

Tạp chí:

**KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ
LÂM NGHIỆP**

ISSN: 1859 - 3828

TẬP 14, SỐ 6 (2025)

**TỔNG BIÊN TẬP
BÙI THẾ ĐỒI**

**PHÓ TỔNG BIÊN TẬP
NGUYỄN VĂN HÙNG**

TÒA SOẠN

Ban Tạp chí KH&CN Lâm nghiệp
Trường Đại học Lâm nghiệp
Xuân Mai – Chương Mỹ – Hà Nội
ĐT: 024. 8588. 3318
Email: Tapchikhcnln@vnuf.edu.vn

Giấy phép số:

119/GP-BTTTT
Bộ Thông tin - Truyền thông cấp
ngày 12 tháng 4
năm 2023

In tại Công ty Cổ phần Khoa học và
Công nghệ Hoàng Quốc Việt

MỤC LỤC

Trang

- **Lê Huệ Anh, Nguyễn Thị Huyền, Đoàn Thị Thu Hương, Nguyễn Văn Việt.** Ứng dụng kỹ thuật nuôi cấy in vitro trong nhân giống lan Hoàng thảo hương vani (*Dendrobium linguella*) **3-12**
- **Trần Văn Chí, Phạm Thị Tuyết Mai, Nguyễn Thị Giang, Ngô Xuân Bình, Nguyễn Mạnh Tuấn.** Tuyển chọn chủng vi khuẩn có hoạt lực cao về khả năng phân giải cellulose từ đất trồng chè tại xã Tân Cương, tỉnh Thái Nguyên **13-21**
- **Bùi Thị Cúc, Nguyễn Thị Minh Nguyệt, Nguyễn Bá Ngọc, Nguyễn Thị Nhài, Lê Thị Ngọc, Phạm Thanh Tuấn, Hồ Thị Hương, Lê Hùng Lĩnh, Khuất Thị Mai Lương, Nguyễn Thị Thanh Thủy, Phạm Bích Hiền.** Đánh giá đặc điểm nông sinh học của các dòng lúa triển vọng mang đa gen kháng sâu bệnh (bạc lá, đạo ôn và rầy nâu) **22-29**
- **Phạm Thị Bé Tư, Nguyễn Lê Đức Huy, Phạm Ý Vy, Bùi Phước Tâm.** Khảo sát hoạt tính kháng oxy hóa và ức chế tyrosinase của Gừng xoài (*Curcuma amada* Roxb.) **30-37**
- **Trần Minh Cảnh, Đỗ Quý Mạnh, Bùi Thế Đồi, Nguyễn Thành Luân.** Cơ sở thực tiễn về phục hồi và phát triển rừng ngập mặn tại Khu Dự trữ sinh quyển sông Hồng **38-48**
- **Trần Thị Mai Sen, Hoàng Thị Lan, Lê Hồng Liên, Nguyễn Thị Kim Cúc, Phạm Minh Toại.** Tổng quan về tái sinh rừng ngập mặn **49-60**
- **Nguyễn Hữu Thịnh, Lại Thanh Hải, Nguyễn Tuấn Dương.** Nghiên cứu chọn lọc cây trội Re gừng *Cinnamomum bejolghota* (Buch-Ham) Sweet theo hướng lấy gỗ kết hợp lấy tinh dầu tại một số tỉnh miền núi phía Bắc **61-71**
- **Trần Quang Bảo, Phạm Hồng Lượng, Dương Thị Bích Ngọc.** Thị trường các-bon rừng: từ chính sách đến thực tiễn và khuyến nghị cho Việt Nam **72-82**
- **Lê Sỹ Doanh, Vương Việt Hoàng, Nguyễn Hoàng Hải, Hoàng Thu Hiền, Trần Huệ Chi.** Nghiên cứu ảnh hưởng của lớp phủ thực vật đến lượng dòng chảy mặt tại lưu vực sông Bùi **83-91**
- **Lò Văn Oanh, Bùi Thanh Tùng, Nguyễn Mạnh Hà, Nguyễn Văn Thanh, Phạm Ngọc Dương, Lưu Quang Vinh, Nguyễn Thành Luân.** Điều tra, cập nhật danh lục các loài lưỡng cư (Amphibia) ở Vườn Quốc gia Cát Tiên **92-101**
- **Đinh Thanh Sang.** Tiềm năng và giải pháp phát triển bền vững du lịch sinh thái ở rừng phòng hộ Tà Thiết **102-111**
- **Nguyễn Đình Trung.** Đánh giá kết quả thực hiện kế hoạch sử dụng đất hàng năm huyện Vĩnh Lộc, tỉnh Thanh Hóa **112-123**
- **Lê Phú Tuấn, Lê Minh Đức, Vũ Thị Kim Oanh.** Đánh giá biến động diện tích và đề xuất các giải pháp bảo vệ tài nguyên nước mặt khu vực ngoại thành thành phố Hà Nội **124-134**
- **Tăng Thị Kim Hồng, Nguyễn Trần Tiến, Nguyễn Lê Hồng Thúy, Mai Phúc An, Đặng Minh Hải.** Phân tích dấu vết các-bon trong sản xuất ván sàn gỗ Sồi trắng tại công ty sản xuất đồ gỗ ở Thành phố Hồ Chí Minh **135-146**

Nghiên cứu ảnh hưởng của lớp phủ thực vật đến lượng dòng chảy mặt tại lưu vực sông Bùi

Lê Sỹ Doanh*, Vương Việt Hoàng, Nguyễn Hoàng Hải, Hoàng Thu Hiền, Trần Huệ Chi
Trường Đại học Lâm nghiệp

Assessment of vegetation cover impacts on surface runoff in the Bui River Basin

Le Sy Doanh*, Vuong Viet Hoang, Nguyen Hoang Hai, Hoang Thu Hien, Tran Hue Chi
Vietnam National University of Forestry
*Corresponding author: lesydoanh@ifee.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.6.2025.083-091>

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 03/04/2025

Ngày phản biện: 05/05/2025

Ngày quyết định đăng: 11/07/2025

Từ khóa:

Biến động lớp phủ đất,
dòng chảy mặt, lưu vực
sông Bùi, RCP, SWAT.

