

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

Ngô Thanh Sơn*, Trần Trọng Phương

Khoa Tài nguyên và Môi trường, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

**Tác giả liên hệ: ntson@vnua.edu.vn*

Ngày nhận bài: 06.08.2021

Ngày chấp nhận đăng: 29.10.2021

TÓM TẮT

Với gần 5.000 bài báo được công bố trên thế giới và hơn 100 ấn phẩm ở Việt Nam, công cụ đánh giá tài nguyên đất và nước (SWAT) là một trong những mô hình thủy văn, sinh thái được sử dụng rộng rãi trên toàn thế giới. Đánh giá khả năng ứng dụng của mô hình, thay đổi sử dụng đất/lớp phủ và biến đổi khí hậu là những ứng dụng SWAT chính đã được thực hiện ở Việt Nam từ những năm 1990. Mục tiêu của bài tổng quan này nhằm: (1) giới thiệu những ứng dụng của mô hình SWAT; (2) những nghiên cứu về ứng dụng mô hình SWAT ở Việt Nam; (3) những thách thức và tiềm năng phát triển mô hình SWAT tại Việt Nam. Kết quả cho thấy những khó khăn trong ứng dụng mô hình SWAT ở Việt Nam như thiếu dữ liệu đầu vào và dữ liệu không chính xác đã dẫn đến các kết quả dự báo không đảm bảo độ tin cậy. Do đó, trong tương lai cần lưu ý đến việc chuẩn hóa dữ liệu đầu vào cho từng ứng dụng cụ thể, dữ liệu miễn phí cũng như độ tin cậy. Sử dụng các yếu tố đầu vào từ mô hình khí hậu toàn cầu (GCM), các yếu tố địa lý đặc trưng của từng khu vực hay vấn đề sử dụng đất trong mô hình SWAT cần được xem xét đồng bộ, chính xác. Chính vì vậy, mô hình SWAT là công cụ hỗ trợ đắc lực cho người ra quyết định lập kế hoạch trong việc quy hoạch và quản lý tài nguyên đất và nước trong tương lai.

Từ khóa: Sử dụng đất, biến đổi khí hậu, thủy văn, SWAT model.

SWAT model applications in Vietnam: Challenges and Future Perspectives – A Review

ABSTRACT

With nearly 5,000 publications in the world and more than 100 publications in Vietnam, the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) is clearly one of the most extensively used ecological, hydrological models worldwide. Model capability assessment, land use/land cover change, and climate change assessment are the main SWAT applications that have been implemented in Vietnam since 1990s. The objectives of this paper are to: (1) introduce applications of SWAT model; (2) studies on SWAT model applications in Vietnam; and (3) challenges and potentials of SWAT model development in Vietnam. The results indicated that the challenges of the SWAT model's applications in Vietnam including data unavailability and uncertainties which led to unreliable forecast results. Therefore, future studies should be paid attention to identifying and developing availability data and reliable input data for SWAT modeling. SWAT model modification based on the global climate model (GCM), geographical and land use conditions is another research direction to be considered in the future. In short, SWAT model is an effective tool for decision makers of land and water resources planning and management in the future.

Keywords: Land Use, Climate Change, Hydrology, SWAT model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các mô hình mô phỏng thủy văn và đánh giá tài nguyên nước đã và đang được sử dụng rộng rãi trong giải quyết một loạt các thách thức về tài nguyên nước trên toàn cầu (Moriasi & cs.,

2015). Những phân tích, đánh giá chủ yếu được thực hiện bởi các mô hình mô phỏng trên máy tính nhằm tái hiện các quá trình xảy ra trong thế giới thực trong không gian và theo thời gian. Bên cạnh đó, chúng được sử dụng để tăng cường hiểu biết của chúng ta về các quá trình vật lý và

ước tính định lượng sự phân bố tài nguyên nước trong các môi trường khác nhau. Sự kết hợp của các mô hình thủy văn và hệ thống thông tin địa lý (GIS) đã mang lại hiệu quả cao trong đánh giá môi trường và tài nguyên nước. Chính vì vậy, sự kết hợp này ngày càng được ứng dụng nhiều hơn để đánh giá nước tài nguyên trong những thập kỷ gần đây (Gassman & cs., 2007).

Mô hình đánh giá tài nguyên đất và nước (SWAT) được phát triển vào đầu những năm 1990 bởi Jeff Arnold theo đơn đặt hàng của Trung tâm Nghiên cứu Nông nghiệp (Agricultural Research Service, ARS, thuộc Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ - USDA). SWAT là mô hình mã nguồn mở được phát triển nhằm mục đích dự báo tác động của thay đổi sử dụng đất lên dòng chảy, tài nguyên nước, chất lơ lửng trong nước và ước tính tàn dư của các chất hóa học trong nông nghiệp đối với những lưu vực sông lớn, đặc điểm thổ nhưỡng phức tạp, có sự thay đổi sử dụng đất trong một thời gian dài (<https://swat.tamu.edu/>). So với những mô hình trước đây, SWAT có nhiều ưu điểm như: cho phép mô hình hóa các lưu vực không có mạng lưới quan trắc, mô phỏng tác động của thay đổi dữ liệu đầu vào như sử dụng đất, thực hành quản lý đất đai và khí hậu; giao diện tích hợp trong GIS tạo thuận tiện cho việc xử lý các dữ liệu không gian và dữ liệu dạng bảng liên quan; trong trường hợp dữ liệu đầu vào hạn chế, SWAT vẫn có thể mô phỏng được; ngoài ra, với khả năng tính toán hiệu quả, SWAT có thể mô phỏng các lưu vực rộng lớn với nhiều dạng thực hành quản lý đất đai mà không tốn nhiều thời gian và tài nguyên máy tính và SWAT là mô hình vật lý do đó có thể mô phỏng tác động lâu dài của sử dụng đất, thực hành quản lý đất đai và sự tích tụ của các chất ô nhiễm. Việt Nam với diện tích 331.212km², có nguồn tài nguyên nước khá dồi dào với hơn 3.450 con sông với chiều dài từ 10km trở lên, trong đó có 109 sông chính (Bộ TN&MT, 2018). Lãnh thổ Việt Nam có 16 lưu vực sông với diện tích lưu vực lớn hơn 2.500km², trong đó 10 lưu vực có diện tích trên 10.000km² (Hình 1). Tổng diện tích các lưu vực sông trên cả nước lên đến trên 1.167.000km², trong đó, phần lưu vực nằm ngoài diện tích lãnh thổ chiếm đến 63%. Theo thống kê của Ủy ban quốc tế Sông Mê

Công, tổng lượng nước mặt của các lưu vực sông trên lãnh thổ Việt Nam khoảng 830-840 tỷ m³ và nước ngầm khoảng 48 tỷ m³ mỗi năm (Aires & cs., 2020). Tài nguyên nước sông đóng vai trò rất quan trọng trong sự phát triển của đất nước. Tuy nhiên, do ảnh hưởng của địa hình đồi núi, lượng mưa phân bố không đều theo cả thời gian lẫn không gian đã và đang tác động lớn đến trữ lượng, phân bố tài nguyên nước và là nguyên nhân làm tăng nguy cơ hạn hán và lũ lụt gây thiệt hại đến tình hình sản xuất nông nghiệp cũng như cơ sở hạ tầng nông thôn. Bên cạnh đó những hoạt động can thiệp của con người như thay đổi loại hình sử dụng đất, phá rừng, khai thác gỗ quá mức, thâm canh trong nông nghiệp... là nguyên nhân dẫn đến xói mòn, suy thoái tài nguyên đất, nước, giảm đa dạng sinh học và suy giảm sinh khối cacbon. Do vậy, ở Việt Nam cần thiết phải đổi mới phương pháp và công cụ trong việc giải quyết các vấn đề đang phải đối mặt liên quan đến tài nguyên nước (Bộ TN&MT, 2018).

