



**KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC VIETGEO 2023**  
THỪA THIÊN HUẾ, NGÀY 28 & 29 THÁNG 9 NĂM 2023

# **ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ MÔI TRƯỜNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**



**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT**

- GIẢI PHÁP TỐI ƯU XỬ LÝ NỀN ĐƯỜNG ĐẤT YẾU ĐOẠN KM 6+500 ĐẾN KM 8+00 ĐƯỜNG  
NỘI VỎ CHỈ CÔNG ĐI KHU CÔNG NGHIỆP ĐÔNG QUÊ SƠN VÀ QUỐC LỘ H  
*Nguyễn Thanh Hải, Nguyễn Thị Ngọc Yến, Trần Khắc Vĩ.....*224
- HIỆN TRẠNG, THÁCH THỨC VÀ ĐỀ XUẤT KHUNG ĐÁNH GIÁ AN NINH NGUỒN NƯỚC LƯU  
VỰC SÔNG THAO  
*Nguyễn Tiến Vinh, Phạm Quý Nhân .....*233
- VẤN ĐỀ XÁC ĐỊNH SỨC CHỐNG CẮT CỦA ĐẤT LOẠI SÉT LẤN DẦM SẠM TRONG THIẾT KẾ  
NỀN ĐƯỜNG ĐÀO  
*Cao Trọng Công, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Châu Lâm .....*240
- MỘT SỐ YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG TỚI SỰ LÀM VIỆC CỦA TRỤ VẬT LIỆU HẠT RỜI TRONG CẢI  
TẠO NỀN ĐẤT YẾU  
*Nguyễn Hải Hà, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Thái Linh, Đặng Hồng Lam, Vũ Bách Tuấn .....*249
- CẤU TRÚC ĐỊA CHẤT THỦY VĂN TẠI VÙNG CỬA SÔNG HẬU,  
KHU VỰC TÂY NAM BỘ, VIỆT NAM  
*Trần Vũ Long, Nguyễn Hữu Mạnh, Hoàng Đại Phúc, Vũ Thu Hiền.....*257

## **Chủ đề II. KỸ THUẬT XÂY DỰNG VÀ VẬT LIỆU MỚI**

- PHƯƠNG PHÁP THI CÔNG ĐƯỜNG HÀM TÀU ĐIỆN NGẦM TRONG ĐÔ THỊ BẰNG MÁY ĐÀO  
HẦM CƠ GIỚI  
*Đỗ Ngọc Thái.....*266
- PHÂN TÍCH ỨNG SUẤT BIẾN DẠNG CỦA ĐẤT ĐÁ XUNG QUANH HAI ĐƯỜNG HÀM KHI CÓ  
SỰ THAY ĐỔI ĐIỀU KIỆN BỀ MẶT ĐẤT  
*Trần Tuấn Minh, Đặng Trung Thành, Nguyễn Duyên Phong, Đỗ Quang Tuấn.....*277
- NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA PUZOLAN TỰ NHIÊN ĐẾN CHẤT LƯỢNG HỖN HỢP ĐẤT  
GIA CỐ DỪNG TRONG CÔNG TRÌNH GIAO THÔNG  
*Bùi Trường Sơn, Vũ Bá Thao, Nguyễn Huy Vượng, Phạm Minh Tân.....*286
- TỔNG QUAN VỀ SỬ DỤNG CỌC BÊ TÔNG CỐT THÉP ĐƯỜNG KÍNH NHỎ ĐỂ GIA CƯỜNG  
NỀN MÓNG CÔNG TRÌNH LỊCH SỬ - VĂN HÓA  
*Nguyễn Văn Mạnh, Bùi Văn Đức .....*294
- NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA THAM SỐ HÌNH HỌC ĐẾN BIỂU HIỆN CỦA KẾT CẤU  
CHỐNG ĐƯỜNG HÀM HÌNH MÓNG NGỰA  
*Nguyễn Tài Tiến, Đỗ Ngọc Anh .....*305
- NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG LÝ THUYẾT DÂY MỀM TRONG TÍNH TOÁN KẾT CẤU LƯỚI THÉP  
SỬ DỤNG TRONG KHAI THÁC HÀM LÒ TẠI CÁC MỎ THAN QUẢNG NINH  
*Nguyễn Phi Hùng, Vũ Minh Ngạn.....*315
- NGHIÊN CỨU CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG TỚI HỆ SỐ THỪA TIẾT DIỆN KHI THI CÔNG CÁC  
ĐƯỜNG LÒ BẰNG PHƯƠNG PHÁP KHOAN NỔ MÍN TRONG CÁC MỎ THAN HÀM LÒ VÙNG  
QUẢNG NINH  
*Đặng Văn Kiên, Đỗ Ngọc Anh, Trương Văn Hà.....*322
- NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN BƯỚC CHỐNG VÌ THÉP CHO ĐƯỜNG LÒ MỨC -50 ÷ -00 NẪM  
DƯỚI BÃI THẢI ĐIỀU KIỆN MỎ THAN MÔNG DƯƠNG  
*Nguyễn Hữu Sà, Đào Viết Đoàn, Đặng Văn Kiên.....*332
- NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ CỦA KẾT CẤU CHỐNG GIỮ KHO CHỨA KHÍ NGẦM LPG CỦA HSVC  
TẠI CÁI MẾP, VÙNG TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP SỐ  
*Vũ Tiến Dũng, Đặng Văn Kiên, Joséphine DONNARD .....*341

- NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG SỐ ĐÁNH GIÁ ỨNG XỬ CƠ HỌC CỦA KHỐI ĐÁP TĂNG CƯỜNG LƯỚI ĐỊA KỸ THUẬT TRÊN NỀN ĐẤT YẾU GIA CỐ BẰNG CỌC: MỘT ỨNG DỤNG CHO NỀN ĐƯỜNG ĐẦU CẦU  
*Phạm Văn Hùng* .....350
- NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG THAM SỐ KẾT CẤU CHỐNG ĐẾN ỨNG XỬ CƠ HỌC CỦA ĐƯỜNG LÒ PHÍA DƯỚI BÃI THẢI BỀ MẶT MỎ VÙNG THAN QUẢNG NINH  
*Nguyễn Hữu Sà, Đặng Văn Kiên, Đào Việt Đoàn, Ngô Đức Quyền*.....358
- NGHIÊN CỨU SẢN XUẤT GẠCH KHÔNG NUNG SỬ DỤNG CÁC CHẤT THẢI TRO BAY VÀ TRO XỈ CỦA NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN  
*Nguyễn Ngọc Huy, Nguyễn Hữu Sơn, Huỳnh Kỳ Phương Hạ*.....369
- NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG CÁT NHÂN TẠO VÀ HỖN HỢP PHỤ GIA KHOÁNG ZEOLITE - XỈ LÒ CAO CHẾ TẠO BÊ TÔNG TỰ ĐẦM CƯỜNG ĐỘ CAO  
*Thái Quang Minh, Lê Văn Trí, Nguyễn Hải Đăng, Nguyễn Thị Tuyết Mai*.....378
- NGHIÊN CỨU SỰ THAY ĐỔI VẬN TỐC SÓNG TRONG BÊ TÔNG HẠT MỊN BẰNG PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM XUNG SIÊU ÂM (UPV)  
*Phạm Thị Nhàn, Khổng Trung Đức*.....389
- PREDICTION OF COMPRESSIVE STRENGTH SFRC BASED ON THE ANN MODEL  
*Nguyen Duyen Phong, Dang Van Kien*.....394
- STUDY, ANALYSIS RESULTS FROM BORED PILES TESTS AND EXPERIENCE HOW TO COVERT THE STRAIN TO LOAD AS WELL AS TO VALIDATE DESIGN PREDICTION  
*Phan Thanh Tien, Nguyen Tan Son*.....404
- BƯỚC ĐẦU NGHIÊN CỨU ĐẶC TÍNH CƠ HỌC CỦA BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP  
*Bùi Văn Bình, Nguyễn Khánh Ly, Phạm Thị Ngọc Hà,* .....412
- ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG SỬ DỤNG TRO ĐÁY TỪ NHÀ MÁY ĐÓT RÁC XUÂN SƠN LÀM VẬT LIỆU ĐÁP NỀN ĐƯỜNG Ô TÔ  
*Nguyễn Anh Tuấn, Nguyễn Châu Lâm, Phí Hồng Thịnh* .....418
- NGHIÊN CỨU ĐỘ HÚT NƯỚC CỦA VỮA KHI SỬ DỤNG XỈ ĐÁY LÒ NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN  
*Nguyễn Văn Hùng*.....425
- TRƯỜNG ÁP LỰC NƯỚC LỖ RỖNG VÀ ỨNG SUẤT XUNG QUANH HẦM ĐẶT SÂU TRONG MÔI TRƯỜNG ĐÁ BẤT ĐẲNG HƯỚNG BẢO HÒA CÓ ĐỘ THẨM NHỎ  
*Trần Nam Hưng, Trần Nguyễn Dương, Phạm Đức Thọ, Vũ Anh Tuấn* .....435

