



ỨNG DỤNG MÔ HÌNH MẮT ĐẤT PHỔ QUÁT VÀ GIS ĐỂ MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH BIẾN ĐỘNG XÓI MÒN ĐẤT TRÊN ĐỊA BÀN HUYỆN NAM ĐÔNG, TỈNH THỪA THIÊN HUẾ GIAI ĐOẠN 2013–2023

Phạm Gia Tùng^{1,*}, Nguyễn Hoàng Khánh Linh¹, Nguyễn Thu Hằng¹, Nguyễn Quang Tân¹,
Trần Thị Minh Châu², Nguyễn Bích Ngọc², Nguyễn Thuỳ Phương², Phạm Văn Hiên³

¹ Khoa Quốc Tế – Đại học Huế, 1 Điện Biên Phủ, Huế, Việt Nam

² Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, 102 Phùng Hưng, Huế, Việt Nam

³ Công ty TNHH Hoàng Huy, 275 Lê Lợi, Phường 5, Tuy Hòa, Phú Yên, Việt Nam

* Tác giả liên hệ: Phạm Gia Tùng <phamgiatung@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 31-7-2024; Ngày chấp nhận đăng: 26-8-2024)

Tóm tắt. Nghiên cứu được thực hiện với mục tiêu đánh giá biến động xói mòn đất ở các diện tích đất nông nghiệp của huyện Nam Đông, tỉnh Thừa Thiên Huế giai đoạn 2013–2023 bằng phương trình mắt đất phổ quát kết hợp với kỹ thuật phân tích GIS. Kết quả đã xây dựng được bản đồ xói mòn đất tại 3 thời điểm là các năm 2013, 2018 và 2023. Trong đó năm 2023, có mức độ xói mòn cao nhất và năm 2018 có mức độ xói mòn thấp nhất. Lượng mưa và hệ số che phủ giữa các năm là nguyên nhân chính dẫn đến sự khác biệt này. Ngoài ra, nghiên cứu cũng chỉ ra rằng đất trồng rừng sản xuất là loại hình sử dụng đất có lượng đất bị xói mòn cao nhất, chủ yếu là do yếu tố địa hình vì đất trồng rừng thường có độ dốc trung bình trên 15° , tiếp theo là đến đất trồng cây lâu năm, đất chua sử dụng và đất trồng cây hàng năm.

Từ khóa: huyện Nam Đông, sử dụng đất nông nghiệp, xói mòn đất, USLE

Application of the Universal Soil Loss Equation (USLE) and GIS to simulate and analyze soil erosion changes in Nam Dong District, Thua Thien Hue Province, during the period from 2013 to 2023

Phạm Gia Tung^{1,*}, Nguyen Hoang Khanh Linh¹, Nguyen Thu Hang¹, Nguyen Quang Tan¹, Tran Thi Minh Chau², Nguyen Bich Ngoc², Nguyen Thuy Phuong², Pham Van Hien³

¹ International School – Hue University, 1 Dien Bien Phu St., Hue, Vietnam

² University of Agriculture and Forestry, Hue University, 102 Phung Hung St., Hue, Vietnam

³ Hoang Huy Co., Ltd, 275 Le Loi St., Ward 5, Tuy Hoa, Phu Yen, Vietnam

* Correspondence to Phạm Gia Tung <phamgiatung@hueuni.edu.vn>

(Submitted: July 31, 2024; Accepted: August 26, 2024)

Abstract. This research was conducted in Nam Dong district explore the changes in soil erosion in agricultural land areas from 2013 to 2023 using the Universal Soil Loss Equation and GIS techniques. There are three soil erosion maps for the years 2013, 2018, and 2023 were created based on the USLE formular and the available spatial database. The highest soil erosion rate was found in 2023, while the lowest soil erosion rate was occurred in 2018. Differences in rainfall and coverage coefficients between the years are causes of these variations. Additionally, the result showed that production forest land has the highest soil erosion rate due to the topographical factors because almost this land use type is located in the areas where the slope is over 15°, followed by land for perennial crops, unused land, and land for annual crops.

Keywords: agricultural land use, Nam Dong district, soil erosion, USLE

1 Đặt vấn đề

Xói mòn đất được đánh giá là nguyên nhân chính dẫn đến suy thoái đất đai, ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng đất và giảm năng suất cây trồng, gây thiệt hại về kinh tế, đặc biệt là tại các khu vực đồi núi [1]. Trên thế giới xác định có hai loại xói mòn đất là xói mòn do mưa và xói mòn do gió. Trong đó xói mòn do mưa là chủ đạo tại các quốc gia nhiệt đới, nơi có lượng mưa lớn, địa hình phức tạp làm cho quá trình xói mòn diễn ra ngày càng trầm trọng hơn [2]. Thực tế, cho đến thời điểm hiện nay, có rất nhiều nghiên cứu về xói mòn đất ở nhiều cấp độ. Tuy nhiên đa số các nghiên cứu này chỉ tập trung làm sáng tỏ tiềm năng xói mòn đất ở một thời điểm cụ thể, trong khi đó quá trình xói mòn thường kéo dài dưới sự ảnh hưởng của nhiều điều kiện ngoại cảnh có tính chất thay đổi như lượng mưa, sử dụng đất. Do đó, nghiên cứu xói mòn đất cần được thực hiện theo một chuỗi thời gian nhất định để có thể phán đoán được xu hướng thay đổi tốc độ xói mòn nhằm sử dụng đất hợp lý. Thông thường các nghiên cứu sẽ xem xét xói mòn đất với chu kỳ là năm năm một lần để bảo đảm tính liên tục của dữ liệu quan sát [3].

Đối với nghiên cứu xói mòn đất, phổ biến nhất hiện nay là phương trình mất đất phổ quát (Universal Soil Loss Equation – USLE), được giới thiệu năm 1978 bởi hai nhà nghiên cứu là

Wischmeier và Smith [4]. Đây là một phương trình ước lượng đất bị xói mòn trung bình hàng năm dựa trên năm yếu tố đầu vào là hệ số mưa, hệ số chiều dài và độ dốc địa hình, hệ số kháng xói mòn của đất, hệ số che phủ bề mặt và hệ số của các hệ thống canh tác nông nghiệp. Mặc dù còn nhiều tranh cãi về những ưu, nhược điểm của phương trình USLE, tuy nhiên hầu hết các nhà nghiên cứu đều cho rằng đây là phương trình có thể sử dụng rộng rãi, đơn giản và phù hợp với phần lớn các khu vực trên trái đất. Bên cạnh đó, phương trình USLE hiện nay được tích hợp trên nhiều nền tảng hệ thống thông tin địa lý (Geographical Information Systems – GIS) nên thuận tiện trong việc tính toán, phân tích và xây dựng các bản đồ không gian.

Tỉnh Thừa Thiên Huế có hơn 50% tổng diện tích là đồi núi, trong đó có huyện Nam Đông, là địa bàn có độ cao trung bình hơn 500 m so với mực nước biển và có lượng mưa trung bình năm gần 3000 mm/năm kết hợp với các hệ thống canh tác nông nghiệp đặc trưng vùng miền núi Trung Bộ nên hiện tượng xói mòn đất càng diễn ra gay gắt và tiềm ẩn nhiều nguy cơ trong đời sống nói chung và sản xuất nông nghiệp nói riêng [5]. Do đó, nghiên cứu về tiềm năng xói mòn đất trên địa bàn huyện Nam Đông với chu kỳ 5 năm một lần, từ năm 2013 đến năm 2023 là có ý nghĩa thực tiễn.

2 Phương pháp

2.1 Phương pháp thu thập số liệu

Các số liệu sơ cấp bao gồm: Dữ liệu viễn thám Landsat 8 tháng 4 các năm 2013, 2018 và 2023 từ Cục khảo sát địa chất Hoa Kỳ và dữ liệu mô hình số hoá độ cao (DEM) từ cơ quan khám phá vũ trụ Nhật Bản (JAXA). Các dữ liệu trên được lưu trữ dưới dạng Raster, có độ phân giải không gian là 30 m.

Các số liệu thứ cấp bao gồm: Dữ liệu thời tiết của 9 trạm quan trắc trên địa bàn các tỉnh Thừa Thiên Huế, Quảng Nam và Đà Nẵng; dữ liệu bản đồ hiện trạng sử dụng đất các năm 2013; 2018 và 2023 được biên tập, chỉnh lý dựa trên dữ liệu địa chính; dữ liệu bản đồ thổ nhưỡng của tỉnh Thừa Thiên Huế năm 2005 của Viện điều tra và quy hoạch nông nghiệp Việt Nam.

2.2 Phương pháp phương trình mất đất phổ quát

Phương trình mất đất phổ quát (Universal Soil Loss Equation – USLE) được đề xuất từ năm 1978 và sau đó được cải tiến bởi phiên bản mới hơn là phương trình mất đất phổ quát hiệu chỉnh (Revised Universal Soil Loss Equation – RUSLE) với sự thay đổi về giá trị các đại lượng thành phần của phương trình, đòi hỏi nhiều dữ liệu chi tiết hơn. Do đó, trên thế giới, phương trình USLE vẫn được ưa chuộng sử dụng.