SWAT là một trong những mô hình thủy văn được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu về đất và nước với trên 5.000 bài báo đã được xuất bản trên toàn thế giới (CARD, 2021). Cho đến nay, các bài nghiên cứu tổng quan về mô hình này chủ yếu đánh giá ở quy mô toàn cầu. Đối với quy mô khu vực, các đánh giá tổng quan chủ yếu được thực hiện cho lưu vực sông Nile và Brazil (Marin & cs., 2020). Theo cơ sở dữ liệu SWAT (<https://swat.tamu.edu/>), mô hình này thường được sử dụng trong các nghiên cứu về đất, nước và môi trường (xói mòn, ô nhiễm...) với điểm nghiên cứu phần lớn tập trung ở Hoa Kỳ và châu Âu với hơn 250 bài viết về quá trình phát triển, ứng dụng và hướng nghiên cứu trong tương lai (Gasman & cs., 2007). Số lượng nghiên cứu có sử dụng mô hình này ở khu vực Đông Nam Á và Châu Phi lần lượt là 126 và 20 công trình. Tại Đông Nam Á, Việt Nam và Thái Lan chiếm khoảng 50% các công bố.

Mô hình SWAT đã được thừa nhận và nghiên cứu trên phạm vi toàn cầu cũng như Việt Nam (Ngo & cs., 2015), tuy nhiên cho đến nay chưa có bài tổng quan nào đánh giá về những ứng dụng, thách thức và triển vọng phát triển SWAT được thực hiện ở Việt Nam. Mục

tiêu của bài tổng quan này nhằm: (1) giới thiệu những ứng dụng của mô hình SWAT; (2) những nghiên cứu về ứng dụng mô hình SWAT ở Việt Nam; (3) những thách thức và tiềm năng phát triển mô hình SWAT tại Việt Nam.

2. GIỚI THIỆU ỨNG DỤNG MÔ HÌNH SWAT

2.1. Giới thiệu mô hình SWAT

SWAT cho phép mô phỏng một số các quá trình vật lý khác nhau xảy ra trong một lưu vực sông. Với mục đích mô phỏng, một lưu vực có thể được chia ra thành nhiều tiểu lưu vực. Khi chia lưu vực thành các tiểu lưu vực, người sử dụng có thể phân biệt và chỉ ra các vùng diện tích khác nhau theo vị trí không gian gồm các loại hình sử dụng đất và loại đất khác nhau tác động đến chế độ thủy văn (Moriassi & cs., 2015).

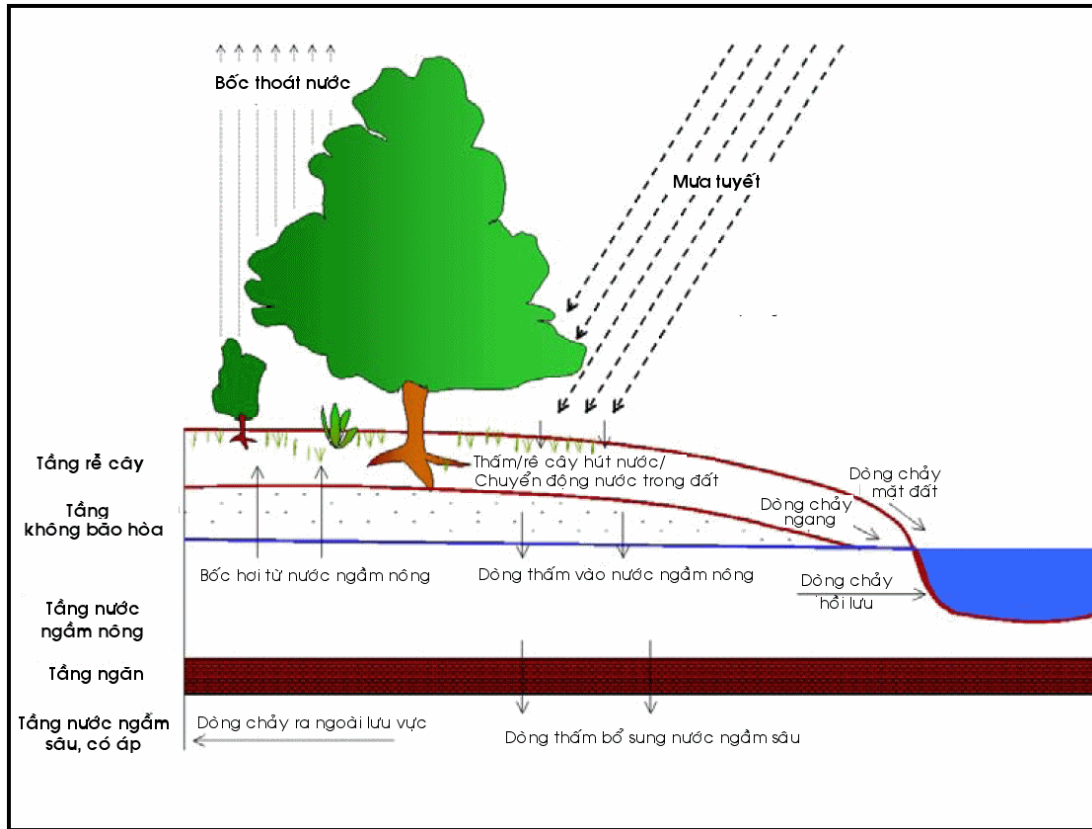
Trong bất kỳ ứng dụng của mô hình SWAT thì cân bằng nước là cơ sở cho các quá trình xảy ra trong lưu vực. Để có thể mô phỏng chính xác chuyển vận của thuốc trừ sâu, phù sa hay chất dinh dưỡng, thì mô phỏng vòng tuần hoàn thủy văn phải thể hiện được bản chất của quá trình đó đang xảy ra trong thế giới thực. Những mô phỏng về thủy văn trong lưu vực có thể được phân thành hai loại bao gồm (i) những quá trình thủy văn trong vòng tuần hoàn xảy ra trên đất liền kiểm soát lượng dòng chảy, bùn lắng và lượng thuốc trừ sâu đi vào trong dòng sông chính của mỗi một tiểu lưu vực (Hình 2) và (ii) quá trình lượng nước hay các chất trong nước trong vòng tuần hoàn thủy văn, có thể được định nghĩa như là vận chuyển của nước, bùn cát, etc. theo mạng lưới dòng sông và cuối cùng đều đi ra qua điểm ra của lưu vực (Hình 3) (Gassman, 2007).



