

Bài báo khoa học

Nghiên cứu cơ sở khoa học xác định nguồn nước và giải pháp cấp nước sinh hoạt và nông nghiệp cho khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La

Nguyễn Đắc Lực¹, Lê Thị Thu Hằng¹, Cao Viết Thịnh², Nguyễn Quang Thái¹, Lê Thị Thủy¹, Quàng Thị Duyên³, Phạm Thị Hương Lan^{4*}

¹ Sở Tài nguyên và Môi trường Sơn La; nguyendluc1098@gmail.com;

hangtnnsl@gmail.com; quangthaislmt@gmail.com; lethuytk67@gmail.com

² Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Sơn La; thinhppmusl@gmail.com

³ UBND xã Mường Trai; qthiduyen.nnml@gmail.com

⁴ Trường Đại học Thủy lợi; lanpth@wru.vn

*Tác giả liên hệ: lanpth@wru.vn; Tel.: +84-912537042

Ban Biên tập nhận bài: 12/6/2022; Ngày phản biện xong: 11/7/2022; Ngày đăng bài: 25/7/2022

Tóm tắt: Xác định nguồn nước và giải pháp cấp nước sinh hoạt và nông nghiệp cho khu vực thiếu nước sinh hoạt và nông nghiệp ở vùng cao, vùng khan hiếm nước, đặc biệt tỉnh Sơn La là cần thiết, phù hợp với chủ trương của Chính phủ theo Quyết định số 264/QĐ-TTg ngày 2/3/2015. Nghiên cứu sử dụng tổ hợp nhiều phương pháp bao gồm phương pháp tổng hợp phân tích thống kê, điều tra khảo sát thực địa, phương pháp mô hình toán và phương pháp chuyên gia để xác định nguồn nước cho các xã đặc biệt khó khăn trên địa bàn tỉnh Sơn La, từ đó đề xuất các mô hình khai thác, sử dụng bền vững nguồn nước dựa trên bộ tiêu chí về nguồn nước, về điều kiện khai thác, về văn hóa xã hội, về môi trường, về kinh tế, về kỹ thuật công nghệ, về quản lý và khai thác đảm bảo nguồn nước sinh hoạt cho sinh hoạt và nông nghiệp cho các khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La.

Từ khóa: Nguồn nước; Khu vực thiếu nước; Sơn La.

1. Mở đầu

Việc nghiên cứu xác định nguồn nước và các giải pháp cấp nước cho sinh hoạt và nông nghiệp đang được quan tâm, đặc biệt tại những khu vực khan hiếm nước. Theo nghiên cứu của [1] thì đến năm 2025 trên thế giới có khoảng 40% dân số toàn cầu sẽ bị thiếu nước dùng cho sinh hoạt và trồng trọt, đặc biệt ở Bắc Phi, Nam Phi, Nam Á và Trung Á. Đến năm 2050, dự báo có khoảng 1,4 tỷ người không đủ điều kiện tiếp cận với nước sạch và vệ sinh nông thôn. Nhu cầu nước sử dụng cho nông nghiệp chiếm khoảng 70% lượng nước toàn cầu, chủ yếu là để tưới tiêu – con số này sẽ tăng lên ở các vùng có áp lực nước cao và mật độ dân số cao. Ngành công nghiệp chiếm 20% tổng nhu cầu sử dụng nước, chủ yếu là dùng trong ngành công nghiệp năng lượng và sản xuất, 10% còn lại sử dụng cho sinh hoạt. Những vùng núi cao khan hiếm nước thường có ít số liệu quan trắc thường gây khó khăn cho việc đánh giá trữ lượng, chất lượng nước để phục vụ cấp nước cho sinh hoạt và nông nghiệp. Hiệp hội Quốc tế khoa học thủy văn ban hành một sáng kiến về dự báo lưu lượng cho lưu vực không có trạm quan trắc (*Predictions in Ungauged Basins – PUB*) vào năm 2003, với mục đích dự đoán hay dự báo các phản ứng thủy văn trên lưu vực không có hoặc ít trạm đo và tính bất định của giá

trị tính toán. Nghiên cứu [2] đã sử dụng mô hình SWAT đánh giá khả năng dự toán dòng chảy dưới các điều kiện khí hậu khác nhau cho 3 lưu vực cơ sở trong lưu vực sông Washita với diện tích 610 km² nằm phía Đông Nam Oklahoma, đây là khu vực có điều kiện khó khăn về nguồn nước. [3] cũng sử dụng mô hình SWAT tính toán dòng chảy cho lưu vực nghiên cứu nhỏ nằm ở Bắc phi, kết quả chỉ ra rằng mô hình này tính toán tốt hơn với điều kiện khí hậu khô. Sử dụng SWAT nghiên cứu hệ quả của hoạt động bảo tồn thiên nhiên trong chương trình đánh giá hiệu quả bảo tồn thiên nhiên USDA [4–5] thực hiện đánh giá cho các khu vực lớn như lưu vực thượng nguồn sông Mississippi và toàn bộ Mỹ [6–7]. Ở Châu Âu, các nghiên cứu ứng dụng mô hình SWAT trong đánh giá dự báo dòng chảy cũng được nghiên cứu đề cập nhiều [8–11]. [12] đã điều tra, khảo sát thực địa đánh giá tình hình sử dụng nguồn nước mặt cho sinh hoạt tại tỉnh Ninh Bình, xác định nguồn nước sử dụng chính cho sinh hoạt, mức độ đảm bảo cho sinh hoạt về mặt số lượng và chất lượng, các tác động chính dẫn tới hiện trạng trên, vị trí nguồn nước mặt còn hạn chế về trữ lượng hay ô nhiễm. Sử dụng phương pháp thống kê để phân tích tình hình nước mặt và sử dụng nước cho sinh hoạt, đưa ra được kết quả tổng quan về vấn đề nghiên cứu. Phương pháp hệ thông tin địa lý (GIS) được áp dụng để nghiên cứu về sự phân hóa tiềm năng nước mặt theo lưu vực sông và sự phân hóa về tỷ lệ người dân được sử dụng nước đảm bảo vệ sinh giữa các đơn vị hành chính, các kết quả nghiên cứu được thể hiện bằng các bản đồ trên phần mềm MapInfor. [13] đã nghiên cứu xây dựng khung mô hình tích hợp đánh giá tài nguyên nước mặt dựa trên phương pháp tiếp cận mối liên kết nước–năng lượng–luồng thực. Mục tiêu của nghiên cứu là xây dựng khung mô hình tích hợp đánh giá tài nguyên nước dựa trên mối liên kết nước–năng lượng–luồng thực (WEF) và áp dụng thử nghiệm cho vùng hạ lưu sông Sài Gòn–Đồng Nai. Phương pháp mô hình hóa là phương pháp chính được thực hiện trong nghiên cứu này, bộ mô hình tích hợp được sử dụng để nghiên cứu đánh giá tài nguyên nước trong mối liên kết WEF bao gồm mô hình thủy văn SWAT, mô hình cân bằng nước WEAP, và mô hình kinh tế thủy văn GAMS.

Từ thế kỷ 13, các thành phố ở Châu Âu đã có hệ thống cấp nước sinh hoạt. Khi đó trên thế giới chưa có các loại hóa chất phục vụ cho việc keo tụ xử lý nước mặt, người dân đã xây dựng các bể lắng có kích thước rất lớn (gần như lắng tĩnh) mới lắng được các hạt cặn nhỏ bé, công trình xử lý cồng kềnh, tốn nhiều tiền và sức lực cho việc xây dựng, chiếm nhiều diện tích đất. Ngày nay, với tốc độ phát triển khoa học công nghệ, kỹ thuật cấp nước ngày càng đạt tới trình độ cao và còn tiếp tục phát triển. Thiết bị dùng nước trong nhà luôn được cải tiến để phù hợp và thuận tiện cho người sử dụng. Ngày nay, kỹ thuật điện tử và tự động hóa cũng được sử dụng rộng rãi trong cấp nước và xử lý nước. Có thể nói kỹ thuật cấp nước đã đạt đến trình độ rất cao về công nghệ xử lý [14]. Các nước Mỹ, Nhật Bản, Hàn Quốc và một số nước phát triển đã có những nghiên cứu công nghệ xử lý nước mặt, nước mưa để phục vụ cho sinh hoạt từ những năm 2003, như công nghệ lọc sử dụng các loại vật liệu lọc tiên tiến.

