhỏ nhất.
- Ứng dụng các phương pháp xác suất thống kê và GIS để thành lập các bản đồ phân vùng tai biến trượt lở đất, nhằm nâng cao khả năng cảnh báo sớm tai biến trượt lở, giảm thiểu thiệt hại về người và tài sản, làm cơ sở cho việc quy hoạch phát triển kinh tế xã hội một cách bền vững.

4. Những luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Tai biến trượt lở đất bắt đầu xảy ra từ ngưỡng cường độ mưa 10 mm/h với thời gian mưa hơn năm ngày, trong đất tàn tích không bão hòa của vỏ phong hóa có hệ số thấm từ 10^{-7} m/s đến 10^{-5} m/s.

Luận điểm 2: Các phương pháp dự báo tai biến trượt lở FR, SI, WoE và LR đều có độ tin cậy và chính xác cao. Phương pháp WoE cho kết quả dự báo tốt nhất và mô hình dự báo gồm bốn yếu tố ảnh hưởng DEM, DFR, MP và SLOPE là tối ưu nhất.

5. Nội dung nghiên cứu của luận án

- Áp dụng tiêu chuẩn phá hủy Mohr-Coulomb mở rộng trong môi trường đất không bão hòa để nghiên cứu ảnh hưởng của mưa đối với sự ổn định mái dốc.
- Nghiên cứu tích hợp yếu tố mưa và tính thấm của đất vào các phương pháp dự báo tai biến trượt lở đất.
- Phân tích và đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đối với tai biến trượt lở.
- Áp dụng các phương pháp xác suất thống kê tích hợp với hệ thống thông tin địa lý (GIS) để thành lập các bản đồ tai biến trượt lở.
- So sánh độ chính xác giữa các phương pháp xác suất thống kê, lựa chọn phương pháp dự báo tốt nhất và mô hình tối ưu tổ hợp các yếu tố ảnh hưởng.

6. Phương pháp nghiên cứu của luận án

- Thu thập dữ liệu, khảo sát hiện trường, phân tích ảnh vệ tinh và ảnh Google Earth.
- Kế thừa kết quả từ các công trình nghiên cứu trước.
- Nghiên cứu lý thuyết về thấm và ổn định trượt trong mái dốc đất không bão hòa.
- Sử dụng mô hình số để phân tích thấm trong mái dốc đất không bão hòa.

- Áp dụng các phương pháp xác suất thống kê tích hợp với công cụ phân tích GIS tạo ra các bản đồ chỉ số và xác suất tai biến trượt lở.
- Sử dụng thuật toán mô hình trung bình BMA (Bayesian Model Average) trong phần mềm thống kê mã nguồn mở R để phân tích, xác định các yếu tố ảnh hưởng liên quan đến trượt lở, các yếu tố ảnh hưởng quan trọng nhất và tổ hợp các yếu tố ảnh hưởng tối ưu.

7. Những điểm mới về mặt khoa học của luận án

- Ảnh hưởng của mưa đối với dự ổn định mái dốc được nghiên cứu dựa trên quan điểm của lý thuyết cơ học đất không bão hòa. Kết quả kiểm toán ổn định mái dốc đất không bão hòa - bão hòa sẽ phù hợp với thực tế hơn.
- Đặc điểm địa hình, cường độ mưa và tính chất đất được xét đến trong các phương pháp xác suất thống kê khi lập bản đồ dự báo tai biến trượt lở đất thông qua hai yếu tố ảnh hưởng chỉ số ẩm ướt địa hình (*TWI*) và lượng mưa lớn nhất trong năm (*MP*).
- Để so sánh độ chính xác giữa các phương pháp, các bản đồ chỉ số tai biến trượt lở được chuẩn hóa trước khi áp dụng phương pháp độ lệch chuẩn (*Standard Deviation*) để phân vùng mức độ tai biến trượt lở.
- Lần đầu tiên trong nghiên cứu này sử dụng thuật toán mô hình trung bình BMA (*Bayesian Model Average*) để tìm các yếu tố ảnh hưởng quan trọng nhất và các tổ hợp yếu tố ảnh hưởng tối ưu phục vụ cho việc thành lập bản đồ tai biến trượt lở đất.

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

8.1. Ý nghĩa khoa học

- Vai trò của yếu tố ảnh hưởng mưa đối với trượt lở đất được nghiên cứu và đánh giá trên cơ sở lý thuyết cơ học đất không bão hòa.
- Mưa là yếu tố bên ngoài kích thích trượt lở đất xảy ra và được đưa vào tính toán trong các phương pháp xác suất thống kê để dự báo tai biến trượt lở đất

thông qua hai yếu tố ảnh hưởng là lượng mưa lớn nhất trong năm và chỉ số ẩm ướt địa hình.

- Nghiên cứu đã xác định cơ sở khoa học, công nghệ và qui trình thành lập các bản đồ tai biến trượt lở theo các phương pháp xác suất thống kê.

8.2. Ý nghĩa thực tiễn

- Góp phần bổ sung cho việc áp dụng các phương pháp mới phục vụ công tác điều tra, đánh giá và dự báo về tai biến trượt lở đất.
- Có thể ứng dụng phương pháp và kết quả nghiên cứu để mở rộng cho các đánh giá tương tự đối với các khu vực khác có những đặc điểm tự nhiên, địa chất - địa mạo tương tự với vùng nghiên cứu.
- Các bản đồ dự báo tai biến trượt lở đất là cơ sở tài liệu tham khảo rất hữu ích cho các nhà qui hoạch, những người ra quyết định và các kỹ sư trong việc quản lý trượt lở và quy hoạch sử dụng đất.

9. Cơ sở tài liệu của luận án

Luận án kế thừa và sử dụng những kết quả đã được nghiên cứu từ các đề tài nghiên cứu khoa học, các báo cáo và bài báo khoa học đã được công bố trong các hội nghị khoa học, trên các tạp chí trong và ngoài nước.

10. Cấu trúc luận án

Mở đầu

Chương 1: Tổng quan nghiên cứu trượt lở do mưa

Chương 2: Điều kiện tự nhiên và hiện trạng trượt lở vùng nghiên cứu

Chương 3: Nghiên cứu ảnh hưởng của mưa đối với trượt lở

Chương 4: Ứng dụng phương pháp xác suất thống kê và GIS thành lập bản đồ tai biến trượt lở

Kết luận và kiến nghị

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU TRƯỢT LỞ DO MƯA

1.1 Nghiên cứu ảnh hưởng của mưa đối với trượt lở trên thế giới

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu khảo sát nguyên nhân phá hủy mái dốc ở những vùng có khí hậu nhiệt đới cho rằng mưa là yếu tố quan trọng nhất kích hoạt trượt lở mái dốc (Caine, 1980; Lim, 1996; Gasmu, 2000, Rahardjo, 2005, 2008, 2010; Shuin, 2012; Chen, 2008). Một vài nghiên cứu đã cố gắng đưa ra mối quan hệ đơn giản trực tiếp giữa cường độ mưa và thời gian mưa dựa trên thống kê các sự kiện trượt lở liên quan đến mưa ở nhiều nơi trên thế giới (Caine, 1980; Dahal, 2008; Guzzetti, 2008).

Những mối quan hệ phức tạp hơn, sử dụng mô hình số để mô phỏng. Qua khảo sát mối tương quan giữa các mô hình mưa với trượt lở, Lo (2010) và Tsai (2011) nhận xét mô hình mưa có cường độ mưa tăng dần và mô hình cường độ mưa không đổi theo thời gian là nguy hiểm nhất đối với sự ổn định mái dốc. Nước mưa ngấm vào mái dốc làm thay đổi áp lực nước lỗ rỗng và khả năng thấm của đất là hai yếu tố quan trọng nhất gây ra sự mất ổn định mái dốc (Gasmu, 2000; Cho, 2001; Rahardjo, 2002, 2011).