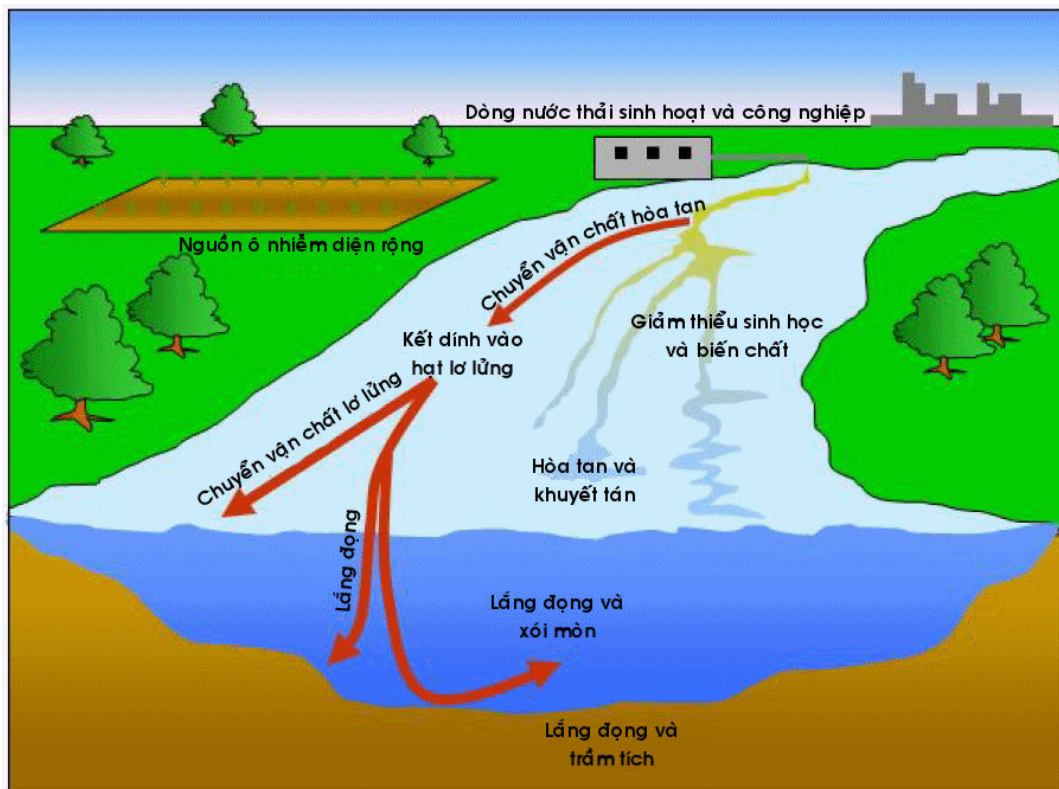
Nguồn: Atlas địa lý Việt Nam (2015).

Hình 1. Bản đồ ranh giới các lưu vực sông ở Việt Nam (lưu vực có diện tích > 10.000km²)

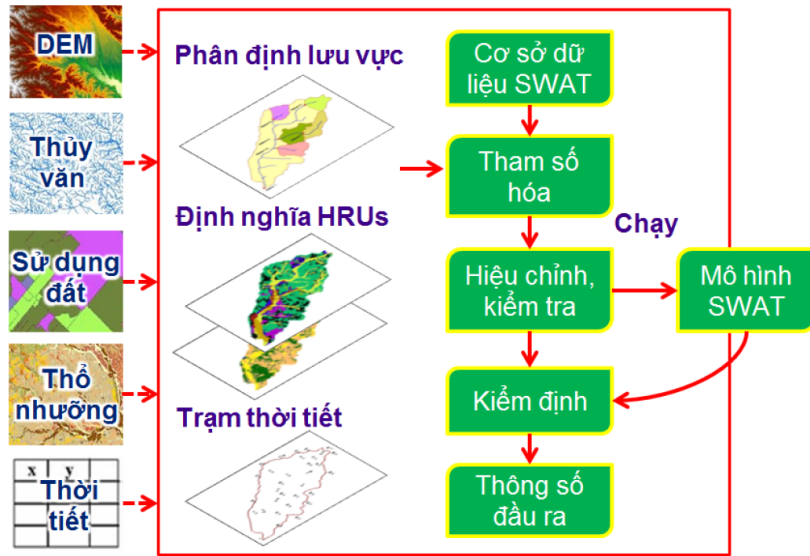
Tổng quan về những ứng dụng công cụ đánh giá tài nguyên đất và nước (SWAT) ở Việt Nam: Thách thức và triển vọng trong tương lai



Hình 2. Sơ đồ vòng tuần hoàn thủy văn trong đất liền



Hình 3. Quá trình biến đổi và vận chuyển chất trong lòng sông



Nguồn: Nguyễn Kim Lợi & cs. (2013).

Hình 4. Sơ đồ mô phỏng của SWAT

Quá trình mô phỏng trong SWAT bao gồm 6 bước: (1) chuẩn bị dữ liệu, (2) phân chia lưu vực, (3) định nghĩa đơn vị thủy văn, (4) nhập dữ liệu đầu vào, (5) chạy mô hình, (6) hiệu chỉnh, kiểm định mô hình (Gassman., 2007) (Hình 4).

2.2. Ứng dụng mô hình SWAT

2.2.1. Mô phỏng dòng chảy trong SWAT

SWAT cho phép mô phỏng một số quá trình vật lý xảy ra trong lưu vực sông. Mô hình SWAT coi cân bằng nước là nguyên lý cho mọi quá trình xảy ra trong lưu vực, do vậy vòng tuần hoàn thủy văn trong mô hình SWAT được thành lập dựa theo phương trình sau:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day,i} - Q_{surf,i} - E_{a,i} - w_{seep,i} - Q_{gw,i}) \quad (1)$$

Trong đó:

SW_t : Tổng lượng nước tại cuối thời đoạn tính toán ($mm H_2O$);

SW_0 : Tổng lượng nước ở ngày đầu tiên ($mm H_2O$);

t : Chỉ số ngày (ngày);

R_{day} : Lượng mưa trong ngày i ($mm H_2O$);

Q_{surf} : Lượng dòng chảy tràn mặt đất trong ngày i ($mm H_2O$);

E_a : Lượng bốc thoát nước trong ngày i ($mm H_2O$);

w_{seep} : Lượng nước thấm vào tầng không bão hòa trong tầng rễ cây trong ngày i ($mm H_2O$);

Q_{gw} : Dòng chảy hồi lưu trong ngày i ($mm H_2O$).

Lượng nước lưu vực đóng góp vào dòng chảy trong sông:

$$WYLD = Q_{surf} + Q_{LAT} + Q_{gw} - Q_{TLOSS} - W_{pond} \quad (2)$$

Trong đó:

$WYLD$: Tổng lượng nước rời khỏi HRU và đi vào dòng chảy sông ngòi trong suốt quãng thời gian (mm);

Q_{surf} : Lượng nước do dòng chảy mặt đóng góp (mm);

Q_{LAT} : Lượng nước do dòng chảy ngang dưới mặt đất (mm);

Q_{gw} : Lượng nước do nước ngầm cung cấp (mm);

Q_{TLOSS} : Lượng nước mất đi do sự dẫn truyền trong sông suối (mm);

W_{pond} : Lượng nước mất đi do nạp vào ao hồ (mm).

2.2.2. Mô phỏng xói mòn đất trong SWAT

Xói mòn là nguyên nhân gây ra bởi mưa và nước chảy bề mặt sẽ được mô hình ước tính cho mỗi HRU sử dụng công thức tổng hợp xói mòn đất đã thay đổi (Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE; Williams, 1995) được phát triển từ phương trình phổ dụng (Universal Soil Loss Equation, USLE) (Wischmeier & Smith, 1978). Trong MUSLE, hệ số năng lượng gây xói mòn của trận mưa (USLE) được thay bằng hệ số dòng chảy tràn trên mặt đất. Điều này đã cải thiện độ chính xác dự báo xói mòn đất và cho phép sử dụng phương trình để tính toán lượng đất bị xói cho từng trận mưa riêng biệt. Độ chính xác dự báo cũng được cải thiện do phương trình dựa vào lưu lượng dòng chảy tràn phụ thuộc vào độ ẩm ban đầu của tầng đất và phụ thuộc vào năng lượng trận mưa. USLE cần có giá trị hệ số tỉ lệ vận chuyển (lượng bùn cát có trong dòng nước ở một mặt cắt bất kỳ của dòng sông chia cho tổng lượng đất bị xói mòn trên lưu vực của sông ở mặt cắt đó) do hệ số mưa trong phương trình chỉ đại diện cho năng lượng trận mưa làm tách rời hạt đất khỏi lớp đất. MUSLE không cần sử dụng hệ số tỉ lệ vận chuyển do hệ số mưa trong phương trình đã biểu thị cho cả năng lượng mưa làm tách rời và năng lượng mưa làm di chuyển hạt đất đã bị xói mòn.