Keywords:

Bui River Basin, land cover
change, RCP, surface runoff,
SWAT.

TÓM TẮT

Biến đổi khí hậu và biến động lớp phủ đất là những yếu tố then chốt chi phối dòng chảy mặt và nguy cơ lũ lụt tại các lưu vực sông. Tại lưu vực sông Bùi – nơi đang diễn ra sự thay đổi sử dụng đất và khí hậu rõ rệt – nghiên cứu này ứng dụng mô hình SWAT tích hợp ArcGIS để mô phỏng và đánh giá tác động của hai yếu tố này. Dữ liệu lớp phủ (2021, 2024) được giải đoán từ ảnh viễn thám; dữ liệu khí hậu được hiệu chỉnh theo các kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 cho giai đoạn 2025–2059. Kết quả cho thấy rừng giảm 4%, mặt nước và đất xây dựng tăng, làm giảm khả năng thấm và giữ nước. Dòng chảy mặt có xu hướng tăng theo thời gian, đặc biệt dưới RCP8.5, với mức tăng cực đại 24–25% vào mùa mưa so với giai đoạn cơ sở. Nghiên cứu khẳng định vai trò điều tiết dòng chảy của rừng và tác động cộng hưởng của mất rừng và mưa cực đoan, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học cho quản lý tài nguyên nước, cảnh báo lũ và quy hoạch sử dụng đất bền vững tại lưu vực sông Bùi.

ABSTRACT

Climate change and land cover change are key drivers influencing surface runoff and flood risk in river basins. In the Bui River Basin – an area experiencing significant shifts in both land use and climate – this study applies the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model integrated with ArcGIS to simulate and evaluate the combined impacts of these factors. Land cover data for 2021 and 2024 were derived from remote sensing imagery, while future climate data were bias-corrected under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for the periods 2025–2039 and 2040–2059. Results indicate a 4% reduction in forest area, with increases in water bodies and built-up land, reducing infiltration and water retention capacity. Surface runoff shows a consistent increasing trend over time, particularly under RCP8.5, with peak increases of 24–25% in the rainy season compared to the baseline. The findings highlight the regulatory role of forests and the compounded effect of deforestation and extreme rainfall, providing a scientific basis for water resource management, flood early warning systems, and sustainable land use planning in the Bui River Basin.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lưu vực sông Bùi, một phần quan trọng của hệ thống sông ngòi Việt Nam, có vị trí địa lý phức tạp với sự chuyển đổi từ địa hình bán địa sơn sang đồng bằng châu thổ, kết hợp với khí

hậu nhiệt đới ẩm gió mùa, tạo điều kiện cho các hiện tượng thời tiết cực đoan và ngập lụt nghiêm trọng [1-3]. Các yếu tố như lượng mưa lớn, phân bố không đều theo mùa và địa hình thấp trũng làm tăng nguy cơ ngập lụt, gây ra

những thách thức đáng kể cho khu vực.

Trong những năm gần đây, các nghiên cứu về dự báo và cảnh báo lũ đã có những bước tiến đáng kể nhờ sự phát triển của công nghệ thông tin và các mô hình toán học. Các mô hình thủy văn như NAM (Đan Mạch), TANK (Nhật), SSARR (Mỹ) và các mô hình thủy lực như HEC (Mỹ), MIKE (Đan Mạch), ISIS (Anh) đã được áp dụng rộng rãi để mô phỏng dòng chảy và dự báo lũ (Nathalie Asselman và cộng sự, 2009; M.R. Knebla và cộng sự, 2005) [4, 5]. Tại Việt Nam, nhiều nghiên cứu cũng đã tập trung vào việc ứng dụng các mô hình này để dự báo lũ cho các hệ thống sông và lũ quét, nhằm giảm thiểu thiệt hại do thiên tai gây ra [6-8].

Mô hình SWAT (Soil and Water Assessment Tool) là một công cụ mạnh mẽ để mô phỏng các quá trình thủy văn trên lưu vực rộng lớn và phức tạp. Với khả năng tích hợp các dữ liệu không gian và thời gian, SWAT cho phép đánh giá tác động của thay đổi lớp phủ và sử dụng đất đến dòng chảy mặt. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh tính hiệu quả của SWAT trong việc cảnh báo lũ lụt và quản lý tài nguyên nước (Mehmet CD và cộng sự, 2009) [9]. Đặc biệt, trên lưu vực sông Bù, nơi thường xuyên xảy ra ngập lụt, việc đánh giá chính xác tác động của thay đổi lớp phủ đến dòng chảy mặt là vô cùng

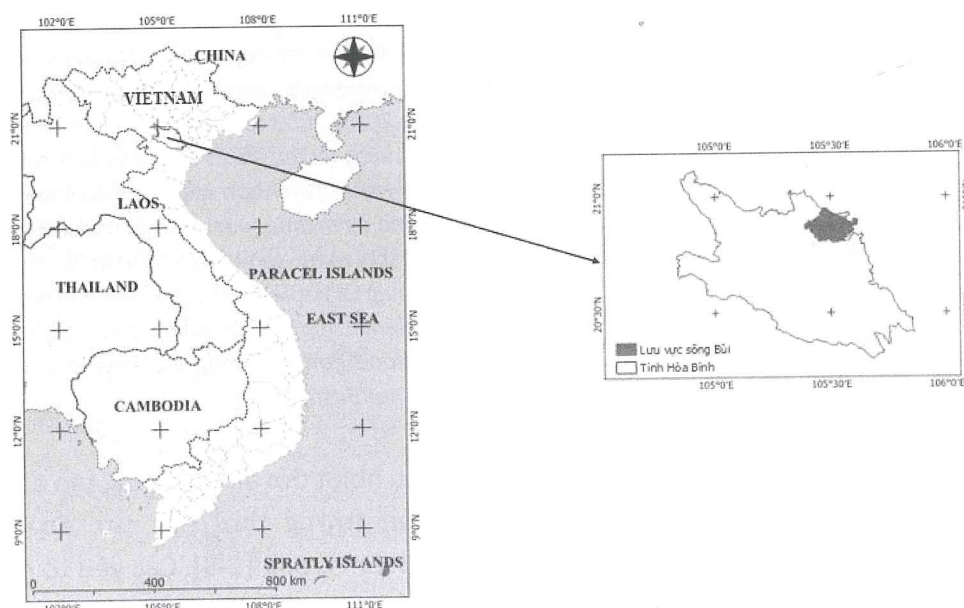
quan trọng để xây dựng các giải pháp phòng chống và giảm thiểu thiệt hại do lũ lụt gây ra (Trần Thế Toàn và cộng sự, 2019; Nguyễn Duy Quang và cộng sự, 2022; Phạm Văn Trình và cộng sự, 2023) [1-3].

