

# Ứng dụng mô hình SWAT và công nghệ GIS đánh giá lưu lượng dòng chảy trên lưu vực sông Đắk Bla

Nguyễn Thị Tịnh Âu<sup>1</sup>, Nguyễn Duy Liêm<sup>2</sup>, Nguyễn Kim Lợi<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường Đại học Nông Lâm, thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Nhận ngày 20 tháng 6 năm 2013

Chỉnh sửa ngày 19 tháng 7 năm 2013; chấp nhận đăng ngày 12 tháng 9 năm 2013

**Tóm tắt:** Nghiên cứu tài nguyên nước ở quy mô lưu vực được chấp nhận rộng rãi như phương pháp tiếp cận phù hợp để quản lý, đánh giá và mô phỏng các nguồn tài nguyên thiên nhiên. Cùng với sự phát triển của khoa học - kỹ thuật, công nghệ GIS hỗ trợ các mô hình thủy văn dựa trên cơ sở vật lý và phân bố không gian mô phỏng chính xác các quá trình thủy văn diễn ra trên lưu vực và phản ánh sát thực tế các chức năng của hệ thống lưu vực sông. Trong bối cảnh đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông Đắk Bla thuộc phía bắc khu vực Tây Nguyên sử dụng Công cụ Đánh giá Đất và Nước (Soil and Water Assessment Tool - SWAT) tích hợp với công nghệ GIS, qua đó tìm hiểu bản chất, quy luật của các quá trình thủy văn diễn ra trên lưu vực. Để đạt được mục tiêu trên, nghiên cứu tiến hành thu thập, biên tập cơ sở dữ liệu bao gồm địa hình, sử dụng đất, thổ nhưỡng và số liệu thời tiết theo định dạng chuẩn của SWAT trên nền phần mềm ArcGIS. Tiếp theo đó, thông qua phần mở rộng ArcSWAT chạy trên nền ArcGIS, mô hình SWAT thực hiện quá trình phân chia lưu vực thành các tiểu lưu vực, các đơn vị thủy văn, tích hợp các lớp dữ liệu không gian và thiết lập cơ sở dữ liệu cho mô hình. Sau đó, các thông số của mô hình được phân tích, sắp hạng độ nhạy và hiệu chỉnh thông qua phần mềm SWAT - CUP với thuật toán SUFI - 2 nhằm mô phỏng tối ưu dòng chảy trên lưu vực. Thời gian hiệu chỉnh được thiết lập từ năm 2001 đến 2005, thời gian kiểm định từ năm 2006 đến 2011. Dựa trên các chỉ số thống kê, cho thấy kết quả mô phỏng dòng chảy tốt trong cả hai quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình với hệ số xác định  $R^2$  và chỉ số Nash - Sutcliffe đều trên 0,7 tại trạm Kon Tum. Kết quả này cho thấy nếu mô hình SWAT được hiệu chỉnh tốt sẽ trở thành công cụ hỗ trợ hữu ích cho quá trình quản lý tài nguyên nước trên lưu vực.

*Từ khóa:* Lưu lượng dòng chảy, Lưu vực sông Đắk Bla, GIS, Mô hình SWAT.

## 1. Giới thiệu

Nước là thành phần thiết yếu của sự sống và môi trường, là nguồn tài nguyên thiên nhiên đóng vai trò quan trọng cho sự phát triển kinh tế - xã hội, đặc biệt ở những khu vực đang phải

đối mặt với tăng trưởng dân số cao, tình trạng thiếu nước, thay đổi bất thường của lượng mưa, biến động sử dụng đất quá nhanh và sự gia tăng các tai biến như hạn hán, lũ lụt và ô nhiễm môi trường [1]. Với vị trí địa lý nằm ở đầu nguồn của các hệ thống sông lớn, nên nguồn nước mặt trên địa bàn tỉnh Kon Tum rất dồi dào, tạo điều kiện thuận lợi cho phát triển nông lâm nghiệp,

\* Tác giả liên hệ. ĐT: 84-989617328  
Email: ngkloi@hcmuaf.edu.vn

thủy điện nói riêng và kinh tế - xã hội toàn tỉnh nói chung. Tuy nhiên, do sự phân bố không đều về lượng mưa, cùng với đó là yếu tố địa hình phức tạp, bị chia cắt nên tài nguyên nước mặt phân bố không đồng đều (dòng chảy giữa các tháng trong năm và giữa các năm với nhau) dẫn đến tình trạng thiếu nước vào mùa khô và thừa nước vào mùa mưa. Sự phân bố không đều này gây thiệt hại không nhỏ cho sản xuất và đời sống nhân dân trong tỉnh khi thường xuyên phải đối mặt với thiên tai lũ lụt, hạn hán, v.v... [2]. Chính vì vậy, công tác quản lý, khai thác và sử dụng hiệu quả, bền vững tài nguyên nước trở thành vấn đề cấp bách, mang tính cốt lõi trong chiến lược phát triển kinh tế - xã hội của toàn tỉnh.

Quản lý tài nguyên nước chủ yếu tiếp cận theo quy mô lưu vực [3] bởi lẽ lưu vực được xem là đơn vị thủy văn cơ bản có thể tiến hành nghiên cứu tính chất không đồng nhất và phức tạp của quá trình vật lý và mối tương tác giữa đất đai, khí hậu và các hoạt động của con người. Cách tiếp cận này được áp dụng để đánh giá tiềm năng và chất lượng nước thông qua các mô hình thủy văn và các công cụ hỗ trợ nhằm mô phỏng và dự đoán độ nhạy của lưu vực ở các quy mô không gian và thời gian khác nhau. Hiện nay, có rất nhiều mô hình thủy văn ở cấp độ lưu vực đã được phát triển [4] nhưng sự sẵn có của dữ liệu không gian và thời gian đang là khó khăn chính cản trở việc ứng dụng các mô hình này, nhất ở các nước đang phát triển. Tuy nhiên, sự phát triển của công nghệ GIS đã tạo nên động lực góp phần cải thiện, thúc đẩy việc ứng dụng các mô hình này trên phạm vi toàn thế giới. Công nghệ GIS hỗ trợ các mô hình thủy văn dựa trên cơ sở vật lý và phân bố không gian mô phỏng chính xác các quá trình thủy văn diễn ra trên lưu vực và phản ánh sát thực tế các chức năng của hệ thống lưu vực sông [1].

