

PHÂN TÍCH NGUY CƠ TRƯỢT LỞ ĐẤT Ở LƯU VỰC SÔNG THAO THEO MỘT SỐ TÁC NHÂN CHÍNH

TRẦN THẾ VIỆT*, BÙI THỊ KIÊN TRINH*
TRỊNH QUANG TOÀN*, NGUYỄN ĐỨC HÀ**
NGUYỄN TRUNG KIÊN*, NGUYỄN MẠNH CƯỜNG***

Analyze landslide risk for the Thao river catchment using main impact factors

Abstract: Landslides in the river basins cause immeasurable damage to human social economic and environmental of downstream area. Therefore, it is necessary to study and analyze the factors that affect the landslide in order to propose measures to avoid, minimize damage and quickly surmount the consequences after a landslide accident occurred. In this research, nine main factors including slope, elevation, extreme precipitation of rain, geology, weathering crust, fault density, forest cover, horizontal and deep dissection were studied and analyzed to develop a landslide susceptibility map of the Thao River basin based on recorded landslide locations. The results have shown the landslide susceptibility map is very useful for visual analysis, warning, and prevention of potential landslides in the future for the study area.

Keywords: Landslide, Thao river catchment, landslide susceptibility map.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nằm trong vùng nhiệt đới gió mùa, lượng mưa lớn và có sự phân hóa theo mùa rõ rệt, Việt Nam chịu ảnh hưởng đáng kể của các thảm họa địa chất nói chung và trượt lở đất nói riêng [1-4]. Vì trượt lở có tính chất bất thường, diễn ra rất nhanh và khó dự báo, cảnh báo. Do đó, hàng năm có rất nhiều vụ trượt lở đất xảy ra gây thương vong và thiệt hại lớn trên khắp cả nước. Tình hình mưa lũ bất thường trong những năm gần đây khiến thiên tai nói chung và trượt lở nói riêng ngày càng gia tăng và khốc liệt hơn, gây ra thiệt hại nặng nề về tính mạng và tài sản. Theo thống kê của Tổng cục Phòng chống thiên tai, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, năm 2017 lũ quét, sạt lở đất làm 71 người chết và mất tích; năm 2018 là 82 người và trong

năm 2019 là 34 người. Từ đầu năm 2020 đến ngày 01/11, riêng lũ quét, sạt lở đất đã làm chết và mất tích 129 người. Thiệt hại kinh tế do sạt lở đất trực tiếp và gián tiếp gây ra chỉ riêng trong năm 2020 ước tính lên đến hơn 21 nghìn tỷ đồng [5].

Do thói quen, tập quán sinh sống của đồng bào khu vực miền núi thường tập trung ven bờ sông, bờ suối, sườn đồi nên sạt lở đất trong lưu vực các sông suối lớn trở thành một trong những thiên tai nguy hiểm nhất đe dọa trực tiếp sinh mạng của người dân. Đã có rất nhiều nghiên cứu về trượt lở thực hiện trên hầu khắp tỉnh thành miền núi phía Bắc và Bắc Trung Bộ [1-4, 6-9], tuy nhiên chưa có những nghiên cứu phân vùng và cảnh báo các vùng có nguy cơ cao khi có tình huống mưa cực đoan cũng như chưa có những nghiên cứu riêng đối với từng lưu vực sông.

Trượt lở đất là một quá trình phức tạp và là hàm số của nhiều yếu tố. Nghiên cứu trượt lở đất có nhiều cách tiếp cận khác nhau. Hiện nay,

* Trường đại học Thủy lợi, Hà Nội

** Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Hà Nội

*** Công ty TNHH MTV Tài nguyên & Môi trường Việt Nam, Hà Nội

có thể chia ra 3 cách tiếp cận chính nhằm đánh giá tính nhạy cảm của trượt lở đất là thực nghiệm, thống kê và vật lý [9, 10], tuy nhiên vẫn chưa có phương pháp cụ thể nào được công nhận là phương pháp tiêu chuẩn [7]. Việc lựa chọn phương pháp phù hợp tùy thuộc vào mục đích lập bản đồ, tỷ lệ bản đồ, và các dữ liệu đầu vào hiện có của khu vực khảo sát.