Phương trình USLE được mô tả như sau:

$$A = R \times LS \times K \times C \times P$$

trong đó: A là lượng mất đất trung bình trên một đơn vị diện tích trong năm. Trong phương trình đơn vị A phụ thuộc xác định đơn vị biểu diễn K, R . Trên thực tế tính toán đơn vị A (tấn/ha năm); R là hệ số mưa/chảy tràn, đánh giá năng lượng mưa và dòng chảy tràn ($\text{MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ năm}^{-1}$); LS

là hệ số chiều dài sườn và độ dốc (Không có đơn vị); K là hệ số xói mòn đất của đất (tấn ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm¹); C là hệ số lớp phủ bề mặt đất (Không có đơn vị); P là hệ số canh tác hay hệ số cách làm đất (Không có đơn vị);

Các phương pháp để tính các hệ số đầu vào của mô hình USLE được áp dụng như sau:

Phương pháp tính hệ số R

Để xây dựng bản đồ R, cần có dữ liệu lượng mưa của các mốc thời gian tương ứng. Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu từ 9 trạm quan trắc (Bảng 1) trong phạm vi huyện Nam Đông, A Lưới, Hương Thủy, Hòa Vang (Đà Nẵng) và Đông Giang (Quảng Nam). Giữa giá trị R và lượng mưa có mối tương quan chặt chẽ và được nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới mô phỏng bằng nhiều công thức khác nhau, nghiên cứu này lựa chọn công thức tính R dựa vào lượng mưa do tác giả Nguyễn Trọng Hà đề xuất [6] và được sử dụng ở nhiều vùng sinh thái khác nhau trên lãnh thổ Việt Nam khi nghiên cứu về xói mòn đất [7]. Công thức này được xây dựng trên cơ sở sử dụng số liệu quan trắc của 253 trạm khí tượng trong suốt 54 năm liên tục. Việc lựa chọn công thức tính để bảo đảm sự đồng bộ khi so sánh, phân tích lượng đất bị xói mòn hàng năm giữa các vùng nghiên cứu khác nhau vì giá trị R ảnh hưởng lớn đến lượng đất bị xói mòn giữa các địa điểm.

$$R = 0,548257 \times \text{Lượng mưa trung bình năm (mm)} - 59,9$$

Sử dụng phương pháp nội suy nghịch đảo khoảng cách (IDW) trong phần mềm ArcGIS để xây dựng bản đồ hệ số R, đây là phương pháp được nhiều nghiên cứu về xói mòn sử dụng phổ biến hiện nay [8, 9]. Do lượng mưa mỗi năm khác nhau, do đó sẽ xây dựng được mỗi bản đồ R khác nhau.

Bảng 1. Hệ số mưa/dòng chảy tràn tại các trạm quan trắc, năm 2013, 2018 và 2023

STT	Tên Trạm	Lượng mưa (mm/năm)			Hệ số R (MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹ năm ⁻¹)		
		2013	2018	2023	2013	2018	2023
1	Xã A Đót - H. A Lưới	2719	2139	3324	1432	1113	1763
2	Xã Hương Nguyên - H. A Lưới	2603	2092	3328	1368	1088	1765
3	Xã Thượng Nhật - H. Nam Đông	2621	2088	3529	1378	1085	1876
4	Thị trấn A Lưới - H. A Lưới	2552	2044	3160	1340	1061	1673
5	Thị trấn Khe Tre - H. Nam Đông	2562	2092	3516	1345	1088	1869
6	Xã Hòa Phong - H. Hòa Vang	2372	1929	3239	1241	998	1717
7	Thị trấn Prao - H. Đông Giang	2732	2229	3429	1439	1163	1821
8	Thị trấn Phú Lộc - H. Phú Lộc	2576	2137	3634	1353	1112	1933
9	P. Phú Bài - TX. Hương Thủy	2526	2049	3638	1326	1064	1936

Phương pháp tính hệ số LS

Hệ số địa hình, hay còn gọi là hệ số LS, là sự kết hợp giữa chiều dài địa hình và độ dốc địa hình. Tốc độ xói mòn được chứng minh là do ảnh hưởng rất lớn từ địa hình, đặc biệt là tại các khu vực đồi núi ở khu vực nhiệt đới như miền Trung Việt Nam [5]. Để tính được hệ số LS, sử dụng dữ liệu DEM để xác định độ dài dòng chảy và độ dốc địa hình. Trong phạm vi nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng công thức tính LS do tác giả Moore and Wilson đề xuất [10], theo đó:

$$LS = \left(\frac{A_s}{22,13} \right)^m \times \left(\frac{\sin(\text{Slope degree} \times 0,01744)}{0,09} \right)^n$$

trong đó, LS là giá trị hệ số địa hình, A_s là giá trị chiều dài dòng chảy và Slope degree là độ dốc địa hình tính bằng độ; 22,13 là giá trị chiều dài dốc trong mô hình thực nghiệm USLE, tương đương 72ft; 0,01744 là giá trị chuyển đổi giữa đơn vị đo độ dốc từ độ sang radian; 0,09 là giá trị độ dốc thực nghiệm, tương đương 9%; m và n là các giá trị thực nghiệm, trong đó $m = 0,5$ và $n = 1,3$ theo như nhiều nghiên cứu ở các điều kiện địa hình và khí hậu tương đồng [5]. Trong nghiên cứu này LS được tính tự động bằng công cụ trong phần mềm SAGA 9.1 với dữ liệu DEM độ phân giải 30, tải về từ JAXA (<https://global.jaxa.jp/>). Hệ số LS được tính từ địa hình, là yếu tố gần như không thay đổi trong phạm vi xem xét 10 năm, do đó, trong nghiên cứu này dữ liệu DEM sẽ được dùng chung cho cả 3 thời điểm trong phạm vi nghiên cứu.

Phương pháp tính hệ số kháng xói mòn K

Hệ số K thể hiện khả năng của đất chống lại xói mòn, có quan hệ chặt chẽ với thành phần cơ giới và hàm lượng chất hữu cơ có trong đất. Do đó, để có hệ số K một cách chính xác nhất đòi hỏi cần phải lấy mẫu đất, phân tích thành phần cấp hạt và hàm lượng chất hữu cơ, đây là một quy trình tốn kém về thời gian và kinh phí. Nghiên cứu này sử dụng hệ số K từ các nghiên cứu trước đó ở khu vực đồi núi Việt Nam [11] đối với 4 nhóm loại đất là đất vàng đỏ, đất đỏ vàng, đất nâu vàng và đất phù sa trên cơ sở bản đồ thổ nhưỡng của tỉnh Thừa Thiên Huế do Viện quy hoạch và thiết kế nông nghiệp Việt Nam xây dựng năm 2005. Do đó, trong nghiên cứu này hệ số K được áp dụng cho cả 3 năm 2013, 2018 và 2023.

Phương pháp tính hệ số che phủ bề mặt (C)

Hệ số C có giá trị từ 0 đến 1, thể hiện mức độ che phủ bề mặt đất của các thảm thực vật. Hệ số C có mối quan hệ tương quan nghịch chặt chẽ với chỉ số khác biệt thực vật (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI), do đó có nhiều đề xuất sử dụng NDVI để tính ra chỉ số C [12, 13] mà công thức của Durigon [14] được sử dụng rộng rãi hiện nay.

$$C = \frac{(-NDVI+1)}{2}, \text{ trong đó } NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}$$

Ở nghiên cứu này, NIR là kênh cận hồng ngoại và RED là kênh đỏ của ảnh Landsat 8 tại thời điểm cuối tháng 3 và đầu tháng 4 các năm 2013, 2018 và 2023.

Phương pháp tính hệ số canh tác (P)

Đây là hệ số được đánh giá là khó lượng hóa và thiếu sự chắc chắn nhất trong phương trình USLE do nó phụ thuộc vào tập quán canh tác của từng địa phương, dân tộc. Do đó, thông thường các nhà nghiên cứu bỏ qua hệ số này và cho giá trị mặc định là 1 [15]. Tuy nhiên trong nghiên cứu về sử dụng đất và xói mòn đất thì không thể bỏ qua giá trị này, do đó một số phương pháp, nguyên tắc suy luận giá trị P đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới đề xuất trên cơ sở các giá trị thực nghiệm. Trong số đó, đề xuất của nhà nghiên cứu Shin vào năm 1999 được nhiều học giả Việt Nam và trên thế giới áp dụng [5, 16], theo đó hệ số P được xác định dựa trên loại hình sử dụng đất kết hợp với độ dốc địa hình (Bảng 2). Mặc dù yếu tố địa hình không thay đổi nhưng yếu tố loại hình sử dụng đất sẽ thay đổi theo thời gian, do đó trong nghiên cứu này sẽ có 3 bản đồ hệ số P tương ứng với 3 năm 2013, 2018 và 2023.

Phân cấp xói mòn (A)

Sử dụng công cụ tính toán raster trong ArcGIS với 5 dữ liệu đầu vào như trên, xây dựng được bản đồ xói mòn đất của các năm nghiên cứu dưới dạng dữ liệu raster. Để có cơ sở so sánh mức độ xói mòn đất, chúng tôi tham khảo và sử dụng một số cách phân loại mức độ xói mòn (Bảng 3) dùng cho miền núi vùng nhiệt đới [1, 17].