Xuất phát từ thực tế trên, nghiên cứu này tập trung vào việc “Ứng dụng mô hình SWAT tích hợp ArcGIS đánh giá lớp phủ và dòng chảy mặt trên lưu vực sông Bù” nhằm cung cấp thông tin khoa học tin cậy, hỗ trợ công tác quy hoạch và quản lý tài nguyên nước bền vững cho khu vực.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phạm vi nghiên cứu

Bài báo nghiên cứu dòng chảy mặt trên lưu vực sông Bù (Hình 1) – một nhánh quan trọng trong hệ thống sông ngòi Việt Nam, dài khoảng 91 km với diện tích lưu vực 1.249 km². Khu vực này có khí hậu nhiệt đới ẩm gió mùa, mưa lớn và phân bố không đều theo mùa. Địa hình chuyển tiếp từ bán sơn địa phía Tây sang đồng bằng phía Đông, với nhiều vùng trũng dễ bị ngập. Khi xảy ra mưa lớn, nước lũ dồn nhanh xuống vùng thấp và bị giữ lại ở các khu vực trũng, gây ngập úng kéo dài. Đặc điểm địa hình và khí hậu khiến ngập lụt tại đây diễn biến phức tạp, kết hợp cả lũ núi và lũ sông, ảnh hưởng khác nhau đến từng khu vực trong lưu vực.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp thu thập số liệu

Thu thập các tài liệu thứ cấp sẵn có (Bảng 1), bao gồm:

- Mô hình độ cao kỹ thuật số (DEM): trích xuất độ dốc và mạng lưới thoát nước trong khu vực nghiên cứu (dữ liệu DEM đã được hiệu

chỉnh về hệ tọa độ UTM WGS84).

- Bản đồ lớp phủ/sử dụng đất: xác định loại hình sử dụng đất và ảnh hưởng đến dòng chảy.

- Bản đồ thổ nhưỡng: mô phỏng khả năng thấm và giữ nước của đất.

- Dữ liệu thời tiết: mô phỏng các yếu tố khí tượng ảnh hưởng đến dòng chảy.

Bảng 1. Dữ liệu thứ cấp đầu vào cho mô hình SWAT

Dữ liệu	Độ phân giải/tỷ lệ	Nguồn dữ liệu	Thời gian thu thập
DEM	30m	NASA DEM	2024
Dữ liệu lớp phủ	30m	Sentinel 2	2021, 2024
Dữ liệu thổ nhưỡng	30m	FAO	2024
Dữ liệu thời tiết		Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Hoà Bình	2000 - 2024

2.2.2. Phương pháp xử lý số liệu

Nghiên cứu sử dụng mô hình thủy văn phân bố không gian SWAT (Soil and Water Assessment Tool) [10] để mô phỏng và đánh giá tác động của biến đổi khí hậu và biến động lớp phủ đất đến dòng chảy mặt tại lưu vực sông

Bùi. Mô hình này cho phép mô phỏng dài hạn, liên tục nhiều quá trình vật lý (dòng chảy mặt, dòng chảy ngầm, bốc hơi – thoát hơi, vận chuyển bùn cát, chất dinh dưỡng) dựa trên phương trình cân bằng nước [11]:

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Trong đó:

SW_t là tổng lượng nước tại cuối thời đoạn tính toán (mm);

SW_o là tổng lượng nước ban đầu tại ngày thứ i (mm);

t là thời gian (ngày);

R_{day} là số tổng lượng mưa tại ngày thứ i (mm);

Q_{surf} là tổng lượng nước mặt của ngày thứ i (mm);

E_a là lượng bốc thoát hơi tại ngày thứ i (mm);

W_{seep} là lượng nước đi vào tầng ngầm tại ngày thứ i (mm);

Q_{gw} là số lượng nước hồi quy tại ngày thứ i (mm).

Cân bằng nước tổng thể của lưu vực [10] được xác định theo công thức:

$$P = WYLD + ET + TLA$$

Trong đó:

P là lượng mưa;

ET là lượng bốc hơi thoát hơi;

TL là lượng nước mất do truyền tải. Giá trị $WYLD$ (mm) có thể quy đổi thành lưu lượng Q (m^3/s) [12] theo công thức:

$$V = \frac{WYLD \times A}{1000} \quad Q = \frac{V}{\Delta t}$$

Trong đó:

V là thể tích nước chảy tràn (m^3);

A là diện tích lưu vực (m^2);

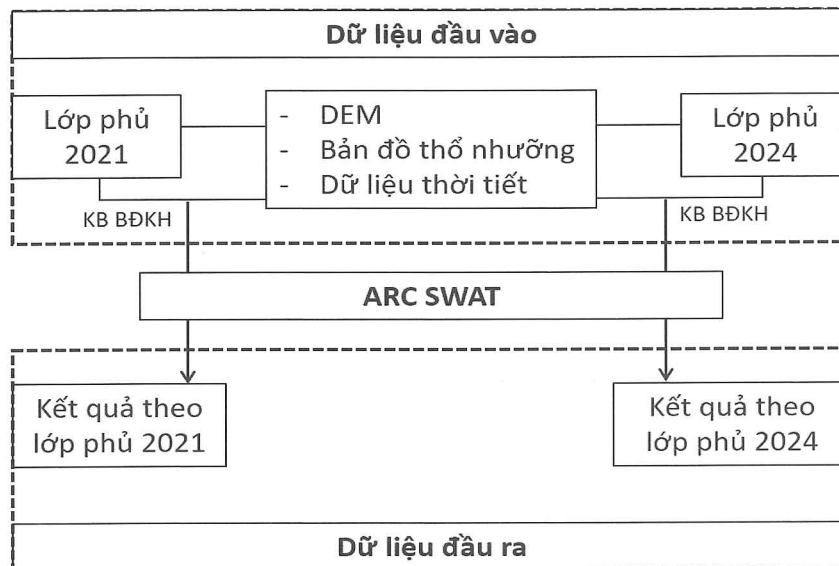
Δt : khoảng thời gian tương ứng (giây).