Trong nghiên cứu này nhóm tác giả sử dụng phương pháp thống kê với cơ sở dựa trên nguyên tắc các vụ trượt lở đất trong quá khứ và hiện tại là cơ sở đoán nhận nguy cơ trượt lở đất trong tương lai [11] để phân tích, đánh giá nguy cơ trượt lở đất được thành lập theo 9 tác nhân chính của quá trình trượt lở là độ cao và độ dốc địa hình, đặc điểm địa chất, vỏ phong hoá, mật độ đứt gãy, phân cắt ngang và phân cắt sâu, độ che phủ rừng, lượng mưa cực đại kết hợp với bản đồ hiện trạng trượt lở có ý nghĩa như công cụ cảnh báo ban đầu về nguy cơ xảy ra tai biến trượt lở ở các khu vực có điều kiện tự nhiên, môi trường tương đồng với những vị trí đã từng ghi nhận trượt lở. Trên cơ sở đó, chính quyền và người dân có thể chuẩn bị các biện pháp phòng ngừa, ứng phó phù hợp.

2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU

Sông Thao được coi là dòng chính của sông Hồng, bắt nguồn từ hồ Đại Lý ở độ cao gần 2000 m trên đỉnh Ngụ Sơn thuộc tỉnh Vân Nam - Trung Quốc, chảy theo hướng Tây bắc - Đông nam, qua tỉnh Vân Nam rồi đổ vào nước ta tại vùng biên giới Việt Trung thuộc huyện Bát Xát tỉnh Lào Cai, tiếp tục chảy qua Lào Cai, Yên Bái, Phú Thọ theo hướng Đông Bắc - Tây Nam với chiều dài hơn 900 km. Tới đây, sông Thao hợp lưu với sông Đà, sông Lô thành dòng sông Hồng chảy về xuôi. Phần diện tích lưu vực sông Thao trên lãnh thổ nước ta là trên 12,000 km² chiếm khoảng 14% tổng diện tích lưu vực, chủ yếu thuộc địa phận 2 tỉnh Lào Cai và Yên Bái (Hình 1). Sự gia tăng các tác hại do tai biến địa chất xảy ra trong lưu vực trong thời gian gần

đây nhận được sự quan tâm hàng đầu của các nhà nghiên cứu.

3. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Dữ liệu đầu vào sử dụng trong mô hình phân tích là các bản đồ chuyên đề bao gồm:

- Bản đồ hiện trạng trượt lở lưu vực sông Thao (Hình 1) bao gồm 2800 vị trí trượt lở ghi nhận thông qua khảo sát thực địa, thu thập từ các nghiên cứu đã thực hiện [1, 2, 7, 8].
- Bản đồ kích bản mưa cực đoạn trong 7 ngày dựa trên mô hình WRF với dữ liệu mưa độ phân giải cao ERA-20C [12] (hình 2a);
- Bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200,000 do Tổng cục Địa chất xuất bản năm 2005;
- Bản đồ địa hình tỷ lệ 1:50,000 do Tổng cục Địa chính ban hành năm 2000;
- Bản đồ lâm nghiệp được tải về từ trang <http://maps.vnforest.gov.vn/vn>;



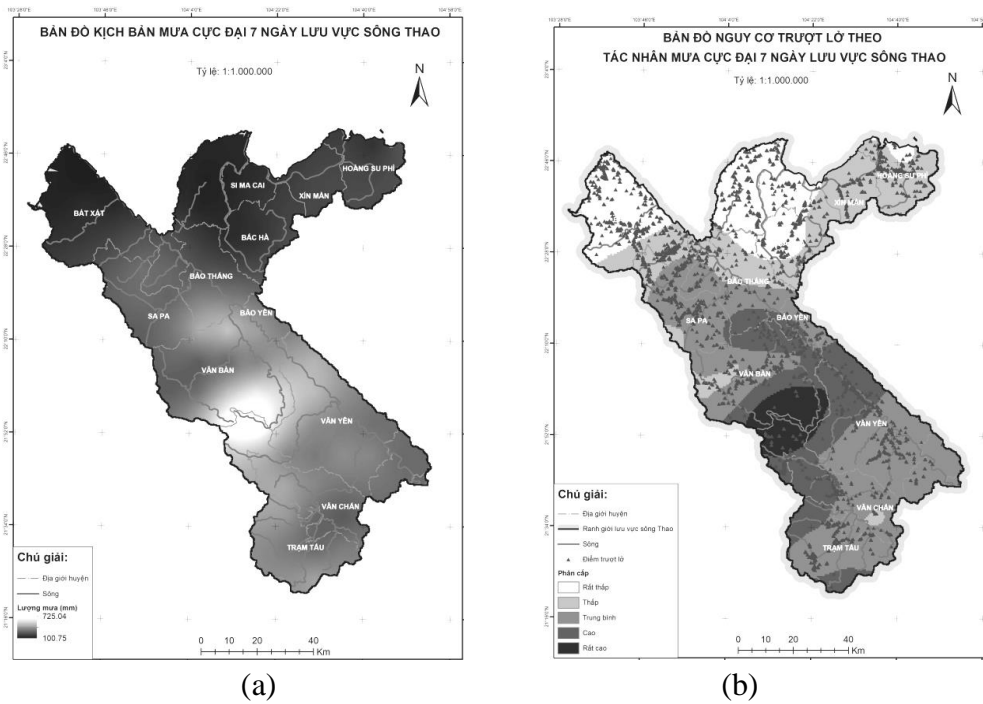
Hình 1. Lưu vực sông Thao trong địa phận nước ta và các điểm trượt lở đã ghi nhận