Bảng 2. Giá trị hệ số P của các loại hình sử dụng đất tại vùng nghiên cứu

Loại hình sử dụng đất	Độ dốc (Độ)				
	0-5	5-8	8-10	10-15	> 15
Đất chưa sử dụng các loại	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Đất trồng rừng, cây lâu năm, cây ăn quả	0,55	0,60	0,80	0,90	1,00
Đất nông nghiệp hàng năm	0,27	0,30	0,40	0,45	0,50

Bảng 3. Phân cấp mức độ xói mòn đất

Phân cấp xói mòn	Lượng đất bị xói mòn (tấn/ha/năm)	Bề mặt đất bị mất (mm/năm)
Xói mòn nhẹ	0-10	0-0,8
Xói mòn trung bình	10-75	0,8-6,25
Xói mòn mạnh	75-150	6,25-12,5
Xói mòn cực kỳ mạnh	> 150	> 12,5

2.3 Phương pháp hệ thống thông tin và viễn thám

Sử dụng bộ công cụ của GIS để phân tích các dữ liệu như công cụ tính toán raster; công cụ nội suy không gian và chồng xếp bản đồ. Phần mềm sử dụng là ArcGIS. Ngoài ra, sử dụng các dữ liệu viễn thám để xây dựng các loại bản đồ như xác định hệ số che phủ thông qua chỉ số khác biệt thực vật (Normalized Difference Vegetation Index); xây dựng bản đồ địa hình bằng mô hình số hóa độ cao (Digital Elevation Model – DEM). Độ phân giải không gian là 30 m. Các dữ liệu viễn thám được hiệu chỉnh phản xạ, hiệu chỉnh hình học và lưu trữ ở hệ tọa độ WGS 84 UTM. Sử dụng bộ phần mềm FME 2016 để chuyển đổi bản đồ hiện trạng sử dụng đất từ MicroStation ở hệ tọa độ VN2000 sang định dạng shapefiles ở hệ tọa độ UTM.

2.4 Phương pháp phân tích thống kê

Các số liệu được xử lý bằng phần mềm Excel để đưa vào các phân tích sâu hơn bằng SPSS nhằm làm sáng tỏ sự khác biệt về lượng đất bị xói mòn qua các thời điểm cũng như giữa các loại hình sử dụng đất. Sử dụng các kết quả của bảng Post Hoc Tests Multiple Comparisons để xác định sự khác biệt giữa xói mòn đất giữa các năm và khác biệt xói mòn đất của các loại hình sử dụng đất trong từng năm.

Giả thuyết: $A_{2013} = A_{2018} = A_{2023}$ (Trung bình xói mòn đất năm 2013, 2018 và 2023 là không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức tin cậy 95%).

Đối thuyết: $A_{2013} \neq A_{2018} \neq A_{2023}$ (Trung bình xói mòn đất năm 2013, 2018 và 2023 là có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức tin cậy 95%).

Tương tự;

Giả thuyết: $A_{LUTij} = A_{LUTkj} = A_{LUTmj} \dots$ (Trung bình xói mòn đất của loại hình sử dụng đất i của năm thứ j là không khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức tin cậy 95% so với các loại hình sử dụng đất $k, m \dots$ của năm thứ j).

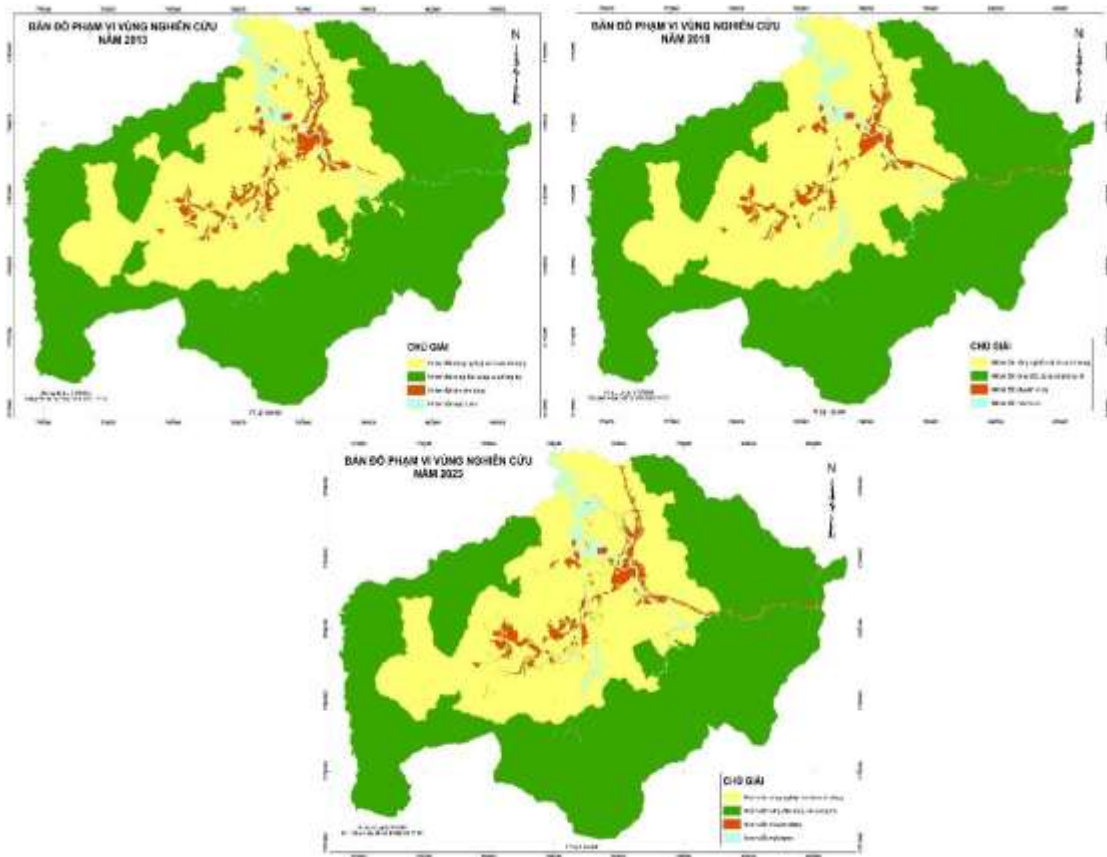
Đối thuyết: $A_{LUTij} \neq A_{LUTkj} \neq A_{LUTmj} \dots$ (Trung bình xói mòn đất của loại hình sử dụng đất i của năm thứ j là khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức tin cậy 95% so với các loại hình sử dụng đất $k, m \dots$ của năm thứ j)).

3 Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Huyện Nam Đông có địa hình khá phức tạp, độ cao trung bình so với mực nước biển là 409 m, độ dốc trung bình là 23 °. Địa hình có đặc trưng lòng chảo, trung tâm và phía bắc của huyện tương đối bằng phẳng, trong khi đó ở các hướng còn lại chủ yếu là núi cao. Đặc thù khí hậu là khắc nghiệt, với nhiệt độ cao nhất được ghi nhận là 41°C, nhiệt độ thấp nhất là 5°C. Lượng mưa trung bình năm trong 10 năm liên tiếp ở khu vực này được ghi nhận tại trạm đo Nam Đông (Thị trấn Khe Tre) là hơn 3.200 mm/năm. Ngoài ra, đây là một địa bàn đặc biệt của tỉnh Thừa Thiên Huế khi diện tích rừng đặc dụng và rừng phòng hộ chiếm hơn 65% tổng diện tích tự nhiên, trong khi đó diện tích đất nông nghiệp chỉ chiếm khoảng 9% và diện tích trồng rừng sản xuất

chiếm khoảng 20% còn lại là diện tích đất chuyên dùng. Với đặc điểm như vậy, thực chất quỹ đất dành cho sản xuất của cư dân địa phương là thấp so với các địa bàn khác có cùng đặc điểm tự nhiên và xã hội. Địa bàn này là nơi cư trú của khoảng 25.000 người (năm 2013) đến hơn 27.000 người (năm 2023), trong đó người đồng bào dân tộc thiểu số chiếm hơn 60% tổng dân số. Nhìn chung điều kiện tự nhiên, kinh tế xã hội của địa bàn còn nhiều khó khăn [18].

Nghiên cứu này được giới hạn bởi loại hình sử dụng đất, do đó, phạm vi nghiên cứu có sự khác biệt giữa các năm 2013, 2018 và 2023 ở các nhóm sử dụng đất, bao gồm: Nhóm đất nông nghiệp và chưa sử dụng (thuộc vùng nghiên cứu); Nhóm đất rừng đặc dụng và phòng hộ; Nhóm đất mặt nước và nhóm đất chuyên dùng (Hình 1).