Phương trình phổ dụng xói mòn đất sửa đổi, MUSLE (Williams, 1995) được viết như sau:

$$\text{sed} = 11,8 \times (Q_{\text{surf}} \times q_{\text{peak}} \times \text{area}_{\text{hru}})^{0,56} \times K_{\text{USLE}} \times C_{\text{USLE}} \times P_{\text{USLE}} \times LS_{\text{USLE}} \times \text{CFRG} \quad (3)$$

Trong đó:

Sed: Lượng đất bị xói mòn hàng ngày (tấn/ngày);

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

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

area_{hru} : Diện tích của HRU (ha);

K_{USLE} : Hệ số khả năng ứng chịu xói mòn của đất từ công thức USLE ((đơn vị $0,013$ (tấn m^2 giờ)/(m^3 -tấn cm));

C_{USLE} : Hệ số thảm thực vật trong công thức USLE;

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

LS_{USLE} : Hệ số tác động của địa hình trong USLE;

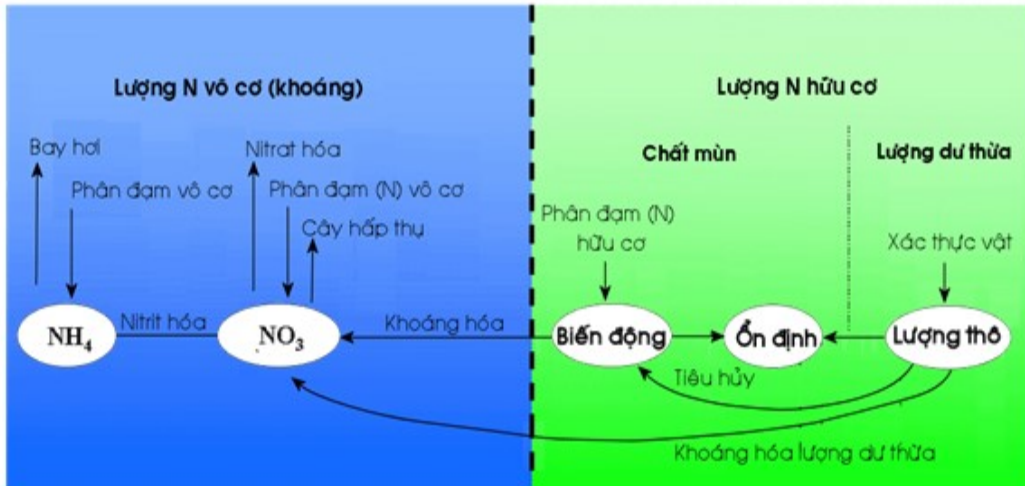
CFRG: Hệ số tác động của thành phần thô trong đất.

2.2.3. Mô phỏng chất lượng nước

SWAT mô phỏng chuyển động và biến đổi của nhiều loại phân đạm và phospho trong một lưu vực (Hình 5, 6). Những chất dinh dưỡng này có thể di chuyển vào dòng chảy từ các kênh chính và được vận chuyển xuống vùng hạ lưu theo chuyển động của dòng chảy mặt và dòng nước ngầm. Lượng nitơ do cây hấp thụ được ước tính bằng cách sử dụng nguyên tắc cân bằng giữa nhu cầu và khả năng cung cấp (được mô tả trong phần nguyên lý mô hình sinh trưởng và phát triển của cây trồng). Ngoài lượng được thực vật hấp thụ, nitrat và nitơ hữu cơ có thể bị rửa trôi khỏi các lớp đất theo dòng chảy. Lượng $\text{NO}_3\text{-N}$ có trong dòng chảy mặt, dòng chảy ngang sát mặt đất và dòng thấm sâu được ước tính như là tích số của thể tích nước và nồng độ trung bình của nitrat trong lớp nước. Nitơ hữu cơ được vận chuyển theo bùn cát lơ lửng và được tính toán dựa vào hàm số do McElroy & cs. (1976) phát triển và được sửa đổi bởi Williams & Hann (1978) nhằm áp dụng riêng cho từng đợt dòng chảy mặt ứng với từng trận mưa gây ra. Hàm số này ước tính tổn thất chất N hữu cơ trên cơ sở nồng độ N hữu cơ của lớp đất trên cùng, lượng bùn cát lơ lửng và tỉ lệ tăng nồng độ. Tỉ lệ tăng nồng độ là nồng độ của N hữu cơ trong bùn cát lơ lửng chia cho nồng độ đó ở trong đất.

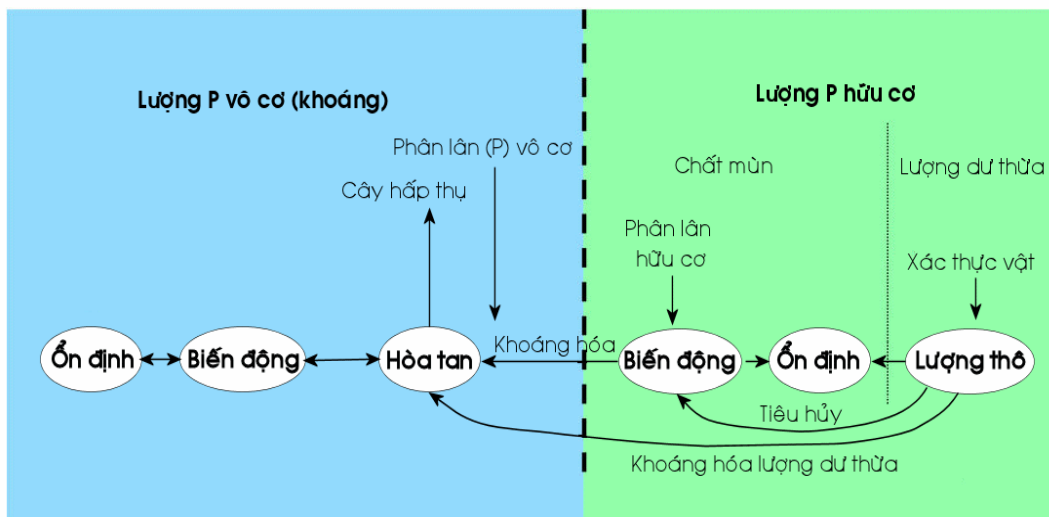
Ở hình 6 cho thấy lượng phospho (P) do cây hấp thụ được ước tính bằng cách sử dụng nguyên tắc cân bằng giữa nhu cầu và khả năng cung cấp. Ngoài lượng được thực vật hấp thụ, P hòa tan và P hữu cơ có thể bị dòng chảy rửa trôi khỏi các lớp đất. Lượng P hòa tan bị dòng chảy rửa trôi được mô hình tính toán dựa trên nồng độ phospho hòa tan ở lớp đất 10mm trên cùng, lượng dòng chảy mặt và một hệ số phân bố. Vận chuyển P theo dòng chảy bùn cát được mô phỏng tương tự như với vận chuyển N hữu cơ (Gassman & cs., 2007).