Từ bản đồ địa chất tiến hành thành lập 3 loại bản đồ tác nhân địa chất công trình, vỏ phong hoá, mật độ đứt gãy. Bản đồ địa hình được sử dụng để thành lập 4 bản đồ tác nhân gồm bản đồ độ cao, độ dốc, phân cắt ngang và phân cắt sâu. Bản đồ tác nhân “sử dụng đất” được thành lập từ bản đồ lâm nghiệp theo các đối tượng thực vật che phủ trên đất. Mỗi loại bản đồ tác nhân được phân thành nhiều cấp dựa theo khoảng giá trị biến động hoặc các nhóm đối tượng có cùng

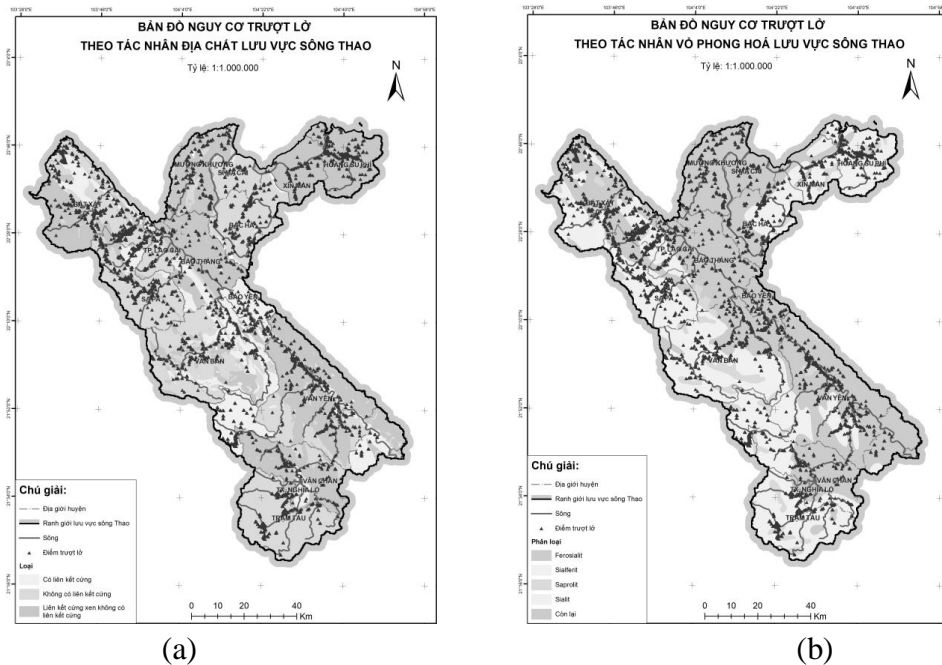
tính chất trên bản đồ. Sau đó, bản đồ nguy cơ trượt lở theo mỗi tác nhân được thành lập bằng cách tổ hợp bản đồ hiện trạng trượt lở và bản đồ tác nhân trong môi trường GIS (hình 2b, hình 3a-h). Số liệu thống kê số lượng điểm trượt, diện tích và mật độ điểm theo từng phân cấp của bản đồ tác nhân được thể hiện trong bảng 1.

4. KẾT QUẢ

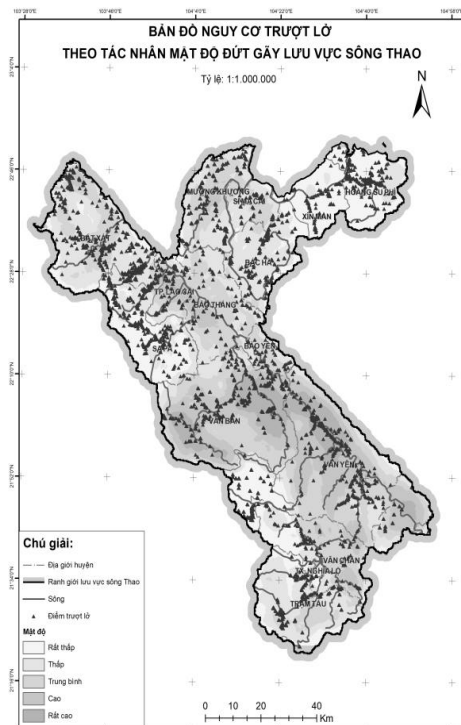
Con số thống kê về số lượng điểm trượt trong mỗi phân mức và diện tích tương ứng, cũng như tỷ lệ điểm trượt, tỷ lệ diện tích trong Bảng 1 cung cấp một cái nhìn toàn cảnh về hiện trạng trượt lở ở lưu vực sông Thao phần lãnh thổ Việt Nam. Nguy cơ trượt lở của các phân mức trong mỗi tác nhân được đánh giá thông qua mật độ trượt lở, xác định bằng số lượng điểm trượt trên diện tích 1,0 km².