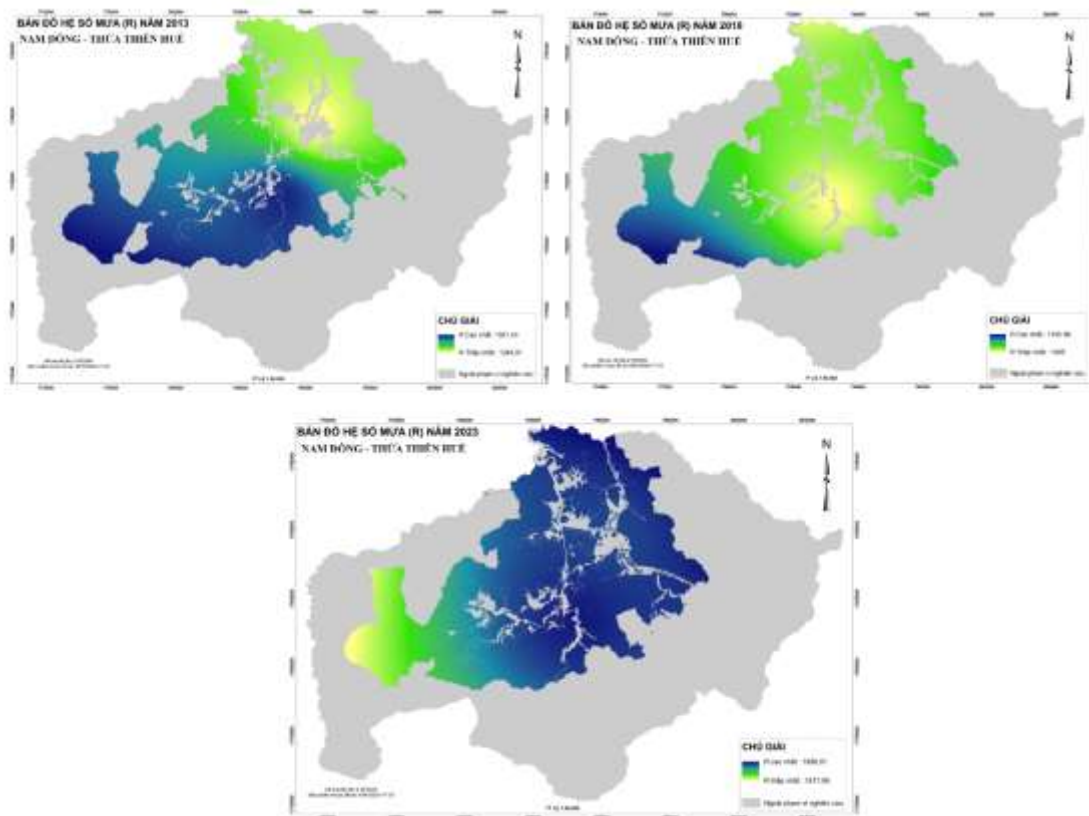
Hình 1. Phạm vi nghiên cứu các năm 2013, 2018 và 2023

4 Kết quả nghiên cứu và thảo luận

4.1 Xây dựng bản đồ xói mòn đất

Bản đồ hệ số R

Hệ số R của huyện Nam Đông năm 2013 là từ 1345,0 đến 1381,4; năm 2018 là 1085,0 đến 1100,5; năm 2023 là 1817,6 đến 1880,0 (Hình 2). Như vậy chênh lệch về giá trị R của từng năm lần lượt là 2,7%; 1,4% và 1,3%. Hình 2 cho thấy lượng mưa khá đồng đều giữa các khu vực trong huyện, tuy nhiên năm 2013 và 2018, mưa chủ yếu tập trung ở phía tây của vùng nghiên cứu nhưng năm 2023 thì ở phía bắc và đông bắc. Sự chênh lệch về giá trị R giữa các địa điểm trong phạm vi nghiên cứu là không đáng kể, giá trị thấp nhất năm 2023 là 1.817,59 và cao nhất là 1.880,01 cho thấy chênh lệch cao nhất là 3%, tương tự năm 2013 là 2,67% và năm 2018 là 1,47%. Điều này cho thấy sự ảnh hưởng của lượng mưa đến lượng đất bị xói mòn ở các điểm khác nhau trong vùng nghiên cứu là không lớn.



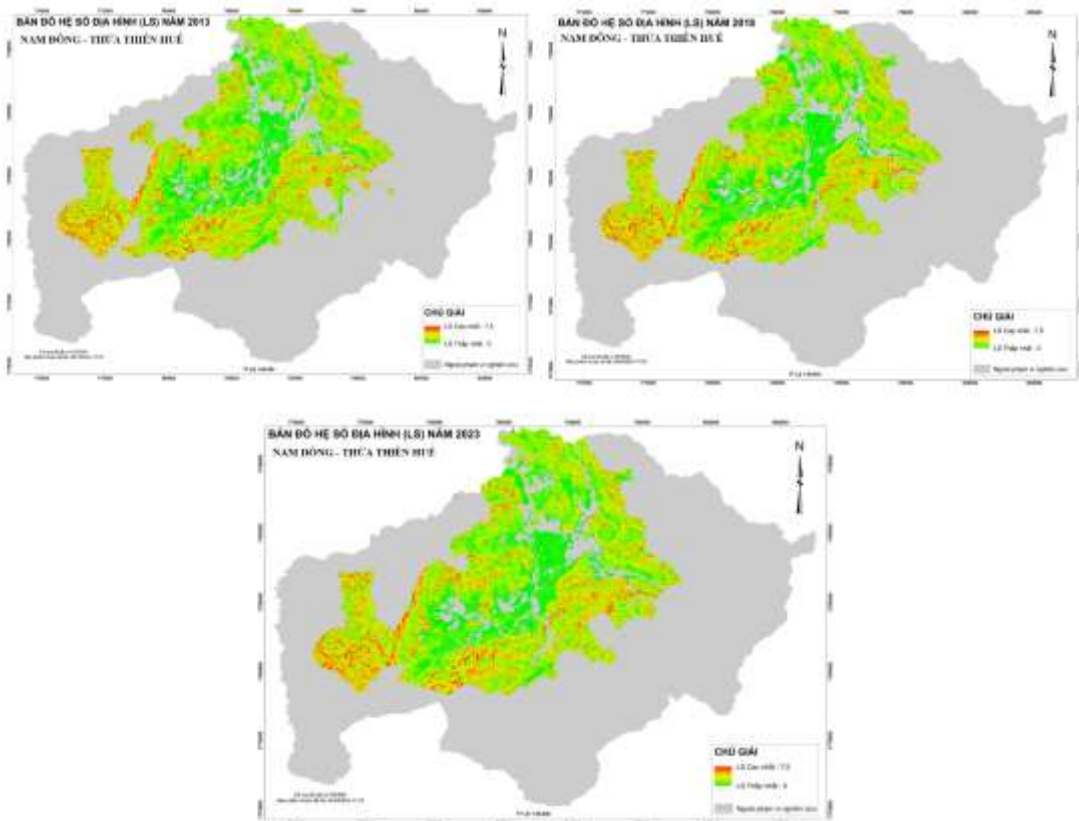
Hình 2. Giá trị R các năm 2013, 2018 và 2023

Bản đồ hệ số LS

Bản đồ hệ số LS dao động từ 0 cho đến 7,5 (Hình 3). Trong đó khu vực trung tâm của huyện có hệ số LS thấp nhất do đây là vùng thung lũng, có độ dốc không cao, tốc độ dòng chảy không mạnh, đây thường là đất trồng cây hàng năm và cây lâu năm. Những khu vực trồng rừng sản xuất có hệ số LS cao hơn do địa hình phức tạp, chủ yếu độ dốc từ 15° trở lên. Ngoài ra, ở những khu vực có độ dốc cao và độ cao lớn sẽ xuất hiện các điểm, dãy điểm có giá trị LS cao đột biến, đó là do sự hình thành các đường phân thủy dựa trên tính toán hướng dòng chảy và tích lũy dòng chảy, đây là nguyên nhân gây ra những giá trị cao dị biệt của lượng đất bị xói mòn. Sự khác biệt về giá trị hệ số LS giữa các năm là không đáng kể mà chỉ có sự thay đổi về phạm vi nghiên cứu do sự khác nhau về ranh giới các loại hình sử dụng đất nông nghiệp giữa các thời điểm nghiên cứu.