Dữ liệu đầu vào bao gồm: mô hình số độ cao (DEM), bản đồ thổ nhưỡng, bản đồ lớp phủ sử dụng đất (2021, 2024), dữ liệu khí tượng (mưa, nhiệt độ, độ ẩm, bức xạ mặt trời, tốc độ gió) và số liệu quan trắc thủy văn. Dữ liệu khí hậu tương lai được lấy từ Bộ Tài nguyên và Môi trường (2016) [13] theo hai kịch bản RCP4.5 (phát thải trung bình) và RCP8.5 (phát thải cao) của IPCC, cho hai giai đoạn 2025–2039 và 2040–2059. Các dữ liệu này được xử lý, hiệu chỉnh và nội suy không gian bằng phương pháp

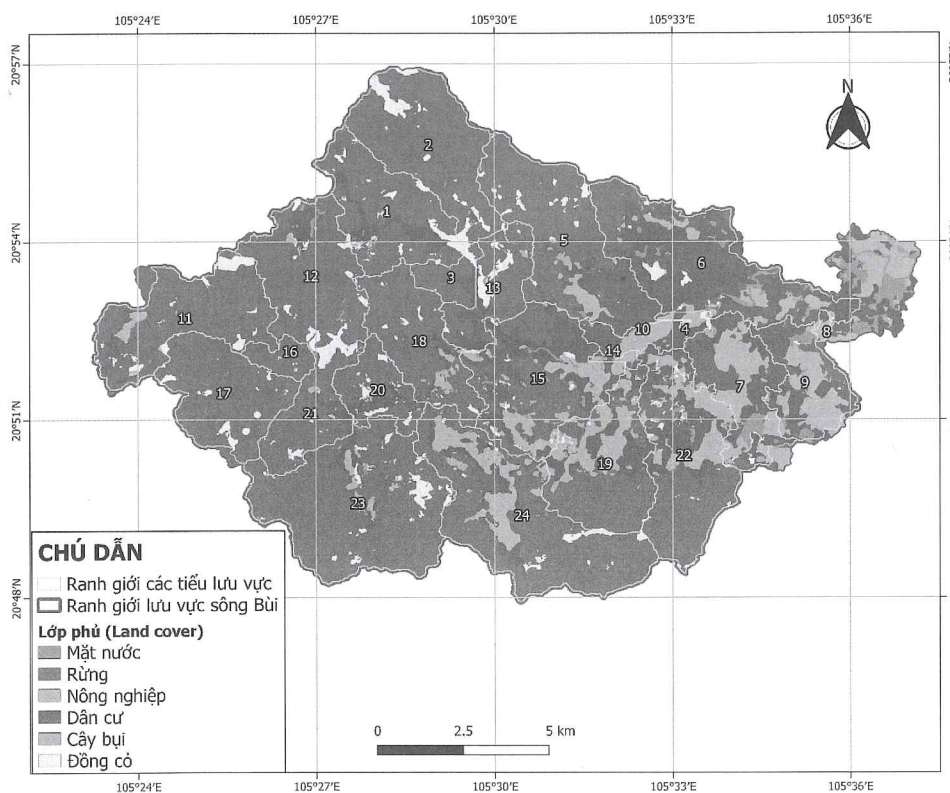
IDW trong môi trường GIS.

Mô hình được thiết lập và hiệu chỉnh với dữ liệu quá khứ (2000–2024), sau đó chạy mô phỏng cho các tổ hợp kịch bản lớp phủ – khí hậu. Kết quả dòng chảy mặt (SURQ) được phân tích theo thời gian và so sánh giữa các kịch bản, từ đó đánh giá ảnh hưởng riêng rẽ và kết hợp

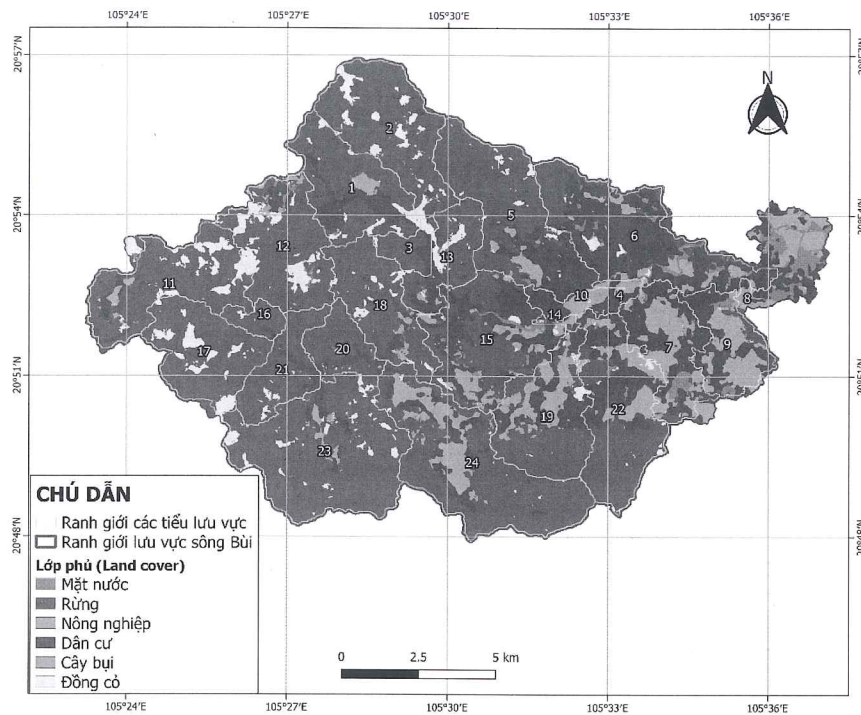
của khí hậu và lớp phủ. Cách tiếp cận này cung cấp cơ sở khoa học cho quy hoạch sử dụng đất hợp lý, quản lý rủi ro lũ lụt và quản lý tài nguyên nước bền vững tại lưu vực sông Bùi. Sơ đồ nội dung phương pháp SWAT và hai bản đồ lớp phủ lưu vực sông Bùi được thể hiện tại Hình 2 và 3.