1.2 Nghiên cứu ảnh hưởng của mưa đối với trượt lở ở Việt Nam

Ở Việt Nam, cho đến hiện nay chỉ có vài nghiên cứu nhằm phân tích rõ ảnh hưởng trực tiếp của mưa đối với sự ổn định của mái dốc (Hoàng Đại Toàn, 2012; Nguyễn Văn Hoàng, 2011; Nguyễn Văn Thìn, 2007). Những nghiên cứu này hoặc chỉ phân tích quá trình ngấm của nước mưa vào trong mái dốc để tính toán lượng nước ngấm vào đất và lượng nước thoát bề mặt, hoặc chỉ đơn thuần khảo sát sự thay đổi hệ số an toàn của mái dốc theo cường độ mưa.

1.3 Nghiên cứu dự báo trượt lở trên thế giới

Hầu hết các bản đồ dự báo nguy cơ trượt lở được thành lập theo một trong các phương pháp sau: phương pháp trực tiếp, phương pháp tính toán địa kỹ thuật và phương pháp xác suất thống kê (FR, SI, WoE và LR). Phương pháp xác suất thống kê khắc phục được nhược điểm của phương pháp trên nên được sử dụng rất rộng rãi trong đánh giá nguy cơ trượt lở đất đá. Các tác giả sử dụng phương

pháp xác suất thống kê như: Lee và Talib (2005), Isik Yilmaz (2009), Jaafari và nnk (2014), Youssef và nnk (2015).

1.4 Nghiên cứu dự báo trượt lở ở Việt Nam

Ở Việt Nam, những năm gần đây một vài nghiên cứu nhằm xây dựng bản đồ dự báo nguy cơ trượt lở đất có kể đến ảnh hưởng của mưa như là một trong những yếu tố quan trọng (Nguyễn Thám, 2012; Phạm Hùng, 2011; Sở KH&CN Khánh Hòa, 2011). Bên cạnh yếu tố mưa, các yếu tố ảnh hưởng khác liên quan đến trượt lở cũng được lựa chọn phụ thuộc vào vị trí vùng nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu, kinh nghiệm chuyên gia và dữ liệu sẵn có.

1.5 Nhận xét nghiên cứu dự báo trượt lở trên thế giới và ở Việt Nam

Các nhà nghiên cứu thừa nhận rằng các phương pháp FR, SI, WoE và LR là khá đơn giản, dễ sử dụng, ít tốn thời gian và có thể được trình bày trong các phần mềm GIS và phần mềm thống kê có mã nguồn mở.

Các nhà quan sát và các chuyên gia cho rằng trượt lở xảy ra không chỉ phụ thuộc vào các yếu tố bên trong mà còn bao gồm các yếu tố bên ngoài như mưa hay tuyết tan. Để xét đến sự tăng áp lực nước lỗ rỗng do nước mưa ngấm và tính thấm của đất có ảnh hưởng quan trọng đến trượt lở, nghiên cứu này sử dụng chỉ số ẩm ướt địa hình xác định theo Montgomery và Dietrich (1994), Borga và nnk (1998), Pack và Tarboton (1998).

Hiện nay, chưa có nghiên cứu nào đưa ra chỉ dẫn chung để lựa chọn các yếu tố ảnh hưởng cũng như các tổ hợp yếu tố ảnh hưởng. Trong nghiên cứu này, lần đầu tiên sử dụng thuật toán BMA (Bayesian Model Average) để tìm các yếu tố ảnh hưởng quan trọng nhất và các tổ hợp yếu tố ảnh hưởng tối ưu.

Theo các công trình nghiên cứu đã công bố, việc so sánh độ chính xác giữa các phương pháp là không thể thực hiện vì các bản đồ chỉ số tai biến trượt lở được thành lập theo các phương pháp khác nhau cho kết quả khoảng giá trị hoàn toàn khác nhau. Trong nghiên cứu này, để so sánh độ chính xác giữa các phương pháp, chỉ số tai biến trượt lở được chuẩn hóa.

CHƯƠNG 2 ĐIỀU KIỆN TỰ NHIÊN VÀ HIỆN TRẠNG TRƯỢT LỞ VÙNG NGHIÊN CỨU

2.1 Vị trí vùng nghiên cứu

Vùng nghiên cứu nằm trọn trong ranh giới hành chính huyện Khánh Vĩnh, là một vùng núi phía tây tỉnh Khánh Hòa (Hình 2.1).

2.2 Đặc điểm địa hình

Địa hình huyện Khánh Vĩnh khá phức tạp, núi và đồng bằng ven sông xen kẽ nhau. Có thể nhận rõ 5 dạng địa hình sau: Địa hình núi cao; địa hình núi trung bình, núi thấp; địa hình núi thấp và đồi; địa hình lượn sóng chia cắt nhẹ; địa hình đồng bằng ven sông.



Hình 2.1 Vị trí vùng nghiên cứu

2.3 Đặc điểm thủy văn

Toàn địa bàn huyện đều nằm trong lưu vực sông Cái Nha Trang. Lưu vực có dạng hình cành cây, dòng chính bắt nguồn từ những dãy núi cao ở phía tây có độ cao từ 1500 đến 2000 m, chảy theo hướng đông và đổ ra biển ở cửa Hà Ra và Xóm Bóng tại thành phố Nha Trang.

2.4 Đặc điểm khí hậu

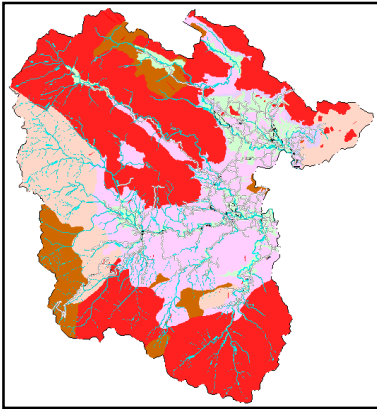
Khí hậu của vùng nghiên cứu mang những nét đặc trưng của khí hậu Nam Trung Bộ. Một năm có hai mùa rõ rệt: mùa mưa kéo dài từ tháng IX đến tháng XII, mùa khô từ tháng I đến tháng VIII, đôi khi có mưa nhỏ.






2.5 Cấu trúc địa chất

Trong vùng nghiên cứu có 5 phân vị địa tầng trầm tích, phun trào Mesozoi và 5 phân vị địa tầng Đệ tứ, gồm: Loạt Bản Đôn; Hệ tầng Đèo Bảo Lộc ($J_3\delta bl$); Hệ tầng Nha Trang (Knt); Hệ tầng Đak Rium ($K_2\delta r$); Hệ tầng Đơn Dương ($K_2\delta d$); Trầm tích sông hiện đại (aQ_2^3); Tàn tích (eQ); Sườn tích (dQ); Lũ tích - sườn tích (pdQ); Trầm tích sông - lũ tích (apQ).

2.6 Điều kiện địa chất công trình

Cấu trúc đất nền của vùng nghiên cứu bao gồm các phức hệ thạch học được phân chia và mô tả dưới đây (Hình 2.2).



Đất đá	Mô tả
Hỗn hợp aluvi –proluvi – Đệ tứ 	Cát, cát pha, sét pha
Hỗn hợp aluvi –deluvi – proluvi – Đệ tứ 	Sét, sét pha, sét pha chứa đăm sạn
Phun trào Creta 	Andesit, dacit, andesittodacit
Trầm tích lục nguyên Jura 	Bột kết, cát kết, sét kết, cát bột kết bị sùng hóa, cuội kết, sạn kết
Xâm nhập Creta – Paleogen 	Granit, Graprodiorit, granosyenit, diorit, diabas, gabro, gabrodiorit

Hình 2.2 Sơ đồ địa chất huyện Khánh Vĩnh

2.7 Điều kiện địa chất thủy văn

Dựa theo đặc điểm địa chất, thạch học và tính thấm nước của đất đá trong vùng, hệ thống tầng chứa nước của vùng được phân chia như sau: Tầng chứa nước lỗ hổng - trầm tích Đệ Tứ; Tầng chứa nước khe nứt - trầm tích phun trào; Tầng chứa nước khe nứt - trầm tích lục nguyên.

2.8 Các đứt gãy kiến tạo

Trong vùng nghiên cứu có 3 hệ thống đứt gãy kiến tạo chính là Đông Bắc - Tây Nam, Tây Bắc - Đông Nam và á vĩ tuyến, ngoài ra còn có hệ thống á kinh tuyến.

