

TỔNG QUAN VỀ CÁC MÔ HÌNH DỰ BÁO XÓI MÒN ĐẤT VÀ ỨNG DỤNG

Ngô Thanh Sơn¹, Trần Trọng Phương¹, Nguyễn Thị Phương Mai², Nguyễn Thu Hà^{1*}¹Học viện Nông nghiệp Việt Nam²Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Gia Lai<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.2022.1.103-113>

TÓM TẮT

Xói mòn đất là vấn đề nghiêm trọng ảnh hưởng đến khả năng sản xuất của đất, bồi tụ phù sa trong các lưu vực và suy giảm chất lượng nước. Phương pháp mô hình hóa được công nhận là rất ưu việt để ước tính lượng đất bị xói mòn xảy ra theo thời gian và không gian. Những mô hình ước tính và mô phỏng lượng đất bị xói mòn có sự khác biệt lớn về mức độ phức tạp dữ liệu đầu vào, nguyên lý mô phỏng, các hiển thị và quy mô các dữ liệu đầu ra. Được sử dụng rộng rãi nhất là mô hình USLE và có sửa đổi (M)USLE. Những năm gần đây, các nghiên cứu về xói mòn đất trên thế giới ngày càng hướng về các mô hình quá trình vật lý (MMF, AGNPS, SWAT) và mô hình động thái trên cơ sở vật lý (CREAMS, EUROSEM, KINEROS, EPIC, WEPP) do những mô hình này mô phỏng chi tiết hơn diễn biến của hiện tượng xói mòn đất, nhờ đó có thể ước tính được lượng đất xói mòn ở các giai đoạn và quy mô lớn hơn, đồng thời phân nào giải quyết những khó khăn trong quá trình hiệu chỉnh và kiểm chứng trên thực địa. Sự phát triển của công nghệ thông tin sẽ tạo ra xu hướng mới trong nghiên cứu xói mòn đất với sự kết hợp với RS, GIS, dữ liệu lớn về thổ nhưỡng, địa hình, sử dụng đất và thời tiết. Xu hướng này giúp xác định chính xác hơn các khu vực có nguy cơ xói mòn, hỗ trợ các quá trình ra quyết định về chính sách sử dụng đất nhằm đạt được nhiều mục tiêu về phát triển bền vững.

Từ khóa: mô hình, phương trình phổ dụng, trầm tích, xói mòn do nước, xói mòn đất.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xói mòn đất liên quan đến nhiều quá trình nhưng đều có chung một kết quả là các hạt đất bị di chuyển từ nơi này và lắng đọng lại ở một nơi khác. Mặc dù xảy ra rất tự nhiên, xói mòn đất thường bị trầm trọng hơn do một số hoạt động của con người (Adornado & cs., 2009). Xói mòn đất có thể bị gây ra bởi gió, nước mưa và liên quan chặt chẽ đến quá trình di chuyển của nước (dòng chảy), các đặc tính đất đai (quyết định khả năng dễ bị xói mòn của đất), lớp che phủ bề mặt và các biện pháp quản lý (Aksoy & Kavvas, 2005). Người ta nhận thấy có sự khác biệt trong các tài liệu giữa các nghiên cứu về xói mòn do gió và nước ở châu Âu liên quan đến mức độ chuyên sâu, số lượng các ấn phẩm được xuất bản và cả số lượng các thí nghiệm hiện trường đã và đang diễn ra (Xiong & cs., 2019). Hiện nay, nếu tìm kiếm trong Scopus bằng cách sử dụng cụm từ 'xói mòn và nước' sẽ cho 52.730 kết quả, trong khi cụm từ 'xói mòn và gió' sẽ cho 9488 kết quả. Những con số này là dấu hiệu chính cho thấy trong những thập kỷ qua, người ta đã dành nhiều sự quan tâm hơn đến xói mòn do nước, do đó có lẽ sẽ có nhiều nghiên cứu, mô tả quy trình và hiểu biết hơn.

Xói mòn do nước được Bergsma & cs (1996) định nghĩa “là mức độ mất đất xảy ra do nước

mưa với tác động tổng hợp của những yếu tố khác như khí hậu, địa hình, phẫu diện thổ nhưỡng, hình thái sử dụng đất và thảm thực vật, và chế độ canh tác”. Theo Nearing & cs (1990) thì tổng lượng đất bị mất đi vào một thời điểm nào đó phụ thuộc vào phân bố của hai nhóm yếu tố chính: khả năng chống xói mòn của thảm thực vật và đất và phân bố theo thời gian mưa.

Quản lý và hiểu rõ xói mòn đất và mối liên quan đến thoái hóa đất là vấn đề rất quan trọng vì những tác động của nó có thể gây ra nhiều hậu quả nghiêm trọng đối với đời sống loài người, bao gồm mất sự chất dinh dưỡng, phù sa sông và hồ chứa, suy thoái chất lượng nước và giảm khả năng sản xuất của đất (Radmanesh & Bagherzadeh, 2014). Pimentel & cs (1995) cho biết, trung bình trên 1 ha trong vòng 1 năm, xói mòn đã làm mất 30 – 40 tấn đất cho mỗi khu vực châu Á, Nam Mỹ và châu Phi trong khi con số tương ứng là 17 tấn đất mất đi đối với khu vực Mỹ và châu Âu. Việc ước tính phân bố lượng đất bị xói mòn ở những vị trí và theo thời gian khác nhau được coi là rất quan trọng để xác định được những vùng cần áp dụng các biện pháp bảo vệ đất. Các thí nghiệm đo đạc hay quan trắc lượng đất bị xói mòn trên các vùng khác nhau đòi hỏi tốn rất nhiều công sức và kinh phí. Do vậy, từ những năm 1930, trên thế giới các nhà nghiên cứu đã phát triển rất nhiều

*Corresponding author: thuhann1@gmail.com

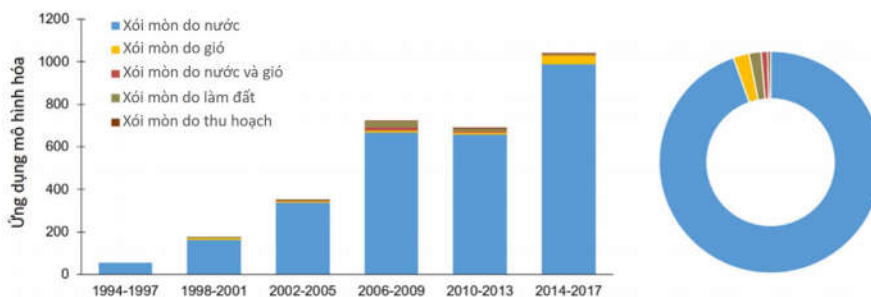
phương pháp nhằm ước tính lượng đất bị bào mòn và bị vận chuyển trên những thửa ruộng có độ dốc và trên cả lưu vực sông.

Việc nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm đánh giá các biện pháp cải tạo đất chống xói mòn cũng như phát triển và ứng dụng mô hình xói mòn đất là một vấn đề rất được quan tâm suốt nhiều thập kỷ qua. Rất nhiều nghiên cứu tổng quan trên thế giới (Jetten & cs., 1999; Nearing & cs., 2005; De Vente & Poesen, 2005) đã cho thấy từ những năm 80 người ta đã sử dụng rộng rãi những mô hình động thái nhằm khắc phục những nhược điểm của phương trình phổ dụng xói mòn đất (USLE).