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục tiêu thiết lập, hiệu chỉnh một mô hình phù hợp cho phép mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông Đăk Bla, chảy qua địa bàn hai tỉnh Kon Tum và Gia Lai, thuộc khu vực Tây Nguyên với độ tin cậy cao, qua đó tìm hiểu bản chất, quy luật của các quá trình thủy văn diễn ra trên lưu vực cũng như đánh giá độ nhạy của lưu vực với các hiện tượng, rủi ro môi trường có nguy cơ phải đối mặt như xói mòn, ngập lụt, hạn hán, ô nhiễm, v.v... Để đạt được mục tiêu trên, Công cụ Đánh giá Đất và Nước (Soil and Water Assessment Tool - SWAT) đã được lựa chọn bởi vì đây là mô hình thủy văn bao gồm nhiều thành phần và chức năng hữu ích cho phép mô phỏng cân bằng nước và các quá trình thủy văn khác như chất lượng nước, biến đổi khí hậu, sinh trưởng trồng cây trồng và thực tiễn quản lý đất đai [1] với giao diện sử dụng thân thiện [5]. Thêm vào đó, tính hiệu quả và độ tin cậy của mô hình SWAT đã được khẳng định trong rất nhiều nghiên cứu khác nhau trên toàn thế giới nên đây chính là cơ hội để kiểm tra mức độ phù hợp của mô hình đối với lưu vực sông Đăk Bla.

Tại Việt Nam, SWAT bắt đầu du nhập từ năm 1998. Từ những nghiên cứu nhỏ lẻ, rải rác ở một số khu vực ban đầu, đến nay mô hình SWAT đã được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực quản lý lưu vực sông trên cả 3 miền: Bắc, Trung, Nam với những quy mô, mức độ khác nhau. Theo ước tính sơ bộ, tính đến tháng 11/2012 đã có khoảng 34 nghiên cứu ứng dụng SWAT được công bố chính thức trên các tạp chí, kỉ yếu hội nghị, trong các luận văn đại học - cao học - tiến sĩ. Bên cạnh đó, còn rất nhiều những nghiên cứu khác chưa được công bố chính thức nên chưa thể thống kê đầy đủ. Những chủ đề được quan tâm trong các nghiên cứu ứng dụng SWAT có thể được chia thành

các danh mục như sau: mô phỏng dòng chảy; đánh giá tác động của thay đổi sử dụng đất, biến đổi khí hậu; xói mòn và bồi lắng; chất lượng nước. Riêng tại lưu vực sông Đăk Bla, mới chỉ có nghiên cứu của M. T. Vu et al. (2012) [6] ứng dụng mô hình SWAT mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sử dụng một số nguồn dữ liệu mưa toàn cầu dưới dạng ô lưới với độ phân giải cao nhằm phân tích độ nhạy của mô hình với các bộ dữ liệu đầu vào khác nhau và đánh giá định lượng mức độ không chắc chắn trong các bộ dữ liệu này. Khác với nghiên cứu trên, mục đích nghiên cứu này nhằm đánh giá tính hữu dụng và khả năng của SWAT trong mô phỏng các quá trình thủy văn trên lưu vực Đăk Bla sử dụng nguồn dữ liệu địa phương.

## 2. Đặc điểm khu vực nghiên cứu

Lưu vực sông Đăk Bla nằm ở khu vực Tây Nguyên của Việt Nam. Sông Đăk Bla là nhánh trái của sông Sê San có dạng hình nan quạt với diện tích lưu vực rộng 3.507km<sup>2</sup> (diện tích tính đến trạm Kon Tum khoảng 2.971,52km<sup>2</sup>), chiều dài sông chính khoảng 152km. Phía Bắc giáp với hệ thống sông Thu Bồn, phía Đông giáp với hệ thống sông Ba, phía Nam là hạ lưu sông Sê San. Sông Đăk Bla bắt nguồn từ dãy núi Ngọc Cơ Rinh cao 2.025m, chảy theo hướng Đông Bắc - Tây Nam qua địa bàn hai tỉnh Kon Tum và Gia Lai (Hình 1) và hợp với sông Sê San cách Ya Ly 16 km về phía hạ lưu. Lưu vực sông Đăk Bla có hệ thống sông suối khá phát triển với mật độ lưới sông là 0,49 km/km<sup>2</sup> với hệ số uốn khúc 2,03, độ dốc trung bình lòng sông chính là 4% [2].

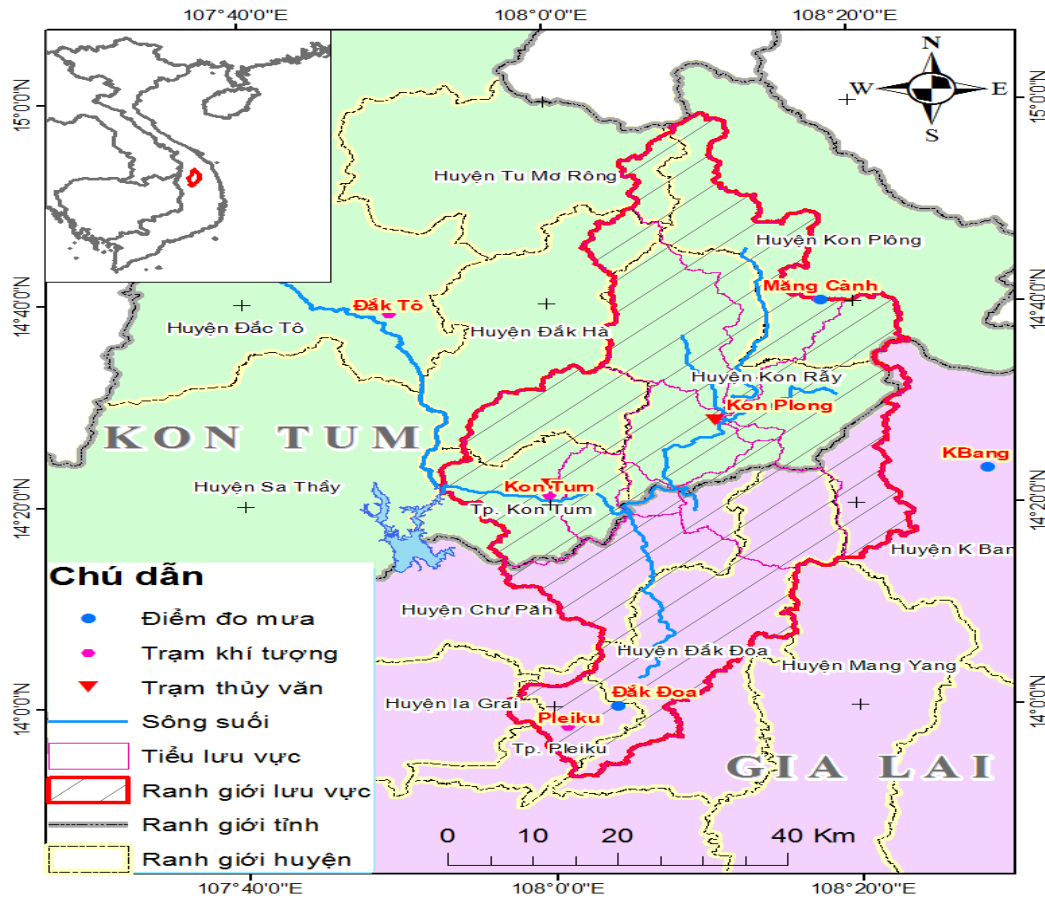
Đặc điểm địa hình trên lưu vực sông Đăk Bla biến đổi khá phức tạp: độ cao địa hình thấp