2.9 Địa mạo

Theo đặc điểm nguồn gốc và hình thái, trong vùng nghiên cứu có những kiểu địa hình như sau: Địa hình bóc mòn; Các bề mặt đồng bằng bóc mòn - rửa trôi, tích tụ ven sông.

2.10 Đặc điểm vô phong hóa

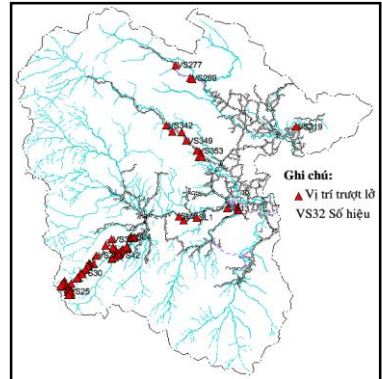
Vùng nghiên cứu có điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm nên phong hóa hóa học là chủ yếu. Thực tế trên khu vực nghiên cứu tất cả các điểm trượt lở được khảo sát đều có đất đá cấu tạo tầng phủ đã bị phong hóa ở mức độ mạnh đến rất mạnh,

chủ yếu là sét, sét pha và sét pha lẫn dăm sạn. Do địa hình cao, dốc, sườn ngấn và sông ngòi chia cắt nên chiều dày vỏ phong hóa không lớn, ngay cả ở vùng núi thấp.

2.11 Hiện trạng trượt lở đất đá

Trong vùng nghiên cứu, trượt lở đất chủ yếu theo cơ chế trượt xoay với mặt trượt dạng cung tròn và nhiều bậc. Ngoài ra, tại một số vị trí trượt lở đất còn kèm theo hiện tượng đá đổ, đá lăn.

Hoạt động trượt lở đất đá diễn ra chủ yếu vào mùa mưa lũ (từ tháng IX đến tháng XII hàng năm), thường xảy ra ở vỏ phong hóa của các đá xâm nhập, đá phun trào trung tính - axit và trầm tích lục nguyên tuổi Jura. Đường giao thông Khánh Vĩnh về mùa mưa thường xuyên bị sạt lở (Hình 2.4).



Hình 2.4 Sơ đồ các vị trí trượt lở trên các tuyến giao thông huyện Khánh Vĩnh

Từ kết quả khảo sát hiện trường và phân tích cho thấy, nguyên nhân xảy ra trượt lở ở vùng nghiên cứu là do tổ hợp các yếu tố cơ bản sau:

Cấu trúc địa chất tại những điểm xảy ra trượt lở thành phần chủ yếu là sét, sét pha và sét pha lẫn dăm sạn, lẫn cục tảng granit của vỏ phong hóa. Quá trình phong hóa làm suy giảm các thông số chống cắt của đất đá đới phong hóa.

Đất đá ở những khu vực trượt lở có sự khác biệt lớn về tính thấm, tính trương nở và độ cứng chắc (đất đá cứng chắc nằm bên dưới đất đá mềm yếu).

Mưa lớn và kéo dài làm xói mòn chân, rìa mái dốc, động lực dòng chảy lớn. Nước mưa ngấm làm cho đất đá bị trương nở, hóa lỏng, tăng thể tích đột ngột, tăng áp lực nước lỗ rỗng, giảm lực hút dính.

Các hoạt động nhân sinh phá vỡ cân bằng tự nhiên ở các sườn dốc, các lực gây trượt lớn hơn lực chống trượt dẫn đến trượt lở đất đá.

CHƯƠNG 3 NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MƯA ĐỐI VỚI TRƯỢT LỞ

3.1 Cơ chế của quá trình mưa gây mất ổn định mái dốc

Cơ chế dẫn đến phá hủy mái dốc là do áp lực nước lỗ rỗng bắt đầu tăng khi nước mưa bắt đầu ngấm vào đất không bão hòa nằm trên mực nước ngầm và mực nước ngầm ban đầu dâng lên trong suốt thời gian mưa. Quá trình nước mưa ngấm vào mái dốc, xuất hiện các vùng ẩm trước (bão hòa cục bộ), mất đi áp lực nước lỗ rỗng âm và làm giảm độ hút dính trong đất không bão hòa. Do đó, làm sức kháng cắt của đất giảm đến mức nhỏ hơn lực gây cắt huy động dọc theo mặt trượt tiềm năng.

3.2 Đặc điểm về thấm và sức chống trong đất không bão hòa

3.2.1 Khái niệm đất không bão hòa

Đất không bão hòa là một hỗn hợp của hơn hai pha (thông thường là ba pha gồm: rắn, nước và khí) và có áp lực nước lỗ rỗng là âm (do có áp lực khí lỗ rỗng). Mọi loại đất gần mặt đất, ở môi trường tương đối khô, sẽ chịu áp lực nước lỗ rỗng âm và không bão hòa.

3.2.2 Đường cong đặc trưng đất-nước (SWCC)

Đường cong SWCC thường được biểu diễn dưới dạng mối quan hệ giữa độ bão hòa, độ ẩm trọng lượng hoặc độ ẩm thể tích với độ hút dính (Hình 3.4). Trong công trình nghiên cứu của Leong và Rahardjo (1997a) đã đánh giá lại các phương trình thực nghiệm và kết luận rằng phương trình của Fredlund và Xing (1994) là phù hợp với thực tế nhất, tiếp đến là phương trình của van Genuchten (1980).

Phương trình Fredlund và Xing (1994):

$$\theta_w = \theta_s C(\psi) \left\{ \frac{1}{\left[\ln \left(e + \left(\frac{\psi}{a} \right)^n \right) \right]^m} \right\} \quad (3.2)$$

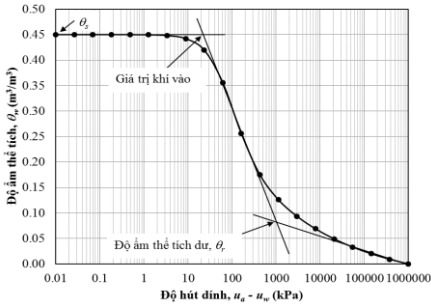
Phương trình van Genuchten (1980):

$$\theta_w = \theta_s \frac{1}{\left[1 + (a\psi)^n\right]^m} \quad (3.4)$$

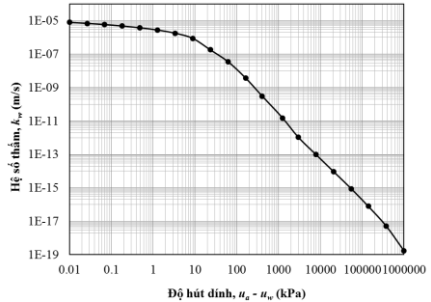
3.2.3 Hàm thấm thủy lực

Hàm thấm của đất không bão hòa thể hiện mối quan hệ giữa hệ số thấm và độ hút dính (Hình 3.5). Phương trình thực nghiệm (3.5) của Leong và Rahardjo (1997b) thường được sử dụng nhiều vì nó đơn giản, dễ sử dụng và thể hiện mối tương quan chung nhất của hàm thấm và đường cong SWCC.

$$k_w = k_s \Theta^p \quad (3.5)$$



Hình 3.4 Đường cong đặc trưng đất-nước (SWCC)



Hình 3.5 Đường cong hàm thấm thủy lực

3.2.4 Thấm không ổn định trong đất không bão hòa

Trong đất không bão hòa, do các biến đổi theo không gian của độ hút dính nên hệ số thấm cũng biến đổi theo không gian (không đồng nhất). Độ lớn của hệ số thấm phụ thuộc vào độ hút dính. Đối với trường hợp đẳng hướng, hệ số thấm theo các hướng x và y bằng nhau (tức là $k_{wx} = k_{wy} = k_w$). Do vậy, có thể viết phương trình (3.6) như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_w \frac{\partial h_w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_w \frac{\partial h_w}{\partial y} \right) + q = m_w^2 \gamma_w \frac{\partial h_w}{\partial t} \quad (3.8)$$

Phương trình thấm chủ đạo (3.8) có thể dùng để phân tích đồng thời dòng thấm trạng thái không ổn định qua đất bão hòa và không bão hòa.