Ở khu vực Đông Nam Á cũng đã có một số nghiên cứu ứng dụng mô hình, chẳng hạn Viện nghiên cứu rừng quốc tế ở Indonexia, ICRAF, kết hợp với Trường Twente, Hà lan đã áp dụng mô hình USLE, WEPP và GUEST tính toán xói mòn trên lưu vực rộng 730 km² ở Sumberjaya, West-Lampung, Sumatra nhằm so sánh tác động của chuyển đổi sử dụng đất từ đất rừng sang đất trồng trọt.

Tại Việt Nam, các nhà khoa học cũng đã tiến hành nhiều nghiên cứu thực nghiệm và dự báo

xói mòn đất từ những năm 60 (Tran Duc Toan & cs., 2004, Dung & cs., 2008, Ha & cs., 2013, Thái Phiên & cs., 2001, Vương Văn Quỳnh, 1999) và đang có xu hướng tăng lên trong thời gian gần đây, nhất là trong bối cảnh hội nhập, có nhiều dự án hợp tác nghiên cứu và đào tạo với nước ngoài (Do Duy Phai, 2005; Tran Duc Toan & cs 2004; Mai Van Trinh, 2007, Son & Binh, 2020, Le Huong & Son, 2020, Ngo Thanh Son & Tran Trong Phuong, 2021). Có khá nhiều các nghiên cứu xói mòn sử dụng phương trình phổ dụng (USLE) đã được thực hiện ở Việt Nam, đặc biệt ở Tây nguyên do việc khai thác gỗ quá mức và du canh du cư, phá rừng làm nương rẫy (Walsh & cs, 2006; Sidle & cs., 2006; và Vezina & cs., 2006). Tuy vậy trong những năm gần đây chưa có một công bố nào tổng quan các phương pháp ước tính và mô hình xói mòn đất tại Việt Nam. Bài báo này có mục đích tổng quan các quan niệm mô hình hóa xói mòn đất do nước và giới thiệu những phần mềm mô phỏng dự báo xói mòn phổ biến trên thế giới nhằm cung cấp thông tin, hỗ trợ những nhà nghiên cứu có thể lựa chọn mô hình thích hợp trong những nghiên cứu về xói mòn đất.



Hình 1. Thống kê số lượng ấn phẩm nghiên cứu tác nhân xói mòn trên thế giới
(Nguồn: Borrelli P. & cs, 2021)

2. NHỮNG NGHIÊN CỨU VỀ MÔ HÌNH XÓI MÒN ĐẤT TẠI VIỆT NAM

2.1. Phân loại các mô hình xói mòn đất và ứng dụng

Mô hình có thể được phân loại theo nhiều cách khác nhau, tuy nhiên, trong bài này nhóm tác giả sử dụng cách phân loại của Agarwal & Procopiuc (2002). Những mô hình hay công thức tính toán có thể được phân loại thành các mô hình thực nghiệm (empirical/regression,

được thành lập dựa trên những phân tích thống kê tương quan) và các mô hình động thái (physical-based, trong đó những công thức toán học trong mô hình được thành lập trên cơ sở sử dụng định luật bảo toàn vật chất và năng lượng). Bên cạnh đó, nhiều phần mềm mô hình xói mòn đất thuộc loại kết hợp giữa công thức thực nghiệm và mô hình động thái (conceptual) mà ở đây tạm gọi là mô hình quá trình.

2.1.1. Mô hình thực nghiệm

Mô hình thực nghiệm được thành lập trên cơ sở những quan trắc, đo đạc, thí nghiệm và phân tích thống kê về hiện tượng xói mòn đất. Hiện nay người ta cho rằng những phân tích thống kê tương quan như vậy không còn thỏa mãn được nhu cầu cần hiểu rõ và giải thích các hiện tượng tự nhiên của loài người. Chẳng hạn, nếu chia quá trình xói mòn đất trên một sườn dốc thành 2 loại xói mòn, loại một do dòng chảy tràn trên mặt đất và loại hai do rãnh xói hay dòng chảy tập trung, thì ta có thể hiểu rõ, phân tích và giải thích quá trình tốt hơn là việc chỉ công nhận một công thức thực nghiệm chung cho cả quá trình xói mòn đó (Morgan & cs, 1998b).

2.1.1.1. Công thức USLE

Phương trình phổ cập hay tổng hợp xói mòn đất (Universal Soil Loss Equation, USLE) là một mô hình thực nghiệm đơn giản do Bộ nông nghiệp Mỹ (USDA) phát triển và liên tục cải tiến từ những năm 1940 với mục đích ước tính lượng đất xói mòn cho từng ô ruộng mà sau này được cải tiến thành công thức xói mòn tổng hợp cải tiến (RUSLE) và sửa đổi (MUSLE). Nhằm tăng độ chính xác của các ước lượng xói mòn đất, công thức MUSLE và RUSLE sử dụng lượng dòng chảy mặt thay cho cường độ mưa và yếu tố xói mòn của đất trong công thức USLE cổ điển.

Công thức USLE (Wischmeier & Smith, 1978) tính toán lượng đất E bị xói mòn hàng năm (tấn/ha/năm) như sau:

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Trong đó:

R là yếu tố xói mòn do mưa;

K là yếu tố sức chống xói mòn của đất;

L là chiều dài sườn dốc;

S là độ dốc;

C là yếu tố canh tác cây trồng;

P là yếu tố biện pháp chống xói mòn.

Mô hình dựa theo nguyên lý lượng đất bị xói tỷ lệ thuận với R, K, LS, C và P. Bên cạnh những ưu điểm như sự đơn giản và dễ xác định của các thông số đầu vào (chủ yếu gồm lượng mưa và thông tin địa hình) khiến cho USLE dễ sử dụng, nhiều nhà khoa học đã chỉ ra những nhược điểm lớn của phương trình này, có thể kể

đến như sau: (1) Tương tự như hầu hết các mô hình thực nghiệm, USLE không áp dụng với các sự kiện cụ thể mà chỉ cung cấp ước tính hàng năm về lượng đất bị mất trong thời gian dài vì nó bỏ qua các diễn biến quá trình của các thông số lượng mưa, dòng chảy và cách các quá trình này ảnh hưởng đến xói mòn, cũng như sự không đồng nhất trong các yếu tố đầu vào như lớp phủ thực vật và loại đất (Merritt & cs, 2003; Morgan & cs., 2008 và Boardman, 2006); (2) Không nên sử dụng để ước tính lượng trầm tích từ các lưu vực thoát nước hoặc dự đoán độ xói mòn của rãnh hoặc bờ suối vì phương trình này không ước tính được quá trình trầm tích hay phân bố vật liệu trầm tích (Morgan & cs, 2008); (3) Phương trình chỉ được áp dụng cho ô thửa có độ dốc nhỏ hơn 7° và cho vùng thổ nhưỡng có thành phần montmorillonite thấp (Boardman, 2006) và không ước tính được xói mòn rãnh nước hoặc kênh suối (Renard & Ferreira, 1993 và Renard & cs, 1994).