dần từ bắc xuống nam và nghiêng dần từ đông sang tây với các đồi núi, cao nguyên và thung lũng xen kẽ nhau. Chính điều này khiến cho việc xây dựng mạng lưới trạm quan trắc khí tượng, thủy văn trên khu vực gặp rất nhiều trở ngại do chi phí xây dựng và duy trì hoạt động của các trạm tại đây thường rất lớn, đặc biệt tại khu vực miền núi. Hiện tại, hệ thống quan trắc khí tượng, thủy văn trên lưu vực chưa được đầu tư, phát triển tương xứng (số lượng các trạm còn ít, phân bố rải rác theo không gian, thiết bị chưa được nâng cấp). Theo thống kê, có 2 điểm đo mưa nhân dân (Đăk Đoa, Măng Cành), 2 trạm khí tượng cấp 1 (Kon Tum, Pleiku), 2 trạm thủy văn (Kon Tum, Kon Plong) nằm trên lưu vực (Hình 1).

Về khí hậu, lưu vực sông Đăk Bla thuộc vùng nhiệt đới gió mùa của Tây Nguyên, trong một năm có hai mùa rõ rệt: mùa mưa từ tháng V đến tháng X, mùa khô từ tháng XI đến tháng IV năm sau [2]. Nền nhiệt độ cao, trung bình năm khoảng 20 - 25°C, tổng lượng mưa năm vào loại trung bình, từ 1.500 - 3.000mm với lượng bốc hơi trung bình năm cao khoảng 1.000 - 1.500mm [6].

Phần lớn diện tích lưu vực được che phủ bởi rừng rậm nhiệt đới với các kiểu rừng chính như: rừng nhiệt đới thường xanh, rừng non, rừng hỗn giao, rừng trồng và cây bụi [6].

Nền kinh tế trên địa bàn nghiên cứu phụ thuộc lớn vào hoạt động trồng trọt với các cây trồng chính là cao su và cà phê trồng trên đất đỏ bazan điển hình. Bên cạnh đó, sản xuất nông nghiệp cũng đóng vai trò quan trọng cho nền kinh tế địa phương. Chính vì vậy, việc mô phỏng, dự báo dòng chảy trên lưu vực có ý nghĩa rất quan trọng [6].



Hình 1. Vị trí lưu vực sông Đăk Bla và mạng lưới quan trắc khí tượng, thủy văn.

### 3. Phương pháp nghiên cứu

#### 3.1. Tổng quan về mô hình SWAT

SWAT là mô hình thủy văn phân phối được xây dựng bởi Trung tâm phục vụ nghiên cứu nông nghiệp (Agricultural Research Service) thuộc Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (United States Department of Agriculture) và Trung tâm nghiên cứu nông nghiệp (Texas A&M AgriLife Research) thuộc Đại học Texas A&M, Hoa Kỳ vào đầu những năm 1990 với mục đích dự báo những ảnh hưởng của thực hành quản lý sử dụng đất đến nước, sự bồi lắng và lượng hóa chất sinh ra từ hoạt động nông nghiệp trên những lưu vực rộng lớn và phức tạp trong khoảng thời gian

dài [7]. Một trong những mô-đun chính của mô hình này là mô phỏng dòng chảy từ mưa và các đặc trưng vật lý trên lưu vực.

Mô hình SWAT có nhiều ưu điểm so với các mô hình tiền thân 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 [7]. Giao diện tích hợp trong GIS tạo thuận tiện cho việc định nghĩa lưu vực, cũng như thao tác, xử lý các dữ liệu không gian và dữ liệu dạng bảng liên quan [8]. 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. Cuối cùng, SWAT là mô hình theo thời gian liên tục nên 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 [7].

SWAT cho phép mô hình hóa nhiều quá trình vật lý trên cùng một lưu vực. Một lưu vực được phân chia thành các tiểu lưu vực liên kết với nhau bởi một mạng lưới sông suối. Mỗi tiểu lưu vực sau đó được chia thành các đơn vị thủy văn (Hydrologic Response Unit- HRU) dựa trên những đặc trưng đồng nhất về sử dụng đất, thổ nhưỡng, độ dốc và thực hành quản lý đất đai. Các HRUs chiếm giữ tỉ lệ diện tích khác nhau trong tiểu lưu vực và không có vị trí không gian trong quá trình mô phỏng SWAT. Mô hình SWAT tổng hợp dòng chảy, bồi lắng và tải lượng dưỡng chất từ mỗi tiểu lưu vực, HRU và sau đó dẫn kết quả này vào các kênh dẫn, ao, hồ chứa đến cửa xả lưu vực [9].

SWAT mô hình hóa chu trình thủy văn dựa trên phương trình cân bằng nước sau [10]:

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

Trong đó,

- $SW_t$ : lượng nước trong đất tại thời điểm t (mm H<sub>2</sub>O)
- $SW_0$ : lượng nước trong đất tại thời điểm ban đầu trong ngày thứ i (mm H<sub>2</sub>O)
- t: thời gian (ngày)
- $R_{day}$ : lượng nước mưa trong ngày thứ i (mm H<sub>2</sub>O)
- $Q_{surf}$ : lượng dòng chảy bề mặt trong ngày thứ i (mm H<sub>2</sub>O)
- $E_a$ : lượng nước bốc hơi trong ngày thứ i (mm H<sub>2</sub>O)
- $w_{seep}$ : lượng nước thấm vào vùng chưa bão hòa trong ngày thứ i (mm H<sub>2</sub>O)

- $Q_{gw}$ : lượng nước ngầm chảy ra sông trong ngày thứ i (mm H<sub>2</sub>O)

SWAT yêu cầu nhiều lớp dữ liệu đầu vào theo không gian và thời gian. Để hỗ trợ quá trình xử lý, phân tích những dữ liệu này, SWAT sử dụng những công cụ của GIS. Vì vậy, để tạo thuận lợi cho việc sử dụng các mô hình, hiện nay SWAT được tích hợp vào hai phần mềm GIS dưới dạng phần mở rộng miễn phí là ArcSWAT cho ArcGIS và MWSWAT cho MapWindow.