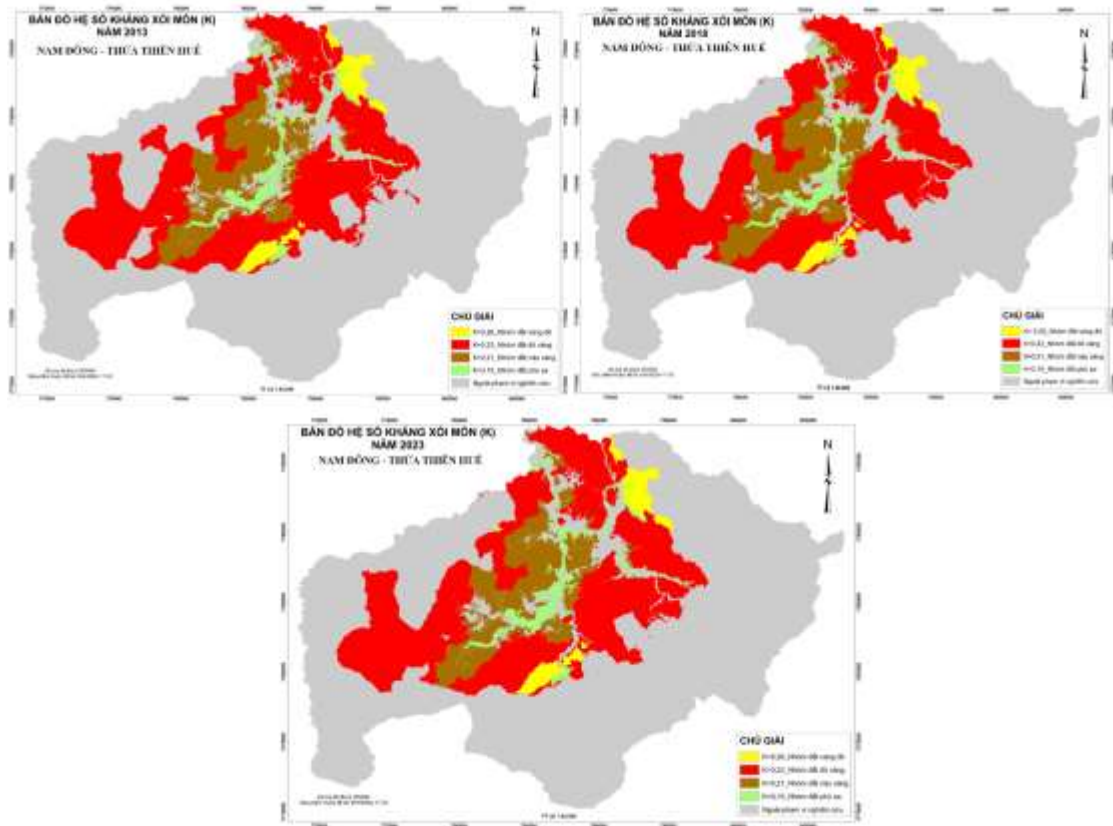
Bản đồ hệ số K

Thổ nhưỡng của khu vực có tính đồng nhất khá cao, trong đó loại đất đỏ vàng chiếm ưu thế với gần 16 ngàn ha, tiếp theo là đất nâu vàng với hơn 5 ngàn ha (Hình 4 và Bảng 4). Đây là các loại đất có tính kháng xói mòn ở mức trung bình, đặc biệt là ở những vùng có địa hình phức tạp, làm nguy cơ xói mòn đất càng trầm trọng hơn. Một số nghiên cứu cũng cho rằng, cùng loại đất nhưng nếu hàm lượng mùn cao thì khả năng chống xói mòn sẽ tốt hơn. Tuy nhiên, theo một



Hình 3. Giá trị LS các năm 2013, 2018 và 2023

số nghiên cứu gần đây cho thấy hàm lượng mùn của diện tích đất sản xuất nông nghiệp ở huyện Nam Đông là ở mức trung bình (1–2%), chiếm hơn 65% tổng diện tích tự nhiên [19]. Điều này dẫn đến khả năng kháng xói mòn của đất ở vùng nghiên cứu là hạn chế.



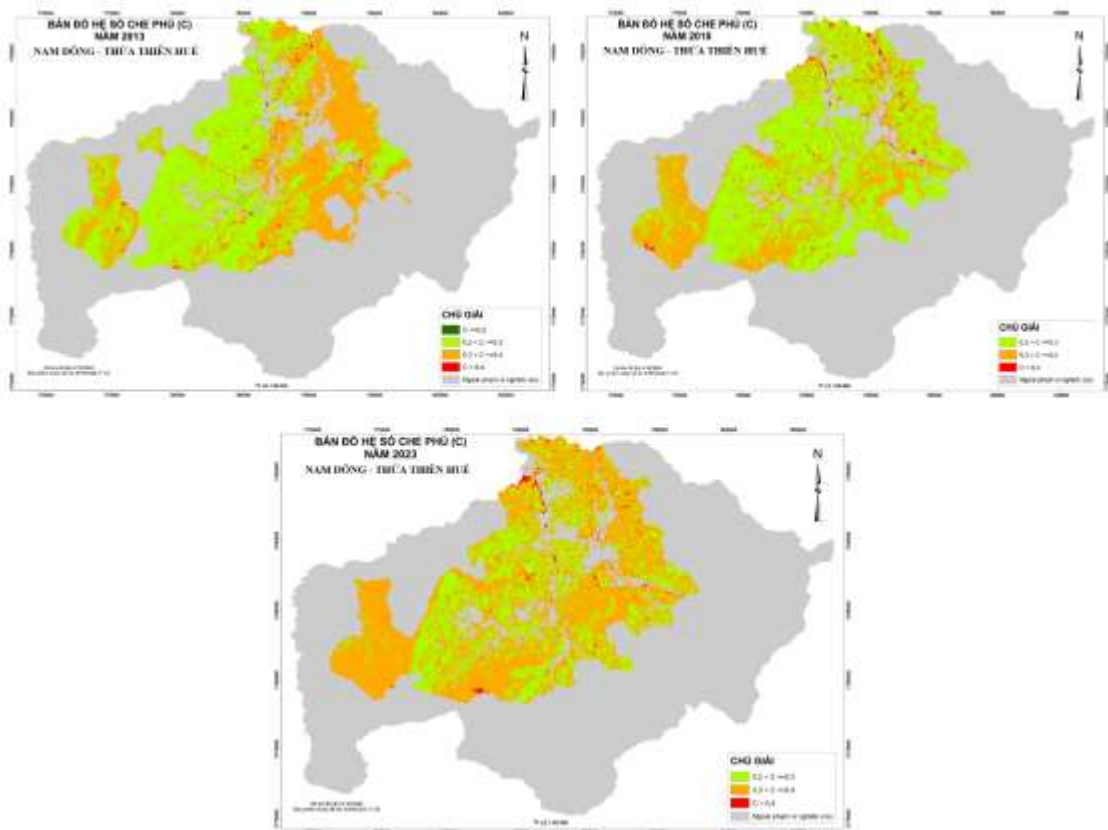
Hình 4. Giá trị K các năm 2013, 2018 và 2023

Bảng 4. Loại đất và hệ số K các năm 2013, 2018 và 2023

STT	Loại đất	Hệ số K	Diện tích (ha)		
			2013	2018	2023
1	Nhóm đất vàng đỏ	0,28	1.220,8	1.212,1	1.212,1
2	Nhóm đất đỏ vàng	0,23	15.831,0	15.682,5	15.577,1
3	Nhóm đất nâu vàng	0,21	5.114,7	5.226,7	5.007,4
4	Nhóm đất phù sa	0,15	1.354,3	1.375,2	1.304,6

Bản đồ hệ số C

Hệ số che phủ qua các năm thay đổi khá lớn. Năm 2013 và năm 2018 có mức độ che phủ tốt hơn so với năm 2023 (Hình 5 và Bảng 5). Đây là diễn tiến chung trên địa bàn tỉnh Thừa Thiên Huế như phát hiện của Trần Quốc Cảnh và cs. khi nghiên cứu trên địa bàn huyện A Lưới, cho thấy diện tích rừng có giá trị NDVI trung bình của những năm trước là cao hơn so với năm sau [20]. Điều này là do một phần lớn diện tích các loại hình sử dụng đất trồng rừng sản xuất được thu hoạch đại trà trong năm 2022 và 2023 dẫn đến diện tích trồng mới chưa thể phủ hết được khu vực nghiên cứu. Hệ số C cao nhất năm 2023 tập trung tại các khu vực ven sông suối, đây là những khu vực đa số thuộc nhóm đất chưa sử dụng và không ổn định do sự thay đổi dòng chảy nên ít có sự xuất hiện của các thảm thực vật có chu kỳ sinh trưởng và phát triển lâu dài.



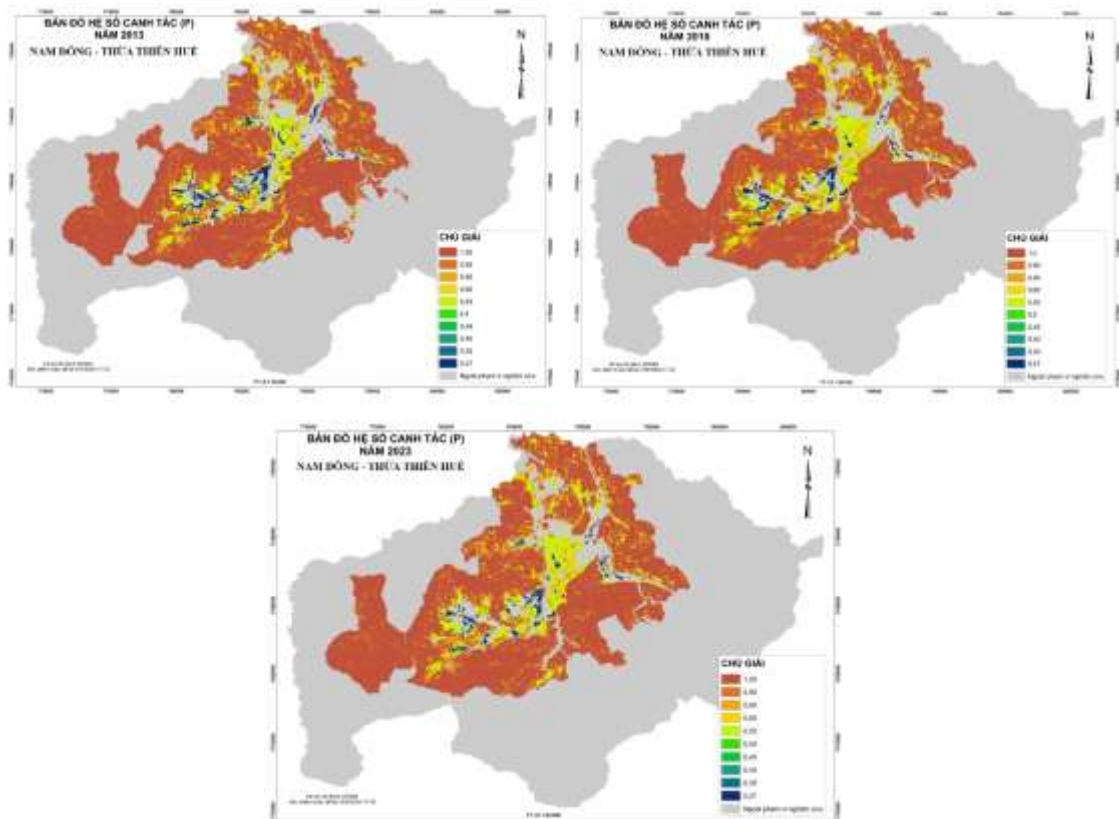
Hình 5. Giá trị C các năm 2013, 2018 và 2023