Do những hạn chế của USLE nhiều nhà nghiên cứu đất và mô hình đã bắt đầu chú trọng phát triển mô hình động thái để dự báo xói mòn từ những năm 1985. Bộ Nông nghiệp Mỹ (USDA) tiến hành một chương trình 10 năm nhằm phát triển mô hình WEPP (Water Erosion Prediction Project; Foster, 1990) – mô hình dự báo lượng đất xói mòn dựa trên động thái quá trình thủy văn, biến động cân bằng nước hàng ngày, quá trình phát triển của thảm thực vật, thay đổi thời tiết và quá trình liên kết hay tách rời của các hạt đất. Trên cơ sở mô phỏng động thái các quá trình, nhiều mô hình đã được phát triển và áp dụng có kết quả tốt trên thế giới, như KINEROS2 (Kinematic Runoff and Erosion Model, 1990), EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator, Williams, 1982), AGNPS (Agricultural Non-Point Source, 1989), ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environment Simulation, 1977), mô hình CREAMS (Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems, 1980). Ngoài Hoa Kỳ, cũng có nhiều mô hình động thái mô phỏng xói mòn đất mà trong đó đáng chú ý nhất là chương trình EUROSEM (The European

Soil Erosion Model; 1998) của Hội đồng Chung Châu Âu (EU) và mô hình GUEST (Griffith University Erosion System Template; 1996) ở Australia.

2.1.1.2. Công thức RUSLE

Mô hình USLE sau đó đã được USDA cải tiến bằng cách xác định giá trị hệ số K biến động theo mùa và đưa vào hệ số C chi tiết, phụ thuộc vào loại hình sử dụng đất trước đó, độ lớn tán lá cây, mức độ che phủ thực vật và độ nhám bề mặt đất. Phương trình này có tên gọi là phương trình tổng hợp xói mòn cải tiến (RUSLE). USDA-ARS (2010) định nghĩa RUSLE là một phương pháp tính dựa theo các chỉ số trong đó biểu thị mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến lượng đất bị xói mòn xảy ra ở phần diện tích sườn dốc nằm giữa các khe xói, do tác động va đập khi rơi của các giọt mưa và của dòng chảy tràn trên mặt đất, qua đó cho thấy xói mòn đất phụ thuộc vào (1) tổng lượng và cường độ mưa rơi và dòng chảy tràn, (2) khả năng của loại hình sử dụng đất chống lại tác động của mưa và dòng chảy, (3) khả năng chống xói của đất (thể hiện qua những tính chất của đất), và (4) địa hình bề mặt đất như độ dốc, chiều dài và dạng sườn dốc.

Trong RUSLE, tích số của hệ số mưa (R) và hệ số kháng xói mòn của đất (K) thể hiện lượng đất bị xói mòn của một ô ruộng dưới điều kiện tiêu chuẩn. Một ô ruộng tiêu chuẩn có dạng hình vuông với chiều dài cạnh 22,1 m, độ dốc 9%, không có thực vật che phủ, và được làm đất theo một trình tự chuẩn. Như vậy, giá trị hệ số sức đề kháng xói mòn (K) của đất hoàn toàn mang tính chất thực nghiệm (USDA-ARS, 2010). Hệ số che phủ (C) biểu thị tác động của loại hình sử dụng đất lên lượng đất bị xói mòn và có giá trị biến động theo tính chất của lớp phủ thực vật, hệ thống làm đất và các biện pháp canh tác khác. Như vậy, phương trình RUSLE đã tính đến tác động của các biện pháp canh tác chống xói mòn như trồng hàng cây theo đường đồng mức, trồng theo dải xen kẽ, đặc tính lõi lõm của dạng sườn dốc, ruộng bậc thang, cây trồng xen kẽ băng cỏ hay hàng rào thực vật, phủ rơm rạ ... nhằm làm giảm cường độ dòng chảy tràn trên mặt đất.

Là một mô hình thực nghiệm, RUSLE không

tính đến dòng chảy hoặc các quá trình tách rời, lắng đọng hoặc vận chuyển trầm tích. Quinon & Catt (2007) cho rằng RUSLE tập trung vào việc xác định tổn thất do xói mòn xảy ra tại các vùng đất trồng chứ không được thiết kế cho các khu vực rừng tự nhiên hoặc các loại xói mòn khác như xói lở bờ suối và rãnh xói. Ưu điểm chính của RUSLE so với USLE là nó có khả năng ước tính hệ số C từ thông tin về thảm thực vật, hoạt động phân rã và làm đất thay vì từ dữ liệu ô thí nghiệm như được sử dụng trong USLE. Việc sử dụng hệ số chiều dài sườn dốc trong RUSLE cũng cho phép dự đoán sự mất đất do dòng chảy qua đất liền.

2.1.2. Mô hình quá trình vật lý

2.1.2.1. Mô hình AGNPS

Mô hình AGNPS xác định ô nhiễm do nguồn phân tán nông nghiệp là mô hình dựa trên nguyên lý động thái quá trình vật lý xảy ra trong một trận mưa, được thiết kế để mô phỏng quá trình tách rời và vận chuyển đất bị xói mòn và rửa trôi chất dinh dưỡng cho cây trồng trên một lưu vực có sản xuất nông nghiệp, từ đó đánh giá chất lượng nước sông ngòi. Mô hình do Cơ quan nghiên cứu Nông nghiệp (Agricultural Research Service, ARS) của USDA phát triển năm 1980. Mô hình sử dụng nhiều thông tin đầu vào (hình thái lưu vực, các biến số sử dụng đất và dữ liệu lượng mưa), được thiết kế nhằm ứng dụng cho toàn lưu vực có diện tích từ hàng chục acres đến 50.000 acres. AGNPS cho phép xác định những diện tích có xói mòn xảy ra nghiêm trọng. Lượng nước tạo dòng chảy tràn được tính toán theo phương pháp chỉ số đường cong dòng chảy (Curve Number, CN) của Cơ quan Bảo vệ Đất (the Soil Conservation Service, SCS). Sau đó lượng đất bị xói mòn được tính từ phương trình USLE (Hessel & cs., 2003), bên cạnh các kết quả về khối lượng dòng chảy, tốc độ dòng chảy cực đại, bùn cát, hàm lượng N, P và COD. Mô hình AGNPS có thể được áp dụng trong giai đoạn lập kế hoạch quản lý lưu vực thoát nước, nhờ đó có thể nhận diện và phân tích sự suy thoái môi trường và những vùng đất xung yếu (Nugroho, 2003) nhưng phù hợp với đất nông nghiệp hơn so với các vùng đồi. AGNPS thường

yêu cầu dữ liệu lớn hơn và độ phức tạp tính toán cao hơn nhiều so với các mô hình thực nghiệm, do đó thường phải sử dụng các mô hình hoá bổ sung, vì vậy hạn chế khả năng ứng dụng của nó (Young & cs, 1989; Merrit & cs, 2003).