Đối với những vùng khan hiếm nước thuộc các vùng núi cao thường có ít số liệu quan trắc. Việc tính toán dòng chảy với độ tin cậy trong các lưu vực không có hoặc ít số liệu dòng chảy là một bài toán nhiều thách thức. Các nhà thủy văn đang không ngừng nỗ lực để phát triển các phương pháp/ chiến lược (*strategies*) tính toán dòng chảy cho các lưu vực không có số liệu từ những năm 1970s, đặc biệt sau khi Hiệp hội Quốc tế khoa học thủy văn (IAHS, 2003) ban hành một sáng kiến về dự báo lưu lượng cho lưu vực không có trạm quan trắc (*Predictions in Ungauged Basins – PUB*) vào năm 2003, với mục đích dự đoán hay dự báo các phản ứng thủy văn trên lưu vực không có hoặc ít trạm đo và tính bất định của giá trị tính toán. Từ sau đó, có nhiều cách tiếp cận đã được phát triển để tính toán dòng chảy mặt cho lưu vực không có trạm quan trắc. Nhằm bổ khuyết cho các tài liệu quan trắc KTTV trên mặt đất ở những lưu vực khó khăn (miền núi, vùng sâu vùng xa, địa hình chia cắt,...) một số nguồn số liệu mới, phương pháp mới đã được sử dụng nhằm nâng cao kết quả tính toán của mô hình thủy văn ở những lưu vực thiếu trạm quan trắc như mô hình SWAT. Đây là hướng tiếp cận có thể áp dụng tính toán cho vùng địa bàn tỉnh Sơn La. Việc đánh giá xác định trữ lượng nước, chất lượng nước cho một vùng, một lưu vực đã được nghiên cứu tại một số nước trên thế giới,

tuy nhiên việc phân tích đánh giá về đặc điểm địa hình, địa mạo và cấu trúc địa chất, kiến tạo trong việc hình thành trữ lượng nước mặt nước dưới đất, đặc biệt các tỉnh miền núi Tây Bắc chưa nhiều, trong đó có tỉnh Sơn La.

Sơn La là một tỉnh miền núi phía Tây Bắc Việt Nam, có diện tích tự nhiên 14174 km² (Niên giám thống kê 2021), có tọa độ địa lý: 20°39'–22°02' vĩ độ Bắc, 103°11'–105°02' kinh độ Đông chiếm 4,27% tổng diện tích Việt Nam. Sơn La có 35 suối lớn; 2 sông lớn là sông Đà dài 280km với 32 phụ lưu và sông Mã dài 90km với 17 phụ lưu. Mật độ sông suối 1,8 km/km² phân bố không đều, sông suối có độ dốc lớn, nhiều thác ghềnh. Mùa lũ từ tháng VI đến tháng X, các nhánh thượng lưu thường từ tháng 5 đã có xuất hiện lũ sớm và các nhánh hạ lưu xuất hiện lũ muộn vào tháng XI, tổng lượng dòng chảy mùa lũ chiếm 65–80% dòng chảy năm. Tài nguyên nước mặt của toàn tỉnh Sơn La hàng năm vào khoảng 19 tỷ m³ tập trung vào hệ thống sông chính là sông Đà và sông Mã. Tổng lượng dòng chảy trong 5 tháng mùa lũ chiếm khoảng 80% tổng lượng dòng chảy năm, dòng chảy lớn nhất thường tập chung vào tháng 8 hàng năm, các tháng kiệt nhất thường xảy ra vào tháng III [15]. Nguồn nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Sơn La tồn tại dưới 2 dạng chủ yếu là tầng chứa nước khe nứt – khe nứt Karst phân bố trên diện tích khoảng 140.000 km² (chiếm 99,88%) và tầng chứa nước lỗ hổng phân bố trên diện tích khoảng 172 km² (chiếm 0,12%). Toàn tỉnh Sơn La có tổng trữ lượng động tự nhiên của các tầng chứa nước (3.980.445 m³/ngày) [15].

Do điều kiện địa hình núi cao, độ dốc lớn, chia cắt mạnh nên có những vùng đặc biệt khó khăn về nguồn nước, gây khó khăn cho sản xuất và sinh hoạt của nhân dân trong vùng, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu, gia tăng các hình thái thời tiết cực đoan, gây lũ, ngập lụt, hạn hán, thiếu nước. Trong những năm qua Chương trình nước sạch nông thôn đã hỗ trợ người dân lấy nước từ các con suối cao qua hệ thống nước tự chảy nhưng chỉ qua một trận mưa lũ là các công trình bị vùi lấp, hư hỏng, không có kinh phí để sửa chữa. Tình trạng thiếu nước sinh hoạt, sản xuất ảnh hưởng đời sống của người dân, đặc biệt những vùng khan hiếm nước, đòi hỏi phải nghiên cứu tìm kiếm nguồn nước mặt, nước dưới đất để cung cấp nước sinh hoạt ở các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước là nhiệm vụ cần thực hiện một cách bài bản, có tính cấp bách và lâu dài. Đặc biệt theo Quyết định số 900/QĐ-TTg của Thủ tướng chính phủ ngày 20/6/2017 về việc phê duyệt danh sách xã đặc biệt khó khăn, xã biên giới, xã an toàn khu vào diện đầu tư của chương trình 135 giai đoạn 2017–2020 thì trên địa bàn tỉnh Sơn La có 118 xã đặc biệt khó khăn thuộc diện đầu tư, gồm 7 xã huyện Yên Châu, 15 xã huyện Phù Yên, 7 xã huyện Sốp Cộp, 10 xã huyện Vân Hồ, 14 xã huyện Bắc Yên, 13 xã huyện Mường La, 22 xã huyện Thuận Châu, 8 xã huyện Mai Sơn, 5 xã huyện Mộc Châu, 15 xã huyện sông Mã, 2 xã huyện Quỳnh Nhai. Trong các xã đặc biệt khó khăn nêu trên thì có 20 xã đặc biệt thiếu nước sinh hoạt thuộc các huyện Bắc Yên (Hồng Ngải, Chim Vàn, Hua Nhàn, Làng Châu), Mường La (Chiềng Muôn, Chiềng Lao, Hua Trai, Nậm Giôn, Pi Toong, Tạ Bú), Phù Yên (Huy Tân), Quỳnh Nhai (Mường Sại), sông Mã (Đứa Mòn, Nậm Ty), Sốp Cộp (Sam Kha), Thuận Châu (Bó Mười, Co Tòng) và Yên Châu (Chiềng Đông, Chiềng Tương), Vân Hồ (Lóng Luông).

Hiện nay, nhiều mô hình khai thác sử dụng nguồn nước đã và đang được áp dụng trên các vùng núi karst như các giếng đào, giếng khoan, mạch lộ, hồ treo... Mặc dù các mô hình khai thác nguồn nước đã mang lại những hiệu quả nhất định tuy nhiên nhiều mô hình do không được nghiên cứu, tính toán chi tiết đặc biệt về nguồn nước nên hiệu quả công trình chưa cao, chưa phát huy hết hiệu quả sử dụng. Do đó để thực hiện được giải pháp khai thác, sử dụng nguồn nước bền vững cần phải có những nghiên cứu sâu hơn về nguồn nước. Các kết quả hiện mới chỉ tập trung vào điều tra tài nguyên nước vùng khan hiếm nước, nhiều số liệu điều tra cơ bản chưa nêu ra được các nguồn hình thành trữ lượng nước dưới đất, quy luật phân bố và vận động của nước ngầm khu vực phân bố karst, khả năng tăng trữ lượng khai thác và khai thác bền vững nguồn nước như thế nào. Các nghiên cứu cũng chưa có nghiên cứu đánh giá tổng hợp tài nguyên nước mặt, nước dưới đất, xác định trữ lượng có thể khai thác, diễn biến mực nước theo thời gian, phân vùng khả năng khai thác nguồn nước phục vụ cho cấp nước