### 3.2. Biên tập cơ sở dữ liệu đầu vào

Trong nghiên cứu này, phần mở rộng ArcSWAT được sử dụng để thao tác tiến trình mô phỏng SWAT trên nền ArcGIS. Theo đó, bước đầu tiên SWAT tiến hành phân chia lưu vực thành những tiểu lưu vực dựa trên Mô hình số độ cao (DEM) và cửa xả được tạo ra từ các giao điểm của các nhánh sông hoặc do người dùng thiết lập. Tiếp theo, mỗi tiểu lưu vực được chia thành các HRU dựa trên cơ sở chồng lớp dữ liệu sử dụng đất, thổ nhưỡng và độ dốc. Hình 2 minh họa các thành phần của mô hình SWAT. Các dữ liệu không gian cơ bản cần thiết cho ArcSWAT bao gồm DEM, sử dụng đất và thổ nhưỡng. Các dữ liệu theo chuỗi thời gian theo yêu cầu của mô hình bao gồm số liệu khí tượng để tính toán cân bằng nước (Phương trình 1) và số liệu lưu lượng dòng chảy để hiệu chỉnh, kiểm định kết quả mô phỏng từ SWAT.

Khó khăn thường gặp khi ứng dụng mô hình SWAT ở các nước đang phát triển đó là sự khan hiếm hoặc không có các dữ liệu cần thiết. Để vượt qua rào cản này, chúng tôi sử dụng kết hợp nguồn dữ liệu thu thập từ các cơ quan địa phương với nguồn dữ liệu toàn cầu được cung cấp miễn phí.

Dữ liệu đầu vào	Xử lý trong GIS	Thiết lập tập tin đầu vào	Chạy mô hình	Đọc dữ liệu đầu ra
DEM	Phân định lưu vực	Ghi chép dữ liệu đầu vào	Chạy SWAT	Đọc báo cáo kết quả
Sử dụng đất	Phân chia tiểu lưu vực	Biên tập cơ sở dữ liệu	Phân tích độ nhạy	Giá trị thông số tối ưu
Thổ nhưỡng	Mô phỏng mạng lưới sông suối	Thiết lập các bảng dữ liệu	Hiệu chỉnh mô hình	
Tọa độ địa lý trạm khí tượng	Định nghĩa HRU		Kiểm định mô hình	
Chuỗi số liệu khí tượng				

Hình 2. Các thành phần, dữ liệu đầu vào/đầu ra của SWAT (chỉnh sửa từ [1]).

Dữ liệu cần thiết được thu thập trong nghiên cứu được mô tả vắn tắt như sau:

• *Mô hình độ cao số (DEM)*

DEM (Hình 3a) được trích xuất từ dữ liệu ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model) ở độ phân giải không gian 30m. Dựa trên nền DEM, mô hình SWAT tiến hành phân chia lưu vực, các tiểu lưu vực cũng như mô phỏng mạng lưới sông suối, các bề mặt thoát nước. Những thông số địa hình như độ dốc địa hình, độ dốc kênh dẫn hoặc chiều dài sông suối cũng được tính toán từ DEM.

Trước khi đưa vào mô hình SWAT, dữ liệu DEM đã được hiệu chỉnh về hệ tọa độ UTM WGS84.

• *Sử dụng đất*

Bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2010 (Hình 3b) ở tỉ lệ 1:25.000 được thu thập từ Sở Tài nguyên & Môi trường tỉnh Kon Tum, Sở Tài nguyên & Môi trường tỉnh Gia Lai. Toàn lưu vực có tất cả 12 loại hình sử dụng đất, trong đó phần lớn là rừng tự nhiên, rừng trồng, tiếp đến là đất nông nghiệp và đất đô thị.

Trước khi đưa vào mô hình SWAT, bản đồ này đã được hiệu chỉnh về hệ tọa độ UTM WGS84, với các loại hình sử dụng đất được phân loại lại theo bảng mã sử dụng đất trong SWAT. Bảng mã này quy định mã số của các loại cây trồng, các loại hình che phủ chung, đất

đô thị cùng với thuộc tính của chúng, làm cơ sở cho quá trình mô phỏng sự phát triển cây trồng, mô phỏng khu vực đô thị.

• *Thổ nhưỡng*

Bản đồ thổ nhưỡng (Hình 3c) được thu thập từ Viện nghiên cứu Nông hóa và Thổ nhưỡng. Trên khu vực nghiên cứu, thống kê có 7 loại đất, bao gồm đất phù sa có tầng đóm gi (cambic fluvisols), đất phù sa không được bồi, chua (dystric fluvisols), đất xám feralit (ferralic acrisols), đất xám mùn trên núi (humic acrisols), đất mùn vàng đỏ trên núi (humic ferrasols), đất nâu đỏ (rhodic ferrasols), đất lầy thụt (umbric gleysols).

Trước khi đưa vào mô hình SWAT, bản đồ này đã được hiệu chỉnh về hệ tọa độ UTM WGS84 và được phân loại lại theo mã loại đất của FAO74 tương ứng trong cơ sở dữ liệu thổ nhưỡng của SWAT. Sự chuyển đổi này căn cứ vào tên loại đất, tính chất vật lý, hóa học của đất.

• *Thời tiết*

Số liệu thời tiết cần thiết cho SWAT được thu thập trong nghiên cứu bao gồm lượng mưa, nhiệt độ không khí lớn nhất, nhỏ nhất, bức xạ Mặt Trời, tốc độ gió và độ ẩm tương đối theo ngày.

Đối với số liệu mưa và nhiệt độ, dựa trên vị trí phân bố, thời gian đo đạc và chất lượng dữ liệu, nghiên cứu đã lựa chọn và sử dụng số liệu tại các trạm đo nằm trong lưu vực sông Đăk Bla

bao gồm 2 điểm đo mưa nhân dân (Đắk Đoa, Măng Cành), 2 trạm khí tượng (Kon Tum, Pleiku), kết hợp với các trạm đo lân cận bao gồm điểm đo mưa nhân dân KBang và trạm khí tượng Đắk Tô nhằm phản ánh rõ nét đặc điểm khí tượng vốn phân bố rất phức tạp theo không gian trên lưu vực (Hình 3d). Nguồn cung cấp số liệu lấy từ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Tây Nguyên trong khoảng thời gian từ năm 2000 đến 2011.

Đối với các số liệu thời tiết còn lại, nghiên cứu sử dụng chuỗi số liệu trong khoảng thời gian từ năm 2000 đến 2010 tại 3 điểm dữ liệu khí hậu dạng ô lưới ( $0,3^{\circ} \times 0,3^{\circ}$ ) lấy từ Hệ thống Phân tích, Dự báo Khí hậu (Climate Forecast System Reanalysis- CFSR) thuộc Trung tâm Quốc gia Dự báo Môi trường Hoa Kỳ (The National Centers for Environmental Prediction).