2.1.2.2. Mô hình MMF

Mô hình Morgan/Morgan/Finney model (Morgan & Kuss, 1986) được phát triển nhằm dự báo lượng đất bị xói mòn hàng năm cho diện tích cỡ thửa ruộng trên đất dốc. Mô hình này bao gồm phần mô phỏng quá trình dòng chảy và phần mô phỏng quá trình bồi lắng. Nó được coi là có tính chất động thái nhiều hơn so với mô hình USLE. Mô hình MMF tính toán năng lượng gây xói mòn do va đập của các giọt mưa dựa trên tổng lượng mưa năm. Dòng chảy tràn trên mặt đất xảy ra khi lượng mưa ngày vượt quá một giá trị tới hạn nhất định và tổng lượng nước dòng chảy tràn cũng được tính toán dựa trên cơ sở tổng lượng mưa năm. Năng lực chuyển vận chất lơ lửng của dòng nước được xác định dựa trên tổng lượng nước dòng chảy tràn, độ dốc sườn đồi và độ che phủ thực vật.

Trong mô hình MMF, động năng (đơn vị J/M) của dòng chảy được tính toán với công thức $E = R (11.9 + 8.7 \log_{10} I)$ trong đó lượng mưa và cường độ gây xói của trận mưa là dữ liệu đầu vào. Lượng hạt đất bị xói mòn (F , kg/m^2) được ước lượng theo công thức, $F = K \times E^{(0.05P)} \times 10^{-3}$, trong đó P = phần trăm lượng mưa rơi xuống tán lá và thân cành cây cối để sau đó bị bốc hơi hay tạo dòng chảy theo thân cây, phụ thuộc vào loại che phủ thực vật; và hệ số K (chỉ số đất bị tách rời) là khối lượng hạt đất bị tách rời trên đơn vị năng lượng mưa rơi (gram/Joule).

Lưu lượng dòng chảy tràn trên mặt đất (Q) là hàm số của lượng mưa và sức giữ ẩm đồng ruộng của đất (soil moisture capacity) tương ứng với hiện trạng lớp phủ thực vật. Dữ liệu đầu vào của mô hình bao gồm lượng mưa trung bình ngày (R_o) và sức giữ ẩm đồng ruộng của đất ứng với hiện trạng lớp phủ thực vật thực tế (R_c). R_c được tính theo công thức $R_c = 1000 * MS \times BD \times RD \times (E_l/E_o)^{0.5}$ trong đó MS = độ ẩm đồng ruộng (%); BD = dung trọng (bulk density) của

tầng đất mặt (Mg/m^3); RD = độ sâu tầng rễ cây hoạt động (m) E_l/E_o = tỷ lệ giữa lượng bốc thoát nước thực tế và tiềm năng.

Lưu lượng dòng chảy tràn (Q) được ước lượng $Q = R^{(-R_c/R_o)}$. Khả năng vận chuyển đất của dòng chảy (T) phụ thuộc vào lưu lượng dòng chảy tràn (Q), độ dốc địa hình, (S) và độ che phủ của cây trồng (C), theo phương trình $T = C Q^2 \times \sin S \times 10^{-3}$ (kg/m^2). Cuối cùng giá trị bé nhất giữa khả năng của dòng chảy tràn về vận chuyển đất và tách rời đất được coi như lượng đất bị xói mòn (Morgan, 1995).

2.1.2.3. Mô hình SWAT

Công cụ đánh giá đất và nước (SWAT) được phát triển từ mô hình SWRRB nhưng nhằm áp dụng cho lưu vực lớn, lưu vực xuyên quốc gia và địa hình phức tạp. SWAT chia diện tích thành các lưới ô để có thể biểu thị được những biến động theo không gian của các thông số mô hình. Giống như các mô hình SWRRB và SPUR, SWAT cũng sử dụng công thức phổ cập cải tiến MUSLE để tính toán dòng bùn cát (Foy & cs, 1999). MUSLE sử dụng tổng lượng nước tham gia dòng chảy tràn trên mặt đất để mô phỏng xói mòn và lưu lượng dòng bùn cát. Mô hình thủy văn cung cấp các ước tính thể tích dòng chảy và định lưu lượng dòng chảy, mà cùng với diện tích tiểu lưu vực, được sử dụng để tính toán biến số về năng lượng xói mòn của dòng chảy. Yếu tố chế độ canh tác được tính toán lại cho từng ngày mà dòng chảy tràn ra. Đây là một hàm số của sinh khối trên mặt đất, dư thừa trên bề mặt, và yếu tố C tối thiểu cho loại cây trồng. Các yếu tố khác của phương trình xói mòn được tính toán và ước lượng như mô tả của Wischmeier & Smith (1978). Lượng đất bị xói mòn do mưa và dòng chảy tràn được ước tính với phương trình phổ dụng sửa đổi MUSLE (Williams, 1975).

Phương trình phổ dụng xói mòn đất sửa đổi, MUSLE (Williams & cs, 1996) được viết như sau:

$$Sed = 11.8 (Q_{surf} q_{peak} area_{hru})^{0.56} K_{USLE} C_{USLE} P_{USLE} LS_{USLE} CFRG$$

Trong đó:

Sed là lượng đất bị xói mòn hàng ngày (tấn/ngày);

Q_{surf} là lượng nước dòng chảy tràn trên mặt đất (mm lớp nước/ha);

q_{peak} là lưu lượng dòng chảy tràn cực đại (m^3/s);

$area_{hru}$ là diện tích của HRU (ha);

K_{USLE} là hệ số khả năng ứng chịu xói mòn của đất từ công thức USLE ($0.013 \text{ tấn } m^2 \text{ giờ}/(m^3\text{-tấn } cm)$);

C_{USLE} là hệ số thảm thực vật trong công thức USLE;

P_{USLE} là hệ số tác động của biện pháp canh tác và bảo vệ đất trong công thức USLE;

LS_{USLE} là hệ số tác động của địa hình trong USLE;

$CFRG$ là hệ số tác động của thành phần thô trong đất.

SWAT ứng dụng được trong các điều kiện khác nhau như biến đổi khí hậu, thay đổi sử dụng đất, khảo sát tác động của quá trình bốc thoát hơi nước, tuyết tan tuy nhiên những sự kiện bất thường hay dòng chảy lớn nhất và đỉnh dòng chảy thì mô hình này mô phỏng chưa được tốt (Arnold & cs, 1990, 1998).

2.1.3. Mô hình động thái trên cơ sở vật lý

Những mô hình này dựa trên việc áp dụng định luật bảo toàn vật chất và năng lượng. Phần lớn chúng sử dụng các phương trình vi phân về tính liên tục bảo toàn vật chất khi vật chất biến động theo không gian và thời gian (khối lượng đi vào – khối lượng đi ra = khối lượng đất bị mất đi hay bổ sung thêm - loss or gain of soil) (Morgan & Kuss, 1986). Các mô hình động thái như Chemicals, Runoff, and Erosion from Agriculture Management System (CREAMS), European Soil Erosion Model (EUROSEM), Griffith University Erosion System Template (GUEST), và Water Erosion Prediction Project (WEPP) có thể dự báo phân bố trên diện tích lưu vực lượng dòng chảy mặt và lượng đất xói mòn trong cả 2 trường hợp tổng số cả năm và từng trận mưa riêng biệt.