3.2.5 Sức chống cắt trong đất không bão hòa

Sức chống cắt của đất không bão hòa thường được xác định bằng phương trình do Fredlund và Rahardjo (1978) đề nghị theo hai biến trạng thái ứng suất pháp thực ($\sigma - u_a$) và độ hút dính ($u_a - u_w$) như sau:

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_f - u_a)_f \operatorname{tg} \phi' + (u_a - u_w)_f \operatorname{tg} \phi^b \quad (3.9)$$

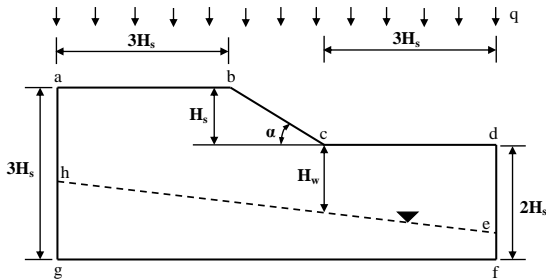
Nhiều phương trình bán thực nghiệm cũng được đề nghị để dự đoán sức chống cắt của đất không bão hòa dựa vào đường cong SWCC. Tuy nhiên, phương trình sau của Vanapalli và nnk (1996) thường được sử dụng:

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_n - u_a) \operatorname{tg} \phi' + (u_a - u_w) \left[\operatorname{tg} \phi' \left(\frac{\theta_w - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right) \right] \quad (3.11)$$

3.3 Tính toán ổn định mái dốc dưới ảnh hưởng của mưa

3.3.1 Các thông số nghiên cứu

Khi phân tích ổn định mái dốc, hệ số an toàn là biến phụ thuộc, các yếu tố cường độ mưa (q), hệ số thấm bão hòa (k_s), độ sâu mực nước ngầm ban đầu (H_w), góc dốc (α) và chiều cao mái dốc (H_s) là các biến độc lập. Các thông số phân tích ổn định mái dốc được biểu diễn trên mái dốc đất đồng nhất đặc trưng (Hình 3.7).



Hình 3.7 Sơ đồ cấu tạo mái dốc đất đồng nhất đặc trưng

3.3.2 Phân tích thấm

Phân tích thấm nhằm tính toán sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng trong mái dốc đất không bão hòa-bão hòa do mưa. Phương trình chủ đạo (3.8) chi phối dòng thấm trong đất đồng nhất, đẳng hướng được sử dụng để phân tích sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng. Phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để mô phỏng quá trình

thẩm không ổn định trong mái dốc bởi mô đun SEEP/W của bộ phần mềm GeoStudio 2007.

3.3.3 Phân tích ổn định

Hệ số an toàn mái dốc theo phương pháp cân bằng giới hạn có thể được tính từ phương trình cân bằng mô men (F_m) hay cân bằng lực (F_f) như sau (Fredlund và Rahardjo, 1993):

$$F_m = \frac{\sum \left[c' \beta R + \left\{ N - u_w \beta \frac{tg \phi^b}{tg \phi'} + u_a \beta \left(1 - \frac{tg \phi^b}{tg \phi'} \right) \right\} R tg \phi' \right]}{A_L a_L + \sum Wx - \sum Nf} \quad (3.16)$$

$$F_f = \frac{\sum \left[c' \beta \cos \alpha + \left\{ N - u_w \beta \frac{tg \phi^b}{tg \phi'} + u_a \beta \left(a - \frac{tg \phi^b}{tg \phi'} \right) \right\} tg \phi' \cos \alpha \right]}{A_L + \sum N \sin \alpha} \quad (3.17)$$

Sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng suốt thời gian mưa có được từ phân tích thấm được tích hợp vào mô đun SLOPE/W (GeoStudio 2007) để phân tích ổn định mái dốc theo phương pháp Morgenstern-Price. Hệ số an toàn nhỏ nhất để mái dốc vẫn còn ổn định được chọn là 1,3.

3.3.4 Kết quả phân tích

3.3.4.1 Ảnh hưởng của hệ số thấm

Hệ số thấm bão hòa có vai trò quan trọng đối với sự ổn định của mái dốc. Khi thời gian mưa kéo dài đến hơn 3 ngày, hệ số an toàn thay đổi nhiều nếu mái dốc cấu tạo bởi đất có hệ số thấm nhỏ ($k_{s1} = 2,09 \times 10^{-7}$ m/s; $k_{s2} = 1,55 \times 10^{-6}$ m/s) và ít thay đổi hơn khi mái dốc cấu tạo bởi đất có hệ số thấm lớn ($k_{s3} = 2,03 \times 10^{-5}$ m/s).

3.3.4.2 Ảnh hưởng của cường độ mưa

Hệ số an toàn thay đổi theo thời gian dưới các cường độ mưa khác nhau. Hệ số an toàn càng giảm khi cường độ mưa càng lớn. Cường độ mưa 10 mm/h thì sau thời gian hơn bảy ngày, mái dốc sẽ mất ổn định. Cường độ mưa lớn hơn 20 mm/h thì sau thời gian hơn năm ngày mái dốc sẽ mất ổn định.

3.3.4.3 Ảnh hưởng của cấu tạo hình học mái dốc

Tại những khoảng thời gian mưa và cường độ mưa, góc dốc càng lớn thì độ ổn định của mái dốc càng giảm. Hầu hết các trường hợp, mái dốc có góc dốc nhỏ hơn 45° đều không phá hủy. Các mái dốc có góc dốc lớn hơn 45° chịu tác dụng cường độ mưa 10 mm/h sẽ bị phá hủy: mưa liên tục 3 ngày, góc dốc lớn hơn 60° ; mưa liên tục 5 ngày, góc dốc lớn hơn 45° .

Hệ số an toàn càng giảm khi chiều cao mái dốc càng tăng và khoản thời gian mưa càng dài tương ứng với các cường độ mưa khác nhau. Tại mức cường độ mưa $I = 10$ mm/h, thời gian mưa $t = 5$ ngày, các mái dốc có chiều cao lớn hơn 10 m có thể bị phá hủy.

CHƯƠNG 4 ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP XÁC SUẤT THỐNG KÊ VÀ GIS THÀNH LẬP BẢN ĐỒ TAI BIẾN TRƯỢT LỞ

4.1 Cơ sở lý thuyết các phương pháp xác suất thống kê

4.1.1 Phương pháp tỷ số tần suất (*FR - Frequency Ratio*)

Phương pháp FR được sử dụng để tính chỉ số tai biến trượt lở (Landslide Hazard Index - *LHI*) của khu vực nghiên cứu:

$$LHI = \sum FR \quad (4.1)$$

Với *FR* là trọng số xảy ra trượt lở do mỗi yếu tố ảnh hưởng:

$$FR = \frac{PLO}{PIF} \quad (4.3)$$

4.1.2 Phương pháp chỉ số thống kê (*SI - Statistic Index*)

Phương pháp chỉ số thống kê lần đầu tiên được đề xuất bởi Van Westen (1997). Trọng số xảy ra trượt lở do mỗi yếu tố ảnh hưởng như sau:

$$W_i = \ln \frac{Densclas}{Densmap} \quad (4.4)$$

Chỉ số dự báo tai biến trượt lở (*LHI*) của khu vực nghiên cứu được tính như sau:

$$LHI = \sum W_i \quad (4.5)$$

4.1.3 Phương pháp trọng số chứng cứ (WoE - Weights of Evidence)

Phương pháp này dựa trên cơ sở phương pháp xác suất có điều kiện của Bayes. Xác suất xảy ra sự kiện D nếu yếu tố ảnh hưởng B đã xảy ra được tính theo công thức:

$$P\{D | B\} = \frac{P\{D \cap B\}}{P\{B\}} = P\{D\} \frac{P\{B | D\}}{P\{B\}} \quad (4.6)$$

Nếu có nhiều yếu tố ảnh hưởng và chúng độc lập với nhau, khi đó xác suất xảy ra sự kiện D khi các yếu tố ảnh hưởng B đã xảy ra được xác định theo công thức sau:

$$P\{D | (B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_n)\} = \frac{e^{(\logit\{D\} + \sum W^k)}}{1 + e^{(\logit\{D\} + \sum W^k)}} \quad (4.8)$$

4.1.4 Phương pháp hồi quy logistic (LR - Logistic Regression)

Theo phương pháp LR, quan hệ giữa xác suất xảy ra trượt lở và các yếu tố ảnh hưởng được thể hiện qua phương trình sau:

$$\logit(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = \alpha_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (4.14)$$

Các hệ số hồi quy (β_i) thể hiện mối tương quan giữa trượt lở với các yếu tố ảnh hưởng, nếu hệ số hồi quy dương cho thấy yếu tố ảnh hưởng có tác động thuận lợi đối với trượt lở.