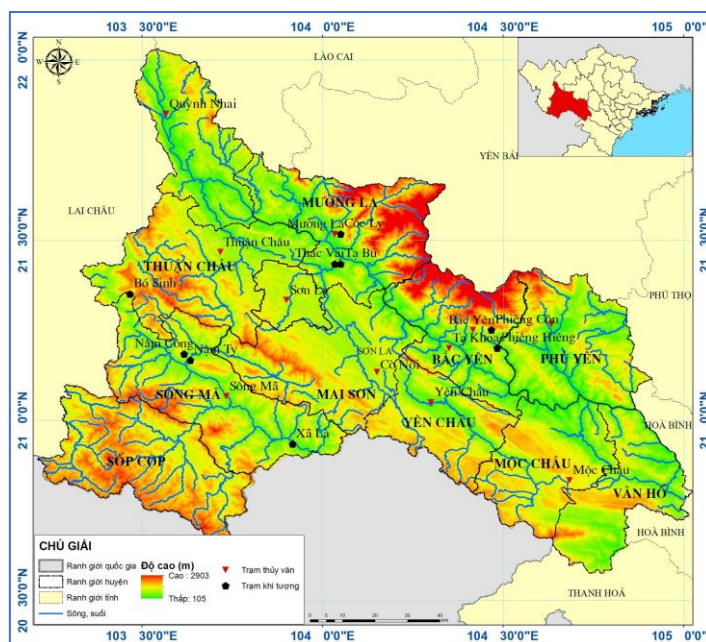
sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp, đặc biệt trên địa bàn tỉnh Sơn La. Chưa có nhiều nghiên cứu áp dụng các công cụ mới, mô hình mới, công nghệ hiện đại để đánh giá dự báo dòng chảy đến bằng mô hình mưa dòng chảy có xem xét đến ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, đặc biệt trên địa bàn tỉnh Sơn La. Do nước ngầm được hình thành, phân bố và vận động rất phức tạp do đó việc áp dụng các phương pháp khai thác, sử dụng cần có giải pháp cụ thể, khoa học để đảm bảo tính bền vững. Tùy từng vùng, điều kiện cụ thể có thể áp dụng các phương pháp khai thác sử dụng như giếng đào, giếng khoan... Tuy nhiên cho đến nay vẫn chưa có một công trình nào nghiên cứu, đánh giá tính bền vững trong việc khai thác, sử dụng nguồn nước tại vùng núi Tây Bắc bằng các mô hình khai thác giếng đào, giếng khoan, mạch lộ... Các giải pháp kỹ thuật quản lý và khai thác đảm bảo nguồn nước sinh hoạt cho sinh hoạt và nông nghiệp cho các khu vực thiếu nước khu vực Tây Bắc nói chung và trên địa bàn tỉnh Sơn La chưa cụ thể, mang tính bền vững, có hiệu quả.

Chính vì vậy, việc đề xuất cơ sở khoa học xác định nguồn nước và giải pháp cấp nước sinh hoạt và nông nghiệp cho khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La là cần thiết và cấp bách, góp phần phát triển bền vững kinh tế xã hội trên địa bàn tỉnh Sơn La. Mục tiêu nghiên cứu nhằm xác định được trữ lượng nguồn nước cho khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La từ đó Đề xuất được giải pháp kỹ thuật quản lý và khai thác nguồn nước cho sinh hoạt và nông nghiệp cho khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La làm cơ sở khoa học triển khai các dự án đầu tư để đạt được chỉ tiêu cấp nước theo Nghị quyết số 15/NQ/ĐH.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại 20 xã đặc biệt khó khăn thuộc các huyện Bắc Yên (Hồng Ngài, Chim Vàn, Hua Nhân, Làng Chếu), Mường La (Chiềng Muôn, Chiềng Lao, Hua Trai, Nậm Giôn, Pi Toong, Tạ Bú), Phù Yên (Huy Tân), Quỳnh Nhai (Mường Sại), sông Mã (Đóra Mòn, Nậm Ty), Sốp Cộp (Sam Kha), Thuận Châu (Bó Mười, Co Tòng) và Yên Châu (Chiềng Đông, Chiềng Tương), Vân Hồ (Lóng Luông) (Hình 1).



Hình 1. Bản đồ địa hình tỉnh Sơn La và các trạm KTTV thuộc khu vực nghiên cứu.

Tuy nhiên, theo quan điểm tiếp cận tổng hợp về quản lý nguồn nước nên nghiên cứu này tập trung đánh giá nguồn nước trên địa bàn tỉnh Sơn La, từ đó tập trung phân tích kỹ nguồn nước tại 20 xã đặc biệt khó khăn nêu trên. Sơn La là một tỉnh miền núi phía Tây Bắc Việt

Nam, có diện tích tự nhiên 14174 km² (Niên giám thống kê 2021). Sơn La có độ cao trung bình 600–700 m so với mực nước biển, có đặc điểm địa hình rất phức tạp, bị chia cắt mạnh tạo thành 3 vùng sinh thái: Vùng trục quốc lộ 6, vùng hồ sông Đà và vùng cao biên giới, có độ dốc lớn với 97% diện tích tự nhiên thuộc lưu vực sông Đà, sông Mã, xen kẽ giữa những dãy núi là những thung lũng lòng chảo với đất đai thuận lợi cho phát triển nông nghiệp, điển hình là những cánh đồng lúa nước lớn, vừa và nhỏ có quy mô từ 300–1000 ha do phù sa các con suối bồi đắp tạo thành. Mưa tập trung vào các tháng 7 và 8 (không có bão), thỉnh thoảng có giông và mưa đá, lượng mưa trung bình hàng năm là 1.276 mm. Tổng lượng mưa trong năm trong toàn tỉnh biến đổi từ 1200–2800 mm, tháng có lượng mưa nhỏ nhất thường tập trung vào tháng 12 và tháng 1. Tổng lượng nước mưa trên toàn tỉnh là 19,78 tỷ m³ mỗi năm [15].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp kế thừa, thu thập tài liệu, xử lý thông kê các số liệu điều tra, điều tra thực tế được áp dụng vào nội dung 1: Thu thập, tổng hợp tài liệu; số liệu điều tra, thăm dò đánh giá, tìm kiếm, phát hiện các khu vực có triển vọng cung cấp nguồn nước mặt, nước dưới đất phục vụ cho sinh hoạt và nông nghiệp tại các khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La. Nội dung này tập trung vào 20 xã thiếu nước (Quyết định 40/QĐ-UBND ngày 01/9/2020 của UBND tỉnh Sơn La), từ đó để có kiến nghị, khuyến nghị và giải pháp thăm dò, khai thác hợp lý, bền vững cho các đối tượng này.

Phương pháp mô hình toán: Nghiên cứu sử dụng mô hình SWAT để tính toán đánh giá dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm cho các tiểu lưu vực trên địa bàn tỉnh Sơn La. Công cụ đánh giá đất và nước (*Soil and Water Assessment Tool-SWAT*) là mô hình thủy văn bán phân bố được phát triển để dự báo tác động của sự thay đổi sử dụng đất đến nước, xói mòn, vận chuyển bùn cát, và lượng hóa chất sinh ra từ hoạt động nông nghiệp trên những lưu vực [16–17]. Mô hình SWAT được xây dựng dựa trên bản chất vật lý của hiện tượng tự nhiên và sử dụng các phương trình tương quan, hồi quy để mô tả mối quan hệ giữa thông số đầu vào (đất/thảm thực vật, đất, địa hình và khí hậu) và biến số đầu ra (lưu lượng dòng chảy (dòng chảy mặt, dòng chảy ngầm), xói mòn, vận chuyển bùn cát, chất lượng nước...). Quá trình mô phỏng tại một lưu vực chia thành hai pha chính [18]: (1) Pha đất của chu trình thủy văn: kiểm soát lượng nước, bùn cát, dinh dưỡng và thuốc trừ sâu được đưa từ trong mỗi tiểu lưu vực ra sông chính; (2) Pha nước của chu trình thủy văn: kiểm soát quá trình di chuyển của dòng nước, quá trình bồi lắng, chất dinh dưỡng, thuốc bảo vệ thực vật diễn ra thông qua hệ thống sông ngòi của lưu vực đến cửa ra lưu vực.

Mô hình SWAT được sử dụng để mô phỏng lưu lượng dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm cho các tiểu lưu vực trên địa bàn tỉnh Sơn La. Trong mô hình SWAT, tác giả đã dùng hai phương pháp đường cong thấm SCS [19] và phương trình thấm [5] để xác định lượng mưa hiệu quả. Phương trình dòng chảy SCS là phương trình thực nghiệm, nó được xây dựng từ những năm 1950, dùng để xác định lượng dòng chảy mặt dưới điều kiện khác nhau về sử dụng đất và loại đất. Phương trình đường cong SCS được viết như sau:

$$Q_{\text{surf}} = \frac{(R_{\text{day}} - I_a)^2}{(R_{\text{day}} - I_a + S)} \quad (1)$$

Trong đó Q_{surf} là lượng dòng chảy mặt hay lượng mưa hiệu quả (mm); R_{day} là lượng mưa ngày (mm); I_a là tổn thất thấm ban đầu (mm); S là lượng thấm cho phép tối đa có thể trữ trong đất (mm).