### **Chủ đề III. TAI BIẾN ĐỊA CHẤT VÀ CÔNG NGHỆ QUAN TRẮC - CẢNH BÁO SỚM**

- SỰ CỐ HƯ HẠI KẾT CẤU CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG TRÊN TALUY ÂM: MỘT TRƯỜNG HỢP NGHIÊN CỨU TẠI THỊ TRẤN MƯỜNG CHÀ, TỈNH ĐIỆN BIÊN  
*Bùi Văn Đức, Nguyễn Văn Mạnh, Nguyễn Quang Tuấn, Phan Việt Sơn*.....444
- PHỦ XANH MÁI ĐỐC - BIỆN PHÁP PHÒNG CHỐNG XÓI MÒN MANG TÍNH BỀN VỮNG  
*Nguyễn Văn Thành, Doãn Thị Trâm, Lê Văn Nam, Nguyễn Trí Thắng* .....453
- A REVIEW OF EARLY WARNING FOR DEBRIS FLOW IN JAPAN AND RECOMMENDATIONS FOR VIETNAM  
*Nguyen Trung Kien, Nguyen Thanh Duong, Nguyen Quoc Thanh, Pham Thi Ngoc Ha, Vy Thi Hong Lien, Phan Tu Huong, Nguyen Tan Son*.....461
- PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THAM SỐ HÌNH HỌC VÀ ĐỊA KỸ THUẬT ĐẾN HIỆN TƯỢNG LÚN MẶT ĐẤT KHI THI CÔNG ĐƯỜNG HẦM BẰNG KHIÊN ĐÀO (TBM)  
*Nguyễn Văn Hiến*.....470

- PREDICTION OF COLLAPSES WHEN TUNNELING THROUGH FAULTS  
*Quang Phich Nguyen, Quang Minh Nguyen, Trong Tam Nguyen, Dong Xuan Tu* .....479
- VAI TRÒ CÁC NHÂN TỐ NHÂN SINH ĐỐI VỚI CÁC TAI BIẾN ĐỊA CHẤT Ở ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG  
*Đào Hồng Hải, Nguyễn Việt Kỳ, Bùi Trọng Vinh, Nguyễn Hữu Sơn, Trần Lê Thế Diễn*.....486
- DEFINING OPTIMAL DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM) RESOLUTION FOR LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT IN LAOCAI CITY, LAOCAI PROVINCE  
*Binh Van Duong, Igor Konstantinovich Fomenko, Kien Trung Nguyen, Ha Ngoc Thi Pham, Dang Hong Vu, Olga Nikolaevna Sirotkina*.....496
- HIỆN TRẠNG VÀ XU THẾ PHÁT TRIỂN HIỆN TƯỢNG NÚT, TRƯỢT LỞ ĐẤT ĐÁ KHU VỰC PHÚ GIA, HUYỆN PHÚ LỘC, TỈNH THỪA THIÊN HUẾ  
*Trần Hữu Tuyên, Nguyễn Thị Thủy, Hoàng Ngô Tự Do, Hoàng Hoa Thám* .....504
- ẢNH HƯỞNG CỦA CƯỜNG ĐỘ MƯA ĐẾN SỰ ỔN ĐỊNH CỦA MÁI DỐC - LẤY VÍ DỤ Ở QUẢNG BÌNH, VIỆT NAM  
*Bùi Văn Bình, Bùi Trường Sơn, Nguyễn Thị Nụ, Nguyễn Thành Dương, Phạm Thị Việt Nga*.....514
- NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP NÂNG CAO KHẢ NĂNG KHÁNG HÓA LÔNG CỦA NỀN ĐẤT  
*Đặng Quang Huy, Bùi Anh Thắng, Ngô Thị Hương Trang, Nguyễn Trọng Dũng, Ngô Xuân Nam*.....524
- NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP KHẮC PHỤC SỰ CỐ THÂM HẠ LƯU ĐẬP ĐẤT CÔNG TRÌNH HỒ CHỨA NƯỚC ĐẠN KIA, LẠC DƯƠNG, LÂM ĐỒNG  
*Nguyễn Thị Nụ, Bùi Trường Sơn, Lê Thanh Tùng*.....532
- NGUY CƠ LŨ Bùn ĐÁ KHU VỰC QUẢNG BÌNH  
*Bùi Văn Bình, Bùi Trường Sơn, Nguyễn Thị Nụ, Nguyễn Thành Dương, Nguyễn Văn Hùng*.....540
- ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG RUNG CHẤN DO NỔ Mìn ĐẾN HIỆN TƯỢNG SỤT ĐẤT KHU VỰC XÃ PHONG XUÂN, HUYỆN PHONG ĐIỀN, TỈNH THỪA THIÊN HUẾ  
*Trần Hữu Tuyên, Nguyễn Thị Thủy, Hoàng Ngô Tự Do, Hoàng Hoa Thám* .....549
- ĐÁNH GIÁ NGUY CƠ XUẤT HIỆN SÓNG THẦN DO KHÓI TRƯỢT TIỀM NĂNG TẠI KHU VỰC HỒ CHỨA NƯỚC VẠN HỘI, TỈNH BÌNH ĐỊNH  
*Phạm Văn Tiền, Lê Hồng Lượng, Trần Thanh Nhân, Trần Trung Hiếu, Đinh Thị Quỳnh, Nguyễn Khắc Hoàng Giang, Đào Minh Đức, Nguyễn Thành Dương, Đỗ Minh Ngọc, Phạm Huy Dũng*.....556
- NGHIÊN CỨU ĐẶC ĐIỂM MỘT SỐ KHÓI TRƯỢT QUY MÔ LỚN Ở TỈNH BÌNH ĐỊNH  
*Đinh Thị Quỳnh, Đỗ Minh Đức, Đào Minh Đức, Phạm Văn Tiền, Nguyễn Hữu Hà, Nguyễn Kim Long*.....565
- MỘT VÀI ĐẶC ĐIỂM TRƯỢT NÔNG BỜ DỐC NỀN ĐƯỜNG ĐÀO TRÊN ĐƯỜNG Ô TÔ VÙNG NÚI BẮC BỘ  
*Nguyễn Việt Tiệp, Nguyễn Đức Mạnh, Mai Sỹ Hùng* .....574

#### **Chủ đề IV. TÀI NGUYÊN - MÔI TRƯỜNG VÀ CHUYỂN ĐỔI SỐ**

- TÍNH TOÁN LƯỢNG MƯA THIẾT KẾ ỨNG VỚI CÁC KỊCH BẢN BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU PHỤC VỤ ĐÁNH GIÁ, DỰ BÁO TIÊU THOÁT LŨ CHO KHU VỰC RẠCH BÀU HẠ, TP. TUY HÒA, TỈNH PHÚ YÊN  
*Vũ Thu Hiền, Dương Thị Thanh Thủy, Kiều Thị Vân Anh, Trần Vũ Long, Đào Đức Bằng*.....584



## ẢNH HƯỞNG CỦA CƯỜNG ĐỘ MƯA ĐẾN SỰ ỔN ĐỊNH CỦA MÁI ĐỐC - LẤY VÍ DỤ Ở QUẢNG BÌNH, VIỆT NAM

Bùi Văn Bình\*, Bùi Trường Sơn, Nguyễn Thị Nụ,  
Nguyễn Thành Dương, Phạm Thị Việt Nga

Nhóm nghiên cứu Địa chất công trình và Địa môi trường

Trường Đại học Mở - Địa chất

\*Tác giả liên hệ: buivanbinh@humg.edu.vn

### Tóm tắt

Bài báo trình bày ảnh hưởng của cường độ mưa đến sự ổn định của mái dốc trên khu vực miền núi tỉnh Quảng Bình, Việt Nam. Nghiên cứu sử dụng mô hình thấm (SEEP) để phân tích sự thay đổi của mực nước áp lực cũng như mức độ bão hòa của lớp vỏ phong hóa do tác dụng của cường độ mưa và thời gian mưa. Cùng với đó, mô hình phân tích ổn định mái dốc (SLOPE) tương ứng với thời gian mưa và cường độ mưa được thực hiện với các mái dốc có góc dốc lần lượt là 25 độ và 35 độ. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng với cường độ mưa trung bình khoảng 13 mm/h và thời gian mưa kéo dài trong khoảng từ 3,5 đến 4 ngày liên tục, mái dốc với góc dốc 25 và 35 độ sẽ bị mất ổn định. Hệ số ổn định của mái dốc có sự suy giảm đột ngột tương ứng với thời điểm mái dốc bị bão hòa nước hoàn toàn. Với kịch bản mưa phùn trong vòng 15 ngày và kèm theo mưa lớn cường độ 10 mm/h kéo dài trong 3 ngày liên tục sau đó, mái dốc trở nên mất ổn định sau khoảng 2 ngày mưa lớn.