2.1.3.1. Mô hình CREAMS (Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems)

Mô hình chất lượng nước dòng chảy mặt từ các hệ thống quản lý nông nghiệp (CREAMS) là mô hình dùng cho quy mô thửa ruộng, được

phát triển chủ yếu nhằm đánh giá tác động của các hệ thống canh tác và quản lý nông nghiệp lên chất lượng nước, dòng chảy và xói mòn đất. Mô hình mô phỏng dòng chảy tràn mặt đất theo phương pháp đường cong SCS hay mô hình Green-Ampt; lượng hạt đất bị tách rời tính theo giá trị các hệ số R, K, C của USLE, xác định sự vận chuyển bùn cát dựa trên vận tốc và lực cắt của dòng chảy, độ nhám của sườn dốc, tỷ trọng và kích thước của hạt đất. Sử dụng số liệu về lượng mưa, nhiệt độ không khí hàng tháng và giá trị bức xạ mặt trời, kết hợp với thông số về đất đai, cây trồng/ xói mòn, bồi tụ hoặc vận chuyển trầm tích theo mặt cắt của sườn dốc (Silburn & Loch, 1991), mô hình chủ yếu bao gồm ba thành phần: đầu tiên là phần thủy văn được sử dụng nhằm tính toán tổng và giá trị lớn nhất (đỉnh) của lượng dòng chảy tràn mặt đất, lượng dòng thấm xuống đất, độ ẩm của các tầng đất, và dòng thấm sâu xuống nước ngầm, cho từng ngày (và cho giá trị từng giờ nếu có dữ liệu theo giờ, với mô hình thấm Green & Ampt infiltration); Thứ hai, khi chỉ có đầy đủ liệu ngày thì mô hình tính toán thủy văn với kỹ thuật chỉ số đường cong (curve number technique) của Cục bảo vệ đất, Bộ nông nghiệp Hoa kỳ (USDA Soil Conservation Service. Erosion), và ước tính dòng chảy bùn cát (sediment yield) theo phương trình phổ cập xói mòn đất USLE và mô hình vận chuyển bùn cát Yalins (Morgan & Kuss, 1986); Thành phần thứ ba của mô hình thuộc về hóa học bao gồm mô hình biến động chất dinh dưỡng và thuốc trừ sâu và cho kết quả tổng lượng chất cho từng trận mưa và giá trị trung bình về nồng độ chất bị hấp thụ và hòa tan trong nước (Morgan & Kuss, 1986).

Ưu điểm của mô hình CREAMS là có tính đến xói mòn rãnh và bồi tụ cùng với các nguồn xói mòn đất liền. Tuy nhiên khi sử dụng, lưu vực được mô hình hóa được giả định là có địa hình và sử dụng đất đồng nhất, có thể không đúng thực tế trong một số trường hợp.

2.1.3.2. EUROSEM (EUROpean Soil Erosion Model)

Mô hình xói mòn đất của châu Âu (EUROSEM) là mô hình dự báo xói mòn đất dựa trên mô phỏng từng quá trình vật lý trong

ơ chế xói mòn đất. Nó được thiết kế với mục đích mô phỏng cho từng trận mưa riêng biệt và có thể sử dụng để đánh giá tác động của các biện pháp bảo vệ đất (Morgan & cs, 1998a). Nguyên lý của mô hình là tính toán thông qua mô phỏng dòng chảy tràn mặt đất dựa trên nguyên lý cân bằng nước và tốc độ thấm nước vào đất. Lượng hạt đất bị tách rời là hàm số của động năng và sức chuyên chở của dòng chảy, của sức kháng lực cắt của đất và của vận tốc lắng đọng. Mô hình này có thể dự đoán tốc độ dòng chảy hàng năm và lượng đất mất. Phương trình tính toán dựa vào nghiệm số của phương trình cân bằng khối lượng động (Bennett, 1974; Woolhiser và cộng sự, 1990):

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial (QC)}{\partial x} \quad e(x, t) = q_s(x, t)$$

Trong đó:

C = tổng lượng bùn cát/bồi lắng ($m^3 m^{-3}$);

A : diện tích mặt cắt ngang (m^2);

Q : lưu lượng ($m^3 s^{-1}$);

q_s = lượng đất mất đi trên một đơn vị chiều dài dòng chảy ($m^3 s^{-1} m^{-1}$);

e : tốc độ tác rời hạt đất/ tốc độ của xói mòn nền trên một đơn vị chiều dài dòng chảy ($m^3 s^{-1} m^{-1}$);

x : khoảng cách ngang (m);

t : thời gian (s).

2.1.3.3. Mô hình KINEROS (KInematic EROsion Simulation Model)

Mô hình mô phỏng động học xói mòn (KINEROS) diễn tả toán học các quá trình tạo nên dòng chảy tràn trên mặt đất với giả thiết lượng mưa hữu hiệu được tích tụ lại trên mặt đất cho đến khi độ sâu nước đủ lớn để tạo nên dòng chảy tràn. Mô hình sử dụng bước thời gian tính toán bằng 1 phút, áp dụng cho từng khu ruộng hay cho từng lưu vực nhỏ. Kết quả mô hình bao gồm dự báo biểu đồ dòng chảy và đồ thị dòng bùn cát trong từng trận mưa, cũng như vùng diện tích đất bị xói mòn hay bồi lắng và biến động bề mặt đất chi tiết dưới tác động của quá trình xói mòn và bồi lắng xảy ra trên mặt đất. Người sử dụng có thể lựa chọn nguồn chính tạo ra bùn cát từ tác động của hạt mưa rơi hay từ dòng chảy (bào mòn bề mặt đất hay xói mòn rãnh do dòng chảy tập trung) (Smith & cs., 1995).

Phương trình được sử dụng trong mô hình KINEROS để mô phỏng động thái xói mòn/trầm tích tại mọi điểm dọc theo dòng chảy bề mặt là phương trình cân bằng khối lượng (Bennett, 1974). Đối với bề mặt dốc, tốc độ xói mòn của lớp đất được chia thành hai phần: tốc độ xói mòn nhanh do cường độ mưa lớn phá vỡ kết cấu đất ở vùng đất trống và xói mòn theo đường do dòng chảy kéo theo các hạt đất để dưới tác dụng của trọng lực. Tốc độ xói mòn nhanh được tính gần đúng như là một hàm của tỷ lệ mưa và độ sâu của dòng chảy. KINEROS có thể được sử dụng để mô phỏng trong tương lai quá trình phát triển đô thị, các hồ chứa nước nhỏ hoặc các kênh đối với lũ lụt và xói mòn/trầm tích.

2.1.3.4. Mô hình WEPP (Water erosion prediction project)

Mô hình WEPP được coi là một công nghệ mới về dự báo xói mòn đất ở phạm vi sườn dốc và lưu vực. Nó được phát triển dựa trên nguyên lý cơ bản về mô phỏng xác suất quá trình khí tượng, lý thuyết dòng thấm, thủy văn, vật lý đất, và khoa học cây trồng, thủy lực và động học xói mòn đất. Những điểm nổi bật của WEPP bao gồm khả năng dự báo phân bố lượng đất xói theo thời gian và không gian (tổng lượng đất bị xói trên toàn bộ sườn dốc hay tại từng vị trí, ở mọi thời điểm theo thời gian như từng ngày, tháng, hay trung bình năm). Đồng thời mô hình cho phép ngoại suy kết quả mô hình cho rất nhiều điều kiện khác nhau. Khi ứng dụng cho một lưu vực sông thì mô hình còn ước tính lưu lượng dòng chảy bùn cát sinh ra từ toán bộ diện tích mô phỏng (Flanagan & cs., 2007).