Bảng 5. Hệ số che phủ C các năm 2013, 2018 và 2023

STT	Giá trị C	Diện tích (ha)		
		2013	2018	2023
1	$0 \leq 0,2$	49,4		
2	$0,2 < C \leq 0,3$	13.043,9	15.014,6	8.193,9
3	$0,3 < C \leq 0,4$	10.255,9	8.228,0	14.638,7
4	$C > 0,4$	138,6	235,8	249,7

Bản đồ hệ số P

Các loại hình sử dụng đất trồng cây hàng năm thường ở độ dốc thấp, cây lâu năm thường ở độ dốc trung bình và rừng sản xuất ở độ dốc cao. Dữ liệu phân tích cho thấy, tổng số diện tích đất có hệ số P bằng 1,00 (tức là không có các biện pháp hạn chế xói mòn) qua các năm là 16.541,3 (2013); 16.344,9 (2018); 16.257,5 (2023), tương ứng với 90%; 86% và 87% tổng diện tích đất không được bảo vệ khỏi xói mòn (Hình 6 và Bảng 6).



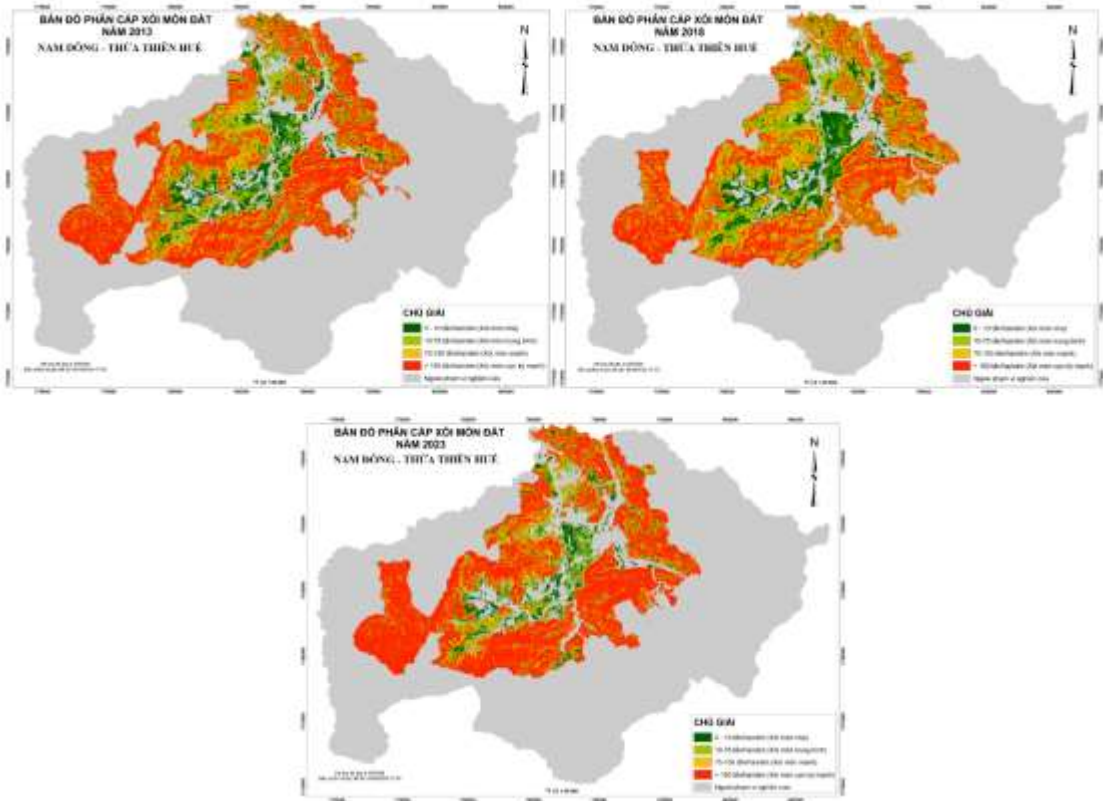
Hình 6. Giá trị P các năm 2013, 2018 và 2023

Bảng 6. Diện tích và hệ số P () năm 2013, 2018 và 2023

Nhóm sử dụng đất	Độ dốc địa hình (Độ)					Tổng cộng
	0-5	5-8	8-10	10-15	> 15	
Năm 2013						
Đất chưa sử dụng	42,5 (1,00)	7,1 (1,00)	2,1 (1,00)	6,4 (1,00)	39,2 (1,00)	97,3
Đất trồng cây lâu năm	1147,5 (0,55)	732,4 (0,60)	324,7 (0,80)	810,5 (0,90)	1.071,3 (1,00)	4.086,4
Đất trồng cây hàng năm	595,1 (0,27)	61,8 (0,30)	14,2 (0,40)	21,3 (0,45)	26,0 (0,50)	718,3
Đất rừng sản xuất	653,5 (0,55)	559,3 (0,60)	412,9 (0,80)	1.428,1 (0,90)	15.347,0 (1,00)	18.400,8
Năm 2018						
Đất chưa sử dụng	33,9	4,4	0,6	0,5	0,0	39,3
Đất trồng cây lâu năm	1.248,8	681,6	293,9	700,6	920,5	3.845,4
Đất trồng cây hàng năm	427,2	30,1	6,1	5,8	1,0	470,2
Đất rừng sản xuất	885,4	690,6	461,8	1.551,6	15.384,1	18.973,5
Năm 2023						
Đất chưa sử dụng	37,2	4,4	0,5	0,6	0,1	42,78
Đất trồng cây lâu năm	1.157,9	674,5	286,3	676,9	872,6	3.668,1
Đất trồng cây hàng năm	393,6	26,8	6,0	5,6	0,8	432,8
Đất rừng sản xuất	759,1	625,1	437,8	1.508,4	15.341,3	18.671,7

Bản đồ xói mòn đất

Có thể thấy rằng, năm 2023 có diện tích đất bị xói mòn ở mức cực kỳ mạnh là nhiều nhất, chiếm hơn 66% tổng diện tích vùng nghiên cứu, trong khi đó năm 2018 là ít nhất với hơn 43% (Hình 7 và Bảng 7). Điều này phù hợp với diễn biến lượng mưa của từng năm trong phạm vi nghiên cứu. Diện tích đất bị xói mòn nhẹ chỉ chiếm chưa đến 5% (năm 2023) và cao nhất là 8,10% (năm 2018), điều này đặt ra nhiều thách thức đối với sản xuất nông nghiệp trên địa bàn.



Hình 7. Bản đồ xói mòn đất năm 2013, 2018 và 2023

Bảng 7. Mức độ xói mòn đất năm 2013, 2018 và 2023

Phân cấp xói mòn	Diện tích (ha)		
	2013	2018	2023
Xói mòn nhẹ	1.314,9	1.710,6	951,7
Xói mòn trung bình	4.460,8	5.226,8	2.978,6
Xói mòn mạnh	4.230,1	5.156,5	2.871,8
Xói mòn cực kỳ mạnh	11.137,5	9.030,0	13.317,9

4.2 Diễn biến xói mòn đất giai đoạn 2013–2023

Diễn biến xói mòn đất theo thời gian

Qua dữ liệu phân cấp xói mòn và các bản đồ cho thấy năm 2023 có tốc độ xói mòn đất cao nhất, trong khi đó năm 2018 có tốc độ xói mòn thấp nhất (Bảng 8). Tuy nhiên để bảo đảm có cơ sở khoa học để khẳng định nhận xét này thì cần tiến hành các phân tích và thống kê.