**Từ khóa:** phân tích thấm; phân tích ổn định; cường độ mưa.

### 1. Giới thiệu chung

Trượt lở là một trong những tai biến địa chất xảy ra ở nhiều nơi ở Việt Nam và trên Thế Giới. Một trong những nguyên nhân chính gây ra trượt lở đã được chỉ ra liên quan đến lượng mưa và cường độ mưa (Rahardjo.H,2000); Thu, T. M,2015); Acharya, K. P,2016)). Trong những năm gần đây, hiện tượng trượt lở trong mùa mưa lũ diễn ra thường xuyên gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến nhà cửa của nhân dân, các tuyến đường giao thông, các công trình quốc phòng. Đặc biệt ở khu vực tỉnh Quảng Bình, vào tháng 10 năm 2020 sau đợt mưa lũ kỷ lục với lượng mưa trung bình khoảng 2029 mm, hiện tượng trượt lở trên các sườn dốc, mái dốc đã diễn ra mạnh mẽ với trên 100 khối trượt quy mô từ vừa đến lớn xảy ra trên toàn tỉnh. Dựa vào kết quả điều tra trượt lở trên địa bàn tỉnh Quảng Bình cho thấy đặc điểm của các khối trượt có quy mô trung bình đến lớn thường xảy ra trong đới phong hóa của hệ tầng Long Đại với thành phần chủ yếu là đá phiến sét và đá phiến sericit. Chiều dày vỏ phong hóa ở các khối trượt lớn thường lớn hơn 10 m. Thành phần chủ yếu của vỏ phong hóa là sét, á sét lẫn dăm sạn. Để phục vụ nghiên cứu đặc điểm tính chất địa chất công trình của đất đá tại các vị trí trượt lở, nhóm nghiên cứu đã tiến hành khảo sát chiều dày vỏ phong hóa dựa trên các vết lộ là vách các taluy trên đường giao thông. Đồng thời nhóm nghiên cứu đã tiến hành lấy mẫu để phục vụ công tác xác định các tính chất cơ lý cũng như tính chất trương nở và tan rã của đất đá tại một số khối trượt lớn điển hình trong khu vực nghiên cứu. Nhằm làm sáng tỏ quy luật trượt xảy ra vào mùa mưa, nhóm nghiên cứu đã tiến hành mô phỏng mức độ ổn định của đất đá trên mái dốc với độ dốc được lựa chọn từ 25 và 35 độ. Lượng mưa và cường độ mưa được sử dụng trong mô hình dựa vào dữ liệu mưa đo được tại các trạm đo mưa trong tháng 10 năm 2020. Đây là một trong những tháng có lượng mưa cao đột biến kèm với đó tần suất và quy mô trượt lở rất lớn đã được ghi nhận.

### 2. Phương pháp nghiên cứu

#### 2.1. Phân tích mô hình dòng thấm trong đới hình thành mái dốc

Phân tích thấm được thực hiện để tính toán sự thay đổi của áp lực nước lỗ rỗng trên mái dốc do ảnh hưởng của lượng mưa và cường độ mưa. Phương trình vi phân dòng thấm trong môi

trường đẳng hướng được thành lập dựa theo định luật Darcy được sử dụng để xác định áp lực nước lỗ rỗng trong đới hình thành mái dốc. Các lớp đất vỏ phong hóa trên mái dốc thường không bão hòa hoàn toàn. Vào mùa khô, phần lớn đất đá trên các sườn dốc, mái dốc tồn tại ở trạng thái không bão hòa. Vào mùa mưa, tùy thuộc vào lượng mưa và cường độ mưa đất trên mái dốc, sườn dốc dần bão hòa nước, mực nước ngầm sẽ tăng dần dần theo mức độ bão hòa của đất đá. Vì vậy, trong mô hình phân tích dòng thấm trong đới hình thành mái dốc, mô hình cơ học đất không bão hòa được sử dụng.

Trong đất không bão hòa, hệ số thấm là một hàm của độ ẩm, lực hút dính. Ảnh hưởng của pha khí là rất lớn đến vận tốc thấm của nước trong đất. Sự tồn tại của bọt khí làm giảm tính thấm của đất dẫn đến bọt khí càng nhiều, lượng chứa nước càng ít thì tính thấm càng nhỏ và ngược lại.

Phương trình vi phân dòng thấm hai chiều trong môi trường đồng chất và đẳng hướng theo định luật Darcy như sau (Fredlund và Rahardjo, 1993):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_w \frac{\partial h_w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_w \frac{\partial h_w}{\partial y} \right) = m_w \rho_w \frac{\partial h_w}{\partial t} \quad (1)$$

Trong đó, x, y là phương x, y trong hệ trục tọa độ phẳng xoy;  $\rho_w$  là tỷ trọng của nước;  $m_w$  là hệ số thay đổi thể tích của nước đối với sự thay đổi lực hút dính ( $u_a - u_w$ ) hoặc độ dốc của đường cong đặc tính của đất và nước (SWCC) từ thí nghiệm trong phòng.

Thực tế, trạng thái không bão hòa và bão hòa của đất trên mái dốc là một quá trình lặp theo chu kỳ mùa mưa và mùa khô trong khu vực nghiên cứu. Sự thay đổi trạng thái từ không bão hòa sang bão hòa dưới tác dụng của dòng thấm do mưa sẽ làm thay đổi áp lực nước lỗ rỗng trong đất. Áp lực nước lỗ rỗng tính toán sẽ là một tham số quan trọng trong phân tích ổn định mái dốc. Quá trình chuyển từ trạng thái không bão hòa sang bão hòa dần dần của đất đá trên mái dốc do ảnh hưởng của mưa sẽ làm thay đổi áp lực nước lỗ rỗng trong đất và sẽ làm giảm hệ số ổn định của mái dốc. Trong nghiên cứu này, mô hình thấm SEEP/W đã được sử dụng để mô phỏng sự thay đổi mực nước ngầm và dòng thấm do cường độ mưa và thời gian mưa.

## 2.2. Phân tích ổn định

Việc phân tích ổn định mái dốc trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp phân tích cân bằng giới hạn. Do sự thay đổi trạng thái từ không bão hòa sang bão hòa của đất trên mái dốc do ảnh hưởng của mưa, việc kết hợp mô hình phân tích thấm do mưa và mô hình phân tích ảnh hưởng sẽ được thực hiện. Hệ số an toàn (FS) đối với phương pháp cân bằng mô men (FS<sub>m</sub>) và phương pháp cân bằng lực (FS<sub>f</sub>) có thể được tính toán theo đề xuất của Fredlund và Rahardjo (1993) như sau:

$$FS_m = \frac{\sum \left[ c' \beta R + \left\{ N - u_w \beta \frac{\tan \phi_b}{\tan \phi'} \right\} R \tan \phi' \right]}{\sum W_x - \sum N f} \quad (2)$$

$$FS_f = \frac{\sum \left[ c' \beta \cos \alpha + \left\{ N - u_w \beta \frac{\tan \phi_b}{\tan \phi'} \right\} \tan \phi' \cos \alpha \right]}{\sum N \sin \alpha} \quad (3)$$

Trong đó:  $c'$  là lực dính kết đơn vị hiệu quả; R là bán kính của cung trượt hay cánh tay đòn; N là lực pháp tuyến tổng hợp tại đáy của phân tố trượt; W là trọng lượng của phân tố trượt; x là khoảng cách ngang từ đường tâm khối trượt đến tâm cung trượt. f là khoảng cách đứng từ lực pháp tuyến tổng hợp đến tâm cung trượt;  $\alpha$  là góc dốc của mặt trượt tại mỗi phân tố trượt.  $\phi_b$  là góc ma sát trong của đất không bão hòa gây ra bởi lực hút dính. Giá trị  $\phi_b$  thể hiện sự gia tăng độ bền kháng cắt của đất với sự gia tăng của lực hút dính.  $\phi'$  là góc ma sát trong của đất ứng với giá trị ứng suất pháp hữu hiệu. Việc xác định giá trị  $\phi_b$  thường rất khó thực hiện trong phòng thí nghiệm. Với mục đích thực hành, giá trị  $\phi_b$  có thể được kiến nghị sử dụng bằng  $1/2\phi'$ .