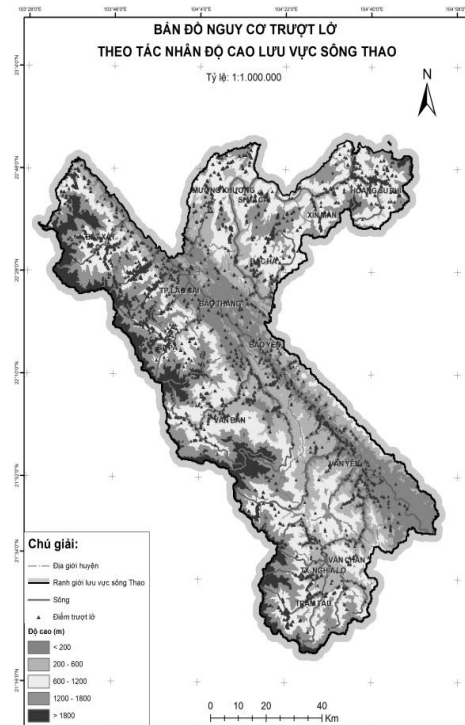
Hình 2. Bản đồ mưa cực đoạn 7 ngày (a) và nguy cơ trượt lở theo tác nhân mưa (b)



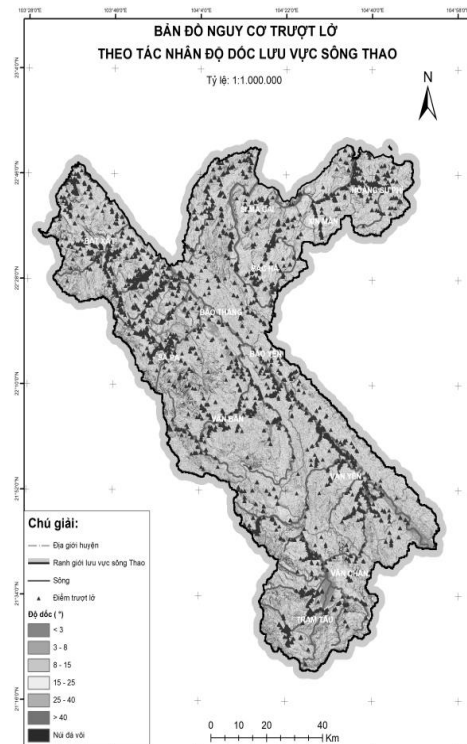
Hình 3. Bản đồ nguy cơ trượt lở lưu vực sông Thao theo tác nhân địa chất (a) và vỏ phong hoá (b)



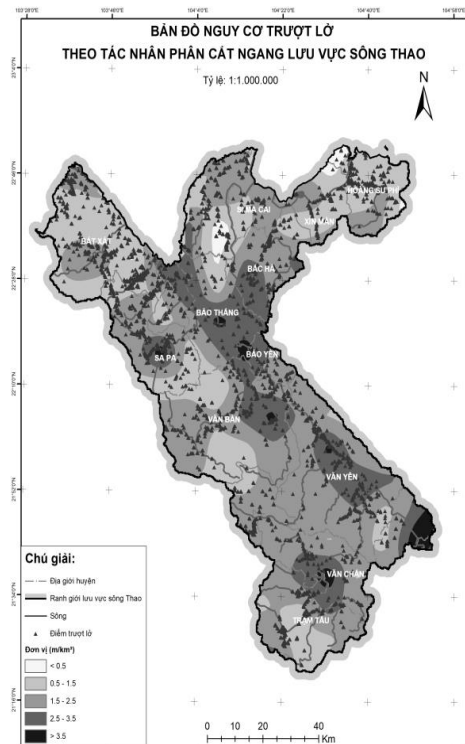
(c)



(d)