Trong mô hình SWAT chia dòng chảy ngầm thành hai thành phần: nước ngầm tầng nông hay còn gọi là dòng chảy sát mặt và nước ngầm tầng sâu hay còn gọi là dòng chảy ngầm. Nước ngầm là nước chứa trong tầng bão hoà dưới bề mặt đất. Nước vào tầng bão hoà chủ yếu do thấm. Phương trình cân bằng nước cho tầng sát mặt như sau:

$$aq_{sh,j} = aq_{sh,j-1} + w_{rchrg} - Q_{gw} - w_{revap} - w_{deep} - w_{pump,sh} \tag{2}$$

Trong đó $aq_{sh,j}$ là lượng nước trữ trong tầng sát mặt trong ngày thứ i (mm); $q_{sh,j-1}$ là lượng nước trữ trong tầng sát mặt trong ngày thứ $i-1$ (mm); w_{rchrg} là lượng nước đi vào tầng nước sát mặt ngày thứ i (mm); Q_{gw} là dòng chảy ngầm đi vào kênh chính của ngày thứ i (mm); w_{revap} là lượng nước đi chuyển vào trong đất (lượng nước thiếu hụt) của ngày thứ i (mm); w_{deep} là lượng nước thấm từ tầng ngậm nước sát mặt xuống tầng ngậm nước ngầm của ngày thứ i (mm); $w_{pump,sh}$ là lượng nước đi chuyển khỏi tầng nước sát mặt do bơm trong ngày thứ i (mm).

Phương trình cân bằng nước cho tầng ngậm là:

$$aq_{dp,i} = aq_{dp,i-1} + w_{deep} - w_{pump,dp} \tag{3}$$

Trong đó $aq_{dp,i}$ là lượng nước trữ vào tầng ngậm ngày thứ i (mm); $aq_{dp,i-1}$ là lượng nước trữ vào tầng ngậm ngày thứ $i-1$ (mm); w_{deep} là lượng nước ngấm từ tầng sát mặt vào tầng ngậm trong ngày thứ i (mm); $w_{pump,dp}$ là lượng nước bơm ra khỏi tầng ngậm vào ngày thứ i (mm).

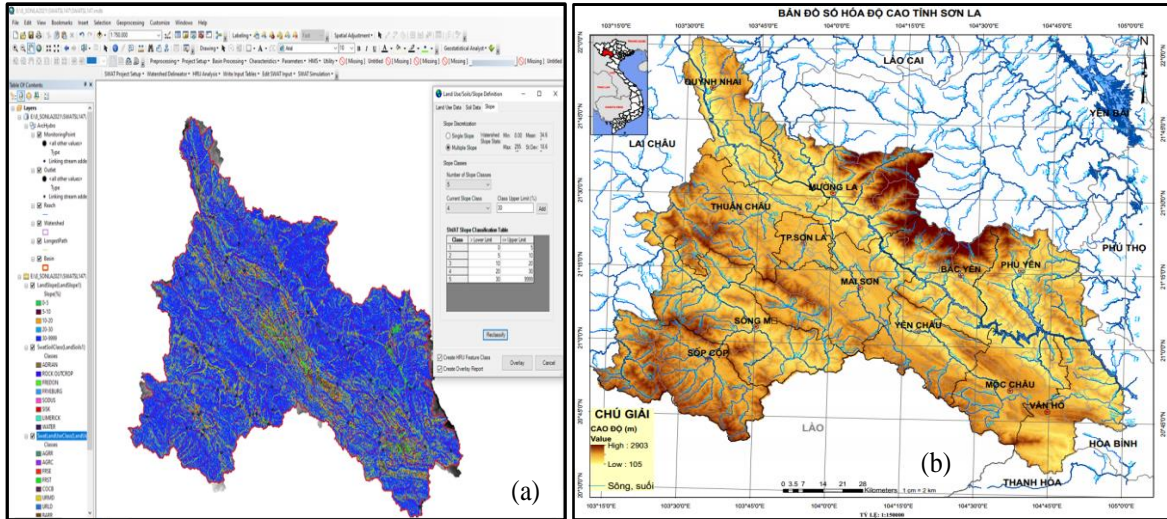
2.3. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu

Các loại dữ liệu đầu vào và nguồn thu thập dữ liệu được thể hiện tại Bảng 1. Các bản đồ sử dụng đất năm 2014 và năm 2019, bản đồ thổ nhưỡng, bản đồ DEM kích thước ô lưới 30x30m được sử dụng để tính toán. Thời gian để hiệu chỉnh mô hình chọn năm 2014 là năm ứng với trạng thái rừng năm 2014 và kiểm định mô hình chọn năm 2019 là năm ứng với trạng thái rừng năm 2019.

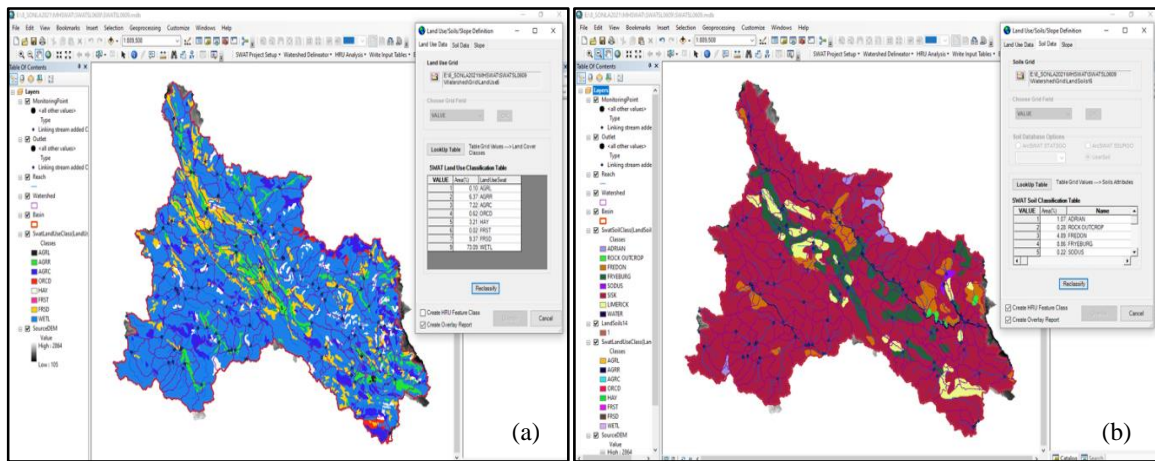
Bảng 1. Các loại dữ liệu cần thiết để chạy mô hình SWAT.

| TT | Loại dữ liệu | Nguồn dữ liệu |
|----|---|---|
| A | Dữ liệu không gian (dưới dạng bản đồ số) | |
| 1 | Bản đồ số hóa độ cao DEM tỉnh Sơn La | Dữ liệu mô hình độ cao số (Digital Elevation model-DEM) với độ phân giải 30m × 30m. (https://earthexplorer.usgs.gov/) |
| 2 | Bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2014 và 2019 trên tỉnh Sơn La, tỷ lệ 1:100.000 | Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Sơn La |
| 3 | Bản đồ thổ nhưỡng tỉnh Sơn La tỷ lệ 1:100.000 | Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Sơn La |
| 4 | Bản đồ thể hiện mạng lưới sông suối, trạm đo khí tượng thủy văn, hồ chứa trên lưu vực tỷ lệ 1:100.000 | Cục đo đạc bản đồ |
| B | Dữ liệu thuộc tính (dưới dạng database): | |
| 1 | Mưa, nhiệt độ của các trạm: Mộc Châu, Sơn La, Sông Mã, Cò Nòi, Yên Châu, Phù Yên, Bắc Yên, Thác Mộc, Tạ Khoa, Tạ Bú, Vạn Yên, Suối Tân, Km46, chuỗi số liệu từ 1970–2021 | Đài khí tượng thủy văn khu vực Tây Bắc |
| 2 | Lượng bốc thoát hơi nước tiềm năng tháng ETo, được tính toán từ các yếu tố khí tượng (Nhiệt độ, độ ẩm, số giờ nắng, tốc độ gió) theo Penman – Monteith, sau đó chuyển đổi thành giá trị ngày theo phân phối của bốc hơi Piche | Đài khí tượng thủy văn khu vực Tây Bắc |
| 3 | Chuỗi số liệu lưu lượng ngày tại các trạm thủy văn Xã Là, Tạ Bú, Bản Cuốn để mô phỏng và kiểm định mô hình. | Đài khí tượng thủy văn khu vực Tây Bắc |

Sử dụng bản đồ số độ cao (Dem), mạng lưới trạm thủy văn để chia thành các tiểu lưu vực bằng các công cụ của Arcgis. Các loại bản đồ sử dụng trong mô hình SWAT được thể hiện trong các hình 2–3.