NITROGEN



Hình 5. Quá trình vận chuyển nitrogen

PHOSPHORUS



Hình 6. Quá trình vận chuyển phosphorus

3. NHỮNG NGHIÊN CỨU VỀ ỨNG DỤNG MÔ HÌNH SWAT Ở VIỆT NAM

3.1. Hiệu chỉnh và kiểm chứng dòng chảy

Khi mô phỏng cân bằng nước, SWAT-CUP là công cụ hỗ trợ hiệu chỉnh và kiểm định mô hình rất hiệu quả bởi SWAT-CUP cho phép người dùng lựa chọn nhiều thuật toán khác nhau để phân tích độ nhạy, hiệu chỉnh, kiểm chứng và phân tích độ tin cậy của mô hình. Những thông số chính như Nash - Sutcliffe

(NSE), hệ số tương quan (R^2) và độ lệch phần trăm (PBIAS) được sử dụng để đánh giá kết quả dự báo của mô hình có chính xác hay không (Moriasi & cs., 2007). Cho đến nay, không có tiêu chí tuyệt đối để đánh giá hiệu chỉnh và kiểm định mô hình mô hình SWAT một cách chính xác và cụ thể, tuy nhiên, nghiên cứu của Moriasi & cs. (2007) chỉ ra kết quả của quá trình hiệu chỉnh mô hình đạt các giá trị $NSE \geq 0,5$, $R^2 \geq 0,6$, $PBIAS \pm 15\%$ đối với lưu lượng dòng chảy được xem là hiệu chỉnh thành

công. Ở Việt Nam có rất nhiều nghiên cứu đánh giá mô phỏng thủy văn từ Bắc vào Nam (Loi & cs., 2020, Ha & cs., 2018; Huyen & cs., 2017; Anh & cs., 2015; Phan & cs., 2011) chỉ ra rằng có trên 65% những nghiên cứu là “kết quả mô phỏng tốt” và rất ít nghiên cứu cho thấy kết quả mô phỏng dòng chảy không thành công. Những kết quả mô phỏng kém về dòng chảy trong mô hình thường xảy ra chủ yếu với việc dự báo theo ngày do nhiều lý do như (1) lượng mưa quan trắc không đầy đủ hoặc thiếu các trạm mưa, (2) trạm mưa phân bố không đều trên toàn bộ lưu vực, (3) thiết bị do mưa không đồng bộ nên ảnh hưởng đến đầu vào của quá trình mô phỏng. Hơn nữa, việc quan trắc dòng chảy không chính xác, thời gian hiệu chỉnh ngắn và đặc biệt thiếu thông tin đầu vào/ra của hồ chứa cũng ảnh hưởng đến quá trình hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình. Do vậy, cần nhiều những nghiên cứu hơn để khẳng định độ tin cậy của mô hình đối với toàn bộ các lưu vực sông ở Việt Nam (Khoi & Thom, 2015).

3.2. Mô phỏng dòng chảy

Những nghiên cứu SWAT trên thế giới cũng như Việt Nam về tài nguyên nước thường tập trung vào nghiên cứu các hiện tượng thời tiết cực đoan (lũ lụt và hạn hán), mô hình mưa - dòng chảy, mô hình thủy văn và sử dụng nước trong nông nghiệp (Raghavan & cs., 2014). Các khu vực nghiên cứu về ứng dụng mô hình SWAT ở Việt Nam thường tập trung chính ở vùng đồi núi phía Bắc (Son & cs., 2020; Nguyen & Kappas., 2015), Miền Trung (Giang & cs., 2014), Tây nguyên (Tram & cs., 2019; Quyên & cs., 2014; Huyen & cs., 2017) và Mê Công (Khoi & cs., 2020). Theo những kết quả nghiên cứu được thu thập từ cơ sở dữ liệu (<https://swat.tamu.edu/publications/>) cho thấy mô hình SWAT được áp dụng thành công trong việc mô phỏng dòng chảy trên các lưu vực sông khác nhau ở Việt Nam do có khả năng tích hợp được các dữ liệu đầu vào như (mưa, gió, nhiệt độ, bức xạ mặt trời và độ ẩm). Ngoài ra, kết quả mô hình SWAT có thể được sử dụng làm dữ liệu đầu vào trong phân tích và dự báo lũ và đánh giá những hiện tượng khí hậu bất thường cũng

như cải thiện việc phân bổ sử dụng tài nguyên nước hợp lý. Bên cạnh tài nguyên nước mặt, mô hình SWAT còn được áp dụng rộng rãi ở Nam Trung Bộ và Tây nguyên trong việc dự báo hạn hán, nước ngầm và lượng nước sẵn có (Khoi & cs., 2021). Những nghiên cứu của tác giả Việt Nam về tài nguyên nước thông qua việc mô phỏng vòng tuần hoàn thủy văn trong điều kiện hạn hán và tính toán lượng nước ngầm trong những vùng khô hạn đã giúp các nhà hoạch định chính sách có những định hướng đúng đắn cho việc phát triển bền vững (Ngo & cs., 2015).

3.3. Mô phỏng xói mòn và bùn cát

Những nghiên cứu về xói mòn và bùn cát sử dụng mô hình SWAT đã được thực hiện trên rất nhiều lưu vực lớn ở Việt Nam như lưu vực Sông Đà (Nguyễn Duy Bình & cs., 2011), lưu vực thượng nguồn Sông Mã (Le & Son, 2020), lưu vực sông Cầu (Phan & cs., 2011), lưu vực sông Cả (Giang & cs., 2014), lưu vực sông Bé (Khoi & Suetsugi, 2014). Ở những nghiên cứu này, mô hình SWAT được sử dụng nhằm phân tích những tác động của tự nhiên (biến đổi khí hậu) cũng như con người (thay đổi lớp phủ và các phương thức canh tác) đến xói mòn và suy thoái đất trong lưu vực sông (Khoi & Suetsugi, 2014). Tương tự những kết quả nghiên cứu mô phỏng về các biện pháp bảo vệ đất (như ruộng bậc thang, băng cỏ, che phủ nilon...) đã được áp dụng có thể giúp giảm bùn cát, xói mòn đất tới 30-50% so với canh tác không sử dụng những biện pháp bảo vệ đất (Ngo & cs., 2015). Hơn nữa, mô hình SWAT có thể mô phỏng những kịch bản trong tương lai giúp cho nhà quy hoạch triển khai những phương pháp bảo tồn tài nguyên đất và nước phù hợp (Khoi & Suetsugi, 2014). Do vậy, mô hình SWAT đã chứng minh là một công cụ mạnh trong nghiên cứu suy thoái đất ở cấp độ lưu vực (Phuong & cs., 2014; Phan & cs., 2011).