Bảng 8. Các chỉ tiêu thống kê xói mòn đất các năm 2013, 2018 và 2023

Chỉ tiêu	Năm 2013	Năm 2018	Năm 2023
Trung bình xói mòn đất (tấn/ha/năm)	254,07	131,71	168,01
Xói mòn thấp nhất (tấn/ha/năm)	0,00	0,00	0,00
Xói mòn cao nhất (tấn/ha/năm)	1.202,11	737,40	996,54
Độ lệch chuẩn xói mòn	197,32	108,11	135,49
Giá trị Skewness	0,652	0,665	0,635

Như vậy, có thể thấy dữ liệu về xói mòn đất là tuân theo quy luật phân phối chuẩn (Với chỉ số Skewness <1), do đó có thể sử dụng phân tích ANOVA với kiểm định Turkey.

Ở đây chúng ta thấy rằng với mức độ tin cậy 95%, giá trị Sig. = 0,000 < 0,05, nên có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa lượng đất bị mất do xói mòn đất giữa các năm 2013, 2018 và 2023 (Bảng 9). Sử dụng phân tích sâu, thu được kết quả Bảng 10.

Qua Bảng 10 cho thấy, có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức tin cậy 95% về lượng đất bị xói mòn trung bình năm 2013, 2018 và 2023. Trong đó năm 2023 là cao nhất, năm 2018 là thấp nhất như nhận định ban đầu. Vấn đề là cần xác định đâu là nguyên nhân của những sự khác biệt này, hay nói cách khác là xác định mức độ đóng góp vào sự khác biệt này của 5 yếu tố trong mô hình xói mòn đất. Để giải quyết vấn đề này, nghiên cứu sử dụng chức năng Regression trong phần mềm SPSS để xác định hệ số ảnh hưởng của các yếu tố đến lượng đất bị xói mòn từng năm, kết quả được thể hiện ở Bảng 11.

Bảng 9. Kết quả phân tích ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1634553320,818	2	817276660,409	35543,245	0,000
Within Groups	16106307245,140	700461	22993,867		
Total	17740860565,958	700463			

Bảng 10. Kết quả phân tích sâu ANOVA

Năm	Lượng đất bị xói mòn trung bình (tấn/ha/năm)		
	Nhóm 1	Nhóm 2	Nhóm 3
2013		168,01	
2018	131,71		
2023			254,07

Bảng 11. Ảnh hưởng của các yếu tố đến chênh lệch xói mòn đất giữa các năm trong thời kỳ nghiên cứu

Cặp năm so sánh	Beta	t	Sig.	Collinearity Statistics	
				Tolerance	VIF
(Constant)		11,664	0,000		
2018 - R1813	0,040	19,633	0,000	0,972	1,029
2013 C1813	0,285	141,042	0,000	0,972	1,029
P1813	0,042	21,265	0,000	1,000	1,000
(Constant)		127,138	0,000		
2023 - R2318	-0,229	-114,268	0,000	0,999	1,001
2018 C2318	0,146	72,810	0,000	0,999	1,001
P2318	0,011	5,591	0,000	1,000	1,000
(Constant)		79,329	0,000		
2023 - R2313	-0,140	-66,858	0,000	0,915	1,093
2013 C2313	0,194	92,903	0,000	0,915	1,093
P2313	-0,008	-4,007	0,000	1,000	1,000

Giá trị Sig. = 0,000 < 0,05 chứng tỏ các biến độc lập (là chênh lệch của các biến đầu vào giữa hai thời điểm) có ý nghĩa đối với biến phụ thuộc (là chênh lệch của lượng đất bị xói mòn giữa hai thời điểm so sánh) ở tất cả các năm trong phạm vi nghiên cứu với mức tin cậy 95% (Bảng 11). Giữa các thời kỳ so sánh chỉ có lượng mưa, mức độ che phủ và hệ số canh tác là có ảnh hưởng đến chênh lệch xói mòn đất. Điều này là phù hợp vì hai biến còn lại là độ dài dốc địa hình và hệ số kháng xói mòn cùng dùng chung một nguồn dữ liệu cho cả thời kỳ nghiên cứu. Yếu tố hệ số canh tác có mức độ tác động, ảnh hưởng đến chênh lệch xói mòn đất ít nhất trong cả thời kỳ nghiên cứu. Yếu tố lượng mưa có tác động mạnh nhất đến chênh lệch xói mòn đất giữa năm 2023 và năm 2018, ngược lại yếu tố hệ số che phủ có tác động mạnh nhất đối với giai đoạn 2018-2013 và 2023-2013. Điều này là phù hợp vì lượng mưa năm 2023 là cao nhất và lượng mưa 2018 là thấp nhất.

Diễn biến xói mòn đất theo loại hình sử dụng đất

Để xác định mức độ xói mòn đất của các loại hình sử dụng đất từng năm, nghiên cứu đã tiến hành so sánh lượng đất bị mất giữa các loại hình sử dụng đất, cụ thể là đất trồng cây hàng năm (Bao gồm đất trồng lúa và đất trồng cây hàng năm khác); Đất trồng cây lâu năm (Bao gồm đất trồng cây lâu năm và cây ăn quả); Đất trồng rừng sản xuất (Bao gồm đất có rừng trồng sản xuất và đất có rừng tự nhiên sản xuất) và Đất chưa sử dụng (Bao gồm đất bằng chưa sử dụng và đất đồi núi chưa sử dụng).

Qua Bảng 12 cho thấy, với độ tin cậy 95%, đất trồng cây hàng năm bị xói mòn luôn thấp hơn so với các loại hình sử dụng đất khác. Trong đó năm 2018 là thấp nhất, năm 2013 là cao nhất. Một điều đáng lưu ý là mặc dù năm 2013 có lượng mưa thấp hơn so với năm 2023 nhưng lượng đất bị xói mòn lại cao hơn năm 2023, điều này chứng minh rằng hoạt động sản xuất trồng cây hàng năm đã có tác dụng lên việc làm hạn chế xói mòn đất (thông qua hệ số C và hệ số P). Đây là một tín hiệu tích cực trong công tác bảo vệ đất sản xuất nông nghiệp. Đối với nhóm đất trồng cây lâu năm và trồng rừng sản xuất, mặc dù giá trị trung bình bị mất đất là khác nhau có ý nghĩa thống kê ở mức tin cậy 95%, tuy nhiên có cùng xu hướng là năm 2018 thấp nhất và năm 2023 là cao nhất, điều này chủ yếu dưới tác động của lượng mưa. Qua đây cho thấy thay đổi trong sử dụng các loại đất này chưa có sự tác động tích cực đến việc chống xói mòn ở các khu vực có độ dốc lớn. Một điều đáng chú ý là xói mòn đất ở khu vực có rừng sản xuất là cao nhất trong số các loại hình sử dụng đất nông nghiệp. Nguyên nhân chủ yếu là do đất rừng sản xuất thường nằm ở những khu vực có địa hình dốc trung bình 15° dẫn đến tiềm ẩn nhiều nguy cơ xói mòn. Nghiên cứu ở vùng đồi núi huyện Đông Giang, tỉnh Quảng Nam của tác giả Chuong Van Huynh và cs. cho thấy rằng đối với diện tích trồng keo, lượng đất bị xói mòn ở cấp độ dốc $4-5^\circ$ là 301 tấn/ha/năm, còn ở cấp độ dốc $9-10^\circ$ là 678 tấn/ha/năm và tăng lên đến 1.495 tấn/ha/năm ở những khu vực có độ dốc $19-20^\circ$ [19]. Đối với diện tích đất sử dụng, năm 2013 ghi nhận sự mất đất với khối lượng lớn, đạt 115,37 tấn/ha; trong khi đó các năm 2018, 2023 lại rất thấp, và nó không có sự khác biệt so với nhóm đất trồng cây hàng năm. Điều này là do trong năm 2013 có khoảng hơn 40 ha đất núi đá không có rừng cây được tính gộp vào nhóm đất chưa sử dụng, đến năm 2018, 2023, diện tích đất này đã được chuyển sang mục đích khác nên không đưa vào phạm vi tính toán. Ngoài ra, diện tích đất chưa sử dụng tại thời điểm 2018, 2023 chủ yếu là ở các bãi bồi và các khu vực đất xen kẽ trong khu dân cư nên có địa hình bằng phẳng, độ dốc nhỏ nên mức độ xói mòn thấp.

Nhìn chung, kết quả xói mòn đất của các loại hình sử dụng đất trong phạm vi nghiên cứu là tương tự với các nghiên cứu trước đây ở những khu vực có điều kiện tự nhiên, kinh tế xã hội khá tương đồng. Nghiên cứu của tác giả Tung Gia Pham và cs. trên địa bàn A Lưới (Tỉnh Thừa Thiên Huế) nơi có lượng mưa, thổ nhưỡng và sử dụng đất tương đồng Nam Đông cũng cho thấy trong số các loại hình sử dụng đất nông nghiệp thì đất trồng rừng bị xói mòn nhiều nhất và đất trồng cây hàng năm, đất lúa là có tốc độ xói mòn thấp nhất [5]. Nghiên cứu tại vùng đồi núi Hương Trà, nơi có độ cao và độ dốc thấp hơn đáng kể so với Nam Đông, Phạm Hữu Ty cũng cho thấy rằng ở các diện tích trồng rừng sản xuất tốc độ xói mòn đất là 81,5 tấn/ha/năm so với 9,5 tấn/ha/năm của loại đất trồng lúa [20].