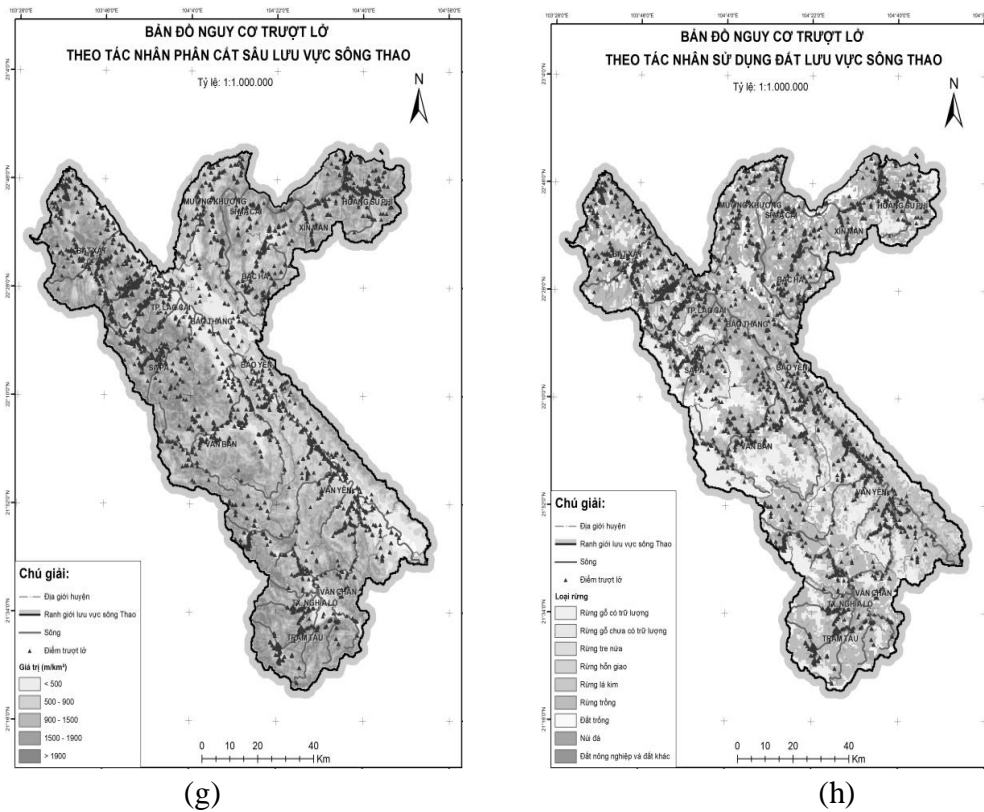


(e)



(f)

Hình 3. Bản đồ nguy cơ trượt lở lưu vực sông Thao theo tác nhân mật độ đứt gãy (c), độ cao (d), độ dốc (e) và phân cắt ngang (f)



Hình 3. Bản đồ nguy cơ trượt lở lưu vực sông Thao theo tác nhân phân cắt sâu (g) và thực phủ (h)

Bảng 1. Thống kê kết quả trên các bản đồ nguy cơ trượt lở của lưu vực sông Thao theo 9 tác nhân

Bản đồ tác nhân	Phân cấp	Số điểm trượt	Tỷ lệ	Diện tích km ²	Tỷ lệ diện tích	Mật độ điểm trượt
Mưa 7 ngày	< 220	699	24,96%	1957,391	19,76%	0,358
	220-340	726	25,93%	2026,770	20,46%	0,359
	340-460	868	31,00%	3585,146	36,20%	0,243
	460-580	450	16,07%	1815,817	18,33%	0,248
	> 580	57	2,04%	519,107	5,24%	0,110
Địa chất công trình	Liên kết cứng xen không có liên kết cứng	1201	42,89%	4026,598	40,66%	0,299
	Không có liên kết cứng	1134	40,50%	3520,699	35,55%	0,323
	Có liên kết cứng	465	16,61%	2356,934	23,80%	0,198
Vỏ phong hoá	Núi đá vôi	101	3,61%	252,325	2,55%	0,401
	Ferosialit	1493	53,32%	4969,893	50,18%	0,301
	Saprolit	136	4,86%	538,356	5,44%	0,253