Hình 2. (a) Phân chia tiểu lưu vực trong SWAT; (b) Bản đồ số hóa độ cao.



Hình 3. (a) Phân cấp loại hình sử dụng đất tỉnh Sơn La cho mô hình SWAT; (b) Phân cấp loại đất tỉnh Sơn La cho mô hình SWAT.

2.4. Các tiêu chí xác định khu vực khan hiếm nước, khó khăn về nguồn nước và phân vùng khả năng khai thác.

2.4.1. Theo tiêu chí về nguồn nước

a1. Đánh giá mức độ khó khăn về nguồn nước

Theo báo cáo Hội đồng quốc gia về tài nguyên nước, theo tiêu chuẩn quốc tế, tùy theo mức nước bình quân đầu người có thể đánh giá ở các mức: Mức có đủ nước dùng; Mức thiếu nước xảy ra không thường xuyên hoặc chỉ là cục bộ; Mức khan hiếm nước, hạn chế đối với việc phát triển kinh tế, sức khỏe con người và phúc lợi xã hội; và mức đe dọa cuộc sống.

Bảng 2. Mức đánh giá tài nguyên nước mặt theo bình quân đầu người.

| TT | Mức bình quân đầu người | Mức đánh giá |
|----|--|-------------------------|
| 1 | < 500 m ³ /người/năm | Ngưỡng đe dọa cuộc sống |
| 2 | Từ 500–1000 m ³ /người/năm | Khan hiếm nước |
| 3 | Từ 1000–1700 m ³ /người/năm | Thiếu nước |
| 4 | Từ 1700–4000 m ³ /người/năm | Thiếu nước cục bộ |
| 5 | > 4000 m ³ /người/năm | Đủ nước dùng |

Ngoài ra, theo hội nghị Vacsava về nước năm 1963, để đánh giá mức độ thiếu nước có thể sử dụng hệ số C biểu thị mức độ thiếu nước như sau: Hệ số C là tỷ lệ giữa tổng lượng dòng chảy trong năm của khu vực trên tổng lượng nước tiêu thụ của khu vực đó, tính theo tiêu chuẩn 250 m³ một đầu người.

$$C = \frac{1}{250} \cdot \frac{W}{\text{số người}} \tag{4}$$

Trong đó W là tổng lượng nước trong khu vực tính toán.

Bảng 3. Đánh giá tài nguyên nước mặt theo hệ số C.

| TT | Hệ số C | Mức đánh giá |
|----|---------|---|
| 1 | < 5 | Thiếu nước nghiêm trọng, cần có biện pháp khẩn trương cung cấp thêm |
| 2 | 5 ÷ 10 | Nguồn nước rất hạn chế, cần phải dẫn từ nguồn khác |
| 3 | 10 ÷ 20 | Bảo đảm nguồn nước nhưng phải phân phối hợp lý |
| 4 | ≥ 20 | Khu vực đảm bảo cấp nước cao |

a2. Đánh giá theo giá trị modul dòng chảy

Dòng chảy năm trung bình nhiều năm sản sinh trên lãnh thổ nước ta có modul dòng chảy biến đổi từ 10÷80 l/s-km², trung bình toàn quốc là 30 l/s-km². Theo bảng phân cấp đánh giá tài nguyên nước mặt dựa vào modul dòng chảy như sau:

Bảng 4. Mức đánh giá tài nguyên nước mặt theo modul dòng chảy M0 [6].

| TT | Phạm vi của M0 | Mức đánh giá |
|----|--|---------------------|
| 1 | < 10 l/s-km ² | Hiếm nước |
| 2 | Từ 10 l/s-km ² đến < 20 l/s-km ² | Thiếu nước |
| 3 | Từ 20 l/s-km ² đến < 40 l/s-km ² | Đủ nước |
| 4 | Từ 40 l/s-km ² đến < 60 l/s-km ² | Tương đối giàu nước |
| 5 | Từ 60 l/s-km ² đến 80 l/s-km ² | Giàu nước |

b) Theo tiêu chí vùng đồng bào dân tộc thiểu số, điều kiện kinh tế khó khăn

Các xã vùng cao là các tỉnh miền núi có nhiều đồng bào dân tộc thiểu số sinh sống hiện nay luôn là những vùng đặc biệt khó khăn về nước sạch và vệ sinh môi trường nông thôn. Việc tìm kiếm nguồn nước sạch và giải pháp cấp nước nhằm thúc đẩy phát triển kinh tế-xã hội ở nhiều địa phương góp phần xóa đói, giảm nghèo cho người dân.

c) Tiêu chí phù hợp tập tục khai thác nước mưa, nước mặt của người dân

Lượng mưa phân bố trên địa bàn tỉnh Sơn La thuộc loại trung bình nhưng không đồng đều theo không gian, biến đổi từ 1.100 mm đến 1.700 mm theo các tiểu vùng quy hoạch. Toàn tỉnh có lượng mưa trung bình nhiều năm (X₀) vào khoảng 1.400 mm/năm và tổng lượng nước mưa trên toàn tỉnh là 19,78 tỷ m³ mỗi năm. Với tổng lượng nước mưa trên thì bình quân là 1,4 triệu m³/km².năm. Lượng nước mưa đến lưu vực biến đổi rất mạnh theo không gian, lượng mưa lớn nhất tập trung tại khu vực tâm mưa Tam Đường và Sìn Hồ (khu vực tiếp giáp với tỉnh Lai Châu thuộc các huyện Quỳnh Nhai, Mường La, Bắc Yên) do ảnh hưởng của địa hình.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thiết lập mô hình SWAT cho các lưu vực sông tỉnh Sơn La

Với bộ số liệu sử dụng cho mô hình SWAT được thống kê trong bảng 1, sau khi nhập vào số liệu bản đồ độ cao số hóa DEM, DEM được sử dụng để phác họa các đặc điểm địa hình của lưu vực và xác định các thông số thủy văn của lưu vực như là: độ dốc lưu vực, tích lũy dòng

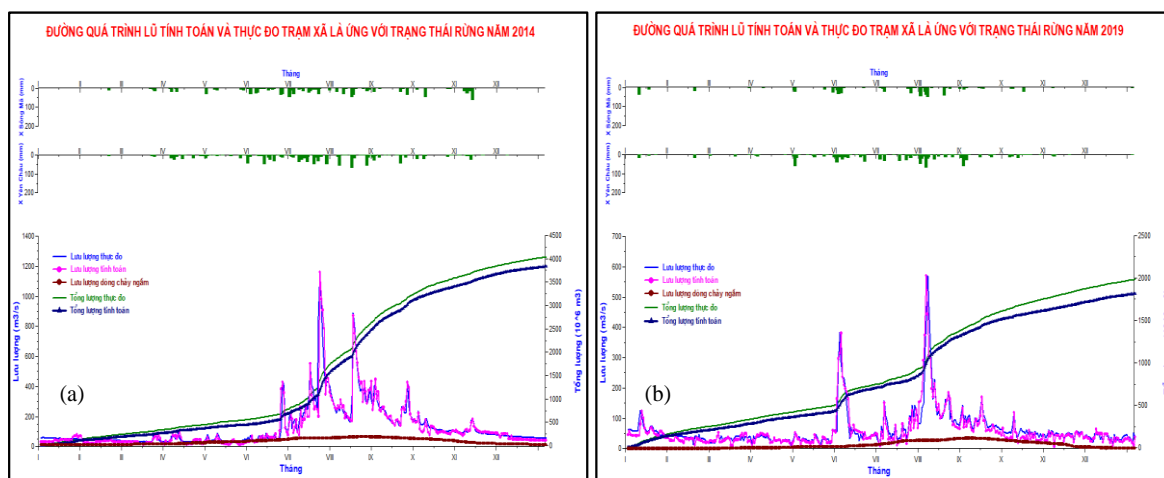
Bảng 5. Bộ thông số mô phỏng mô hình SWAT.