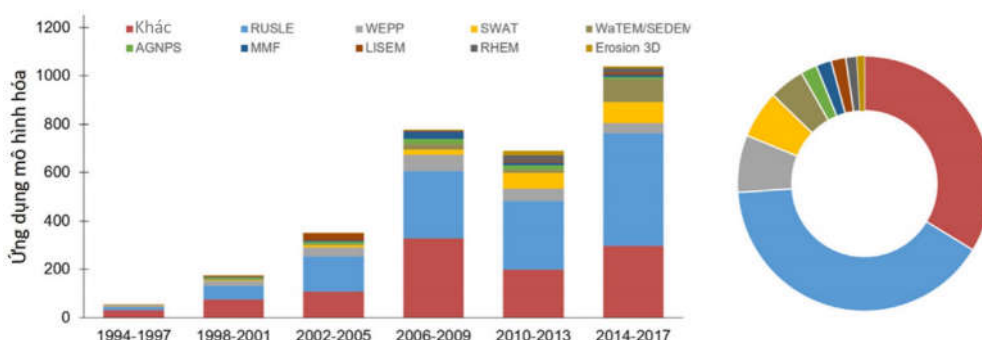
Mô hình WEPP thực hiện mô phỏng dòng chảy tràn mặt đất theo phương pháp đường cong SCS hay mô hình Green-Ampt; lượng hạt đất bị tách rời và vận chuyển phụ thuộc vào độ dốc, % diện tích che phủ thực vật, lực cắt của dòng nước, độ nhám mặt đất, phần trăm lượng mùn và khối lượng rễ cây có trong đất. Nhưng việc sử dụng nhiều dữ liệu đầu vào và yêu cầu dữ liệu tính toán lớn dẫn đến hạn chế khả năng ứng dụng của mô hình. Một điểm khác biệt giữa mô hình WEPP và các mô hình khác là phương trình liên tục của trầm tích được áp dụng trong

các rãnh chất lỏng bằng cách sử dụng thủy lực dòng chảy đồng nhất (Han & cs, 2016). Tuy nhiên để áp dụng thành công mô hình này cho các khu vực rộng lớn hơn cần đầu tư nghiên cứu sâu hơn về sự biến đổi không gian của đất và lớp phủ thực vật.

2.2. Xu hướng ứng dụng mô hình trong nghiên cứu xói mòn đất

Xu hướng ứng dụng rộng rãi công nghệ không gian trong các mô hình là rõ ràng trên toàn cầu. Các mô hình thuộc họ (R)USLE cho đến nay là mô hình xói mòn đất được áp dụng

rộng rãi nhất trên toàn cầu với khoảng ~ 41% tổng số nghiên cứu được ghi nhận trong cơ sở dữ liệu. Giá trị này thậm chí có thể tăng lên ~ 55% nếu tính cả các mô hình dựa trên USLE như WaTEM/SEDEM, EPIC (Borrelli & cs., 2021). Theo Alewell & cs (2019), các mô hình khác gia tăng cả về xu hướng và ứng dụng trên toàn thế giới là SWAT, WEPP, WaTEM/SEDEM. Riêng RHEM hầu như vẫn chỉ được áp dụng ở Hoa Kỳ. Các mô hình khác không có xu hướng rõ rệt (kiểu MMF, LISEM) hoặc có xu hướng tiêu cực nhẹ (EUROSEM).



Hình 2. Thông kê số lượng công bố theo mô hình
(Nguồn: P. Borrelli & cs, 2021)

Trong công bố gần đây, Borrelli (2020) sau khi tóm lược lịch sử phát triển và ứng dụng mô hình xói mòn đất, đã phân tích những xu hướng phát triển công nghệ mô hình xói mòn trong tương lai. Những nghiên cứu tính toán và dự báo xói mòn đất trong những năm 1960 và 1970 chỉ đơn thuần dựa trên các công thức thực nghiệm thống kê tương quan (empirical formula) mà USLE là đại diện tiêu biểu. Những năm 1970 đến 1990, phần lớn các nghiên cứu chú trọng phát triển mô hình xói mòn trên cơ sở diễn tả bằng toán học các quá trình vật lý liên quan đến xói mòn đất. Giai đoạn 1990-2000 chứng kiến những nghiên cứu về đặc tính ngẫu nhiên và biến động của tốc độ xói mòn đất theo không gian và thời gian. Và từ những năm 2001 đến nay, với việc xuất hiện những thành tựu mới của công nghệ thông tin và truyền thông, nghiên cứu xói mòn đất đã kết hợp với mô phỏng không gian, giao diện phần mềm có GIS, sử dụng ngày càng tăng dữ liệu từ viễn thám và mô hình mô phỏng trên nền web cho phép kết nối tức thời với dữ liệu lớn về thổ nhưỡng, địa hình, sử dụng đất và thời tiết, giúp nhân rộng việc đánh giá xói

mòn đất từ quy mô thực địa đến quy mô lưu vực và cao hơn. Sự tiến bộ đó đã giúp các nhà quản lý tập trung vào các quyết định quản lý đất đai, xác định chính xác hơn các khu vực có nguy cơ xói mòn.

Xu hướng nghiên cứu và ứng dụng mô hình trong xói mòn đất có lẽ vẫn sẽ phụ thuộc vào mục đích của mô hình hóa. Do thế hệ những mô hình hiện nay vẫn chưa đạt được kết quả như mong muốn khi dự báo tốc độ hiện tượng xói mòn đất nên việc phát triển và ứng dụng mô hình vẫn tạo động lực cho các nhà nghiên cứu, đặc biệt hướng đến hỗ trợ được các quá trình ra quyết định về chính sách sử dụng đất nhằm đạt được nhiều mục tiêu phát triển bền vững, xác định những vùng nguy cơ xói mòn hay công tác xóa đói giảm nghèo. Để đạt được tất cả các mục tiêu này, công nghệ mô hình còn cần được đầu tư nghiên cứu trong nhiều năm tới.

3. KẾT LUẬN

Phương pháp mô hình hóa được nhiều nhà nghiên cứu và quản lý công nhận là rất cần thiết và hữu hiệu để ước tính lượng đất bị xói mòn xảy ra theo thời gian và không gian. Công cụ mô

hình có nhiều ưu điểm vượt trội vì nó cho phép khảo sát, đánh giá tác động của nhiều giá trị thông số và kịch bản khác nhau mà các thí nghiệm và quan trắc thực địa không thể thực hiện được. Những phương trình ước tính và mô hình mô phỏng lượng đất bị xói mòn đã được phát triển từ những năm 30 với mức độ từ rất đơn giản đến rất phức tạp, cả về nguyên lý, cấu trúc, thành phần dữ liệu đầu vào và kết quả đầu ra.