4.2 Nguyên lý thành lập bản đồ tai biến trượt lở

Nguyên lý 1: quá khứ và hiện tại là chìa khóa của tương lai.

Nguyên lý 2: các yếu tố ảnh hưởng chính và các yếu tố kích hoạt gây trượt lở có thể được xác định và hầu hết đã lập thành các bản đồ.

Nguyên lý 3: mức độ tai biến trượt lở có thể xác định được dựa vào các yếu tố ảnh hưởng gây trượt lở, và có thể giải thích bằng việc thành lập các bản đồ dự báo theo các phương pháp khác nhau.

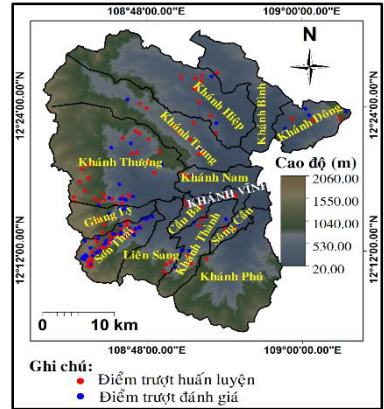
4.3 Hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong nghiên cứu trượt lở

Dữ liệu trong GIS chủ yếu được chia làm ba dạng: dạng lưới giá trị (raster), dạng đối tượng (vector) và dạng điểm rời rạc. Các dạng dữ liệu này phải được chuyển đổi thành mạng lưới các giá trị, quá trình này được gọi là lưới hóa để phục vụ tính toán.

4.4 Xây dựng cơ sở dữ liệu

Bản đồ phân bố điểm trượt lở là tập hợp các điểm trượt lở xảy ra trong một vùng xác định thể hiện mối liên quan không gian giữa điểm trượt lở với các yếu tố ảnh hưởng và cung cấp thông tin về tần suất trượt lở.

Trong vùng nghiên cứu có 231 điểm trượt lở được ghi nhận và được chia ngẫu nhiên thành 2 nhóm dữ liệu (Hình 4.3): nhóm dữ liệu điểm trượt huấn luyện chiếm 70% (161 điểm trượt lở); nhóm dữ liệu điểm trượt kiểm tra chiếm 30% (70 điểm trượt lở). Nhóm dữ liệu huấn luyện dùng để tính toán; nhóm dữ liệu kiểm tra dùng để đánh giá độ chính xác các phương pháp.



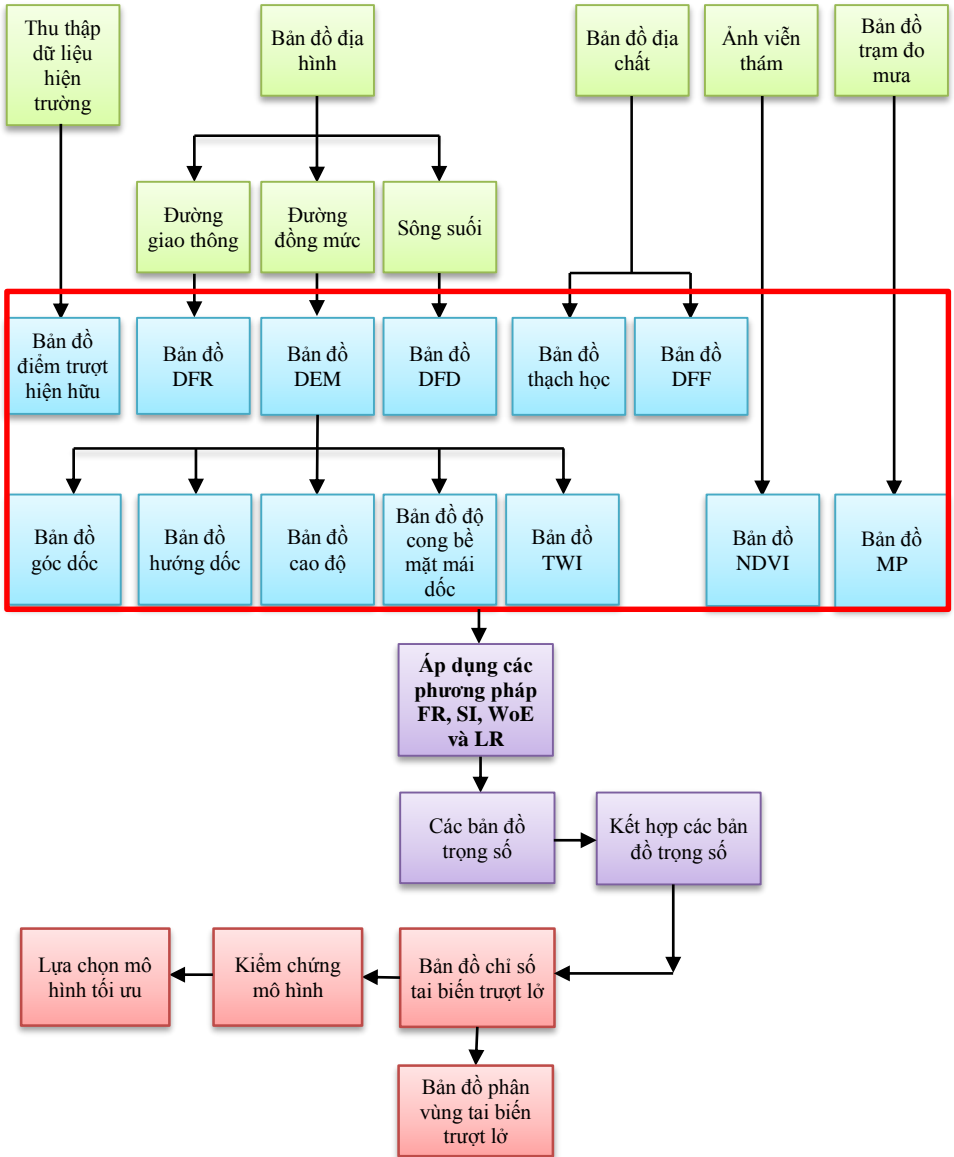
Hình 4.3 Bản đồ phân bố điểm trượt lở

Nghiên cứu này lựa chọn 11 yếu tố ảnh hưởng đến trượt lở để đưa vào phân tích trong các mô hình gồm: góc dốc, hướng dốc, cao độ, chỉ số ẩm ướt địa hình, độ uốn cong bề mặt mái dốc, thạch học, khoảng cách đến đường giao thông, khoảng cách đến sông suối, khoảng cách đến đứt gãy, chỉ số thực vật và lượng mưa lớn nhất năm.

Các bản đồ chuyên đề được sử dụng để thành lập 11 bản đồ yếu tố ảnh hưởng gồm: bản đồ địa hình, bản đồ địa chất, bản đồ mạng lưới giao thông, bản đồ mạng lưới sông suối, bản đồ mạng lưới đứt gãy, ảnh viễn thám Landsat 7+ETM và bản đồ phân bố các trạm đo mưa.