| Thông số | Nhóm thông số (ứng với trạng thái rừng 2014) | | |
|---|--|------------------|----------------------|
| | Quá trình hình thành dòng chảy mặt | Dòng chảy ngầm | Điện toán trong kênh |
| CN2: Chỉ số CN ứng với điều kiện ẩm II | CN2 = 65 | | |
| SOL_AWC: Khả năng trữ nước của đất | SOL_AWC = 0,10 | | |
| SOL_K: Ksat độ dẫn thủy lực ở trường hợp bão hoà | SOL_K1 = 0,01 SOL_K2 = 200 | | |
| OV_N: Hệ số nhám Manning cho dòng chảy mặt | OV_N = 20 | | |
| CH_K(1): Hệ số dẫn thủy lực của kênh dẫn | CH_K(1) = 0,01 | | |
| CH_N(1): Hệ số nhám kênh dẫn (mm/h) | CH_N(1) = 0,7 | | |
| SURLAG: Hệ số trễ dòng chảy mặt | SURLAG = 0,5 | | |
| ESCO: Hệ số bốc hơi của đất | ESCO = 0,5 | | |
| GWQMN: Ngưỡng sinh dòng chảy ngầm | | GWQMN = 5 | |
| ALPHA_BF: Hệ số triết giảm dòng chảy ngầm | | ALPHA_BF = 0,022 | |
| GW_DELAY: Thời gian trữ nước tầng ngầm (ngày) | | GW_DELAY = 10 | |
| CH_N(2): Hệ số nhám của kênh chính | | | CH_N(2) = 0,05 |
| CH_K(2): Hệ số dẫn thủy lực của kênh chính (mm/h) | | | CH_K(2) = 0,02 |

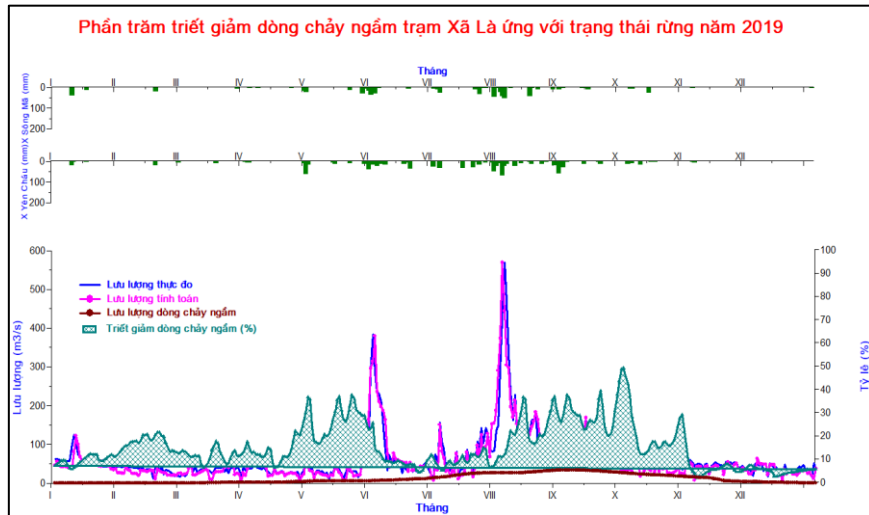
Kết quả đánh giá hiệu quả mô phỏng lưu lượng dòng chảy tại các trạm thủy văn được thể hiện trong bảng 6.

Bảng 6. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.

| Trạm Thủy văn | Hiệu chỉnh | | | | Kiểm định | | | |
|---------------|------------|---------------------------|----------------------|-----------|-----------|---------------------------|----------------------|-----------|
| | Thời gian | Hệ số Nash R ² | Hệ số tương quan (R) | PBIAS (%) | Thời gian | Hệ số Nash R ² | Hệ số tương quan (R) | PBIAS (%) |
| Xã Là | 2014 | 0,89 | 0,94 | 9,3 | 2019 | 0,86 | 0,93 | 9,2 |
| Tạ Bú | 2014 | 0,86 | 0,93 | 9,2 | 2019 | 0,83 | 0,91 | 9,0 |
| Bản Cuồn | 1967 | 0,85 | 0,92 | 9,1 | 1973 | 0,84 | 0,92 | 8,9 |



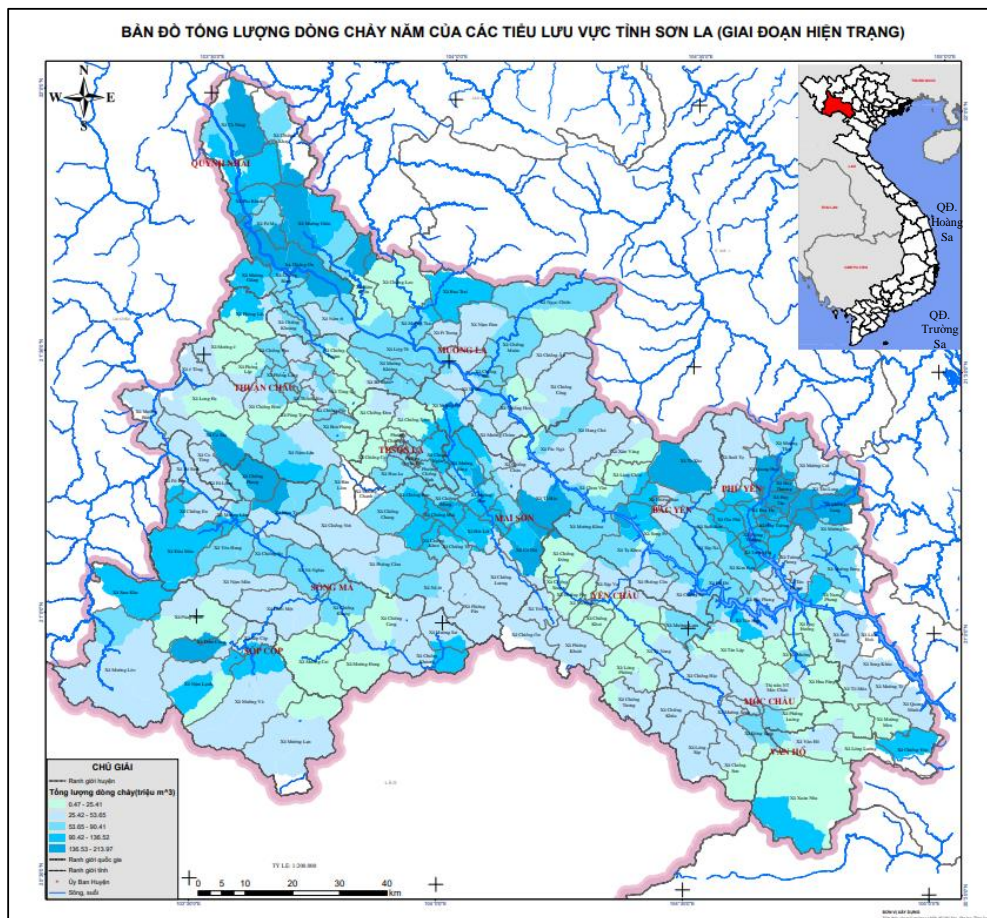
Hình 5. (a) Quá trình lưu lượng tính toán–thực đo tại trạm Xã Là ứng với hiện trạng rừng năm 2014 (hiệu chỉnh mô hình); (b) Quá trình lưu lượng tính toán–thực đo tại trạm Xã Là ứng với hiện trạng rừng năm 2019 (kiểm định mô hình).



Hình 6. Triết giảm dòng chảy ngầm trạm Xã Là năm 2019.

3.3. Đánh giá kết quả phân vùng tài nguyên nước mặt

Dựa vào kết quả tính toán mô đun dòng chảy, các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Sơn La có nguồn tài nguyên nước như trên hình 7.