Trong những năm gần đây, xu hướng sử dụng mô hình trên thế giới ngày càng hướng về các mô hình động thái quá trình vật lý do những mô hình này dựa trên việc giải quyết các phương trình toán học biểu diễn bản chất từng quá trình thành phần của hiện tượng xói mòn đất, trong khi tuân thủ định luật bảo toàn vật chất và năng lượng, có thể ước tính được lượng đất xói mòn chính xác ở quy mô lớn hơn trong khi cần ít công sức hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình hơn. Với việc xuất hiện những thành tựu mới của công nghệ thông tin, nghiên cứu xói mòn đất đã kết hợp với GIS, tăng cường khai thác dữ liệu từ viễn thám và dữ liệu lớn (big data) về thổ nhưỡng, địa hình, sử dụng đất và thời tiết giúp xác định chính xác hơn các khu vực có nguy cơ xói mòn, hướng đến hỗ trợ các quá trình ra quyết định về chính sách sử dụng đất nhằm đạt được nhiều mục tiêu về phát triển bền vững.

Lời cảm ơn

Kết quả của bài báo này là một phần của đề tài nghiên cứu khoa học: Ứng dụng mô hình SWAT để đánh giá, dự báo và cảnh báo tình trạng xói mòn đất trên đất dốc canh tác vùng đồi núi tại tỉnh Gia Lai. MS. KH GL-03-19. Nhóm tác giả xin cảm ơn TS. Nguyễn Duy Bình đã định hướng và tư vấn cho nhóm tác giả hoàn thiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Adornado H. A., Yoshida M., & Apolinaros H. A., 2009. Erosion vulnerability assessment in REINA, Quezon Province, Philippines with raster-based tool built within GIS environment. *Agricultural Information Research*, 18(1), 24-31.
2. Aksoy H. & Kavvas M. L., 2005. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. *Catena*, 64(2-3), 247-271.
3. Alewell C., Borrelli P., Meusburger K. & Panagos P., 2019. Using the USLE: chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *Int. Soil Water*

Conserv. Res. 7, 203–225. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>.

4. Arnold J.G., Williams J.R., Griggs R.H. & Sammons N.B., 1990. *SWRRB—a basin scale simulation model for soil and water resources management*. A&M Press, Texas.

5. Arnold J. G., Srinivasan R., Muttiah R. S. & Williams J. R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89.

6. Bergsma E., Charman P., Gibbons F., Hurni H., Moldenhauer W. C. & Panichapong S., 1996. *Terminology for soil erosion and conservation*. ISSS: ITC: ISRIC.

7. Bennett, J.P., 1974. Concepts of mathematical modeling of sediment yield. *Water Resources Research* 10 (3), 485–492.

8. Boardman J., 2006. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *Catena*, 68(2-3), 73-86.

9. Borrelli P., Robinson D., Panagos P., Lugato E., Yang J., Alewell C., Wuepper D., Montanarella L. and Ballabio C., 2020. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36), 21994-22001.

10. Borrelli P., Alewell C., Alvarez P., Anache J. A. A., Baartman J., Ballabio C., Bezak N., Biddoccu M., Cerda A., Chalise D., Chen S., Chen W, Girolamo A.M.D., Gessesse G. D., Deumlich D., Diodato N., Efthimiou N, Erpul G, Fiener P., Freppaz M., Gentile F., Gericke A., Haregeweyn N., Hu B., Jeanneau A., Kaffas K., Harchegani M. K, Villuendas I. L., Li C., Lombardo L., Vicente M. L., Borja M. E. L., Marker M., Matthews F., Miao C., Mikos M., Modugno S., Moller M., Naipal V., Nearing M., Owusu S., Panday D., Patault E., Patriche C. V, Poggio L., Portes R., Quijano L., Rahdari M. R., Renima M., Ricci G. F., Comino J. R., Saia S., Samani A. N., Schillaci C., Syrris V., Kim H. S., Spinola D. N., Oliveira P. T., Teng H., Thapa R., Vantas K., Vieira D., Yang J. E., Yin S., Zema D. A., Zhao G. & Panagos P., 2021. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of the total environment*, 146494.

11. De Vente J., & Poesen J., 2005. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models. *Earth-science reviews*, 71(1-2), 95-125.

12. Đỗ Duy Phái, 2005. *Nghiên cứu ảnh hưởng các phương pháp canh tác bảo vệ đất và mô hình dự báo xói mòn đất tại Đồng Cao, huyện Lương Sơn, tỉnh Hòa Bình*. Luận văn Cao học, Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam, Hà Nội.

13. Dung N. V., Vien T. D., Lam N. T., Tuong T. M., & Cadisch G., 2008. Analysis of the sustainability within the composite swidden agroecosystem in northern Vietnam: 1. Partial nutrient balances and recovery times of upland fields. *Agriculture, ecosystems & environment*, 128(1-2), 37-51.