3.4. Mô phỏng tác động thay đổi sử dụng đất/lớp phủ, biện pháp quản lý và biến đổi khí hậu đến tài nguyên đất và nước

Những thay đổi sử dụng đất/lớp phủ và phương thức canh tác khác nhau đã và đang ảnh hưởng rõ rệt đến vòng tuần hoàn thủy văn

trong lưu vực (Raghavan & cs. 2012). Phân tích thay đổi sử dụng đất là một ứng dụng phổ biến của mô hình SWAT nhằm mục đích đánh giá các kịch bản thay đổi sử dụng đất khác nhau xảy ra trong tương lai đến chu trình thủy văn, hạn hán, lũ lụt và chất lượng nước (Trang & cs., 2017). Ở Việt Nam, những phân tích thay đổi sử dụng đất được áp dụng bằng việc so sánh lịch sử sử dụng đất trong quá khứ với hiện tại và những tác động của việc thay đổi đó đến tài nguyên nước, xói mòn cũng như chất lượng nước. Theo kết quả nghiên cứu của Le Huong & Son (2020) và Khoi & cs. (2019) về đánh giá tác động của thay đổi sử dụng đất đến dòng chảy, xói mòn đất và bùn cát cho thấy rằng việc thay đổi loại hình sử dụng đất đặc biệt phá rừng hay chuyển đổi mục đích từ đất rừng sang đất canh tác cây hàng năm làm tăng dòng chảy mặt khoảng 3,9%, tăng dòng chảy trung bình hàng năm (1,2%) và tăng xói mòn lên 20% do cấu trúc đất bị phá vỡ và xáo trộn các phương thức canh tác. Hơn nữa, nghiên cứu của Ngo & cs. (2015) về những tác động của các biện pháp bảo vệ đất như canh tác theo đường đồng mức, che phủ đất, ruộng bậc thang, nông lâm kết hợp được mô phỏng bằng phần mềm SWAT đã chứng minh việc áp dụng những giải pháp trên có thể giảm thiểu dòng chảy mặt, tăng khả năng giữ nước của đất và giảm lượng đất mất đi do rửa trôi. Theo thống kê (<https://swat.tamu.edu/publications/>), có 17 nghiên cứu ở Việt Nam về mô hình SWAT liên quan đến tác động riêng lẻ và kết hợp giữa thay đổi sử dụng đất/lớp phủ và biến đổi khí hậu như nghiên cứu của Khoi & Suetsugi (2014) nhằm đánh giá riêng biệt và kết hợp của thay đổi sử dụng đất và khí hậu ở lưu vực sông Bé cho thấy biến đổi khí hậu có tác động mạnh đến dòng chảy và bốc hơi hơn là thay đổi sử dụng đất. Tương tự như nghiên cứu của Le & Son (2020) về những tác động thay đổi sử dụng đất và biến đổi khí hậu trong giai đoạn 1992-2015 cho thấy: thay đổi sử dụng đất (LULC) làm giảm dòng chảy mặt (4,3%) và bùn cát (13,7%). Thay đổi về khí hậu làm tăng lượng bùn cát lên 12% do lượng mưa từ năm 2004-2015 cao hơn đáng kể so với năm 1992-2003. Sự kết hợp của LULC và tác động của biến đổi khí hậu dẫn đến lượng phù sa giảm nhẹ (4,9%). Tóm

lại, biến đổi khí hậu ảnh hưởng mạnh đến dòng chảy và bùn cát hơn so với LULC trong khu vực nghiên cứu từ năm 1992 đến năm 2015. Trang & cs. (2017) đã đánh giá tác động của biến đổi khí hậu kết hợp thay đổi và sử dụng đất đến chu trình thủy văn và chất lượng nước (N, P) trên lưu vực sông 3S (Sekong, Sesan và Srepok). Kịch bản biến đổi khí hậu tương lai được trích xuất từ một số mô hình biến đổi khí hậu toàn cầu (GCM), trong khi các kịch bản sử dụng đất trong tương lai được mô phỏng bằng phần mềm CLUES như sau: (1) Chuyển đất rừng thành đồng cỏ với tỉ lệ 1%/năm và (2) chuyển đất rừng sang đất nông nghiệp với tỉ lệ 1%/năm. Kết quả mô phỏng bằng phần mềm SWAT cho thấy rằng dòng chảy trung bình năm và lượng chất dinh dưỡng được dự báo sẽ tăng lên, đặc biệt trong mùa mưa, nhưng giảm trong mùa khô. Tóm lại những kết quả mô phỏng thay đổi sử dụng đất, các biện pháp bảo vệ đất và biến đổi khí hậu sẽ cung cấp những kiến thức, phương pháp và kỹ thuật cho các nhà quản lý trong quy hoạch và quản lý sử dụng đất bền vững nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực đến dòng chảy hàng năm và chất lượng nước trong tương lai dưới tác động trực tiếp của biến đổi khí hậu.

3.5. Mô phỏng chất lượng nước

Mô hình SWAT đã và đang được sử dụng trong nghiên cứu về chất lượng nước ở Việt Nam, tuy nhiên những nghiên cứu này còn hạn chế so với những nước trong khu vực cũng như ở châu Âu và Hoa Kỳ (CARD, 2021). Lý do cho việc có rất ít nghiên cứu về chất lượng nước ở các lưu vực sông ở Việt Nam là do thiếu những trạm quan trắc chất lượng nước để có thể hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình (Tran & cs., 2017; Khoi & Phi, 2018). Tran & cs. (2017) đã sử dụng ba kịch bản với sự kết hợp khác nhau của các nguồn ô nhiễm (tự nhiên, trồng trọt, công nghiệp, hộ gia đình, làng nghề và chăn nuôi) đến chất lượng N và P trong nước ở lưu vực sông Cầu. Kết quả cho thấy Amoni (NH_4^+) và Nitrat (NO_3^-) bị ô nhiễm nặng nhất do chịu tác động mạnh mẽ của thay đổi nguồn diện và nguồn điểm tại lưu vực sông Cầu. Việc thiếu dữ liệu quan trắc chất lượng nước hàng ngày cũng là

nguyên nhân gây khó khăn trong việc hiệu chỉnh và kiểm chứng chất lượng nước. Mô hình SWAT cũng được ứng dụng trong nghiên cứu dòng chảy chất lượng nước lưu vực sông La Buong, Khoi & cs. (2019) chỉ ra biến đổi khí hậu dẫn đến giảm dòng chảy hàng năm vào mùa mưa và chất lượng nước, nhưng lại tăng trong những mùa khô. Thay đổi sử dụng đất tạo ra sự gia tăng đáng kể về dòng chảy mặt theo mùa và tải lượng ô nhiễm (TSS, T-N và T-P). Tương tự như nghiên cứu của Trang & cs. (2017), dưới tác động của các kịch bản thay đổi sử dụng đất và biến đổi khí hậu thì NO_3^- và NH_4^+ được dự báo sẽ tăng lên, đặc biệt trong mùa mưa, nhưng giảm trong mùa khô giai đoạn 2035-2100.

4. THÁCH THỨC VÀ TIỀM NĂNG PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH SWAT Ở VIỆT NAM

4.1. Những thách thức ứng dụng mô hình SWAT

Ngoài những ưu điểm đã nêu, ứng dụng mô hình SWAT tại Việt Nam còn có nhiều thách thức bao gồm: thiếu dữ liệu khí tượng đầu vào, dữ liệu quan trắc bị gián đoạn, chất lượng dữ liệu không đảm bảo và thiếu thông tin về các hồ chứa (Khoi & Thang, 2017). Hơn nữa, dữ liệu khí tượng thủy văn ở Việt Nam không được cung cấp miễn phí, chưa đồng bộ giữa các địa phương và cần phải được xử lý trước khi nhập vào mô hình SWAT. Dữ liệu đầy đủ và chính xác đóng vai trò quan trọng trong việc hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình. Việc thiếu dữ liệu hay dữ liệu không đồng bộ ở Việt Nam sẽ dẫn đến kết quả mô phỏng không chính xác (Khoi & cs., 2014).

Việt Nam là một trong số những nước có những loại hình sử dụng đất phong phú nhất trên thế giới. Thực tế có rất nhiều loại cây trồng được trồng ở Việt Nam không có trong cơ sở dữ liệu của mô hình SWAT, trong khi các thuật toán về sinh trưởng và phát triển cây trồng được phát triển cho vùng ôn đới, do vậy khi mô phỏng cho vùng nhiệt đới sẽ không còn được chính xác (Wagner & cs., 2011). Nhiều nghiên cứu không chú ý đến hệ số cây trồng (C), diện tích lá để tính toán đến bốc thoát hơi nước tiềm năng và sinh khối trong tính năng mô phỏng cây trồng ở

mô hình SWAT dẫn đến ảnh hưởng đến việc mô phỏng quá trình thoát hơi nước. Hơn nữa, mô hình SWAT cũng có nhiều hạn chế đặc biệt trong việc mô phỏng dòng chảy ra từ các vùng đất ngập nước và sự bất cập với tiêu chuẩn mô hình hồ chứa.