Trước khi đưa vào mô hình SWAT, số liệu thời tiết được biên tập thành các tập tin thời tiết tổng quát (chứa đựng các thông số thống kê thời tiết theo tháng, làm đầu vào cho mô hình

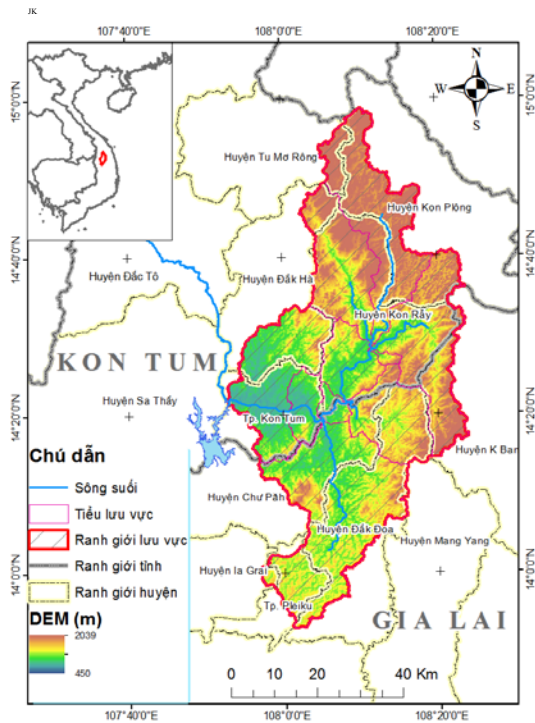
vận hành thời tiết WXEN [11] trong SWAT tiến hành mô phỏng thời tiết trong trường hợp khiếm khuyết số liệu quan trắc) và các tập tin thời tiết thành phần (lưu trữ giá trị quan trắc các yếu tố khí tượng).

• Thủy văn

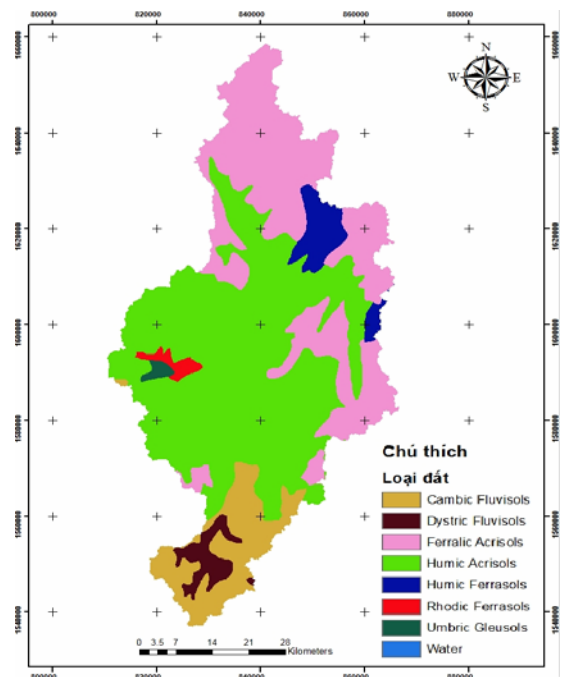
Trên lưu vực sông Đắk Bla, hiện tại có 2 trạm quan trắc lưu lượng dòng chảy đang hoạt động, đặt tại Kon Plong và Kon Tum (Hình 3d).

Trong đó trạm Kon Tum là trạm thủy văn cấp 1, được đầu tư nên thời gian quan trắc dài hơn và chất lượng dữ liệu đảm bảo độ tin cậy cao hơn trạm Kon Plong. Ngoài ra, với vị trí nằm tại vùng hạ lưu sông Đắk Bla nên chuỗi số liệu quan trắc thủy văn tại trạm Kon Tum có tính chất bao quát, đại diện cho toàn lưu vực.

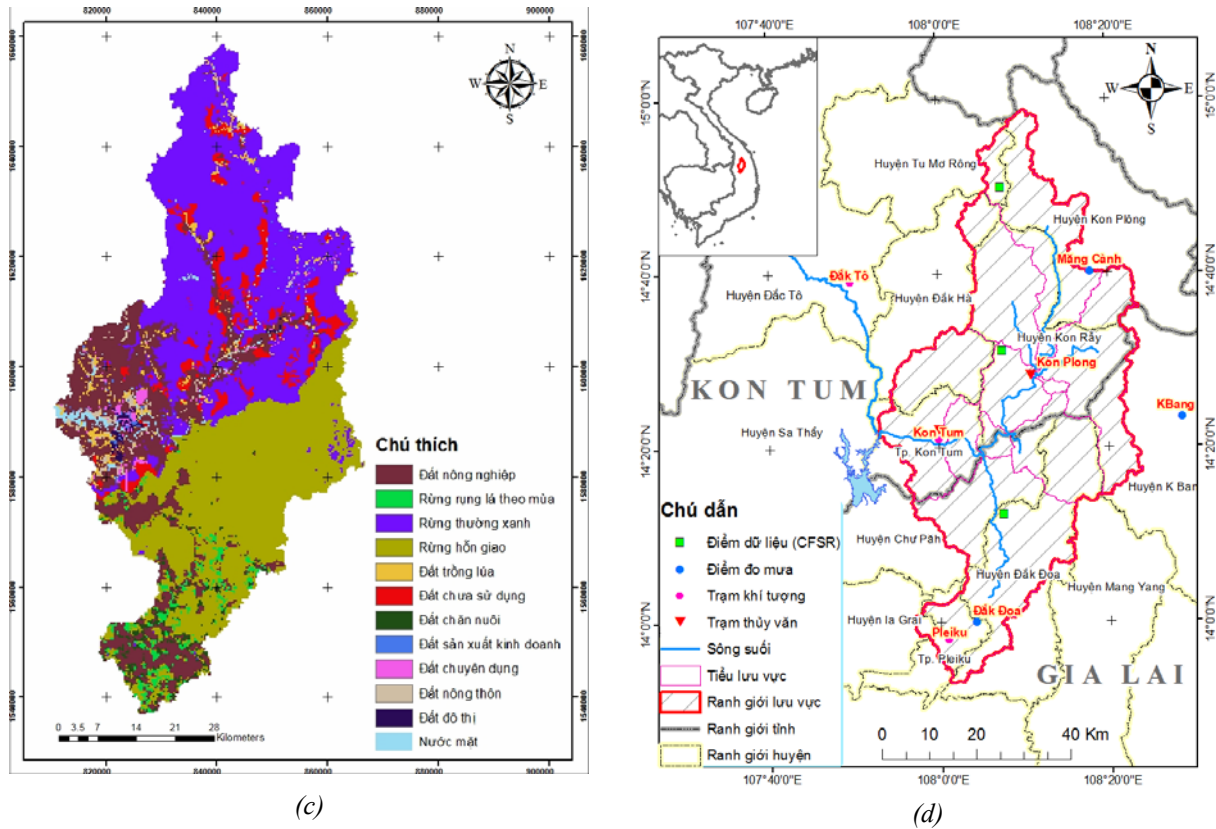
Chính vì những lý do trên, nghiên cứu đã tiến hành thu thập số liệu quan trắc lưu lượng dòng chảy thời kỳ 2000 - 2011 tại trạm Kon Tum nhằm hỗ trợ quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình SWAT.