4.5 Quy trình thành lập bản đồ tai biến trượt lở

Bản đồ tai biến trượt lở đất được thành lập từ 11 yếu tố ảnh hưởng theo các phương pháp xác suất thống kê dựa trên quy trình sau (Hình 4.19):



Hình 4.19 Quy trình xây dựng bản đồ tai biến trượt lở

4.6 Ứng dụng phương pháp xác suất thống kê thành lập bản đồ tai biến trượt lở

4.6.1 Trình tự tính toán trọng số theo các phương pháp

Trình tự tính toán trọng số để thành lập các bản đồ chỉ số tai biến trượt lở theo các phương pháp khác nhau thì tương đối khác nhau.

4.6.2 Kết quả tính toán

Trượt lở đất xảy ra tăng dần từ cao độ lớn hơn 300 m và xảy ra nhiều nhất là ở khoảng cao độ từ 1500~1800 m. Đối với những góc dốc lớn hơn 25^o, trượt lở đất tăng dần theo sự tăng của góc dốc và xảy ra nhiều nhất khi góc dốc lớn hơn 45^o. Trượt lở xảy ra nhiều nhất là theo hướng Đông - Nam.

Thành phần thạch học có ảnh hưởng nhiều đến trượt lở, phần lớn trượt lở xảy ra trong vỏ phong hóa dày của các nhóm sét kết, bột kết, cát kết, sạn kết, cuội kết và nhóm andesit, dacsit, andesittodacit.

Lượng mưa lớn nhất năm là yếu tố rất quan trọng đối với kích thích trượt lở xảy ra. Kết quả tính toán cho thấy ứng với lượng mưa từ 525~750 mm thì nguy cơ xảy ra trượt lở là rất cao, và khả năng xảy ra trượt lở cao nhất là ứng với lượng mưa từ 650~750 mm.

Phần lớn trượt lở xảy ra trong phạm vi từ 0~300 m khoảng cách đến sông suối và đường giao thông. Trượt lở xảy ra mạnh nhất trong phạm vi 0~100 m.

Khoảng cách đến đứt gãy có xảy ra trượt lở tập trung trong những phạm vi từ 100~300 m, 400~600 m và 800~900 m. Trượt lở xảy ra nhiều nhất trong phạm vi khoảng cách đến đứt gãy từ 400~500 m.

4.6.3 Bản đồ trọng số các yếu tố ảnh hưởng

Bản đồ trọng số các yếu tố ảnh hưởng được thành lập dựa trên cơ sở bản đồ phân nhóm của yếu tố ảnh hưởng được gán với trọng số phân nhóm tương ứng. Bản đồ trọng số các yếu tố ảnh hưởng được thành lập cho 3 phương pháp FR, SI và WoE.

4.6.4 Kiểm tra tính độc lập giữa các yếu tố ảnh hưởng

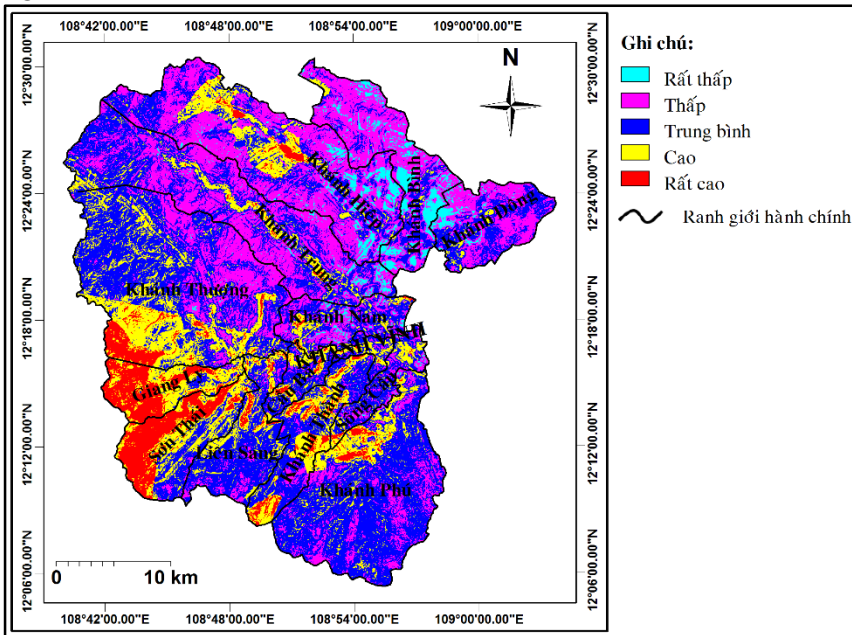
Kiểm tra tính độc lập giữa các yếu tố ảnh hưởng chỉ áp dụng đối với 2 phương pháp WoE và LR. Việc kiểm tra này nhằm đảm bảo không có hiện tượng đa cộng tuyến giữa các yếu tố ảnh hưởng trong phương pháp.

Kết quả kiểm tra không có hiện tượng đa cộng tuyến xảy ra và các yếu tố ảnh hưởng là độc lập với nhau.

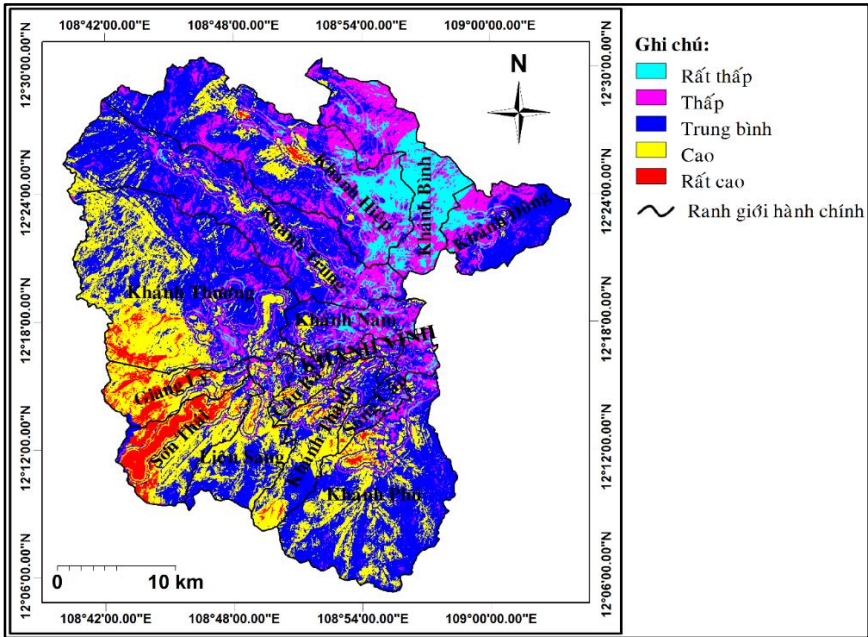
4.6.5 Bản đồ tai biến trượt lở

Bản đồ tai biến trượt lở được thành lập dựa vào sự kết hợp của 11 bản đồ trọng số của các yếu tố ảnh hưởng.

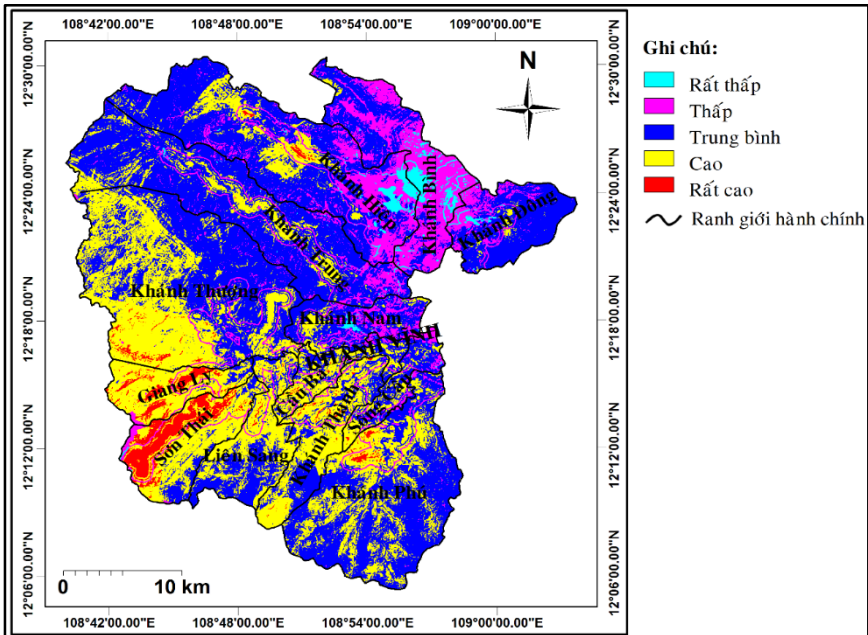
Đối với phương pháp FR và SI, sự kết hợp các bản đồ trọng số của các yếu tố ảnh hưởng tạo thành các bản đồ chỉ số tai biến trượt lở (Hình 4.27, 4.28); đối với phương pháp WoE và LR, sự kết hợp các bản đồ trọng số của các yếu tố ảnh hưởng tạo thành các bản đồ xác suất tai biến trượt lở (Hình 4.29, 4.30).