Bản đồ tác nhân	Phân cấp	Số điểm trượt	Tỷ lệ	Diện tích km²	Tỷ lệ diện tích	Mật độ điểm trượt
	Sialferit	998	35,64%	3722,831	37,59%	0,269
	Sialit	142	5,07%	538,259	5,43%	0,264
	Các loại khác	31	1,11%	134,892	1,36%	0,230
Mật độ đứt gãy	Rất thấp	594	21,21%	2063,067	20,83%	0,288
	Thấp	954	34,07%	3157,388	31,88%	0,303
	Trung bình	615	21,96%	2599,559	26,25%	0,237
	Cao	358	12,79%	1473,119	14,87%	0,244
	Rất cao	279	9,96%	611,096	6,17%	0,457
Độ cao	< 200	717	25,61%	1786,964	18,04%	0,402
	200 - 600	794	28,36%	2462,071	24,86%	0,323
	600 - 1200	933	33,32%	3023,749	30,53%	0,309
	1200 - 1800	325	11,61%	1876,299	18,94%	0,174
	> 1800	31	1,11%	755,147	7,62%	0,042
Độ dốc	<3	38	1,36%	509,220	5,14%	0,075
	3 - 8	263	9,39%	602,643	6,08%	0,437
	8 - 15	799	28,54%	1431,620	14,45%	0,559
	15 - 25	494	17,64%	3311,700	33,44%	0,150
	25 - 40	1096	39,14%	3378,957	34,12%	0,325
	> 40	9	0,32%	417,766	4,22%	0,022
Phân cắt ngang	< 0,5 km/km ²	21	0,75%	112,442	1,14%	0,187
	0,5 - 1,55 km/km ²	807	28,82%	2750,899	27,77%	0,294
	1,5 - 2,55 km/km ²	1360	48,57%	5166,830	52,17%	0,264
	2,5 - 3,55 km/km ²	557	19,89%	1701,916	17,18%	0,328
	> 3,55 km/km ²	55	1,96%	172,144	1,74%	0,320
Phân cắt sâu	< 500 m/km ²	21	0,75%	1060,032	10,70%	0,020
	500 – 900 m/km ²	253	9,04%	2567,263	25,92%	0,099
	900 – 1500 m/km ²	998	35,64%	3359,913	33,92%	0,298
	1500 – 1900 m/km ²	718	25,64%	2418,153	24,42%	0,297
	> 1900 m/km ²	810	28,93%	498,870	5,04%	1,624

Bản đồ tác nhân	Phân cấp	Số điểm trượt	Tỷ lệ	Diện tích km ²	Tỷ lệ diện tích	Mật độ điểm trượt
<i>Sử dụng đất</i>	Rừng gỗ có trữ lượng	187	6,68%	1945,344	19,64%	0,097
	Rừng gỗ chưa có trữ lượng	104	3,71%	552,902	5,58%	0,189
	Rừng tre nứa	93	3,32%	411,655	4,16%	0,226
	Rừng hỗn giao	19	0,68%	176,473	1,78%	0,108
	Rừng lá kim	288	10,29%	649,599	6,56%	0,444
	Rừng trồng	1011	36,11%	3597,488	36,32%	0,282
	Núi đá	37	1,32%	290,783	2,94%	0,128
	Đất trống	995	35,54%	2200,556	22,22%	0,453
	Đất nông nghiệp và đất khác	43	1,54%	79,430	0,80%	0,542

Với tác nhân kích bản mưa cực đoạn 7 ngày, mật độ trượt lở ở vùng mưa trên 580 mm lại có giá trị nhỏ nhất, trong khi đó vùng mưa dưới 340 mm có mật độ trượt lở cao nhất. Đối chiếu với bản đồ sử dụng đất, vùng mưa trên 580 mm có diện tích nhỏ, rơi vào khu vực có lớp phủ thực vật là rừng gỗ chưa có trữ lượng và rừng tre nứa. Đó là vùng trồng những loại thực vật có khả năng giữ nước tốt, chen chắn điều hoà không cho nước mưa thấm nhanh vào đất, đồng thời có tác dụng gia cố đất bằng hệ thống rễ cây. Còn vùng mưa dưới 340 mm chiếm hơn 40% diện tích khu vực nghiên cứu nhưng chủ yếu là rừng trồng và đất trống, đất nông nghiệp. Thảm thực vật ở những khu vực như thế này đã bị phá huỷ nhiều so với trạng thái tự nhiên nên có nguy cơ trượt lở cao.

Với tác nhân sử dụng đất, đất nông nghiệp và đất khác chiếm diện tích rất nhỏ nhưng lại có mật độ trượt lở cao nhất. Vùng đất trống và rừng lá kim chiếm hơn ¼ tổng diện tích toàn lưu vực có mật độ trượt lở ở mức cao. Rừng gỗ có trữ lượng, rừng hỗn giao và núi đá là những khu vực có mật độ trượt lở rất thấp do những nguyên nhân đã đề cập ở trên.