Hình 2. Sơ đồ nội dung phương pháp SWAT



Hình 3a. Bản đồ lớp phủ lưu vực sông Bùi năm 2021



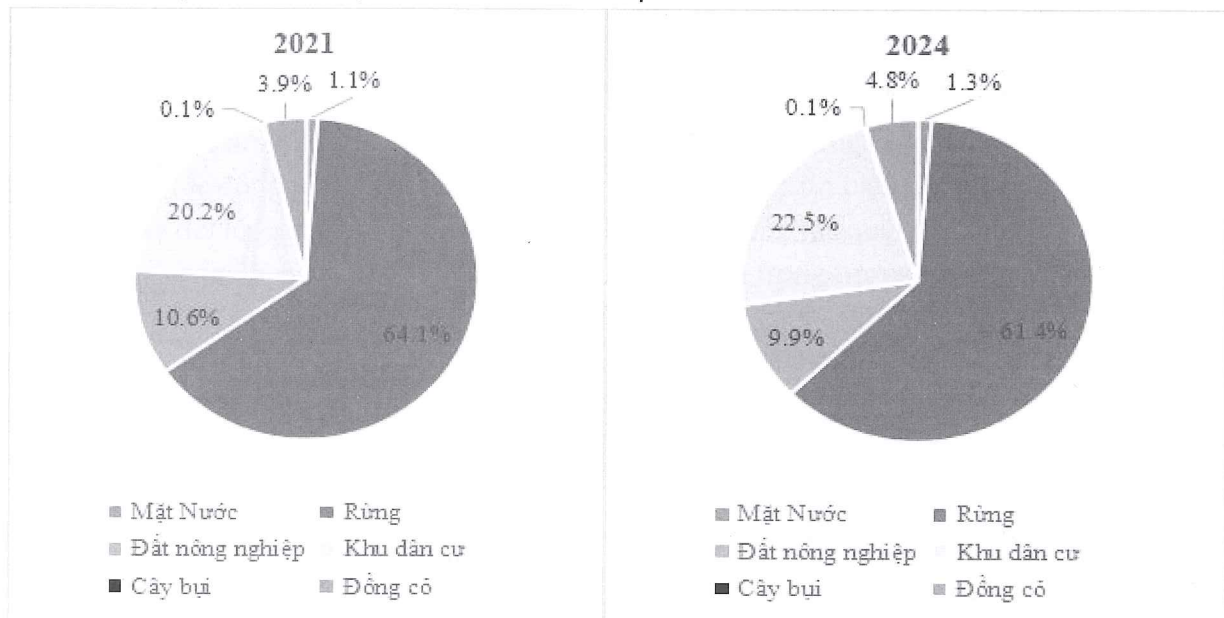
Hình 3b. Bản đồ lớp phủ lưu vực sông Bui năm 2024

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả biến động lớp phủ (land cover) giai đoạn 2021-2024

Sau khi khởi chạy, lưu vực sông Bui có tổng diện tích 21352,91 ha và được chia thành 24

tiểu lưu vực. Dữ liệu phân tích lớp phủ đã chỉ ra rằng có sự thay đổi giữa thời điểm năm 2021 (KB1) và năm 2024 (KB2) trên 24 tiểu lưu vực. Tỷ lệ diện tích các loại lớp phủ được thể hiện qua Hình 4.



Hình 4. Tỷ lệ diện tích lớp phủ theo năm

Diện tích lớp phủ rừng chiếm tỷ lệ lớn nhất với trên 60%, tiếp theo là lớp phủ khu dân cư

khoảng 20%, đất nông nghiệp chiếm khoảng 10%, đồng cỏ từ 4-5%, mặt nước hơn 1% và

cuối cùng là cây bụi, chiếm tỷ lệ không đáng kể.
Bảng 2 sẽ cho thấy biến động về diện tích lớp

phủ giữa 2 kịch bản 2021 và 2024.

Bảng 2. So sánh diện tích lớp phủ lưu vực lưu sông Bùi KB2 với KB1

Lớp phủ	Năm 2021	Năm 2024	Biến động	
	Diện tích (ha)	Diện tích (ha)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ
Mặt Nước (WATR)	230,3229	268,5642	38,24	+17%
Rừng (FRST)	13.696,60	13.112,22	-584,3831	-4%
Đất nông nghiệp (AGRR)	2.256,24	2.117,19	-139,0513	-6%
Khu dân cư (URMD)	4.308,84	4.810,44	501,5999	+12%
Cây bụi (RNGB)	20,127	22,7523	2,6253	+13%
Đồng cỏ (PAST)	840,7837	1.021,75	180,968	+22%