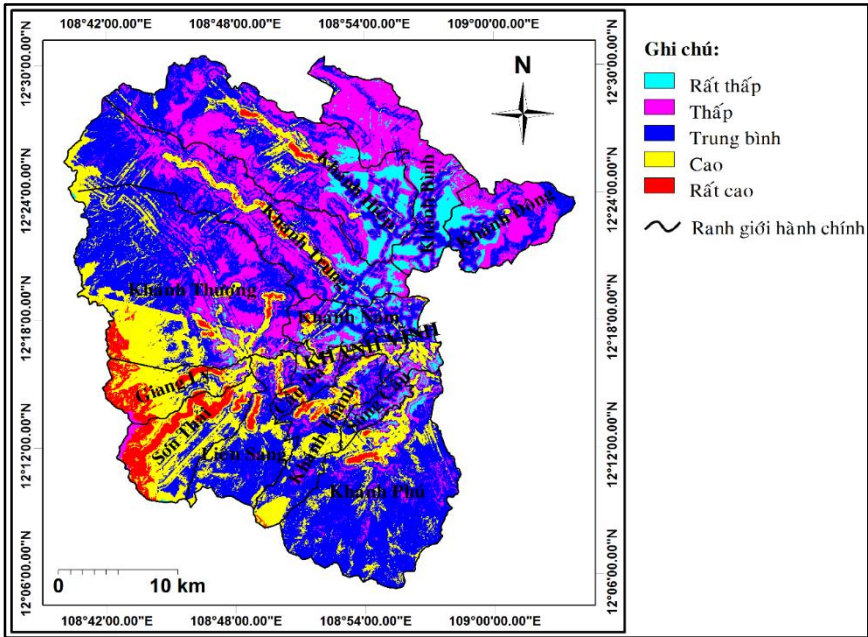
Hình 4.27 Bản đồ phân vùng tai biến trượt lở phương pháp FR



Hình 4.28 Bản đồ phân vùng tai biến trượt lở phương pháp SI



Hình 4.29 Bản đồ phân vùng tai biến trượt lở phương pháp WoE



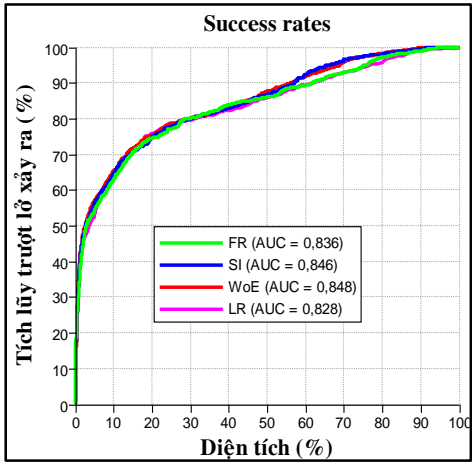
Hình 4.30 Bản đồ phân vùng tai biến trượt lở phương pháp LR

4.6.6 Kiểm chứng và so sánh các phương pháp

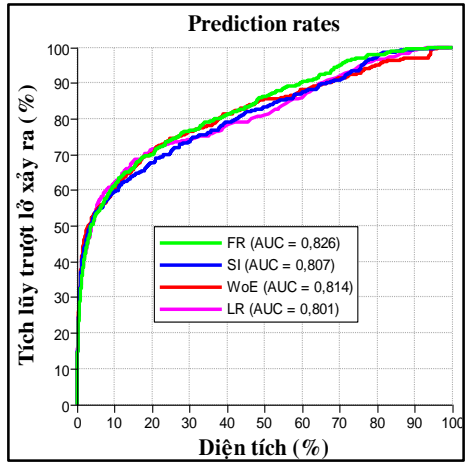
Một phương pháp sử dụng phổ biến hiện nay là dựa vào các đường cong tỷ lệ, có 2 loại: đường cong Success rate và đường cong Prediction rate. Đường cong Success rate dùng để đánh giá mức độ phù hợp của phương pháp so với dữ liệu quan sát, đường cong Prediction rate dùng để đánh giá mức độ chính xác dự báo của phương pháp.

Phương pháp tốt nhất là phương pháp có giá trị AUC gần bằng 1. Quan hệ giữa AUC và chất lượng phương pháp có thể phân chia như sau: AUC = 0,5~0,6: kém; AUC = 0,6~0,7: trung bình; AUC = 0,7~0,8: tốt; AUC = 0,8~0,9: rất tốt; AUC = 0,9~1,0: xuất sắc.

Các phương pháp đều có giá trị AUC gần như nhau và thuộc khoảng 0,8~0,9 nên đều có mức độ phù hợp và độ chính xác dự báo rất cao. Tuy nhiên, trong 4 phương pháp dự báo, thì phương pháp LR và SI có độ chính xác dự báo hơi thấp hơn (AUC = 0,801 và 0,807) so với phương pháp FR và WoE (AUC = 0,826 và 0,814).



Hình 4.43 Đường cong Success rate



Hình 4.44 Đường cong Prediction rate

4.6.7 Đánh giá các yếu tố ảnh hưởng và lựa chọn mô hình tối ưu

Có 8 yếu tố ảnh hưởng có liên quan đến trượt lở gồm: DEM, DFR, MP, SLOPE, LITHOLOGY, DFF, DFD và ASPECT. Trong đó, 4 yếu tố ảnh hưởng quan trọng nhất gồm: DEM, DFR, MP và SLOPE (xác suất xuất hiện 100%). Có 5 mô hình tối ưu (Bảng 4.13) có thể lựa chọn, nhưng mô hình tối ưu tốt nhất là mô hình 1, vì mô hình này có ít yếu tố ảnh hưởng nhất (4 yếu tố).

Kết quả tính toán cho thấy, các mô hình tối ưu có giá trị AUC xấp xỉ nhau và thuộc khoảng 0,8~0,9 nên đều có độ chính xác dự báo cao. Trong các mô hình tối ưu, phương pháp WoE là phương pháp cho kết quả dự báo tốt nhất vì có giá trị AUC cao nhất, tiếp đến là các phương pháp FR, SI và LR.

Bảng 4.13 Giá trị AUC của FR, SI, WoE và LR theo các mô hình tối ưu

Mô hình	Yếu tố ảnh hưởng	AUC			
		FR	SI	WoE	LR
1	DEM, DFR, MP và SLOPE	0,827	0,818	0,831	0,810
2	DEM, DFR, MP, SLOPE và LITHOLOGY	0,826	0,813	0,827	0,812
3	DEM, DFR, MP, SLOPE, LITHOLOGY và DFF	0,824	0,818	0,828	0,811
4	DEM, DFR, MP, SLOPE và DFF	0,821	0,822	0,831	0,810
5	DEM, DFR, MP, SLOPE và DFD	0,819	0,808	0,817	0,807

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

• Kết luận

Trong nghiên cứu này, hầu hết các trường hợp mái dốc giảm độ ổn định là do giảm độ hút dính.

Cấu tạo hình học của mái dốc có ảnh hưởng nhất định đối với tính ổn định của mái dốc vì chiều cao và góc dốc chỉ quyết định hệ số an toàn ban đầu của mái dốc. Do đó, trên thực tế đa số các trường hợp mái dốc bị phá hủy chủ yếu là do cường độ mưa và tính thấm của đất và quyết định.