(a)



(b)



Hình 3. Nguồn dữ liệu đầu vào (a) DEM, (b) Thổ nhưỡng, (c) Sử dụng đất, (d) Trạm khí tượng - thủy văn.

### 3.3. Thiết lập mô hình SWAT

Tiến trình mô phỏng dòng chảy trên lưu vực Đăk Bla được thực hiện thông qua phần mở rộng ArcSWAT cho phiên bản SWAT2012. Trước tiên, mô hình SWAT phân chia lưu vực thành 11 tiểu lưu vực. Sau đó, với việc thiết lập ngưỡng diện tích sử dụng đất, thổ nhưỡng và độ dốc tương ứng là 30%, 30% và 30%, đã tạo ra 33 HRUs.

Các thành phần cân bằng nước được tính toán theo phương pháp đường cong số (curve number) [12] cho dòng chảy mặt và phương pháp Hargreaves [13] cho bốc hơi tiềm năng.

Quá trình mô phỏng thủy văn trong SWAT có liên quan tới hơn 26 thông số. Do vậy, quá trình hiệu chỉnh mô hình sẽ trở nên khá phức tạp và đòi hỏi khả năng tính toán mạnh mẽ [14]. Trong trường hợp này, phân tích độ nhạy được

sử dụng nhằm xác định và xếp hạng các thông số có ảnh hưởng lớn nhất đến kết quả đầu ra của mô hình (ở đây này là lưu lượng dòng chảy) [15]. Phương pháp phân tích độ nhạy được thao tác ngay trong giao diện ArcSWAT kết hợp mô phỏng Hypercube Latinh và lấy mẫu One-factor-At-a-Time [16].

Hiệu chỉnh mô hình nhằm xác định giá trị tối ưu cho bộ thông số thiết lập bởi người sử dụng. Quá trình này có thể được thực hiện thủ công hoặc tự động dựa trên thuật toán tối ưu hóa. So sánh hai phương pháp hiệu chỉnh cho thấy hiệu chỉnh tự động giúp tiết kiệm công sức, thời gian xử lý hơn, và có thể giảm thiểu tính không chắc chắn vốn đặc trưng của hiệu chỉnh thủ công [17]. Vì vậy, nghiên cứu đã tiến hành hiệu chỉnh mô hình thông qua chương trình hiệu chỉnh tự động SWAT - CUP bằng



phương pháp Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) [18].

Sau khi kết thúc hiệu chỉnh, quá trình kiểm định được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả của mô hình sử dụng bộ thông số hiệu chỉnh trong việc mô phỏng các chức năng thủy văn trên lưu vực với khoảng thời gian độc lập với giai đoạn hiệu chỉnh.

Quá trình hiệu chỉnh, kiểm định mô hình được thực hiện bằng cách sử dụng hệ số xác định  $R^2$  [19] và chỉ số hiệu quả Nash- Sutcliffe (NSE) [20]. Công thức tính toán các hệ số này được thể hiện trong các phương trình sau đây.

$$R^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

Trong đó,  $O_i$  là giá trị thực đo,  $\bar{O}$  là giá trị thực đo trung bình,  $P_i$  là giá trị mô phỏng,  $\bar{P}$  là giá trị mô phỏng trung bình,  $n$  là số lượng giá trị tính toán.

Nhìn chung, mô hình được chấp nhận khi hệ số  $R^2$  và chỉ số NSE lớn hơn 0,5 [21, 22].

Số liệu quan trắc lưu lượng dòng chảy trung bình tháng giai đoạn 2000- 2005, 2006- 2011 tại trạm Kon Tum được sử dụng lần lượt cho quá trình hiệu chỉnh, kiểm định mô hình SWAT.

## 4. Kết quả và thảo luận

### 4.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Phân tích độ nhạy dựa trên dòng chảy mặt cho thấy các thông số nhạy nhất trong quá trình mô phỏng thủy văn trên lưu vực Đăk Bla đó là CN2, ALPHA\_BF, GW\_DELAY và GWQMN. Bốn thông số này sau đó đã được lựa chọn để hiệu chỉnh thông qua phương pháp SUFI-2.

Việc định nghĩa tự động giá trị tối ưu của các biến mô hình tuy mất nhiều thời gian nhưng nó đã được chứng minh là hiệu quả và đáng tin cậy hơn so với làm thủ công [1]. Phạm vi và giá trị tối ưu của các thông số hiệu chỉnh được thể hiện trong Bảng 1.

Tiến hành chạy mô hình SWAT với các giá trị tối ưu cho phép đánh giá hiệu suất của mô hình. Quá trình này được thực hiện bằng cách so sánh các giá trị lưu lượng dòng chảy quan trắc và mô phỏng tại trạm Kon Tum cho cả hai thời kì hiệu chỉnh và kiểm định. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định được thể hiện trong Bảng 2 và Hình 4, 5.

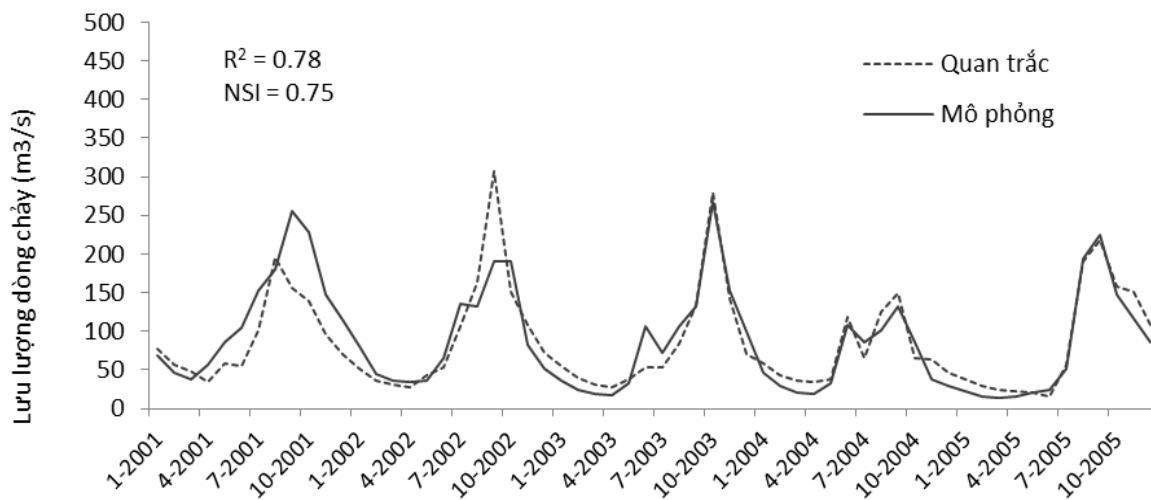
Dựa trên các thông số thống kê cho thấy có mối tương quan tốt giữa giá trị lưu lượng dòng chảy quan trắc và mô phỏng hàng tháng với  $R^2$  đạt 0,78, NSE đạt 0,75 trong giai đoạn hiệu chỉnh. Trong giai đoạn kiểm định, kết quả mô phỏng kém hơn với  $R^2$  và NSE lần lượt là 0,75 và 0,72. Như vậy, đánh giá chung, mô hình đạt kết quả tốt trong cả hai thời kì hiệu chỉnh và kiểm định.