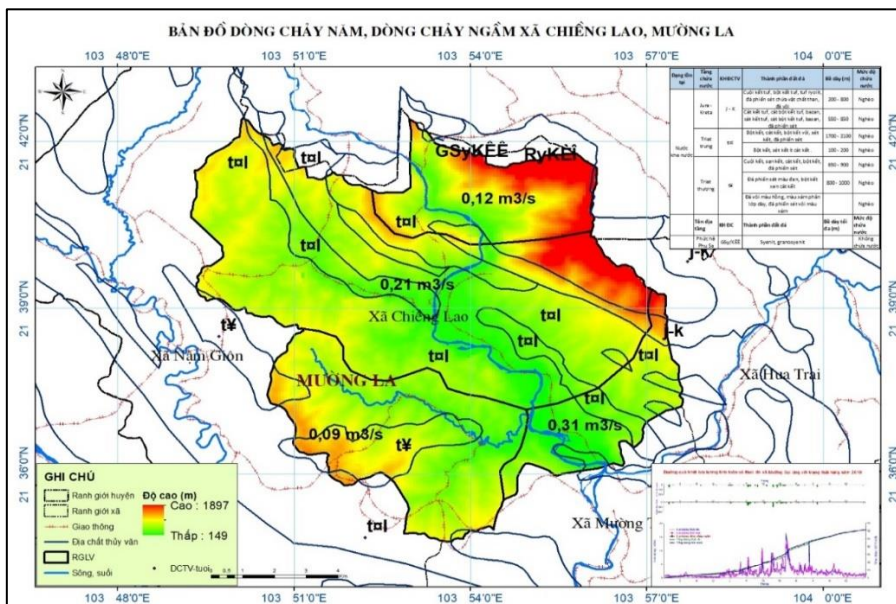
Hình 7. Bản đồ tổng lượng dòng chảy tại các tiểu lưu vực giai đoạn hiện trạng.

Kết quả tính toán mô đun dòng chảy năm vùng nghiên cứu như trên cho thấy trong vùng có sự phân bố dòng chảy theo không gian và thời gian rõ rệt. Các xã đặc biệt khó khăn về nguồn nước... mô đun dòng chảy năm chỉ khoảng $10 \div 15 \text{ l/s/km}^2$. Kết quả thể hiện trong

bảng 7. Kết quả phân tích tại xã Chiềng Lao như sau: Xã Chiềng Lao thuộc huyện Mường La, tỉnh Sơn La nằm ở độ cao 200–1900 m. Lưu lượng dòng chảy mặt trên địa bàn xã lớn nhất là 0,31 m³/s và nhỏ nhất là 0,09 m³/s, tiềm năng khai thác nước mặt là rất thấp. Đối với dòng chảy ngầm, mức độ chứa nước của tầng địa chất là nghèo và không chứa nước, tiềm năng khai thác nguồn nước dưới đất của xã là thấp. Xã Chiềng Đông thuộc huyện Phù Yên, tỉnh Sơn La nằm ở độ cao 400–1800m. Lưu lượng dòng chảy mặt trên địa bàn xã lớn nhất là 2,82 m³/s và nhỏ nhất là 3,84 m³/s. Đối với dòng chảy ngầm, mức độ chứa nước của tầng địa chất là giàu, trung bình (Hình 8). Tiềm năng khai thác nước ngầm ở khu vực này là lớn.

Bảng 7. Lưu lượng dòng chảy tại các xã đặc biệt khó khăn trên địa bàn tỉnh Sơn La.

| Huyện | Xã | Diện tích (km ²) | Lưu lượng dòng chảy mặt trung bình (m ³ /s) | Moduyn dòng chảy mặt trung bình (l/s.km ²) | Q tiềm năng dòng ngầm (m ³ /ngày) |
|------------|--------------|------------------------------|--|--|--|
| Bắc Yên | Hồng Ngài | 56,75 | 2,134 | 37,599 | 12,2588 |
| | Chim vằn | 72,35 | 2,720 | 37,599 | 15,6286 |
| | Hua Nhân | 61,46 | 1,303 | 21,205 | 18,3540 |
| | Làng Chếu | 55,5 | 2,087 | 37,599 | 11,9888 |
| | Chiềng Muôn | 81,77 | 2,671 | 32,670 | 18,4324 |
| Mường La | Chiềng Lao | 128,79 | 4,208 | 32,670 | 29,0316 |
| | Hua Trai | 98,68 | 3,224 | 32,670 | 22,2443 |
| | Nậm Giôn | 120,55 | 5,395 | 44,754 | 54,4287 |
| | Pi Toong | 50,06 | 1,635 | 32,670 | 11,2844 |
| Phù Yên | Tạ Bú | 67,38 | 1,567 | 23,260 | 5,9684 |
| | Huy Tân | 21,15 | 0,719 | 33,993 | 9,3958 |
| Quỳnh Nhai | Mường Sại | 60,45 | 1,654 | 27,357 | 21,0227 |
| sông Mã | Đứa Mòn | 136 | 2,398 | 17,634 | 30,2307 |
| | Nậm Ty | 128,38 | 2,019 | 15,724 | 32,6356 |
| Sốp Cộp | Sam Kha | 134,03 | 2,364 | 17,634 | 29,7928 |
| | Bó Mười | 62,21 | 1,702 | 27,357 | 21,6348 |
| Thuận Châu | Co Tòng | 29,87 | 0,470 | 15,724 | 7,5933 |
| | Chiềng Đông | 71,73 | 1,668 | 23,260 | 6,3538 |
| Yên Châu | Chiềng Tương | 68,75 | 1,458 | 21,205 | 20,5310 |
| | Vân Hồ | Lóng Luông | 63,28 | 1,342 | 21,205 |



Hình 8. Bản đồ dòng chảy mặt, dòng chảy ngầm xã Chiềng Lao, Mường La.

3.4. Đề xuất giải pháp kỹ thuật quản lý, khai thác đảm bảo nguồn nước cấp cho sinh hoạt, nông nghiệp các khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La