Mái dốc đất có hệ số thấm bão hòa rất nhỏ ($k_s < k_{s,l} = 2,09 \times 10^{-7}$ m/s) hoặc rất lớn ($k_s > k_{s,3} = 2,03 \times 10^{-5}$ m/s), tính ổn định của mái dốc hầu như rất ít bị ảnh hưởng do mưa vì nước mưa phần lớn thoát ở bề mặt mái dốc hoặc thoát nhanh chóng xuống phía dưới, áp lực nước lỗ rỗng tăng không đáng kể. Những mái dốc đất có hệ số thấm bão hòa thay đổi từ $k_{s,l}$ đến $k_{s,3}$ bị ảnh hưởng nhiều vì áp lực nước lỗ rỗng tăng đáng kể và hệ số an toàn giảm mạnh.

Ngưỡng cường độ mưa xảy ra trượt lở đất phụ thuộc vào hệ số thấm bão hòa của đất, góc dốc, chiều cao mái dốc và thời gian mưa. Với tính chất đất vùng nghiên cứu, các mái dốc có chiều cao từ 10 m và góc dốc từ 45° trở lên trượt lở đất xảy ra khi ngưỡng cường độ mưa 10 mm/h, thời gian mưa liên tục từ 5 đến 7 ngày.

Trượt lở chủ yếu xảy ra ở cao độ từ 1500~1800 m; góc dốc từ lớn hơn 45° ; hướng dốc Đông - Nam; trong vỏ phong hóa dày của các nhóm sét kết, bột kết, cát kết, sạn kết, cuội kết và nhóm andesit, dacsit, andesittodacit; vùng phân bố lượng mưa lớn nhất năm từ 650~750 mm; trong phạm vi khoảng cách đến sông suối, đường giao thông từ 0~100 m và khoảng cách đến đứt gãy từ 400~500 m.

Các phương pháp FR, SI, WoE và LR có độ phù hợp và độ chính xác cao. Phương pháp FR và SI đơn giản trong tính toán nhưng xem xét vai trò các yếu tố ảnh hưởng là như nhau. Phương pháp WoE và LR cho thấy mức độ liên quan đến trượt lở của các yếu tố ảnh hưởng. Tuy nhiên, phương pháp WoE và LR có quy trình tính toán phức tạp.

Có 8 yếu tố ảnh hưởng liên quan đến trượt lở (DEM, DFR, MP, SLOPE, LITHOLOGY, DFF, DFD, ASPECT), 4 yếu tố ảnh hưởng quan trọng nhất (DEM, DFR, MP và SLOPE) và 5 mô hình tối ưu tổ hợp các yếu tố ảnh hưởng (Mô hình 1: DEM, DFR, MP và SLOPE; mô hình 2: DEM, DFR, MP, SLOPE, LITHOLOGY; mô hình 3: DEM, DFR, MP, SLOPE, LITHOLOGY, DFF; mô hình 4: DEM, DFR, MP, SLOPE, DFF; mô hình 5: DEM, DFR, MP, SLOPE, DFD).

Các mô hình tối ưu lần lượt áp dụng cho các phương pháp dự báo tai biến trượt lở FR, SI, WoE và LR có độ chính xác cao ($AUC = 0,8\sim 0,9$). Tuy nhiên, mô hình 1 là mô hình tối ưu tốt nhất vì sử dụng ít yếu tố ảnh hưởng nhất và phương pháp dự báo WoE là phương pháp dự báo tốt nhất vì có độ chính xác cao nhất.

Kiến nghị

Hầu hết các sườn dốc, mái dốc đất đều ở trạng thái không bão hòa nên cần áp dụng lý thuyết cơ học đất không bão hòa để phân tích, mô phỏng và kiểm toán ổn định sẽ cho kết quả phù hợp với thực tế hơn so với cơ học đất bão hòa.

Sự ổn định của sườn dốc, mái dốc biến đổi theo không gian và thời gian dưới sự thay đổi của các yếu tố ảnh hưởng, đặc biệt là độ dốc, cường độ mưa và tính thấm của đất. Do đó, để xem xét đầy đủ các ảnh hưởng của địa hình, lượng mưa và tính chất đất đối với trượt lở cần áp dụng chỉ số ẩm ướt địa hình (*TWI*) theo Montgomery và Dietrich (1994), Borga và nnk (1998), Pack và Tarboton (1998).

Hiện nay, chưa có nghiên cứu nào đưa ra chỉ dẫn chung về việc lựa chọn các yếu tố ảnh hưởng quan trọng nhất cũng như các tổ hợp yếu tố ảnh hưởng tối ưu áp dụng cho các phương pháp dự báo tai biến trượt lở. Do đó, thuật toán BMA cần được áp dụng để lựa chọn yếu tố ảnh hưởng quan trọng nhất và các tổ hợp yếu tố ảnh hưởng tối ưu khi thành lập bản đồ tai biến trượt lở đất.

Bản đồ phân vùng tai biến trượt lở được thành lập theo các phương pháp xác suất thống kê cho vùng nghiên cứu khá rộng lớn. Do đó, theo thời gian để nâng cao độ chính xác của các phương pháp cần phải cập nhật thêm số điểm trượt lở.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. N.T. Danh, D.V. Ngo, T.Q. Dung, *Applying probabilistic method base on Monte Carlo simulation to assess the instability of slopes due to rainfall on route Nha Trang - Da Lat (Within Khanh Vinh district, Khanh Hoa province)*, Proceedings of the 4th International Conference on Geological and Geotechnical Engineering in Response to Climate Change and Sustainable Development of Infrastructure, Vietgeo 2018, Dong Hoi, Quang Binh, Viet Nam, ISBN 978 604 913 418 0, pp 412-420.
2. Nguyễn Thanh Danh, Đậu Văn Ngo, Tạ Quốc Dũng, Phạm Ngọc Tân, *Ứng dụng phương pháp trọng số chứng cứ và GIS xây dựng bản đồ tai biến trượt lở đất huyện Khánh Vĩnh, tỉnh Khánh Hòa*, Tạp chí Xây dựng, Tháng 9, 2018, ISSN 0866-8762, Trang 188-194.
3. Nguyễn Thanh Danh, Đậu Văn Ngo, Tạ Quốc Dũng, *Ứng dụng phương pháp hồi quy logistic xác định tổ hợp tối ưu các yếu tố ảnh hưởng và xây dựng bản đồ tai biến trượt lở đất huyện Khánh Vĩnh, tỉnh Khánh Hòa*, Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, tập 20-K4/2017, ISSN 1859-0128, Trang 77-84.
4. N.T. Danh, D.V. Ngo, T.Q. Dung, *Landslide hazard mapping using frequency ratio, statistical index, weights of evidence and their comparison: a case study in Khanh Vinh district, Khanh Hoa province*, Proceedings of International Conference on Geological and geotechnical engineering in response to climate change and sustainable development of infrastructure, 2016, Ha Long, Quang Ninh, Viet Nam, ISBN 978 604 62 6726 3, pp 191-200.
5. N.T. Danh, D.V. Ngo, T.Q. Dung, *Effects of rainfall on stability of soil slopes in Khanh Vinh district, Khanh Hoa province*, Proceedings of International Conference on Engineering geology in respond to climate change and sustainable development of infrastructure, 2015, Ha Noi, Viet Nam, ISBN 978 604 913 418 0, pp 219-228.
6. Nguyễn Thanh Danh, Đậu Văn Ngo, *Lập cơ sở dữ liệu phục vụ nghiên cứu trượt lở đất do ảnh hưởng của mưa trên địa bàn huyện Khánh Vĩnh, tỉnh Khánh Hòa*. Đề tài NCKH Cấp trường/ TNCS-ĐCĐK-2015-22.
7. N.T. Danh, D.V. Ngo, T.Q. Dung, *Applying probabilistic method base on Monte Carlo simulation to analyze slope stability on route Nha Trang - Da Lat (within Khanh Vinh - Khanh Hoa)*, Science & Technology development journal, Vol. 17, K5/2014, ISSN 1859-0128, pp 76-85.