Trong phân tích ổn định mái dốc thay đổi từ trạng thái không bão hòa sang bão hòa, độ bền kháng cắt của đất sẽ thay đổi theo mức độ bão hòa của đất. Fredlund và Rahardjo (1993) đã đề xuất công thức tính toán cường độ kháng cắt cho đất không bão hòa dựa theo mức độ bão hòa

của đất như sau:

$$\tau_f = c' + \sigma_n \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi_b \quad (4)$$

Trong đó,  $u_a$  là áp lực khí lỗ rỗng;  $u_w$  là áp lực nước lỗ rỗng;  $(u_a - u_w)$  được gọi là lực hút dính của đất;

Trong đất không bão hòa, lực hút dính có ảnh hưởng tới sự gia tăng độ bền kháng cắt của đất. Khi lực hút dính giảm sẽ làm giảm ứng suất hiệu quả do đó làm giảm độ bền kháng cắt của đất. Ngược lại, khi lực hút dính tăng sẽ làm tăng ứng suất hiệu quả và dẫn tới làm tăng độ bền kháng cắt của đất.

Nghiên cứu sử dụng mô hình phân tích ổn định mái dốc SLOPE/W để đánh giá ổn định của mái dốc với đất thay đổi trạng thái dần dần từ không bão hòa tới bão hòa dưới tác dụng của cường độ mưa và thời gian mưa. Trong SLOPE/W, khi phân tích với đất không bão hòa, độ bền chống cắt không bão hòa của đất được tính toán theo đề xuất của Vanapalli và nnk (1996). Độ bền kháng cắt không bão hòa được tính toán dựa vào đường đặc tính đất và nước (SWCC) và các tham số độ bền kháng cắt hiệu quả ( $c'$  và  $\phi'$ ). Đề xuất của Vanapalli và nnk (1996) giúp tính toán độ bền kháng cắt không bão hòa tốt hơn so với mô hình tính toán sức kháng cắt sử dụng giá trị  $\phi_b$ .

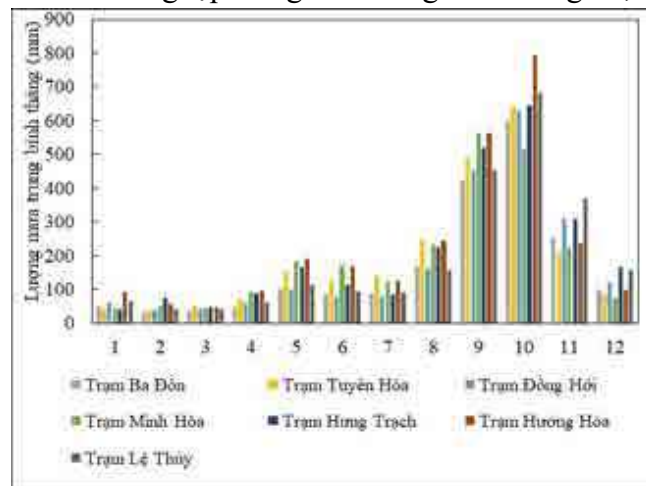
$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + \left[ (u_a - u_w) \frac{(\theta_w - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_r)} \tan \phi' \right] \quad (5)$$

Trong đó,  $\theta_w$  là độ ẩm thể tích của đất;  $\theta_s$  là độ ẩm thể tích của đất ở trạng thái bão hòa; và  $\theta_r$  là độ ẩm thể tích còn lại của đất. Hàm độ ẩm thể tích của đất được sử dụng trong tính toán độ bền hút dính. Độ ẩm thể tích còn lại ( $\theta_r$ ) được xác định tại điểm tương ứng với độ bền hút dính bằng 0.

### 3. Đặc điểm khu vực nghiên cứu

#### 3.1. Lượng mưa và cường độ mưa

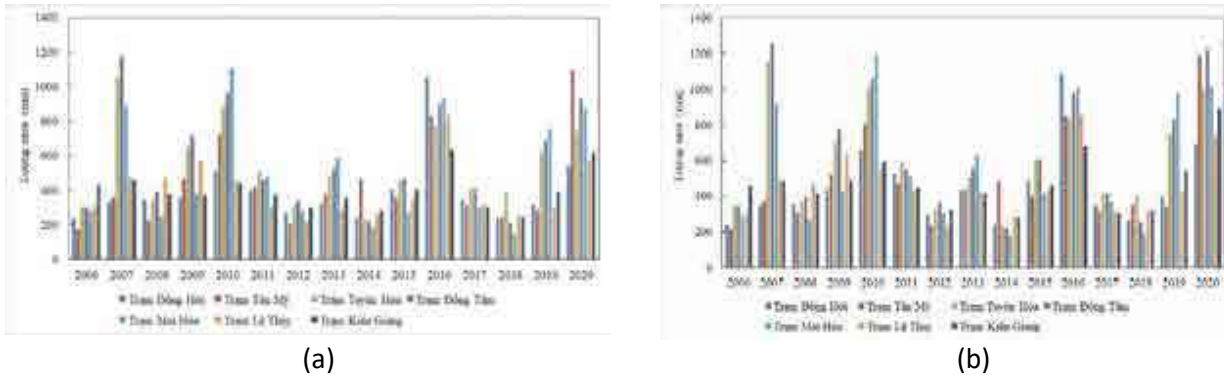
Dựa trên các số liệu quan trắc mưa tại 39 trạm với thời gian quan trắc từ năm 2006 đến 2020, đã chỉ ra rằng tại khu vực nghiên cứu mùa mưa chủ yếu tập trung vào 4 tháng 8, 9, 10 và 11, trong đó lượng mưa lớn nhất thường tập trung vào tháng 9 và tháng 10, hình 1.



Hình 1. Lượng mưa trung bình tháng từ năm 2006-2020 (Bùi Trường Sơn và nnk, 2023).

Mặt khác, dựa vào phân tích các khối trượt trên ảnh viễn thám theo chuỗi thời gian kết hợp với yếu tố lượng mưa cho thấy rằng phần lớn các khối trượt trên các sườn dốc tự nhiên xảy ra vào các năm có lượng mưa cao đột biến. Hình 2 chỉ ra lượng mưa tích lũy lớn nhất trong 3 và 5 ngày liên tục vào các tháng mùa mưa từ 2006 đến 2020 cho thấy rằng các năm 2007, 2010, 2016, 2019 và 2020 có lượng mưa cao đột biến dao động từ 500 đến 1200 mm tùy thuộc vào vị trí các trạm. Đặc biệt, năm 2020 khu vực nghiên cứu đã ghi nhận khoảng trên 100 khối trượt xảy ra trên

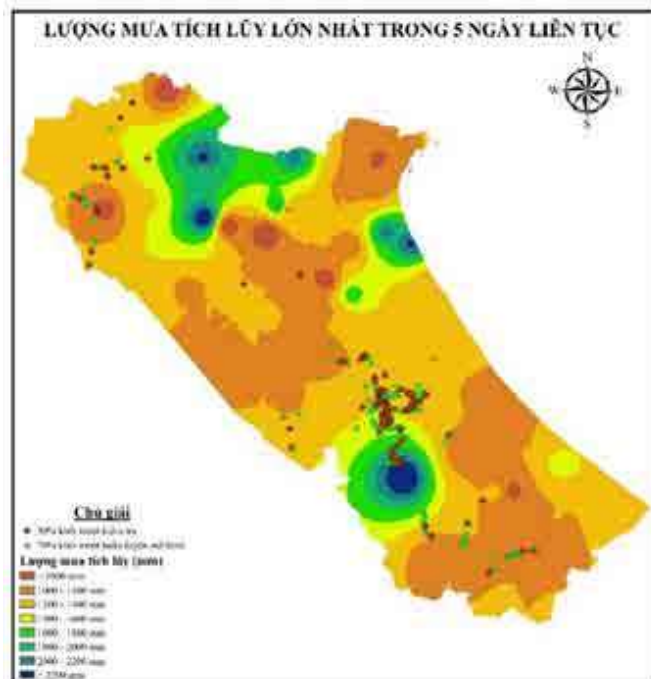
các sườn dốc vào mùa mưa lũ. Tại các khu vực có mật độ trượt lớn như khu vực Minh Hóa, Tuyên Hóa, Tân Trạch, Phú Định, Trường Sơn, Ngân Thủy, Kim Thủy cho thấy rằng lượng mưa tích lũy trong 3, 5 và 7 ngày liên tục vào tháng 10 năm 2020 dao động trong khoảng 807-1117 mm (3 ngày liên tục lớn nhất), 1008 - 1364 mm (5 ngày liên tục lớn nhất) và 1015 - 1378 mm (7 ngày liên tục lớn nhất). Điều này cho thấy rằng yếu tố lượng mưa, cường độ mưa là một trong những yếu tố chính thúc đẩy hiện tượng trượt lở xảy ra. Trong công tác cảnh báo trượt lở, lượng mưa và cường độ mưa được coi là yếu tố kích hoạt trượt lở. Nhiều nghiên cứu ở Việt Nam và trên thế giới đã sử dụng ngưỡng lượng mưa và cường độ mưa để đưa ra mức cảnh báo trượt lở.