Mô hình SWAT chủ yếu được sử dụng để nghiên cứu những tác động của thực tiễn quản lý đối với việc cung cấp nước và chất lượng trong các lưu vực có liên quan đến hoạt động nông nghiệp, còn đối với mô phỏng nước trong đô thị thì mô hình này có nhiều hạn chế và ít được áp dụng (Douglas & cs., 2010). Ở Việt Nam không có nhiều nghiên cứu về thủy văn cực đoan như dòng chảy lớn nhất và nhỏ nhất trong đô thị được sử dụng trong mô hình SWAT.

4.2. Tiềm năng phát triển mô hình SWAT ở Việt Nam

Mặc dù mô hình SWAT còn có một số thách thức và hạn chế, tuy nhiên mô hình này được rất nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới cũng như Việt Nam lựa chọn cho việc đánh giá, mô phỏng thủy văn và xói mòn đất. Ở Việt Nam có trên 100 nghiên cứu theo thống kê <https://swat.tamu.edu/publications/> đã chọn mô hình SWAT trong nghiên cứu vì dữ liệu đầu vào đơn giản và nó có khả năng mô phỏng dữ liệu bị thiếu trong một khoảng thời gian nhất định. Hơn nữa, mô hình SWAT phù hợp với việc mô phỏng ở các lưu vực lớn, lưu vực xuyên quốc gia (ví dụ như Mê Công) và có thể dễ dàng sử dụng kể cả những khu vực ít dữ liệu quan trắc. Đặc biệt đối với một số vùng không có dữ liệu quan trắc thực tế, mô hình SWAT có thể được thiết lập và hiệu chỉnh dựa vào dữ liệu được lấy từ vệ tinh để ước tính lượng mưa và nhiệt độ. Với sự hỗ trợ của Chính phủ cũng như các tổ chức quốc tế trong việc nâng cấp các trạm quan trắc và cải tiến những phương pháp thu thập dữ liệu trong tương lai sẽ góp phần không nhỏ trong việc nâng cao độ chính xác và giảm sai số của mô hình SWAT. Vì vậy, mô hình SWAT có thể cung cấp những kết quả tin cậy cho người ra quyết định, lập kế hoạch trong việc quy hoạch và quản lý tài nguyên đất và nước trong tương lai.

Mặc dù hiện tại chưa có nhiều nghiên cứu về ứng dụng mô hình SWAT để mô phỏng chất lượng nước, tuy nhiên với việc đầu tư từ Chính phủ trong việc nâng cấp các trạm quan trắc tự động trong giám sát chất lượng nước trong tương lai sẽ giúp giảm thiểu sự không chắc chắn và nâng cao độ tin cậy khi mô phỏng. Theo Khoi & cs. (2019) mô hình SWAT đã được chứng minh có khả năng mô phỏng chất lượng nước trong sông và nó có thể được sử dụng trong việc lập kế hoạch và quản lý nông nghiệp bền vững trong tương lai.

Ở Việt Nam, việc đầu tư lớn của Chính phủ vào nghiên cứu trong nông nghiệp cũng như mở rộng hệ thống tưới tiêu là hết sức cần thiết, đặc biệt dưới tác động của biến đổi khí hậu. Trong tương lai, mô hình SWAT cần phải cải tiến các ứng dụng để có thể mô phỏng được nhiều kịch bản hơn và làm nổi bật khả năng cung cấp nước phục vụ phát triển nông nghiệp và các mục đích khác. Mô phỏng tổng lượng nước hàng năm sẽ giúp cho các nhà hoạch định chính sách có cái nhìn tổng quan về tình trạng tài nguyên nước hiện tại và nhận biết những vùng cần nghiên cứu sâu hơn. Điều này đóng vai trò quan trọng trong việc xây dựng khung phát triển về cơ sở hạ tầng cho vùng và quốc gia liên quan đến lĩnh vực nông nghiệp (Khoi & cs., 2019).

Tóm lại, ở Việt Nam với tác động của gia tăng dân số, phát triển kinh tế xã hội cũng như biến đổi khí hậu đã và đang gây áp lực rất lớn đến sử dụng đất, tăng xói mòn đất, gây ô nhiễm nguồn nước và suy giảm nguồn nước. Vì vậy, trong tương lai, việc phát triển mô hình SWAT cần phải chú ý hơn đến việc phân tách khu vực đất và nước, xác định rõ những ao và hồ chứa để cải thiện quá trình mô phỏng. Những cải tiến này sẽ được áp dụng nhằm phân tích môi trường tốt hơn, lồng ghép khía cạnh phát triển dân số và các vấn đề kinh tế xã hội để làm rõ hơn chức năng sinh thái.

5. KẾT LUẬN

Mô hình SWAT hiện là một trong những mô hình thủy văn hàng đầu đã và đang được áp dụng rộng rãi trong nghiên cứu về môi trường,

thủy văn và sinh thái. Theo thống kê của Web of Science có trên 5.000 bài báo về ứng dụng mô hình SWAT đã được công bố, tuy nhiên, gần một nửa số nghiên cứu được tiến hành ở Hoa Kỳ và Trung Quốc. Ở Việt Nam trong những năm gần đây có trên dưới 100 nghiên cứu ứng dụng mô hình SWAT về mô phỏng thay đổi sử dụng đất, biến đổi khí hậu đến tài nguyên đất và nước.

Thiếu dữ liệu và độ chính xác của dữ liệu là những vấn đề chính gây ảnh hưởng đến độ tin cậy của kết quả mô phỏng. Do vậy, các nghiên cứu trong tương lai cần phải tăng cường các mạng lưới quan trắc nhằm bổ sung dữ liệu và độ chính xác ở Việt Nam sẽ giúp cho phép các nghiên cứu có tính liên tục và không bị gián đoạn.

Việt Nam là một trong số những nước có những loại hình sử dụng đất phong phú nhất trên thế giới. Tuy nhiên, rừng nhiệt đới cũng như nhiều loại cây trồng không có trong cơ sở dữ liệu về cây trồng trong mô hình SWAT. Ngoài ra, mô hình sinh trưởng và phát triển cây trồng được phát triển dựa trên dữ liệu được thu thập ở Hoa Kỳ và nó có thể không hoàn toàn phù hợp với khí hậu vùng nhiệt đới. Do đó, việc làm cập nhật trong tương lai là cần phải sửa đổi và cải thiện mô đun cây trong mô hình SWAT dựa vào động thực vật ở vùng nhiệt đới. Hơn nữa mô hình SWAT cần được tập trung nghiên cứu và phát triển với những nghiên cứu rộng hơn để lập kế hoạch, quản lý hệ sinh thái và phát triển các chính sách liên quan đến quản lý tài nguyên đất và nước 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.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Anh N.V., Fukuda S., Hiramatsu K. & Harada M. (2015). Sensitivity-Based Calibration of the Soil and Water Assessment Tool for Hydrologic Cycle Simulation in the Cong Watershed, Vietnam. *Water Environment Research*. 87(8): 735-750.