14. Flanagan D. C., Gilley J. E. & Franti T. G., 2007.

- Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development history, model capabilities, and future enhancements. *Transactions of the ASABE*, 50(5), 1603-1612.
15. Foy J. K., Teague W. R. & Hanson, J. D., 1999. Evaluation of the upgraded SPUR model (SPUR2. 4). *Ecological Modelling*, 118(2-3), 149-165.
16. Ha N. M., Van Dung N. & Ngoc H. H., 2013. Application of USLE and GIS tool to predict soil erosion potential and proposal land cover solutions to reduce soil loss in Tay Nguyen. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 35(4), 403-410.
17. Han C. H., Hwang H. S., Lee Y. J., Lee S. N., Abanes J. J. & Lee B. H., 2016. Chronic depression treated successfully with novel taping therapy: a new approach to the treatment of depression. *Neuropsychiatric disease and treatment*, 12, 1281.
18. Hessel R., Messing I., Liding C., Ritsema C. & Stolte J., 2003. Soil erosion simulations of land use scenarios for a small Loess Plateau catchment. *Catena*, 54(1-2), 289-302.
19. Jetten V., De Roo A. D. & Favis-Mortlock D., 1999. Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models. *Catena*, 37(3-4), 521-541.
20. Le Huong H. & Son N. T., 2020. Response of streamflow and soil erosion to climate change and human activities in Nam Rom River Basin, Northwest of Vietnam. *Environment and Natural Resources Journal*, 18(4), 411-423.
21. Mai Van Trinh, 2007. *Soil erosion and nitrogen leaching in northern Vietnam: Experimentation and modelling*, Dissertation no. 4167, Wageningen Universiteit, Wageningen, The Netherlands. 192 p.
22. Merritt W. S., Letcher R. A., & Jakeman A. J., 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental modelling & software*, 18(8-9), 761-799.
23. Morgan J. M. & Kuss F. R., 1986. Soil loss as a measure of carrying capacity in recreation environments. *Environmental Management*, 10(2), 263-270.
24. Morgan R.P.C., 1995. *Soil erosion and conservation*. Longman, Harlow, UK, 198 pp.
25. Morgan R. P. C. & Duzant J. H., 2008. *Modified MMF (Morgan-Morgan-Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion*. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 33(1), 90-106.
26. Morgan R. P. C., Quinton J. N., Smith R. E., Govers G., Poesen J. W. A., Auerswald K., Chisci G., Torri D. & Styczen, M. E., 1998a. *The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments*. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group*, 23(6), 527-544.
27. Morgan R. P. C., Quinton J. N., Smith R. E., Govers G., Poesen J. W. A., Chisci G. & Torri D., 1998b. *The EUROSEM model*. In *Modelling Soil Erosion by Water* (pp. 389-398). Springer, Berlin, Heidelberg.
28. Nearing M. A., Jetten V., Baffaut C., Cerdan O., Couturier A., Hernandez M., Bissonnaise Y. L., Nicholasa M. H., Nunesf J.P., Renschlerg C.S., Souche'reh V. & Van Oost, K., 2005. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *Catena*, 61(2-3), 131-154.
29. Nearing M. A., Lane L. J., Alberts E. E. & Laflen J. M., 1990. Prediction technology for soil erosion by water: status and research needs. *Soil science society of America Journal*, 54(6), 1702-1711.
30. Ngô Thanh Sơn & Trần Trọng Phương., 2021. Tổng quan về những ứng dụng công cụ đánh giá tài nguyên đất và nước (SWAT) ở Việt Nam: thách thức và triển vọng trong tương lai. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*, 19(12): 1693-1705
31. Nugroho S. P., 2003. Application of the Agricultural Non-Point Source Pollution (AGNPS) model for sediment yield and nutrient loss prediction in the Dumpul sub-watershed, Central Java, Indonesia. *Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques*, (279), 125-130.
32. Pimentel D., Harvey C., Resosudarmo P., Sinclair K., Kurz D., McNair M., Crist S., Shpritz L., Fitton L., Saffouri R & Blair, R., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201), 1117-1123.
33. Quinton J. N. & Catt J. A., 2007. Enrichment of heavy metals in sediment resulting from soil erosion on agricultural fields. *Environmental science & technology*, 41(10), 3495-3500.
34. Radmanesh G. & Bagherzadeh A., 2014. Assessment of soil erosion by neural network-based impel eromodel using GIS In neyshabour plain, northeast of Iran. *Indian J Fundam Appl Life Sci* 6 (S1), 8-15.
35. Renard K.G. and Ferreira V.A., 1993. RUSLE model description and database sensitivity. *Journal of Environmental Quality*, 22, 458-466.
36. Renard K.G., Laflen, J.M., Foster, G.R. and McCool, D.K., 1994. *The revised universal soil loss equation*. In: Lad, R. (Ed.), *Soil Erosion: Research Methods*, pp. 105-126.
37. Sidle R. C., Ziegler A. D., Negishi J. N., Nik A. R., Siew R. & Turkelboom F., 2006. Erosion processes in steep terrain—Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest ecology and management*, 224(1-2), 199-225.
38. Silburn D. & Loch R., 1991. *Evaluation of the CREAMS erosion model for predicting sediment yields and size distributions*. In: *Workshop on Modelling the Fate of Chemicals in the Environment*, Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra, pp. 141-142.
39. Smith R. E., Goodrich, D. C., Woolhiser, D. A. & Unkrich, C. L., 1995. KINEROS-a kinematic runoff and erosion model. *Computer models of watershed hydrology*, 697-732.
40. Son N. T. & Binh N. D., 2020. Predicting Land Use and Climate Changes Scenarios Impacts on Runoff and Soil Erosion: A Case Study in Hoa Binh Province, Lower Da River Basin, Northwest Vietnam. *Environment Asia*, 12(2).
41. Thái Phiên, Mai Văn Trinh, Đỗ Cảnh Dương, 2001. Xói mòn đất trên vùng gò đồi huyện Ninh Sơn - Ninh Thuận. *Tạp chí Khoa học đất*, 15, 161-169.

42. Tran Duc Toan, Podwojewski P., Orange D., Nguyen Duy Phuong, Do Duy Phai, Bayer A., Nguyen Van Thiet, Pham Van Rin, Renaud J. and Koikas J., 2004. *Effect of land use and land management on water budget and soil erosion in a small catchment in northern part of Vietnam*. In International conference on innovative practices for sustainable sloping lands and watershed management, 5-9 September 2004, Chiang Mai, Thailand.

43. USDA-ARS, 2010. *Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE* [online]. Available by USDA-ARS, National Sedimentation Laboratory <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=6027> (verified 27/5/2010)

44. Vezina K., Bonn F. & Van C. P., 2006. Agricultural land-use patterns and soil erosion vulnerability of watershed units in Vietnam's northern highlands. *Landscape Ecology*, 21(8), 1311-1325.

45. Vương Văn Quỳnh, 1999 - Chương trình phần mềm ứng dụng tiêu chuẩn xói mòn đất. Kết quả nghiên cứu khoa học 1995-1999. Trường Đại học Lâm nghiệp.

46. Walsh R. P. D., Clarke M. A., Bidin K., Blake W. H., Chappell N. A., Douglas I., Ramli N., Sayer A.M., Sinun W., Larenus J. & Hanapi, J. (2006). *23 Changes in the Spatial Distribution of Erosion within a Selectively Logged Rainforest Catchment in Borneo 1988-2003*. Soil erosion and sediment redistribution in river catchments: measurement, modelling and management, 239.

47. Williams J. R., 1989. *EPIC: The erosion-productivity impact calculator*. Clema J.K. (ed.). The Society, ISBN 09-118-0158, p. 676-681.

48. Williams J., Nearing M., Nicks A., Skidmore E., Valentin C., King K. & Savabi R., 1996. Using soil erosion models for global change studies. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5), 381-385.

49. Wischmeier W. H. & Smith D. D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.

50. Woolhiser, D.A., Smith, R.E., Goodrich, D.C., 1990. KINEROS: a kinematic runoff and erosion model. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. ARS-77, 130 pp. In: Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment Part I: Model development. *Journal of American Water Resources Association* 34 (1), 73-89.

51. Xiong M., Sun, R. & Chen L., 2019. Global analysis of support practices in USLE-based soil erosion modeling. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(3), 391-409.

52. Young R.A., Onstad C.A., Bosch D.D., Anderson W.P., 1989. *AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds*. *Journal of Soil and Water Conservation*, 44 (2), 4522-4561.

A SYSTEMATIC REVIEW OF SOIL EROSION PREDICTION MODELS AND APPLICATIONS

Ngo Thanh Son¹, Tran Trong Phuong¹, Nguyen Thi Phuong Mai², Nguyen Thu Ha^{1*}

¹Vietnam National University of Agriculture

²Gia Lai Department of Science and Technology

SUMMARY

Soil erosion is a major problem around the world because of its effects on soil productivity, nutrient loss, siltation in water bodies, and degradation of water quality. The use of the model has been recognized by many researchers in the world and has a widely effective tool to estimate the amount of soil loss occurring at different spatial and temporal scales. Empirical/regression equations and soil erosion models differ greatly in terms of the complexity of the input data, simulation principles, displays, and output data sizes. One of the most commonly used soil erosion models is the Universal Soil Loss Equation (USLE) and its family of models: the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), and the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE). In recent years, the trends of using models are increasing towards physical models (MMF, AGNPS, SWAT), and conceptual models (CREAMS, EUROSEM, KINEROS, EPIC, WEPP) because the application of these models is dependent on the nature of each component process of soil erosion while complying the law of conservation matter and energy, therefore we can accurately estimate soil loss in the larger scale with less effort on calibration and validation. The development of information technology will create a new trend in soil erosion research with the combination with RS, GIS and effective connection with big data on soil, topography, land use and climate. It will help to identify accurately soil erosion areas and support decision makers on land use policy to achieve sustainable development goals.

Keywords: model, sediment, soil erosion, universal soil loss equation, water erosion.

Ngày nhận bài : 29/9/2021

Ngày phản biện : 05/01/2022

Ngày quyết định đăng : 21/01/2022