Bảng 12. So sánh xói mòn đất của các loại hình sử dụng đất giữa các năm (tấn/ha/năm)

LHSD Đất	Năm 2013	Năm 2018	Năm 2023
Trồng cây hàng năm	5,14	1,17	1,91
Trồng cây lâu năm	54,18	38,16	78,22
Đất chưa sử dụng	115,37	4,3	8,81
Đất rừng sản xuất	198,46	153,83	287,97

5 Kết luận

Số liệu các năm 2013, 2018, 2023 cho thấy diện tích xói mòn tiềm năng cực kỳ mạnh (> 150 tấn/ha/năm) chiếm lần lượt là 52%, 42% và 66% tổng diện tích phạm vi nghiên cứu.

Có sự khác biệt về trung bình khối lượng đất xói mòn hàng năm giữa 3 năm 2013, 2018 và 2019; trong đó năm 2023 là cao nhất, năm 2018 là thấp nhất. Sự khác biệt này là do các yếu tố lượng mưa, mật độ che phủ và hệ số canh tác của các loại hình sử dụng đất.

Giữa 4 loại hình sử dụng đất trồng cây hàng năm, trồng cây lâu năm, trồng rừng sản xuất và đất chưa sử dụng có sự khác biệt về khối lượng đất bị mất do xói mòn. Xu hướng chung là đất trồng cây hàng năm và đất chưa sử dụng (trừ năm 2013) ít bị xói mòn nhất, tiếp theo là đất trồng cây lâu năm và đất trồng rừng sản xuất.

Xói mòn và tích tụ là hai mặt của một vấn đề, tuy nhiên trong nghiên cứu này chỉ mới làm rõ về phần xói mòn, do đó các nghiên cứu tiếp theo nên đưa thêm yếu tố tích tụ đất đai do xói mòn trên mỗi diện tích. Dữ liệu không gian của nghiên cứu này có độ phân giải là 30m × 30m, đây là độ phân giải ở mức trung bình nhưng miễn phí, nếu có điều kiện nên sử dụng độ phân giải cao hơn (5 m, 10 m) để nâng cao độ chính xác.

Tất cả các mô hình xói mòn đất hiện nay như USLE, RULSE, SWAT... đều là các mô hình mô phỏng xói mòn đất tiềm năng, trong khi đó xói mòn đất thực tế không chỉ phụ thuộc vào các yếu tố đầu vào của mô hình mà còn chịu ảnh hưởng rất lớn của các yếu tố khác, do đó kết quả nghiên cứu này chỉ mới dừng lại ở mức độ đánh giá tiềm năng. Điều này đặt ra một yêu cầu là cần phải có các công trình nghiên cứu thực nghiệm ở nhiều khu vực, nhiều loại hình sử dụng đất trong thời gian dài, từ đó sử dụng số liệu thực nghiệm để hiệu chỉnh mô hình cho phù hợp với từng đặc điểm vùng sinh thái.

Lời cảm ơn

Tập thể tác giả cảm ơn Đại học Huế đã tài trợ cho nghiên cứu này bằng việc cấp kinh phí cho đề tài NCKH cấp Đại học Huế, mã số: DHH2024-17-03.

Tài liệu tham khảo

1. Den Biggelaar, C., Lal, R., Wiebe, K., Eswaran, H., Breneman, V., and Reich, P. (2003), The Global Impact Of Soil Erosion On Productivity, *Advances in Agronomy*, 81, 49–95. doi: 10.1016/S0065-2113(03)81002-7.
2. Descroix, L., González Barrios, J. L., Viramontes, D., Poulénard, J., Anaya, E., Esteves, M., Estrada, J. (2008), *Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: Their respective roles and the scale effect CATENA*, 72(3), 325–339, doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.07.003>.
3. Li, J., Sun, R., Xiong, M., and Chen, L. (2021), Methodology of time series of soil erosion dataset in water erosion area of China in five-year increments (2000-2015), *J. Glob. Chang. Data & Discov.*, 5(2), 203–212.

4. Wischmeier, W. and Smith, D. (1978), Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning, *Agriculture Handbook*, 537, Washington.
5. Pham, T., Degener, G., J., and Kappas, M. (2018), Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam, *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 6(2), 99–110, doi: 10.1016/j.iswcr.2018.01.001.
6. Nguyễn Trọng Hà (1996), *Xác định các yếu tố gây xói mòn và khả năng dự báo xói mòn trên đất dốc*, Trường Đại học Thủy lợi.
7. Trần Minh Chính (2021), *Nghiên cứu xác định mô hình định lượng xói mòn đất thích hợp cho hệ thống canh tác nông nghiệp điển hình trên đất dốc*, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam
8. Panditharathne, D. L. D., Abeysingha, N. S., Nirmanee, K. G. S., and Mallawatantri, A. (2019), Application of Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle) Model to Assess Soil Erosion in ‘Kalu Ganga’ River Basin in Sri Lanka, *Appl. Environ. Soil Sci.*, 1–15, doi: 10.1155/2019/4037379.
9. Belasri, A. and Lakhouili, A. (2016), Estimation of Soil Erosion Risk Using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geo-Information Technology in Oued El Makhazine Watershed, Morocco, *J. Geogr. Inf. Syst.*, 8(1), 98–107, doi: 10.4236/jgis.2016.81010.
10. Hongming Zhang, Qinke Yang, Rui Li, Qingrui Liu, Demie Moore, Peng He, Coen J. Ritsema, Violette Geissen (2013), *Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor*, *Comput. Geosci.*, 52, 177–188, doi: 10.1016/j.cageo.2012.09.027.
11. Nguyễn Tử Siêm, Thái Phiên (1999), *Đất đồi núi Việt Nam thoái hoá và phục hồi*, Nxb. Nông nghiệp, 412 trang, Hà Nội, Hanoi, Vietnam Agric. Publ. House.
12. André Almagro, Thais Caregnatto Thomé, Carina Barbosa Colman, Rodrigo Bahia Pereira, José Marcato Junior, Dulce Buchala Bicca Rodrigues, Paulo Tarso Sanches Oliveira (2019), Improving cover and management factor (C-factor) estimation using remote sensing approaches for tropical regions, *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 7(4), 325–334, doi: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.08.005>.
13. Ayalew, D. A., Deumlich, D., Šarapatka, B., and Doktor, D. (2020), Quantifying the Sensitivity of NDVI-Based C Factor Estimation and Potential Soil Erosion Prediction using Spaceborne Earth Observation Data, *Remote Sens.*, 12(7), doi: 10.3390/rs12071136.
14. Durigon, V. L., Carvalho, D. F., Antunes, M. A. H., Oliveira, P. T. S., Fernandes, M. M. (2014), NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed, *Int. J. Remote Sens.*, 35(2), 441–453, doi: 10.1080/01431161.2013.871081.
15. Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Van der Zanden, Poesen, E. H., J., and Alewell, C. (2015), Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale, *Environ. Sci. Policy*, 51, 23–34, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.012>.
16. N'diaye Edwige Hermann Meledje, Kouakou Lazare Kouassi, Yao Alexis N'Go (2021), Quantification of water related soil erosion in the transboundary basin of the Bia

- (West Africa), *Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci.*, 384, 107–112, doi: 10.5194/piahs-384-107-2021.
17. Pradeep, G. S., Krishnan, M. V. N., and Vijith, H. (2015), Identification of critical soil erosion prone areas and annual average soil loss in an upland agricultural watershed of Western Ghats, using analytical hierarchy process (AHP) and RUSLE techniques, *Arab. J. Geosci.*, 8(6), 3697–3711, doi: 10.1007/s12517-014-1460-5.
 18. Chi cục thống kê huyện Nam Đông (2013, 2018, 2023), *Niên giám thống kê huyện Nam Đông*, Nam Đông, Thừa Thiên Huế.
 19. Phạm Gia Tùng, Lê Ngọc Phương Quý, Trần Thị Minh Châu, Nguyễn Thị Hải, Lê Đình Huy, Trần Trọng Tấn, Trịnh Ngân Hà (2022), Tính thích hợp đất đai đối với loại hình sử dụng đất trồng cam tại huyện Nam Đông, tỉnh Thừa Thiên Huế, *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, 131, (3D), 97–111, doi: 10.26459/hueunijard.v131i3D.6738
 20. Trần Quốc Cảnh, Trần Nam Thắng, Nguyễn Văn Lợi, Lê Thái Hùng, Văn Thị Yến (2023), Đánh giá sự thay đổi hiện trạng rừng bằng chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI) tại huyện A Lưới, tỉnh Thừa Thiên Huế, giai đoạn 1991–2022, *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, 132, (3A), 185–196, doi: 10.26459/hueunijard.v132i3A.7013.
 21. Chuong Van Huynh, Tung Gia Pham, Tan Quang Nguyen, Linh Hoang Khanh Nguyen, Phuong Thi Tran, Quy Ngoc Phuong Le, Mai Thi Hong Nguyen (2020), *Understanding Indigenous Farming Systems in Response to Climate Change: An Investigation into Soil Erosion in the Mountainous Regions of Central Vietnam*, *Applied Sciences*, 10(15), doi: 10.3390/app10155091
 22. Pham Huu Ty (2008), *Soil erosion risk modeling within upland landscapes using remotely sensed data and the RUSLE model*, *Proceeding of International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences*, Ha Noi, Vietnam, December 4–6.