Bảng 1. Phạm vi và giá trị tối ưu của các thông số hiệu chỉnh mô hình SWAT

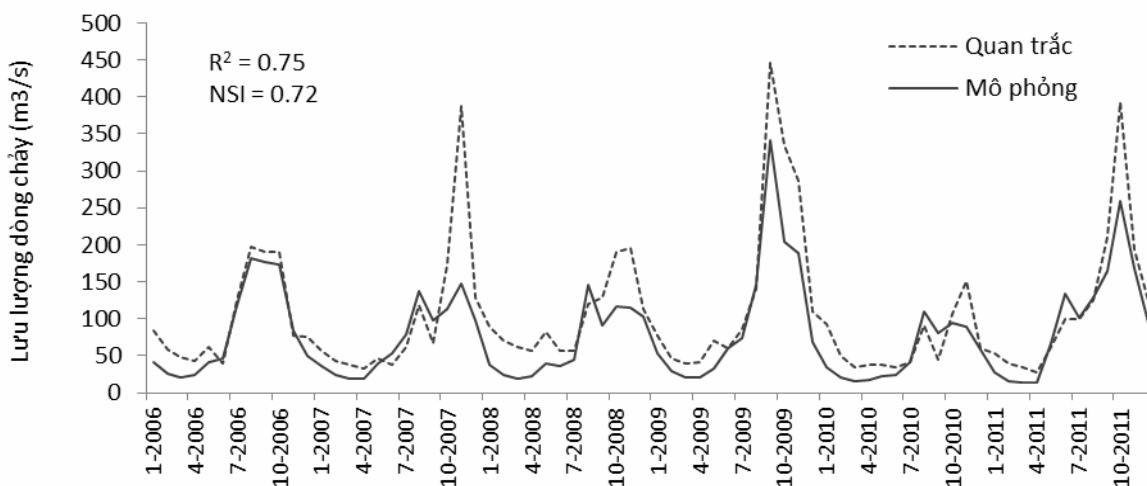
Thông số	Mô tả	Giá trị hiệu chỉnh		
		Giá trị tối ưu	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất
r_CN2	Chỉ số CN ứng với điều kiện ẩm II	-0,16	-0,2	0,2
v_ALPHA_BF	Hệ số triết giảm	0,1	0	1
v_GW_DELAY	Sự chậm trễ nước ngầm	324	30	450
v_GWQMN	Ngưỡng sinh dòng chảy ngầm (mm)	0,2	0	2

Bảng 2. Đánh giá kết quả mô phỏng dòng chảy giai đoạn hiệu chỉnh, kiểm định

Giai đoạn	Giá trị	
	R <sup>2</sup>	NSE
Hiệu chỉnh (2001- 2005)	0,78	0,75
Kiểm định (2006- 2011)	0,75	0,72



Hình 4. Diễn biến lưu lượng dòng chảy quan trắc và mô phỏng giai đoạn hiệu chỉnh (2001- 2005).



Hình 5. Diễn biến lưu lượng dòng chảy quan trắc và mô phỏng giai đoạn kiểm định (2006 - 2011).

#### 4.2. Các thành phần cân bằng nước

Mô hình SWAT tính toán cân bằng nước cho mỗi HRU, sau đó tổng hợp tất cả các giá trị tính toán tại HRU theo trung bình diện tích để thống kê cho các tiểu lưu vực và cho toàn bộ

lưu vực sông. Giá trị mô phỏng của các thành phần cân bằng nước trung bình năm giai đoạn 2000- 2011 được trình bày trong Bảng 3.

Tỷ lệ dòng chảy so với lượng mưa trung bình đạt 0,72 cho thấy khả năng sản sinh nguồn

nước trên lưu vực sông Đăk Bla khá phong phú. Tỷ lệ bốc thoát hơi thực tế so với lượng mưa thấp (0,26) phản ánh khả năng giữ nước tốt của lớp thực phủ trên bề mặt lưu vực. Mặt khác, nếu xem xét đến từng thành phần trong lưu lượng dòng chảy, nhận thấy dòng chảy mặt chiếm tỉ lệ

thấp hơn dòng chảy ngầm (0,43 so với 0,57), điều này chứng minh tiềm năng nước ngầm trên lưu vực rất phong phú cũng như vai trò quan trọng của rừng trong việc hạn chế dòng chảy mặt, tăng lượng dòng chảy ngầm.

Bảng 3. Giá trị mô phỏng cân bằng nước trung bình năm

Thành phần cân bằng nước	Giá trị
Lượng mưa (mm)	1.903,8
Bốc thoát hơi tiềm năng (mm)	992,5
Bốc thoát hơi thực tế (mm)	497,4
Dòng chảy mặt (mm)	584,72
Dòng chảy trễ (mm)	185,78
Dòng chảy hồi quy (mm)	593,42

## 5. Kết luận

Qua nghiên cứu này, mô hình SWAT đã được hiệu chỉnh thành công cho lưu vực Đăk Bla. Mô hình cho kết quả mô phỏng tốt đối với lưu lượng dòng chảy trung bình tháng. Thuật toán tối ưu hóa SUFI-2 tích hợp trong giao diện SWAT-CUP được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình. Các giá trị tối ưu của từng thông số mô hình đã được mô tả một cách rõ ràng. Quá trình đánh giá hiệu quả của mô hình đã được thực hiện thành công với hai chỉ số thống kê là  $R^2$  và NSE. Cụ thể, so sánh giá trị dòng chảy quan trắc và mô phỏng tại trạm Kon Tum cho thấy chỉ số NSE và hệ số  $R^2$  đều cao hơn 0,7 trong cả hai thời kì hiệu chỉnh và kiểm định.