Hình 2. Lượng mưa tích lũy lớn nhất trong các tháng mùa mưa: (a) Trong 3 ngày liên tục và (b) trong 5 ngày liên tục. (Bùi Trường Sơn và nnk, 2023).

Dựa trên phân tích ảnh viễn thám theo chuỗi thời gian và kết quả lượng mưa thu thập cho thấy rằng phần lớn khối trượt xảy ra vào những tháng mùa mưa, đặc biệt vào những năm có lượng mưa và cường độ mưa cao đột biến. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng phần lớn khối trượt tập trung vào các khu vực có lượng mưa lớn nhất trong khoảng 5 ngày liên tục từ 1000 mm trở lên (hình 3). Vì vậy, để xác định ngưỡng mưa có thể kích hoạt trượt lở, nhóm nghiên cứu đã mô hình hóa sự ổn định của mái dốc do ảnh hưởng của cường độ mưa trên phần mềm GEOSTUDIO 2018.

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu phân tích dòng thấm và ổn định mái dốc với hai kịch bản. Kịch bản thứ nhất tương ứng với điều kiện mưa lớn liên tục trong khoảng 5 ngày với cường độ mưa 13 mm/h. Kịch bản thứ 2 mưa phùn liên tục trong 15 ngày với cường độ mưa 0,13 mm/h và tiếp sau là mưa lớn trong 3 ngày với cường độ mưa 10 mm/h.



Hình 3. Sơ đồ phân bố lượng mưa tích lũy lớn nhất trong 5 ngày liên tục năm 2020 (Bùi Trường Sơn và nnk, 2023).



Bảng 1. Lượng mưa tích lũy lớn nhất trong các ngày liên tục tháng 10/2020. (Bùi Trường Sơn và nnk, 2023).

Trạm Ngày mưa liên tục (mm)	Đông Tâm	Trường Sơn	Vạn Trạch	Ba Đồn	Mai Hóa	Minh Hóa	Tuyên Hóa	Lâm Thủy	Tân Lâm
3 ngày	987,0	1093,0	1117,0	960,4	873,0	1061,0	807,0	850,6	905,0
5 ngày	1273,0	1279,0	1255,4	1098	1008	1364,2	1072,1	1054,6	1110,0
7 ngày	1286,6	1314,0	1286,8	1129	1015	1378,8	1080,3	1087,2	1141,2

### 3.2. Đặc điểm địa tầng tại một số khối trượt lớn

Dựa vào kết quả khảo sát thực địa trên các vách lộ taluy đường giao thông và tại một số khối trượt lớn, phần lớn khối trượt phân bố ở các khu vực đồi núi các huyện Tuyên Hóa, Minh Hóa, Bố Trạch, Quảng Ninh, Lệ Thủy. Các khối trượt quy mô lớn phân bố chủ yếu ở khu vực đồi núi của huyện Quảng Ninh. Các khối trượt lớn chủ yếu xảy ra trong phạm vi vỏ phong hóa của các hệ tầng Long Đại, Bãi Đình, Mụ Giạ và phức hệ Trường Sơn. Dựa vào kết quả điều tra, khảo sát địa chất công trình các khối trượt, hầu hết các khối trượt lớn trên các taluy đường giao thông và các khối trượt trong tự nhiên xảy ra trong các lớp đất phong hóa hoàn toàn có thành phần là sét, á sét lẫn ít dăm sạn. Lớp đất phong hóa trung bình đến mạnh có thể được coi như là lớp đất gốc ổn định. Do đó, các tính chất cơ lý của đất phong hóa hoàn toàn từ đá gốc cần phải được xác định để phục vụ công tác đánh giá sự ổn định của mái dốc. Theo kết quả khảo sát, hầu hết các khối trượt lớn có mặt trượt nằm trong đới phong hóa hoàn toàn với bề dày lớp vỏ phong hóa lớn từ 10 m đến 15 m. Chỉ tiêu cơ lý được xác định từ các mẫu tại một số vị trí khối trượt. Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu sử dụng chỉ tiêu cơ lý tại khối trượt tại Km89+820 trên đường Hồ Chí Minh nhánh tây để sử dụng trong ví dụ phân tích. Kết quả chỉ tiêu cơ lý của lớp vỏ phong hóa như bảng 2. Với tính chất của đất không bão hòa, các tính chất của đường cong đặc tính đất với nước (SWCC) của đất được thể hiện trong bảng 3.

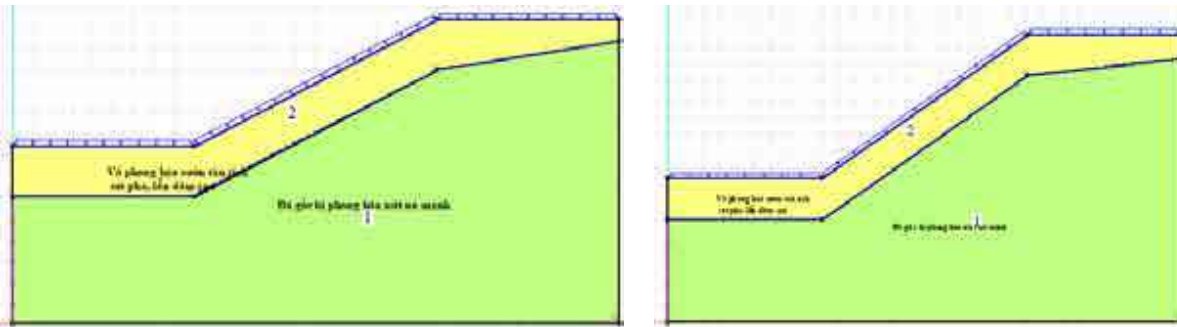
Bảng 2. Chỉ tiêu cơ lý của lớp vỏ phong hóa

Chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng thể tích tự nhiên	$\gamma_w$	kN/m <sup>3</sup>	19,6
Khối lượng thể tích bão hòa	$\gamma_s$	kN/m <sup>3</sup>	19,9
Độ ẩm tự nhiên	W	%	24,49
Góc ma sát trong hiệu quả	$\phi'$	Độ	23°42'
Lực dính kết đơn vị hiệu quả	$c'$	kN/m <sup>2</sup>	31,8
Hệ số thấm	k	cm/s	$5 \times 10^{-5}$

Dựa vào kích thước hình học và góc dốc của các mái dốc trong khu vực nghiên cứu kết hợp với kết quả phân tích trượt lở trong khu vực nghiên cứu cho thấy rằng phần lớn các khối trượt lớn xảy ra với góc dốc của mái dốc từ khoảng 25 đến 35 độ. Vì vậy, trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu mô phỏng các mái dốc có góc dốc lần lượt là 25 và 35 độ. Mô hình mái dốc được thể hiện như hình 4.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm đặc tính đất với nước (SWCC)

Áp lực hút dính (kPa)	Độ ẩm của đất
0	0,358
10	0,322
20	0,293
50	0,215
100	0,152
200	0,107



Hình 4. Mô hình mái dốc (a)- góc dốc 25 độ và (b) góc dốc 35 độ.