- Aires F., Venot J.P., Massuel S., Gratiot N., Pham-Duc B. & Prigent C. (2020). Surface water evolution (2001-2017) at the Cambodia/Vietnam border in the upper mekong delta using satellite MODIS observations. *Remote Sensing*. 12(5): 800.
- Analytics C. (2021). Web of science. Retrieved from <https://clarivate.com/products/web-of-science/> on March 24, 2021.
- Bộ Tài nguyên và Môi trường (2016). Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam. Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam. 188tr.
- Bộ Tài nguyên và Môi trường (2018). Báo cáo hiện trạng môi trường Quốc gia năm 2018. Chương 2: Môi trường nước các lưu vực sông. Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam. 158tr.
- Center for Agriculture and Rural Development - CARD (2021). Swat Literature Database for Peer-Reviewed Journal Articles; Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University: Ames, IA, USA. Retrieved from https://www.card.iastate.edu/swat_articles/ on 24 March 2021.
- Douglas-Mankin K.R., Srinivasan R. & Arnold J.G. (2010). Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model: Current developments and applications. *Transactions of the ASABE*. 53(5): 1423-1431.
- Gassman P.W., Reyes M.R., Green C.H. & Arnold J.G. (2007). The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE*. 50(4): 1211-1250.
- Giang P.Q., Toshiki K., Sakata M., Kunikane S. & Vinh T.Q. (2014). Modelling climate change impacts on the seasonality of water resources in the upper Ca river watershed in Southeast Asia. *The Scientific World Journal*.
- Ha L.T., Bastiaanssen W.G., Van Griensven A., Van Dijk A.I. & Senay G.B. (2018). Calibration of spatially distributed hydrological processes and model parameters in SWAT using remote sensing data and an auto-calibration procedure: A case study in a Vietnamese river basin. *Water*. 10(2): 212.
- Huyen N.T., Tu L.H., Tram V.N.Q., Minh D.N., Liem N.D. & Loi N.K. (2017). Assessing the impacts of climate change on water resources in the Srepok watershed, Central Highland of Vietnam. *Journal of Water and Climate Change*. 8(3): 524-534.
- Khoi D.N. & Phi H.L. (2018). Impact of climate change on streamflow and water quality in the upper Dong Nai river basin, Vietnam. *La Houille Blanche*. (1): 70-79.
- Khoi D.N. & Suetsugi T. (2014). Impact of climate and land-use changes on hydrological processes and sediment yield - a case study of the Be River catchment, Vietnam. *Hydrological Sciences Journal*. 59(5): 1095-1108.
- Khoi D.N. & Thang L.V. (2017). Climate change impacts on streamflow and non-point source pollutant loads in the 3S Rivers of the Mekong Basin. *Water and Environment Journal*. 31(3): 401-409.
- Khoi D.N. & Thom V.T. (2015). Parameter uncertainty analysis for simulating streamflow in a river catchment of Vietnam. *Global ecology and conservation*. 4: 538-548.
- Khoi D.N., Nguyen V.T., Sam T.T. & Nhi P.T.T. (2019). Evaluation on effects of climate and land-use changes on streamflow and water quality in the La Buong River Basin, Southern Vietnam. *Sustainability*. 11(24): 7221.
- Khoi D.N., Nguyen V.T., Sam T.T., Ky Phung N. & Thi Bay N. (2020). Responses of river discharge and sediment load to climate change in the transboundary Mekong River Basin. *Water and Environment Journal*. 34: 367-380.
- Khoi D.N., Sam T.T., Loi P.T., Hung B.V. & Nguyen V.T. (2021). Impact of climate change on hydro-meteorological drought over the Be River Basin, Viet Nam. *Journal of Water and Climate Change*.
- 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.
- Loi N.K., Tram V.N.Q. & Au N.T.T. (2020). Climate change impacts on hydrology in the Dak B'la watershed, Central Highland Vietnam based on SWAT model. *European Journal of Climate Change*. 2(1): 22-31.
- Marin M., Clinciu L., Tudose N.C., Ungurean C., Adorjani A., Mihalache A.L., Davidescu A.A., Savidescu S.O., Dinca L. & Cacovean H. (2020). Assessing the vulnerability of water resources in the context of climate changes in a small forested watershed using SWAT: a review. *Environmental research*. 184: 109330.
- McElroy A.D. (1976). Regional overview of the impact of land use on water quality. *The Fluvial Transport of Sediment-Associated Nutrients and Contaminants*. 105.
- Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D. & Veith T.L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*. 50(3): 885-900.
- Moriasi D.N., Gitau M.W., Pai N. & Daggupati P. (2015). Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*. 58(6): 1763-1785.

- Nguyễn Duy Bình, Ngô Thanh Sơn, Nguyễn Đình Công, Nguyễn Việt Dũng & Đỗ Nguyên Hải (2011). Ứng dụng công nghệ tin học để đánh giá, dự báo và cảnh báo tình trạng xói mòn đất trên đất dốc canh tác vùng đồi núi. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo. Mã số: B2009-11-134. 212tr.
- Nguyễn Kim Lợi, Hoàng Lê Tú & Nguyễn Duy Liêm (2013). Tài liệu hướng dẫn sử dụng mô hình SWAT phiên bản 2012. Nhà xuất bản Thành phố Hồ Chí Minh. 54tr.
- Ngo T.S., Nguyen D.B. & Rajendra P.S. (2015). Effect of land use change on runoff and sediment yield in Da River Basin of Hoa Binh province, Northwest Vietnam. *Journal of Mountain Science*. 12(4): 1051-1064.
- Nguyen H.Q. & Kappas M. (2015). Modeling surface runoff and evapotranspiration using SWAT and beach for a tropical watershed in North Vietnam, compared to MODIS products. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*. 4(1): 1367-1384.
- Phan D.B., Wu C.C. & Hsieh S.C. (2011). Impact of climate change on stream discharge and sediment yield in Northern Viet Nam. *Water Resources*. 38(6): 827-836.
- Phuong T.T., Thong C.V.T., Ngoc N.B. & Chuong H.V. (2014). Modeling soil erosion within small mountainous watershed in Central Vietnam Using GIS and SWAT. *Resources and Environment*. 4(3): 139-147.
- Quyen N.T.N., Liem N.D. & Loi N.K. (2014). Effect of land use change on water discharge in Srepok watershed, Central Highland, Viet Nam. *International Soil and Water Conservation Research*. 2(3): 74-86.
- Raghavan S.V., Vu M.T. & Liang S.Y. (2012). Assessment of future stream flow over the Sesan catchment of the Lower Mekong Basin in Vietnam. *Hydrological Processes*. 26(24): 3661-3668.
- 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).
- Tram V.N.Q., Liem N.D. & Loi N.K. (2019). Simulating surface flow and baseflow in Poko catchment, Kon Tum province, Vietnam. *Journal of Water and Climate Change*. 10(3): 494-503.
- Tran V. B., Ishidaira H., Nakamura T., Do T.N. & Nishida K. (2017). Estimation of nitrogen load with multi-pollution sources using the SWAT model: a case study in the Cau River Basin in Northern Vietnam. *Journal of Water and Environment Technology*. 15(3): 106-119.
- Trang N.T.T., Shrestha S., Shrestha M., Datta A. & Kawasaki A. (2017). Evaluating the impacts of climate and land-use change on the hydrology and nutrient yield in a transboundary river basin: A case study in the 3S River Basin (Sekong, Sesan, and Srepok). *Science of the Total Environment*. 576: 586-598.
- Wagner P.D., Kumar S., Fiener P. & Schneider K. (2011). Hydrological modeling with SWAT in a monsoon-driven environment: experience from the Western Ghats, India. *Transactions of the ASABE*. 54(5): 1783-1790.
- 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.