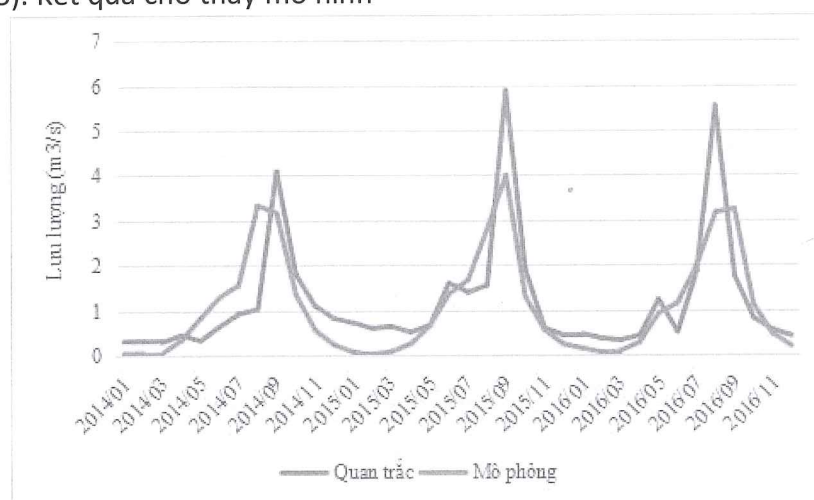
Theo đó, diện tích mặt nước, khu dân cư, cây bụi và đồng cỏ tăng lên trong khi diện tích rừng và đất nông nghiệp giảm, cụ thể: Mặt nước: tăng 38,24 ha (+17%); Khu dân cư: tăng 501,6 ha (+12%); Cây bụi: tăng 2,63 ha (+13%); Đồng cỏ: Tăng 180,97 ha (+22%); Rừng: giảm 584,38 ha (-4%); Đất nông nghiệp: giảm 139,05 ha (-6%).

3.2. Hiệu chỉnh, kiểm định mô hình

3.2.1. Hiệu chỉnh mô hình

Mô hình SWAT được hiệu chỉnh bằng số liệu lưu lượng quan trắc tại trạm Lâm Sơn giai đoạn 2014–2016 (Hình 5). Kết quả cho thấy mô hình

mô phỏng sát xu thế và giá trị dòng chảy thực tế, đặc biệt là biến động theo mùa với đỉnh lưu lượng tập trung vào mùa mưa (tháng 6–10) và dòng chảy thấp trong mùa khô (tháng 11–5). Các chỉ số thống kê đạt $NSE = 0,62$; $R^2 = 0,63$; $PBIAS = 10,12\%$, được WMO đánh giá loại tốt [14]. Mô hình phản ánh khá sát các đỉnh dòng chảy lớn năm 2015–2016, dù vẫn thấp hơn quan trắc ở một số thời điểm lũ và phản ứng chậm vào đầu mùa mưa, nguyên nhân chủ yếu do hạn chế dữ liệu mưa và cần điều chỉnh thêm các tham số $CN2$, $ALPHA_BF$, SOL_AWC .



Hình 5. Dòng chảy bình quân tháng mô phỏng và quan trắc trạm Lâm Sơn từ ngày 01/01/2014 – 31/12/2016

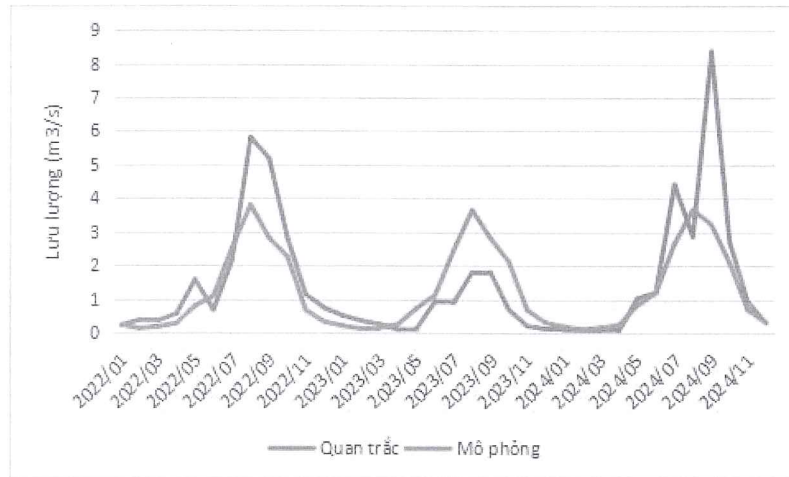
3.2.2. Kiểm định mô hình

Bộ tham số sau hiệu chỉnh được sử dụng cho kiểm định với số liệu giai đoạn 2022–2024 (Hình 6). Kết quả đạt $NSE = 0,58$; $R^2 = 0,60$;

$PBIAS = 12,44\%$, xếp loại khá–tốt, đảm bảo sai số trong giới hạn cho phép [14]. Mô hình tiếp tục mô phỏng tốt xu thế dòng chảy theo mùa và dòng chảy mùa khô, nhưng vẫn có xu hướng

giảm biên độ đỉnh lũ, đặc biệt trong các sự kiện lớn tháng 8–9/2022 và năm 2024. Nguyên nhân có thể do số liệu mưa chưa phản ánh đầy đủ

lượng mưa cực trị, mật độ trạm mưa thưa và một số tham số chưa được tối ưu hóa.



Hình 6. Dòng chảy bình quân tháng mô phỏng và quan trắc trạm Lâm Sơn từ ngày 01/01/2022 – 31/12/2024

Nhìn chung, kết quả hiệu chỉnh và kiểm định cho thấy mô hình SWAT có khả năng mô phỏng thủy văn lưu vực sông Bùi với độ tin cậy cao, phù hợp cho nghiên cứu tác động biến đổi khí hậu, biến động sử dụng đất và quản lý tài nguyên nước. Tuy nhiên, để nâng cao khả năng dự báo lũ và hỗ trợ cảnh báo sớm thiên tai, cần tiếp tục hiệu chỉnh tham số, cải thiện dữ liệu mưa đầu vào và tăng mật độ trạm quan trắc.

3.3. Sự thanh đổi lớp phủ ảnh hưởng đến dòng chảy mặt của lưu vực

Để đánh giá tác động tổng hợp của biến đổi khí hậu và thay đổi lớp phủ đất đến dòng chảy mặt tại lưu vực nghiên cứu, mô hình SWAT đã được sử dụng nhằm mô phỏng các kịch bản kết hợp giữa hai kiểu lớp phủ (năm 2021 và năm 2024) với hai kịch bản khí hậu RCP 4.5 và RCP

8.5. Mỗi kịch bản khí hậu tiếp tục được chia thành ba giai đoạn thời gian (2000–2024, 2025–2039 và 2040–2059), đại diện cho hiện tại và tương lai gần - trung hạn. Các kết quả mô phỏng không chỉ phản ánh xu hướng biến động dòng chảy mặt theo thời gian mà còn cung cấp cơ sở định lượng để phân tích riêng rẽ cũng như kết hợp ảnh hưởng của hai yếu tố chính: khí hậu và lớp phủ. Phần dưới đây sẽ trình bày chi tiết kết quả mô phỏng dòng chảy mặt (SURQ) theo từng kịch bản, từ đó làm rõ các xu hướng, mức độ biến động và ý nghĩa thực tiễn đối với công tác quản lý tài nguyên nước và sử dụng đất trong tương lai. Bảng 3 biểu thị chỉ số dòng chảy mặt được mô phỏng lần lượt theo các tổ hợp kịch bản lớp phủ - khí hậu.