Trên cơ sở kết quả đánh giá nguồn nước bằng mô hình SWAT, kết hợp với điều tra thực địa, các giải pháp đề xuất để quản lý, khai thác đảm bảo nguồn nước cấp cho sinh hoạt, nông nghiệp các khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La như sau: Đối với những nơi không có nguồn mạch ngầm và không được cấp nước tự chảy thì áp dụng giải pháp công trình thu trữ nước mưa quy mô tập trung. Đối với khu vực có nguồn nước mặt từ các hang động, khe suối thì tùy vào chênh lệch mực nước trong hang và địa hình bề mặt mà sử dụng bơm hút hoặc bơm đẩy hoặc có thể xây đập chặn dòng hang động. Giải pháp thường dùng là xây tường bê tông cốt sâu vào vách đá và xây tường bằng khoan phụt vữa bê tông. Đối với vùng có nguồn nước mưa lớn, nhưng độ dốc cao có thể xây dựng công trình trữ nước bằng hồ chứa. Một số dạng hồ chứa như hồ treo được đầu tư xây dựng khá phổ biến ở các vùng khan hiếm hoặc khó khăn khi khai thác nguồn nước. Có ba hình thức hồ treo chủ yếu phân theo vật liệu xây dựng là hồ xây bằng đá hoặc gạch đóng bằng bột đá, hồ bằng bê tông và hồ lót vải địa kỹ thuật (HDPE) chống thấm, trong đó các công trình xây dựng gần đây hoặc sẽ được đầu tư xây dựng chủ yếu thuộc 2 loại bê tông hoặc lót vải HDPE. Các hồ treo loại này thường được xây dựng ở trên cao để thu gom nước mưa trên sườn núi, nước từ các khe, sau đó cấp nước tự chảy hoặc dân xung quanh có thể đến sử dụng trực tiếp tại hồ. Ưu điểm của loại hồ này là giá thành rẻ hơn so với các loại hồ khác. Tuy nhiên việc xử lý thấm, đặc biệt là thấm từ đáy hồ là rất khó khăn, các hồ thường bị thất thoát một lượng nước rất lớn. Nước từ bể/ hồ treo được cấp cho dân theo dạng tự chảy (với vùng dưới thấp) hoặc động lực (với vùng trên cao). Đối với khu vực có nguồn nước mạch lộ dạng tự chảy sử dụng công nghệ thu gom, khai thác nguồn nước tự chảy từ các mạch lộ. Có một số công nghệ thu gom như Công nghệ thu gom nước bằng tấm chắn PVC, Công nghệ thu gom nước bằng hào thu, Công nghệ thu gom bằng băng thu nước dạng thấm lọc, Công nghệ thu gom nguồn nước mạch lộ dạng tường chắn, Mô hình công nghệ thu gom nước mạch lộ bằng đập tràn, Mô hình công nghệ thu gom nước mạch lộ dạng bể thu... Có thể áp dụng riêng lẻ từng công nghệ hoặc kết hợp áp dụng một số công nghệ cho từng vị trí.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy với cách tiếp cận sử dụng mô hình SWAT kết hợp với điều tra thực địa, đóng góp ý kiến của các chuyên gia đã mô phỏng được lượng dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm cho các tiểu lưu vực trên địa bàn tỉnh Sơn La. Mô hình SWAT được xây dựng cho 12 lưu vực sông suối và cho 215 tiểu lưu vực. Các chỉ số NSE, RSR và PBIAS cho thấy mô hình SWAT có độ tin cậy tốt trong mô phỏng lưu lượng dòng chảy. Bản đồ phân vùng nguồn nước chi tiết đến cấp xã được xây dựng dựa trên các kết quả mô phỏng. Các giải pháp đưa ra có tính thực tiễn và khả thi cao dựa trên những kết quả nghiên cứu mô phỏng của mô hình. Tuy nhiên, do hạn chế về mặt số liệu để hiệu chỉnh, kiểm định mô hình nên có thể tạo nên sự bất định cao và độ chính xác trong ước lượng, phân vùng dòng chảy, đặc biệt đối với dòng chảy ngầm. Với phương pháp mô hình kết hợp với số liệu điều tra khảo sát thực địa thì kết quả cũng cho độ tin cậy nhất định, nhưng với điều kiện nâng cao độ chính xác khi thực hiện các giải pháp cụ thể cho các vùng thiếu nước cần bổ sung quan trắc lượng mưa, dòng chảy, nguồn nước mạch lộ, để từ đó tính toán thiết kế các giải pháp công trình một cách chính xác, để đảm bảo giải pháp đề xuất là phù hợp, hiệu quả, tránh lãng phí nguồn lực đầu tư.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.D.L., L.T.T.H., C.V.T., Q.T.D., N.Q.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: P.T.H.L.; Xử lý số liệu: N.Q.T., Q.T.D.; L.T.T., Xác định tiêu chí: N.D.L., L.T.T.H., C.V.T., P.T.H.L.; Viết bản thảo bài báo: N.D.L., L.T.T.H., P.T.H.L.; L.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.D.L., L.T.T.H., P.T.H.L., N.Q.T.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp tỉnh theo quyết định số 1948/QĐ-UBND ngày 14 tháng 8 năm 2021. Bên cạnh đó, tập thể tác giả trân trọng cảm ơn sự giúp đỡ của các xã đặc biệt khó khăn trong quá trình khảo sát và thực hiện nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. The OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. 2012. <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49846090.pdf>.
2. Van Liew, M.W.; Garbrecht, J. Hydrologic simulation of the Little Washita River experimental watershed using SWAT. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2003**, *39*(2), 413–426.
3. Govender, M.; Everson, C.S. Modelling streamflow from two small South African experimental catchments using the SWAT model. *Hydrol. Processes* **2005**, *19*(3), 683–692.
4. Gassman, P.W.; Reyes, M.R.; Green, C.H.; Arnold, J.G. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. *Trans. ASABE*. **2007**, *50*(4), 1211–1250.
5. Arnold, J.G.; Potter, K.N.; King, K.W.; Allen, P.M. Estimation of soil cracking and the effect on surface runoff in a Texas Blackland Prairie watershed. *Hydrol. Process.* **2005**, *19*(3), 589–603.
6. Arnold, J.G.; Fohrer, N. SWAT2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hydrol. Process.* **2005**, *19*(3), 563–572.
7. Jha, M.; Gassman, P.W.; Secchi, S.; Gu, R.; Arnold, J. Effect of watershed subdivision on SWAT flow, sediment, and nutrient predictions. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2004**, *40*(3), 811–825.
8. UNESCO-IHE. 4th International SWAT conference: Book of abstracts. Delft, Netherlands: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Institute for Water Education. 2007. Available at: www.brc.tamus.edu/swat/4thswatconf/docs/BOOK%20OF%20ABSTRACTS%20final.pdf. Accessed 5 August 2007.
9. Van Liew, M.W.; Veith, T.L.; Bosch, D.D.; Arnold, J.G. Suitability of SWAT for the Conservation Effects Assessment Project: A comparison on USDA-ARS watersheds. *J. Hydrol. Eng.* **2007**, *12*(2), 173–189.
10. Vazquez-Amabile, G.G.; Engel, B.A. Use of SWAT to compute groundwater table depth and streamflow in the Muscatatuck River watershed. *Trans. ASABE* **2005**, *48*(3), 991–1003.
11. Volk, M.; Allen, P.M.; Arnold, J.G.; Chen, P.Y. Towards a process-oriented HRU-concept in SWAT: Catchment-related control on baseflow and storage of landscape units in medium to large river basins. In Proc. 3rd Intl. SWAT Conf. 2005, pp. 159–168. Srinivasan, R.; Jacobs, J.; Day, D.; Abbaspour, K. Eds. Zurich, Switzerland: Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG). Available at: <https://swat.tamu.edu/docs/swat/conferences/2005/SWAT%20Book%203rd%20Conference.pdf>.

12. Nguyệt, N.T. Cấp nước sinh hoạt vùng cao núi đá Hà Giang: Thực trạng và một số điều cần quan tâm giải quyết. *Tap chí khoa học và công nghệ thủy lợi* 2013, 15, 90–96.
13. Khôi, Đ.N.; Sâm, T.T.; Nhi, P.T.T.; Thịnh, N.V. Nghiên cứu xây dựng khung mô hình tích hợp đánh giá tài nguyên nước mặt dựa trên phương pháp tiếp cận mối liên kết nước–năng lượng–lượng thực. Kỷ yếu Hội nghị: Nghiên cứu cơ bản trong “Khoa học Trái đất và Môi trường”, 2019.
14. Lợi, V.K. Hệ thống hóa quy trình xử lý nước cấp tại nhà máy nước Cầu Đỏ–Đà Nẵng, 2011.
15. Báo cáo chuyên đề đề tài Nghiên cứu xác định nguồn nước và giải pháp cấp nước sinh hoạt và nông nghiệp cho khu vực thiếu nước trên địa bàn tỉnh Sơn La. Đề tài cấp tỉnh (2021–2022).
16. Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. Soil. Water Assessment Tool, Theoretical Documentation: Version 2005. Texas Water Resour. Institute, TR–406, 2005, pp. 494.
17. Arnold, J.G.; Srinivasan, R.; Muttiah, R.S.; Williams, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 1998, 34, 73–89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>.
18. Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resour. Institute, TR–406, 2011, pp. 647.
19. Tín, B.T.; Nhu, N.T.; Đăng, N.M. Đánh giá hiện trạng tài nguyên nước mặt phục vụ cấp nước sinh hoạt tỉnh Ninh Bình. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* 2014, 23, 91–101.

Research on scientific basis to identify water sources and solutions for domestic and agricultural water supply for water shortage areas in Son La province

Nguyen Duc Luc¹, Le Thi Thu Hang¹, Cao Viet Thinh², Nguyen Quang Thai¹, Le Thi Thuy¹, Quang Thi Duyen³, Pham Thi Huong Lan^{4*}

¹ Department of Natural Resources and Environment Son La; nguyenduc1098@gmail.com; hangtnnsl@gmail.com; quangthaislmt@gmail.com; lethuytk67@gmail.com

² Department of Agriculture and Rural Development of Son La province; thinhppmusl@gmail.com

³ People’s Committee of Muong Trai Commune; qthiduyen.nnml@gmail.com

⁴ Thuyloi University; lanpth@wru.vn

Abstract: Identifying water sources and domestic and agricultural water supply solutions for area facing shortage of domestic and agricultural water in highlands and areas facing water scarcity, especially in Son La province, is necessary and aligned with the Government’s policy according to Decision No. 264/QĐ–TTg dated 2/3/2015. The study uses a combination of methods including statistical analysis and synthesis, field survey, mathematical modeling and expert methods to identify water sources for extremely difficult communes in Son La province, thereby proposing models of sustainable exploitation and usage of water sources based on a set of criteria on water sources, exploitation conditions, socio–cultural, environmental, economic, technical and technological, management and exploitation to ensure domestic and agricultural water sources for areas facing water scarcity in Son La province.

Keywords: Water source; Areas facing water scarcity; Son La.