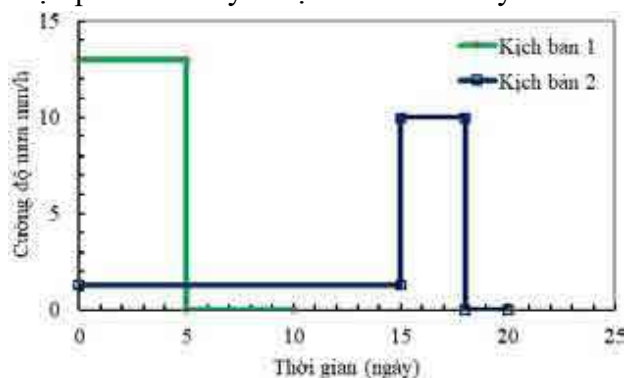
#### 4. Phân tích kết quả nghiên cứu

##### 4.1. Sự thay đổi mực nước ngầm trên mái dốc do mưa

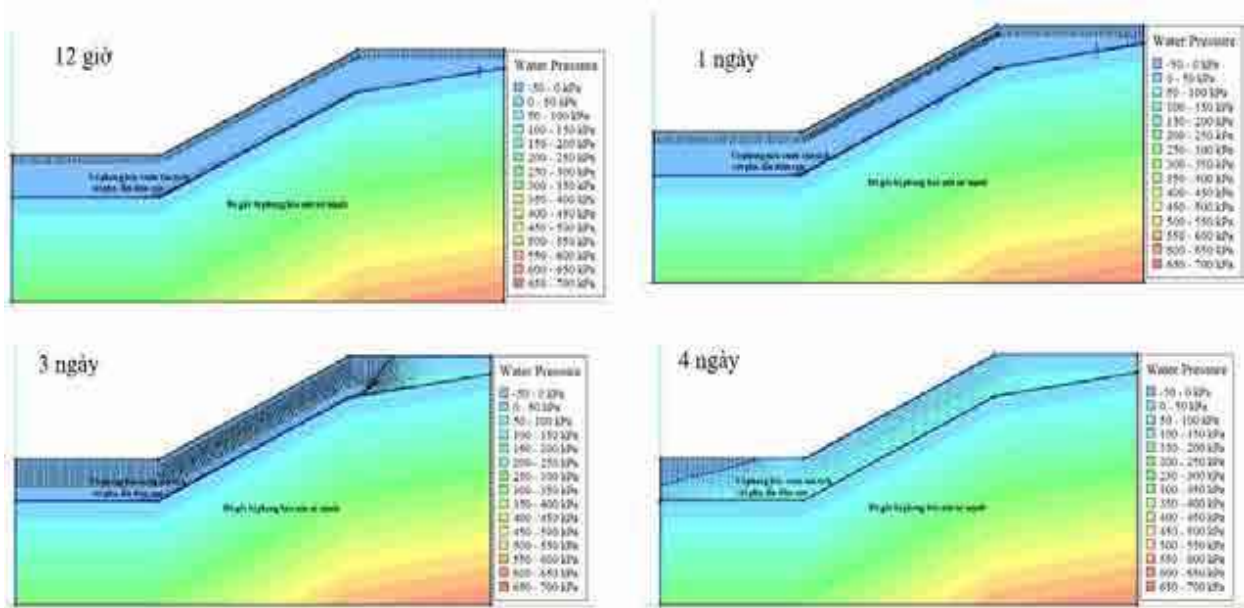
Để nghiên cứu sự biến đổi mực nước ngầm cũng như sự thay đổi trạng thái không bão hòa sang bão hòa của vỏ phong hóa trên mái dốc do mưa gây ra, hai kịch bản đã được thực hiện. Kịch bản 1 mô phỏng mưa lớn diễn ra trong 5 ngày liên tục với cường độ mưa 13 mm/h. Kịch bản 2 mưa phùn diễn ra trong 15 ngày với cường độ mưa 1,3 mm/h sau đó mưa lớn diễn ra trong 3 ngày với cường độ mưa 10 mm/h như hình 5.

Mô hình thấm SEEP/W được sử dụng để mô phỏng sự thay đổi mực nước ngầm, áp lực nước lỗ rỗng cũng như hướng dòng thấm trong lớp đất trên mái dốc. Như đã đề cập ở trên, mái dốc với góc dốc 25 và 35 độ được lựa chọn để nghiên cứu. Mực nước ngầm ban đầu trong các trường hợp được giả thiết nằm trên ranh giới giữa bề mặt lớp đá đập vỡ mạnh và lớp sét, sét pha lẫn dăm sạn (vỏ phong hóa). Các điều kiện biên của mô hình được thiết lập bao gồm biên mô phỏng cường độ mưa và biên thoát nước. Toàn bộ bề mặt mái dốc được gán với biên mô phỏng cường độ mưa, trong khi cạnh trái của mô hình được gán biên thoát nước.

Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng dưới tác dụng của cường độ mưa thì mực nước áp lực trong mái dốc sẽ được tăng lên một cách từ từ làm cho đất trên mái dốc cũng chuyển từ trạng thái không bão hòa sang trạng thái bão hòa tương ứng với sự dâng cao của mực nước áp lực. Hình 6 và hình 7 chỉ ra rằng với kịch bản 1 thì sau thời gian mưa khoảng 3,5 đến 4 ngày thì mái dốc bão hòa nước hoàn toàn. Thời gian để mái dốc có góc dốc 35 độ bão hòa nước hoàn toàn là khoảng 3,5 ngày, trong khi với mái dốc 25 độ là 4 ngày. Thời gian mưa cũng ảnh hưởng đến hướng của dòng thấm trong mái dốc. Với thời gian mưa khoảng 1 ngày dòng thấm chủ yếu là dòng thấm thẳng đứng, khi đó nước mưa sẽ chủ yếu ngấm theo phương thẳng đứng, độ ẩm của đất trên mái dốc sẽ dần thay đổi. Sự thay đổi độ ẩm của đất sẽ dẫn đến sự suy giảm lực hút dính trong đới không bão hòa. Khi đất bão hòa hoàn toàn thì lực hút dính trở lên bằng 0 và phát sinh áp lực nước lỗ rỗng dương ( $u_w > 0$ ). Sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng được thể hiện tương ứng với thời gian mưa được thể hiện trong hình 6 và 7. Sau thời gian mưa 1 ngày, độ ẩm cũng như mức độ bão hòa nước của đất tăng lên, lúc này dòng thấm theo phương của bề mặt mái dốc chiếm ưu thế. Khi đó, lực thấm sẽ được phát sinh tùy thuộc vào chiều dày của đới bão hòa.

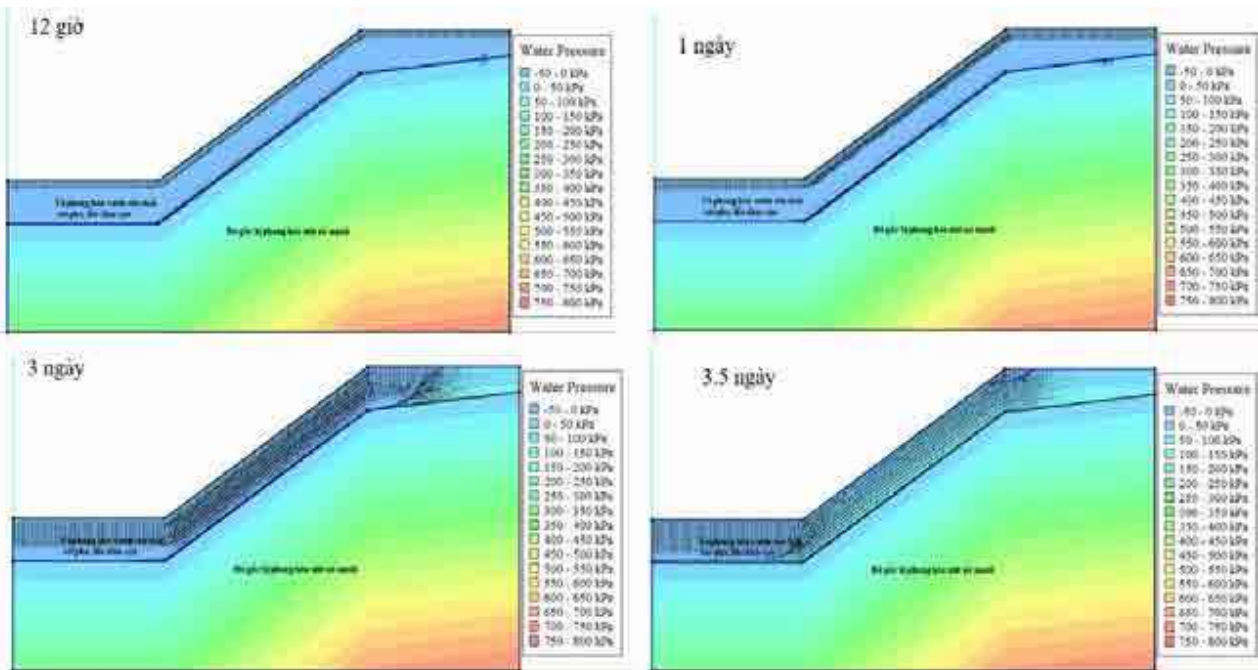


Hình 5. Kịch bản mô phỏng cường độ mưa và thời gian mưa.



Hình 6. Sự thay đổi mực nước ngầm theo thời gian mưa với góc dốc 25 độ.