Nghiên cứu này đã chứng minh khả năng ứng dụng GIS xây dựng cơ sở dữ liệu đầu vào cần thiết cho quá trình thiết lập, chạy các mô hình thủy văn, đặc biệt là đối với những mô hình phân phối liên tục. Đồng thời, cũng đã cho thấy khả năng ứng dụng mô hình SWAT trong mô phỏng lưu lượng dòng chảy tại các lưu vực đồi núi như lưu vực Đăk Bla.

Hướng nghiên cứu tiếp theo của nghiên cứu này đó là ứng dụng mô hình SWAT đã được hiệu chỉnh để phân tích các thành phần cân bằng nước, đánh giá tác động của thay đổi sử dụng đất và biến đổi khí hậu đến nguồn tài nguyên nước cũng như chất lượng nước và tải lượng bùn cát.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Abdelhamid Fadil, Hassan Rhinane, Abdelhadi Kaoukaya, Youness Kharchaf and Omar Alami Bachir, 2011. Hydrologic Modeling of the Bouregreg Watershed (Morocco) Using GIS and SWAT Model. *Journal of Geographic Information System*, 2011, 3, 279-289. doi:10.4236/jgis.2011.34024.
- [2] Hồ Việt Cường, 2012. Báo cáo tổng hợp dự án “Quy hoạch thủy lợi tỉnh Kon Tum giai đoạn 2011-2020 và định hướng đến năm 2025”. Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- [3] Sivapalan M., 2003. Process Complexity at Hillslope Scale, Process Simplicity at the Watershed Scale: Is There a Connection? *Hydrological Processes*, Vol. 17, No. 5, 2003, pp. 1037-1041. doi:10.1002/hyp.5109.

- [4] Singh V. P. and Woolhiser D. A., 2003. Mathematical Modeling of Watershed Hydrology. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 7, No. 4, 2002, pp. 270-292. doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2002)7:4(270).
- [5] Arnold J. G., Srinivasan R., Muttiah R. S., and Williams J. R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *American Water Resources Association*, vol. 34, no. 1, pp. 73-89.
- [6] M. T. Vu, S. V. Raghavan, and S. Y. Liong, 2012. SWAT use of gridded observations for simulating runoff - a Vietnam river basin study. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 2801-2811, 2012. www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/2801/2012/ doi:10.5194/hess-16-2801-2012.
- [7] Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R. and Williams J.R., 2005. Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation: Version 2005. Agricultural Research Service and Texas A & M Blackland Research Center, Temple, TX, USDA.
- [8] Luzio M.D., Srinivasan R. and Arnold J.G., 2002. Integration of Watershed Tools and the SWAT Model into BASINS. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 38(4), 1127-1141.
- [9] Arnold J.G., Allen P.M. and Morgan D.S., 2001. Hydrologic Model for Design and Constructed Wetlands. *Wetlands* 21 (2), 167-178.
- [10] Neitsch S.L. et al., 2009. Overview of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model. In: Arnold, J et al., eds. 2009. Soil and Water Assessment Tool (SWAT): Global Applications. Special Publication No. 4., World Association of Soil and Water Conservation, Bangkok: Funny Publishing, pp.3-23.
- [11] Sharpley A. N. and Williams J. R., 1990. EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator, Model Documentation. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Technical Bulletin, No. 1768.
- [12] D. C. Garen and D. S. Moore, 2005. Curve Number Hydrology in Water Quality Modeling: Uses, Abuses, and Future Directions. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 41, No. 2, 2005, pp. 377-388. doi:10.1111/j.1752-1688.2005.tb03742.x.
- [13] G. Hargreaves and Z. A. Samani, 1985. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 1, No. 2, 1985, pp. 96-99.
- [14] R. Rosso, A. Peano, I. Becchi and G. A. Bemporad, 1994. An Introduction to Spatially Distributed Modelling of Basin Response. *Water Resources Publications*, Highland Ranch, 1994, pp. 3-30.
- [15] A. Saltelli, E. M. Scott, K. Chan and S. Marian, 2000. Sensitivity Analysis. *John Wiley & Sons Ltd.*, Chichester, 2000.
- [16] A. Van Griensven and W. Bauwens, 2003. Multi-objective Auto-calibration for Semi-distributed Water Quality Models. *Water Resources Research*, Vol. 39, No. 12, 2003.
- [17] M. W. Van Liew, J. G. Arnold and D. D. Bosch, 2005. Problems and Potential of Autocalibrating a Hydrologic Model. *Transactions of the ASAE*, Vol. 48, No. 3, 2005, pp. 1025-1040.
- [18] Abbaspour, K.C., J. Yang, I. Maximov, R. Siber, K. Bogner, J. Mieleitner, J. Zobrist and R. Srinivasan, 2007. Modeling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine thur watershed using SWAT. *J. Hydrol.*, 333: 413-430.
- [19] P. Krause et al., 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences* 5: 89-97.
- [20] Nash, J. E. and J.V. Sutcliffe, 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part 1.A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10 (3): 282-290.
- [21] Van Liew, M. W., J. G. Arnold, and J. D. Garbrecht. 2003. Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. *Trans. ASAE* 46(6): 1539-1551.
- [22] D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel and T. L. Veith, 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *ASABE Vol. 50(3): 885-900, ISSN 0001-2351.*

## Applying GIS Technique and SWAT Model to Assessing Water Discharge in the Đắk Bla Watershed

Nguyễn Thị Tịnh Âu<sup>1</sup>, Nguyễn Duy Liêm<sup>2</sup>, Nguyễn Kim Lợi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Technical Education Hồ Chí Minh City, Vietnam

<sup>2</sup>Nông Lâm University, Hồ Chí Minh City, Vietnam

**Abstract:** The study of water resources at watershed scale is widely adopted as an appropriate approach to manage, assess and simulate these important natural resources. The development of GIS techniques has allowed the use of spatially and physically based hydrologic models to simulate as simply and realistically as possible the functioning of watershed systems. In this context, the objective of this study is to model the hydrology in the Đắk Bla river basin, located at the Central Highland of Vietnam, using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) in order to understand and determine the different watershed hydrological processes. The ArcSWAT interface implemented in the ArcGIS software was used to delineate the basin and its sub-components, combine the data layers and edit the model database. The model parameters were analyzed, ranked and adjusted for hydrologic modeling purposes using monthly temporal data series. They were calibrated using Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) method in SWAT - CUP software from 2000 to 2005 and validated from 2006 to 2011. Based on statistical indicators, the evaluation indicates that SWAT model had a good performance for both calibration and validation periods in Dak Bla watershed. In fact, the model showed a good correlation between the observed and simulated monthly average river discharge at Kon Tum stream gauge with  $R^2$  and Nash - Sutcliffe coefficient of about 0.7. These results revealed that if properly calibrated, SWAT model can be used efficiently to support water management policies.

*Keywords:* Water discharge, Dak Bla watershed, GIS, SWAT model.