Với tác nhân địa chất công trình, mật độ điểm trượt ở các phân cấp liên kết không quá chênh lệch, trong đó loại không có liên kết cứng chiếm hơn 40% diện tích toàn lưu vực và cũng có mật độ trượt lở lớn nhất nên nguy cơ trượt lở cao nhất. Loại có liên kết cứng chiếm chưa đến ¼ tổng diện tích khu vực, có nguy cơ thấp nhất do có mật độ điểm trượt nhỏ nhất.

Với tác nhân vỏ phong hoá, hiện tượng trượt lở xảy ra mạnh nhất ở khu vực núi đá vôi, giảm nhẹ ở loại vật liệu Ferrosialit và thấp nhất khá tương đồng ở các loại Saprolit, Sialferit, Sialit và loại khác. Tuy nhiên vùng núi đá vôi có tỷ trọng nhỏ, còn Ferrosialit chiếm trên 50% diện tích toàn lưu vực và cũng là nơi xảy ra trên 50% số hiện tượng trượt lở của toàn khu vực.

Với tác nhân mật độ đứt gãy, khu vực có mật độ đứt gãy rất cao cũng là nơi ghi nhận có hiện tượng trượt lở xảy ra dày đặc nhất, rồi đến khu vực có mật độ đứt gãy thấp hơn. Các khu vực còn lại hiện tượng trượt lở xảy ra thấp nhất nhưng tương đương với mức độ trung bình khi so sánh với các tác nhân khác.

Với tác nhân độ phân cắt ngang, hiện tượng trượt lở xảy ra ít nhất ở khu vực dưới $0,5\text{km}/\text{km}^2$, tăng nhẹ ở vùng từ $0,5 \div 2,5 \text{ km}/\text{km}^2$ và dày đặc nhất ở khu vực trên $2,5 \text{ km}/\text{km}^2$. Thực tế hiện tượng trượt lở xảy ra chủ yếu ở nơi có độ phân cắt ngang $0,5 \div 2,5 \text{ km}/\text{km}^2$, chiếm trên 2/3 số lượng điểm trượt và gần 80% diện tích toàn lưu vực.

Với độ phân cắt sâu, hiện tượng trượt lở tăng dần tỷ lệ thuận với giá trị phân cắt địa hình. Hiện tượng trượt lở xảy ra không đáng kể ở khu vực dưới $500\text{m}/\text{km}^2$, tăng nhẹ ở khu vực từ $500 \div 900\text{m}/\text{km}^2$. Mật độ trượt lở ở cấp độ trung bình xảy ra tại khu vực từ $900 \div 1900\text{m}/\text{km}^2$, chiếm hơn 60% tổng số điểm trượt và 58% tổng diện tích toàn lưu vực. Hiện tượng trượt lở dày đặc nhất diễn ra tại vùng trên $1900\text{m}/\text{km}^2$ do diện tích rất nhỏ chỉ 5% lưu vực nhưng lại ghi nhận đến gần 30% số lượng điểm trượt lở.

Với tác nhân độ cao, cấp độ trượt lở đất giảm dần tỷ lệ nghịch với độ cao địa hình. Hiện tượng trượt lở xảy ra mạnh nhất ở độ cao dưới 200m với trên ¼ tổng số điểm trượt ở 18% diện tích toàn lưu vực. Từ độ cao 200m đến 1200 m hiện tượng trượt lở có giảm nhưng vẫn ở mức cao với gần 2/3 tổng số điểm trượt lở trên 55% diện tích toàn lưu vực. Khu vực từ độ cao 1200m đến 1800m xảy ra trượt lở yếu, còn vùng trên 1800m hiện tượng trượt lở xảy ra rất yếu. Đối chiếu với bản đồ độ dốc địa hình thì thấy những khu vực có độ cao từ $200 \div 1200\text{m}$ có độ dốc địa hình ở mức trung bình và mức cao là nơi có mật độ trượt lở lớn. Còn những khu vực rất cao lại có độ dốc nhỏ, là những ngọn núi sườn thoải và đỉnh khá bằng phẳng.

Với tác nhân độ dốc, thống kê cho thấy khu vực độ dốc rất nhỏ và rất lớn có diện tích không đáng kể, hiện tượng trượt lở xảy ra rất ít. Trượt lở xảy ra chủ yếu, tập trung ở khu vực có

độ dốc thấp từ $3 \div 15\%$ chiếm gần 1/2 diện tích toàn lưu vực với trên 1/3 tổng số điểm trượt. Khu vực có độ dốc từ $25 \div 40\%$ mật độ điểm trượt thấp hơn nhưng vẫn ở mức khá cao.