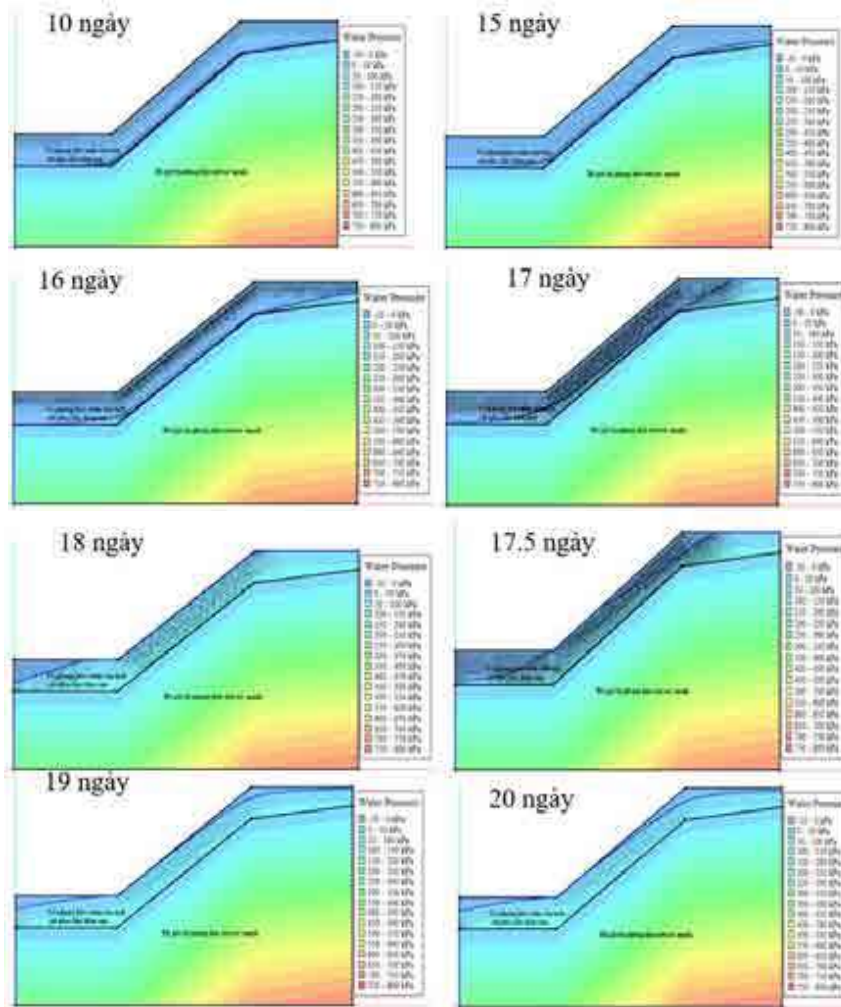
Với trường hợp 2 với lượng mưa tích lũy do mưa phùn trong vòng 15 ngày và mưa lớn với cường độ 10 mm/h trong vòng 3 ngày cho thấy rằng khi mưa phùn kéo dài trong vòng 15 ngày, mực nước áp lực trên mái dốc hầu như không có sự thay đổi đáng kể. Tuy nhiên, độ ẩm của đất đá tăng lên đáng kể làm cho áp lực khí lỗ rỗng trong đất giảm mạnh dẫn tới áp lực nước lỗ rỗng âm tăng dần về 0. Cùng với độ ẩm của đất được tích lũy trong thời gian mưa phùn, khi mưa lớn xảy ra với cường độ mưa 10 mm/h trong vòng 2 đến 2,5 ngày thì mái dốc với góc dốc 35 độ bão hòa nước hoàn toàn. Khi đó dòng thấm ngang sẽ phát sinh và gây ra lực thấm. Sau khi ngừng mưa mực nước áp lực sẽ giảm dần tương ứng với thời điểm 19 và 20 ngày. Sự thay đổi mực nước ngầm, áp lực nước lỗ rỗng theo thời gian mưa được thể hiện trong hình 8.



Hình 7. Sự thay đổi mực nước ngầm và dòng thấm theo thời gian với góc dốc 35 độ.

Các trường hợp nghiên cứu đều chỉ ra rằng cường độ mưa và thời gian mưa làm thay đổi mức độ bão hòa, áp lực nước lỗ rỗng cũng như chế độ dòng chảy trên mái dốc, từ đó gây ảnh hưởng đến sự ổn định của mái dốc.





Hình 8. Sự thay đổi mực nước ngầm do mưa theo kịch bản 2 góc dốc mái 35 độ.

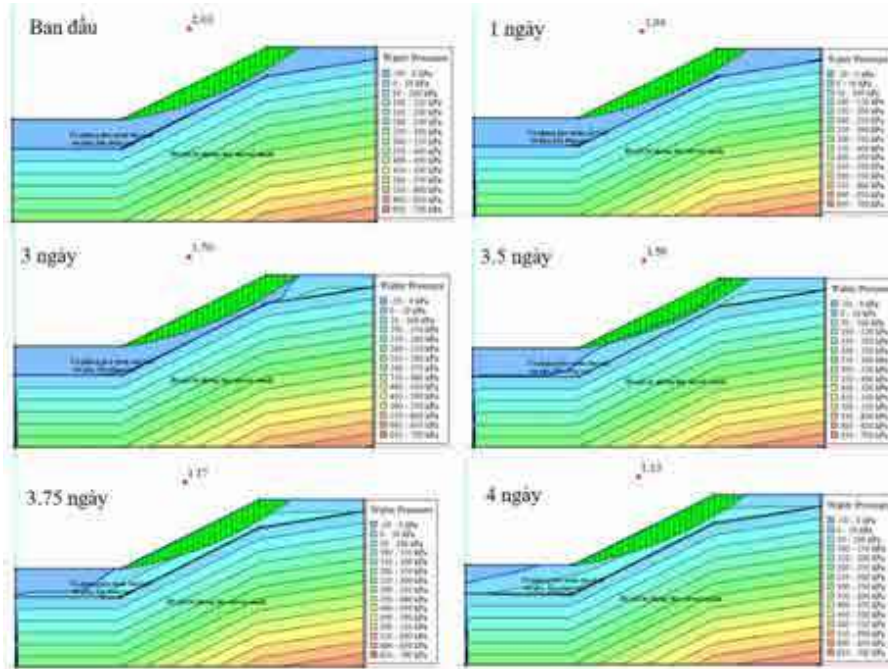
#### 4.2. Sự ổn định của mái dốc theo thời gian mưa

Kết quả phân tích ổn định mái dốc dựa trên 2 kịch bản cường độ mưa và thời gian mưa đã cho thấy rằng mức độ ổn định của mái dốc giảm dần khi thời gian mưa kéo dài. Hình 9 và 10 cho thấy rằng hệ số ổn định giảm dần khi mưa lớn trong khoảng 1 đến 3 ngày. Trong khoảng thời gian đầu chủ yếu là dòng thấm thẳng đứng và độ ẩm cũng như mức độ bão hòa của mái dốc dần tăng lên. Điều này làm cho áp lực nước lỗ rỗng âm tiến dần về 0. Khi đó sức kháng cắt của đất không bão hòa sẽ giảm từ từ. Khi mái dốc bão hòa gần như hoàn toàn sau thời gian từ 3,5 đến 4 ngày, áp lực nước lỗ rỗng lớn hơn 0, khi đó cường độ kháng cắt hiệu quả của đất giảm đi đột dẫn tới hệ số ổn định của mái dốc giảm đột ngột. Sự thay đổi hệ số ổn định của mái dốc ở kịch bản mưa 1 với mái dốc 25 và 35 độ được thể hiện trong hình 11a. Điều này cho thấy rằng tại thời điểm khi mưa kéo dài lớn hơn 3 ngày, hệ số ổn định giảm đột ngột gây mất ổn định mái dốc. Sau khi dừng mưa, mực nước áp lực giảm dần và hệ số ổn định mái dốc tăng lên từ từ. Với góc dốc 35 độ, cho thấy rằng hệ số ổn định của mái dốc thấp hơn so với hệ số ổn định với mái dốc 25 độ. Thời gian mưa gây ra mất ổn định mái dốc với kịch bản 1 với mái dốc có góc dốc 25 và 35 độ lần lượt là 4 ngày và 3,5 ngày.