Bảng 3. Chỉ số dòng chảy mặt trung bình năm trên lưu vực theo các kịch bản (đơn vị mm)

Kịch bản	Giai đoạn	Lớp phủ	
		2021	2024
Cơ sở	2000-2024	774,50	786,68
	2025–2039	838,54	851,36
	2040–2059	891,08	889,68
RCP4.5	2025–2039	878,01	891,08
	2040–2059	970,42	983,88

Kết quả phân tích chỉ số dòng chảy mặt (Surface Runoff) tại lưu vực sông Bùi cho thấy sự biến động phụ thuộc đồng thời vào kịch bản phát thải khí nhà kính (RCP4.5, RCP8.5), giai đoạn tương lai, và tình trạng lớp phủ bề mặt lưu vực (2021, 2024).

a) Biến động theo thời gian

Giai đoạn cơ sở 2000–2024 ghi nhận giá trị dòng chảy mặt trung bình năm thấp nhất (774,5 mm với lớp phủ 2021 và 786,68 mm với lớp phủ 2024). Trong các giai đoạn tương lai, dòng chảy mặt có xu hướng tăng liên tục, phản ánh tác động của lượng mưa và cường độ mưa gia tăng. Điều này cho thấy biến đổi khí hậu đóng vai trò thúc đẩy quá trình hình thành và gia tăng dòng chảy mặt, đặc biệt trong mùa mưa.

b) Ảnh hưởng của kịch bản biến đổi khí hậu

Ở cùng điều kiện lớp phủ, kịch bản RCP8.5 luôn cho giá trị dòng chảy mặt cao hơn RCP4.5. Cụ thể, dưới RCP4.5, giai đoạn 2025 - 2039 dòng chảy mặt tăng 8 - 10% so với cơ sở, và tiếp tục tăng thêm 5 - 6% vào giai đoạn 2040 - 2059. Trong khi đó, RCP8.5 cho mức tăng mạnh hơn: 12 - 14% ở giai đoạn 2025 - 2039 và đạt mức cao nhất 24 - 25% ở giai đoạn 2040 - 2059. Kết quả này hàm ý nguy cơ xuất hiện nhiều hơn các sự kiện mưa cực đoan và lũ lụt dưới kịch bản phát thải cao.

c) Ảnh hưởng của biến động lớp phủ đất

So sánh giữa hai kịch bản lớp phủ cho thấy lớp phủ năm 2024 có giá trị dòng chảy mặt cao hơn lớp phủ năm 2021 khoảng 1 - 2% ở mọi kịch bản và giai đoạn. Nguyên nhân chính đến từ việc diện tích mặt nước tăng 17%, diện tích rừng giảm 4% và gia tăng diện tích đất dân cư, làm giảm khả năng thấm và giữ nước, đồng thời tăng tốc độ chảy tràn. Mặc dù diện tích cây bụi và đồng cỏ tăng góp phần cải thiện độ che phủ, song không đủ để bù đắp tác động của mất rừng và mưa cực đoan gia tăng.

Xu hướng gia tăng dòng chảy mặt tại lưu vực sông Bùi (8 - 25% tùy kịch bản và giai đoạn) phù hợp với nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước.

Trần Thị Thu Hằng và cộng sự (2019) tại lưu vực sông Đáy ghi nhận mức tăng 10 - 20% vào giữa thế kỷ XXI, cùng xu hướng mùa mưa đến sớm và kéo dài [15]. Nguyễn Văn Hùng và cộng sự (2020) tại lưu vực sông Lô cũng báo cáo mức tăng trung bình 12 - 18%, với các tháng 7 - 8 có đỉnh cao hơn, làm tăng nguy cơ lũ [16]. Trên thế giới, Ghaffari và cộng sự (2010) tại lưu vực Kasilian (Iran) nhận thấy dòng chảy mùa mưa tăng 10–25% dưới kịch bản phát thải cao [17], trong khi Gu và cộng sự (2018) tại lưu vực sông Dương Tử (Trung Quốc) dự báo mức tăng 10 - 20% vào cuối thế kỷ XXI, đặc biệt rõ rệt dưới RCP8.5 [18]. Sự tương đồng này khẳng định tính nhất quán của cơ chế tác động giữa biến đổi khí hậu và biến động lớp phủ đất lên chế độ dòng chảy, đồng thời củng cố độ tin cậy của mô hình SWAT trong nghiên cứu tác động và xây dựng giải pháp thích ứng.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã áp dụng mô hình SWAT tích hợp với hệ thống ArcGIS để đánh giá tác động kết hợp của biến động lớp phủ đất và biến đổi khí hậu đến dòng chảy mặt trên lưu vực sông Bùi. Kết quả phân tích giai đoạn 2021–2024 cho thấy sự thay đổi rõ rệt về diện tích các loại lớp phủ: diện tích rừng giảm 584,38 ha (tương đương 4%), trong khi diện tích mặt nước, khu dân cư, cây bụi và đồng cỏ đều tăng. Những biến động này làm giảm khả năng thấm và giữ nước của lưu vực, từ đó gia tăng dòng chảy mặt, đặc biệt trong các điều kiện mưa lớn.