5. KẾT LUẬN

Các bản đồ tác nhân trượt lở đất được thành lập, thống kê và phân tích dựa trên phương pháp định lượng trong môi trường GIS giúp đánh giá mức độ nhạy cảm của trượt lở đất một cách trực quan hơn, chính xác hơn. Các bản đồ này cung cấp thông tin về mức độ nguy cơ xảy ra trượt lở đất tại mỗi khu vực trên cơ sở xem xét đầy đủ 9 điều kiện kích hoạt quá trình trượt lở. Đồng thời, các bản đồ được sử dụng làm cơ sở khoa học để tiến hành các biện pháp công trình và phi công trình tại những vị trí được cảnh báo nhằm phòng tránh trượt lở đất có thể xảy ra trong tương lai.

Các địa phương có thể sử dụng bộ bản đồ này làm cơ sở khoa học để phục vụ quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội bền vững, quy hoạch sắp xếp lại dân cư cho các địa phương, đồng thời, vẫn đảm bảo cho chính quyền các cấp tỉnh, huyện, xã và nhân dân địa phương có thể lồng ghép các kế hoạch và biện pháp chủ động phòng, chống và giảm thiểu thiệt hại do trượt lở đất gây ra.

6. LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này thuộc đề tài tiềm năng của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn theo quyết định 4757/QĐ-BNN-KHCN ngày 12/12/2019 được thực hiện với mục đích ứng dụng kịch bản mưa cực đoan có độ phân giải cao để thành lập bản đồ nhạy cảm trượt lở đất nhằm phân vùng và cảnh báo nguy cơ trượt lở trong lưu vực sông Thao, Việt Nam. Xin trân trọng cảm ơn sự tài trợ, hỗ trợ của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn và trường đại học Thủy Lợi đối với nhóm tác giả trong quá trình nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bui, T.D., L. Owe, R. Inge, and D. Oystein, *Landslide susceptibility analysis in the Hoa Binh province of Vietnam using statistical index and logistic regression*. Natural Hazards, 2011. **59**(1413 2011)): p. 1-32.
- [2]. Tran, T.V., M.T. Trinh, G. Lee, S. Oh, and T.H.V. Nguyen, *Effect of extreme rainfall on cut slope stability: case study in yen bai city, Viet Nam*. Journal of the Korean GEO-environmental Society, 2015. **16**(4): p. 23-32.
- [3]. Tran, T.V., V.H. Hoang, H.D. Pham, and S. Go. *Use of Scoops3D and GIS for the Assessment of Slope Stability in Three-Dimensional: A Case Study in Sapa, Vietnam*. in *The International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining*. 2020. Hanoi.
- [4]. Tran, T.V., A. Dinand, and H. Robert, *Weathering and deterioration of geotechnical properties in time of groundmasses in a tropical climate*. Engineering Geology, 2019. **260**(3): p. 1-15.
- [5]. Sỹ, H. and T. Hoàng, *Sạt lở đất - Thiên tai và nhân tai: Xây dựng giải pháp hiệu quả phòng tránh sạt lở đất (Bài cuối)*. Dân tộc và Phát triển, 2020.
- [6]. Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, *Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá các vùng núi Việt Nam*. 2012-2020.
- [7]. Bui, D.T., T.A. Tuan, N.-D. Hoang, N.Q. Thanh, D.B. Nguyen, N.V. Liem, and B. Pradhan, *Spatial prediction of rainfall-induced landslides for the Lao Cai area (Vietnam) using a hybrid intelligent approach of least squares support vector machines inference model and artificial bee colony optimization*. Landslides, 2016. **14**: p. 447-458.
- [8]. Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản. <http://canhbaotruotlo.vn/lienhe.html>. 2020.
- [9]. Tran, T.V., L. Giha, A. Hyunuk, and K. Minseok, *Comparing the performance of TRIGRS and TiVaSS in spatial and temporal prediction of rainfall-induced shallow landslides*. Environmental Earth Sciences, 2017. 76.
- [10]. An, H., M. Kim, G. Lee, and T.T. Viet, *Survey of spatial and temporal landslide prediction methods and techniques*. Korean Journal of Agricultural Science, 2016. **43**(4): p. 507-521.
- [11]. Fausto, G., C. Alberto, C. Mauro, and R. Paola, *Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy*. Geomorphology, 1999. **31**(1-4): p. 181-216.
- [12]. Trinh, T., C. Ho, H.N. Do, A. Ercan, and M.L. Kavvas, *Development of high-resolution 72 h precipitation and hillslope flood maps over a tropical transboundary region by physically based numerical atmospheric-hydrologic modeling*. Journal of Water and Climate Change, 2020. **11**(S1): p. 387-406.