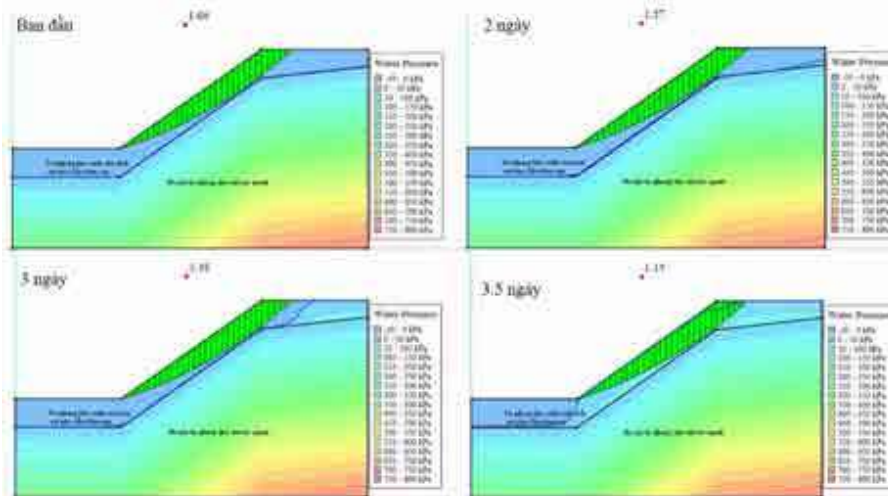
Theo kịch bản 2 với mưa phùn kéo dài trong 15 ngày theo sau là mưa lớn kéo dài trong 3 ngày, hệ số ổn định của mái dốc giảm từ từ trong khoảng 15 ngày mưa phùn. Tuy nhiên, mái dốc với cả hai góc dốc kể trên đều cho thấy hệ số ổn định đều lớn hơn 1,2. Mái dốc hoàn toàn ổn định. Điều này cũng có thể được giải thích bởi khi mưa phùn kéo dài, độ ẩm của đất trên mái dốc tăng từ từ, áp lực khí lỗ rỗng giảm do đó lực hút dính của đất giảm tuy nhiên giá trị áp lực nước lỗ rỗng vẫn có giá trị âm. Khi đó độ bền cắt của đất không bão hòa giảm một lượng không đáng kể. Khi mưa lớn xảy ra, mực nước ngầm tăng lên một cách nhanh chóng do độ ẩm của đất đã



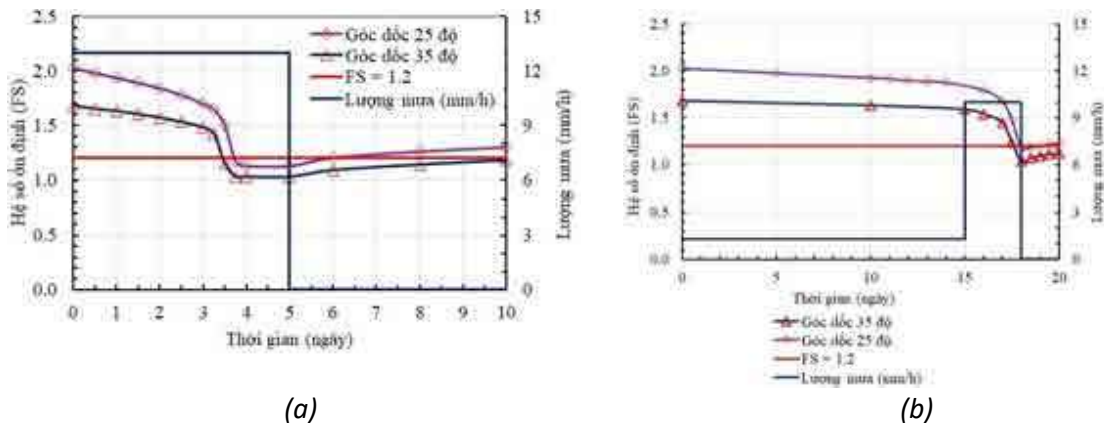
được tăng lên do lượng mưa phùn tích lũy trong khoảng 15 ngày trước đó. Do đó, khi mưa lớn xảy ra trong khoảng 2 ngày, mái dốc đã trở lên bão hòa hoàn toàn. Khi đó cường độ kháng cắt hiệu quả của đất bão hòa giảm đột ngột và mái dốc trở lên mất ổn định. Sự suy giảm hệ số ổn định theo thời gian với kịch bản 2 được thể hiện trong hình 11b.



Hình 9. Mức độ ổn định của mái dốc theo thời gian với góc dốc 25 độ.



Hình 10. Hệ số ổn định mái dốc theo thời gian với góc dốc 35 độ.



Hình 11. Hệ số ổn định mái dốc theo cường độ mưa và thời gian mưa: (a) kịch bản 1 và (b) kịch bản 2.

## 5. Kết luận

Nghiên cứu đã phân tích ổn định mái dốc điển hình ở khu vực miền núi tỉnh Quảng Bình dưới ảnh hưởng của cường độ mưa và thời gian mưa. Kết quả đã cho thấy rằng cường độ mưa và thời gian mưa có ảnh hưởng lớn tới sự ổn định không chỉ mái dốc và cả sườn dốc. Hai kịch bản mô phỏng cường độ mưa và thời gian mưa đã được thực hiện. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng với cường độ mưa khoảng 13 mm/h trong khoảng 3,5 đến 4 ngày liên tục đất đá trên sườn dốc chuyển từ trạng thái không bão hòa sang trạng thái bão hòa, cùng với sự phát sinh áp lực nước lỗ rỗng dương và lực thấm mái dốc trở lên mất ổn định một cách đột ngột. Với kịch bản 2, sau thời gian mưa phùn kéo dài trong khoảng 15 ngày, độ ẩm của đất đá tăng lên dẫn tới lực hút dính giảm dần và hệ số ổn định của mái dốc giảm dần. Tuy nhiên mái dốc vẫn ở trạng thái ổn định. Khi mưa lớn sau đó xảy ra với cường độ mưa khoảng 10 mm/h thì sau khoảng 2 ngày mái dốc trở lên bão hòa nước và kèm theo sự mất ổn định xảy ra. Kết quả nghiên cứu cũng phù hợp với kết quả điều tra khảo sát khối trượt năm 2020, phần lớn khối trượt xảy ra vào mùa mưa năm 2020 đều ở dạng trượt chảy trên mái dốc bão hòa nước hoàn toàn.

## Tài liệu tham khảo

- Acharya, K. P., Bhandary, N. P., Dahal, R. K., & Yatabe, R., 2016. Seepage and slope stability modelling of rainfall-induced slope failures in topographic hollows. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(2), 721-746.
- Bùi Trường Sơn và nnk, 2023. Nghiên cứu và đề xuất các giải pháp phòng, tránh tai biến địa chất trên địa bàn tỉnh Quảng Bình”. Đề tài Khoa học công nghệ cấp tỉnh Quảng Bình.
- Fredlund, D. G., & Rahardjo, H., 1993. *Soil mechanics for unsaturated soils*. John Wiley & Sons.
- Rahardjo, H., Leong, E. C., Deutscher, M. S., Gasmol, J. M., & Tang, S. K., 2000. Rainfall-induced slope failures.
- Thu, T. M., Lee, G., Oh, S., & Van, N. T. H., 2015. Effect of extreme rainfall on cut slope stability: case study in Yen Bai City, Viet Nam. *한국지반환경공학회 논문집*, 16(4), 23-32.
- Vanapalli, S. K., Fredlund, D. G., Pufahl, D. E., & Clifton, A. W., 1996. Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction. *Canadian geotechnical journal*, 33(3), 379-392.

## Effect of rainfall on slope stability - a case study in Quang Binh, Viet nam

Bui Van Binh\*, Bui Truong Son, Nguyen Thi Nu, Nguyen Thanh Duong, Pham Thi Viet Nga

Hanoi University of Mining and Geology

\*Corresponding author: buivanbinh@humg.edu.vn

## Abstract

This paper presents the influence of rainfall on slope stability in mountainous area of Quang Binh, Vietnam. The study uses the seepage model (SEEP) to analyze the change of water level as well as the saturation level of the weathering crust due to the effect of rainfall intensity and rainfall duration. Along with that, slope stability analysis model (SLOPE) corresponding to rainfall duration and rainfall intensity was performed with slopes with slope angle of 25 and 35 degrees, respectively. The research results show that with an average rainfall intensity of about 13 mm/h and a rainfall period lasting from 3.4 to 4 consecutive days, the slopes with slope angles of 25 and 35 degrees are unstable. The slope stability coefficient has a sudden decrease corresponding to the time when the slope is completely saturated with water. With a scenario of drizzle within 15 days and accompanied by heavy rain of 10mm/h for 3 following consecutive days, the slope becomes unstable after about 2 days of heavy rain combined with previous drizzle.

**Key words:** Seepage analysis, slope stability, rainfall intensity.