Kết quả mô phỏng theo các kịch bản khí hậu RCP4.5 và RCP8.5 cho thấy dòng chảy mặt có xu hướng tăng ở cả mùa khô và mùa mưa, với mức tăng rõ rệt hơn dưới kịch bản RCP8.5. Vào giai đoạn 2040 - 2059, giá trị dòng chảy mặt cực đại có thể cao hơn 24 - 25% so với giai đoạn cơ sở, cho thấy tác động cộng hưởng của mất rừng và mưa cực đoan. Sự gia tăng diện tích khu dân cư và các bề mặt không thấm nước khác cũng góp phần làm tăng nhanh dòng chảy, từ đó tiềm ẩn nguy cơ lũ lụt cao hơn.

Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học quan

trọng cho việc hoạch định chính sách và quản lý lưu vực sông Bùi trong bối cảnh biến đổi khí hậu và đô thị hóa. Kết quả có thể được sử dụng để xây dựng các mô hình cảnh báo lũ, quy hoạch sử dụng đất hợp lý và các biện pháp giảm thiểu rủi ro thiên tai, góp phần bảo vệ an toàn cho cộng đồng và phát triển bền vững tài nguyên nước của khu vực.

Lời cảm ơn

Bài báo là kết quả nghiên cứu từ Đề tài "Đánh giá rủi ro khí hậu và xây dựng mô hình cảnh báo lũ tại lưu vực sông Bùi", nhóm tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Lâm nghiệp đã hỗ trợ kinh phí thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Duy Quang, Lê Viết Sơn, Bùi Tuấn Hải, Bùi Thế Văn & Trần Thị Thanh Dung (2022). Nghiên cứu xây dựng bản đồ ngập lụt lưu vực sông Bùi và vùng phụ cận. Tạp chí Khí tượng Thủy văn. 741: 29-41.
- [2]. Nguyễn Thế Toàn, Trần Kim Châu, Dương Thanh Tâm & Nguyễn Hà Linh (2019). Ứng dụng công nghệ viễn thám xây dựng bản đồ ngập lụt cho khu vực sông Bùi trong trận lũ lịch sử 2018. Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường. 66: 81-87.
- [3]. Phạm Văn Trình, Lê Viết Sơn & Bùi Tuấn Hải (2023). Tham vấn cộng đồng về các giải pháp phòng, chống lũ cho lưu vực sông Bùi và vùng phụ cận. Tạp chí Tài nguyên nước. 1: 15-23.
- [4]. N. Asselman, J. ter Maat, A. de Wit, G. Verhoeven, S. Soares-Fraza, M. Velickovic, L. Goutière, Y. Zech, T. J. Fewtrell & P. D. Bates (2009). Flood Inundation Modeling: model choice and application. Flood Risk Management: Research and Practice. P. Samuels, Huntington, S., Allsop, W., Harrop, J. (ed.). CRC Press (Taylor & Francis Group). 211-219.
- [5]. M.R. Knebl, Z.-L. Yanga, K. Hutchisonb & D.R. Maidment (2005). Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case 144 study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event. Journal of Environmental Management. 325-336.
- [6]. Vũ Đức Long, Trần Ngọc Ánh, Hoàng Thái Bình & Đặng Đình Khả (2009). Giới thiệu công nghệ dự báo lũ hệ thống sông Bến Hải và Thạch Hãn sử dụng mô hình MIKE 11. Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. 35: 429-498.
- [7]. Đoàn Quang Trí & Phạm Thị Nga (2022). Nghiên cứu xây dựng bộ công cụ tích hợp dự báo lũ, cảnh báo ngập lụt cho 03 lưu vực sông: Thạch Hãn, Vu Gia-Thu Bồn và Trà Khúc-Sông Vệ. Tạp chí Khí tượng Thủy văn. 736: 93-110.
- [8]. Trần Văn Tình, Lê Thu Trang & Vũ Hồng Thái (2017). Áp dụng mô hình HEC - HMS nghiên cứu dự báo dòng chảy lũ tại trạm thủy văn thác muối trên sông Giảng. Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường. 16: 10-17.
- [9]. Demirel Mehmet C., Anabela Venancio & Ercan Kahya (2009). Flow forecast by SWAT model and ANN in Pracana basin, Portugal. Advances in Engineering Software. 40: 46-47.
- [10]. J.G. Arnold, Srinivasan, R., Muttiah, R.S., & Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. Journal of the American Water Resources Association. 34(1): 73-89.
- [11]. K. C. Abbaspour, Schulin, R., & van Genuchten, M. T. (2007). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology. 333(2-4): 413-430.
- [12]. J. G. Arnold, D. N. Moriasi, P. W. Gassman, K. C. Abbaspour, M. J. White, R. Srinivasan, C. Santhi, R. D. Harmel, A. van Griensven, M. W. Van Liew, N. Kannan & M. K. Jha (2012). SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. Transactions of the ASABE. 55(4): 1491-1508.
- [13]. Trần Thục, Nguyễn Văn Thắng, Huỳnh Thị Lan Hương, Mai Văn Khiêm, Nguyễn Xuân Hiến & Doãn Hà Phong (2016). Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam. Bộ Tài nguyên và Môi trường. 63-72.
- [14]. D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel & T. L. Veith (2008). Model Evaluation Guidelines For Systematic Qualification of Accuracy in Watershed Simulations Transactions of the ASABE. 50(3): 885-900.
- [15]. Trần Thị Thu Hằng (2019). Ứng dụng SWAT đánh giá tác động biến đổi khí hậu đến dòng chảy sông Đáy. Tạp chí Khí tượng Thủy văn. 699: 15-21.
- [16]. Nguyễn Văn Hùng (2020). Đánh giá ảnh hưởng BĐKH đến dòng chảy tại lưu vực sông Lô bằng SWAT. Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. 36(1): 1-10.
- [17]. G. Ghaffari, S. Keesstra, J. Ghodousi & H. Ahmadi (2010). SWAT-simulated hydrological impact of land-use change in the Kasilian watershed, Iran. Hydrological Processes. 24(7): 892-903.
- [18]. Huanghe Gu, Zhongbo Yu, Chuanguo Yang & Qin Ju (2018). Projected Changes in Hydrological Extremes in the Yangtze River Basin with an Ensemble of Regional Climate Simulations. Water. 10(9): 1279.