

Phân tích địa không gian đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường và nước ngầm mạch lộ tỉnh Kon Tum, Việt Nam

Nhữ Việt Hà*, Dương Văn Bình, Nguyễn Việt Nghĩa

Trường Đại học Mở - Địa chất

Ngày nhận bài 12/5/2023; ngày chuyển phản biện 15/5/2023, ngày nhận phản biện 2/6/2023, ngày chấp nhận đăng 5/6/2023

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả đánh giá định lượng quan hệ giữa 12 yếu tố môi trường và nước ngầm mạch lộ tỉnh Kon Tum. Phương pháp phân tích không gian GIS theo quy trình 2 bước đã được sử dụng với cơ sở dữ liệu địa không gian xây dựng cho khu vực nghiên cứu. Kết quả cho thấy, mối quan hệ chặt chẽ nhất ở các yếu tố địa hình - địa mạo tại độ dốc < 24,26 độ, hướng sườn phía Bắc, độ cong địa hình -0,24-0,25, ngưỡng cao độ 140-709,2 m. Các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa hệ tầng Tắc Pô, Khâm Đức, Mang Yang và phức hệ Vân Canh. Thực phủ rừng và các chỉ số NDVI 0,35-0,41, NDMI 0.18-0.39, NDWI -0.36- -0.26. Trong khi đó, quan hệ với các yếu tố đứt gãy kiến tạo và sông suối và lượng mưa được ghi nhận chưa rõ ràng. Các thông tin định lượng mối quan hệ không gian xác định trong nghiên cứu này là cơ sở khoa học quan trọng để xây dựng các mô hình dự báo tiềm năng cũng như nguy cơ suy thoái nước ngầm, phục vụ phát triển bền vững khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: địa không gian, GIS, Kon Tum, nước ngầm mạch lộ, Việt Nam.

Chỉ số phân loại: 2.7

Mở đầu

Đảm bảo tính ổn định bền vững tài nguyên nước nói chung và tài nguyên nước ngầm nói riêng là một nhiệm vụ cấp bách trên toàn thế giới, và đang phải đối mặt với những thách thức to lớn từ sự biến đổi khí hậu cũng như từ các hoạt động của con người [1]. Quá trình đô thị hóa và gia tăng dân số nhanh chóng tại các quốc gia và vùng lãnh thổ đã gây ra một áp lực lớn đến tài nguyên nước mặt và góp phần làm ô nhiễm nguồn tài nguyên này. Nước ngầm có những ưu điểm nhất định so với nước mặt về sự phân bố không gian, mức độ sẵn sàng để khai thác, cũng như chịu ít tác động tiêu cực hơn từ các yếu tố môi trường cũng như yếu tố con người [2]. Do đó, đánh giá tiềm năng nước ngầm và nước ngầm mạch lộ là một trong những nhiệm vụ quan trọng trong chiến lược quản lý tài nguyên nước, cũng như tạo điều kiện cho các khu vực tiếp cận nguồn nước ngầm với nỗ lực tối thiểu [3].

Kon Tum là một tỉnh miền núi khu vực Tây Nguyên với sự đa dạng về đặc điểm địa hình, và có vị trí địa chính trị, kinh tế và quốc phòng an ninh vô cùng quan trọng. Quá trình phát triển kinh tế và gia tăng dân số mạnh mẽ, kết hợp với đặc điểm địa hình và ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đã biến khu vực này thành một điểm nóng về quản lý và sử dụng nguồn nước. Diện tích rừng có xu hướng suy giảm do sự chuyển đổi mục đích sử dụng đất, khai thác khoáng sản, phát triển thủy điện, do đó tác động đến chu trình thủy văn, điều kiện lớp phủ thực vật và vì vậy ảnh hưởng đến hệ thống nước ngầm khu vực, trong đó có sự hình thành và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Báo cáo của JICA (2002) [4] đã chỉ ra rằng, nước ngầm mạch lộ là một trong những nguồn cung

cấp nước chính cho cư dân địa phương trong một thời gian dài. Tuy nhiên, quá trình đô thị hóa và bùng nổ dân số dẫn đến nạn phá rừng để khai hoang đất nông nghiệp và đất ở, gây ra suy thoái và ô nhiễm nghiêm trọng các nguồn nước. Do đó, một nhiệm vụ cấp bách được đặt ra song song với sự phát triển kinh tế khu vực tỉnh Kon Tum là đánh giá dự báo và đề xuất các giải pháp quản lý, khai thác bền vững nguồn nước ngầm, đặc biệt là nước ngầm mạch lộ.

Mạch lộ đã đóng một vai trò lịch sử về mặt địa lý trong việc định cư của con người, đặc biệt là trong môi trường khan hiếm nước. Nước ngầm mạch lộ hình thành từ nơi nước ngầm chảy ra từ lòng đất với lưu lượng đủ lớn để tạo thành dòng chảy [5, 6]. Mạch lộ nước ngầm có liên quan đến dòng ngầm xuất lộ trên bề mặt thông qua các khe hở hoặc lỗ rỗng trong các thành tạo đất đá, hoặc sự thấm của nước ngầm qua các đứt gãy hoặc vùng có mức độ nứt nẻ dày đặc [7]. Các nghiên cứu trước đó đã chỉ ra rằng việc xác định sự phân bố các vùng tiềm năng mạch lộ nước ngầm có thể là một vấn đề không gian khá phức tạp, liên quan đến việc phân tích đồng thời nhiều nhóm yếu tố khác nhau. Do đó, định lượng vai trò của các yếu tố môi trường tự nhiên đối với sự hình thành nước ngầm mạch lộ sẽ cung cấp những thông tin quan trọng để xác định đặc trưng phân bố mạch lộ tại khu vực nghiên cứu cũng như nâng cao hiệu quả của các mô hình dự báo.

Do sự phức tạp trong công tác dự báo nước ngầm mạch lộ, các nhóm phương pháp với những ưu điểm riêng đã được phát triển và ứng dụng hiệu quả trong nhiều nghiên cứu khác nhau. Nhóm các phương pháp truyền thống xây dựng cơ sở phân vùng tiềm năng nước ngầm mạch lộ dựa

*Tác giả liên hệ: Email: nhuvietha@hmg.edu.vn

Geo-spatial analysis to quantitatively assess the relationship between environmental factors and spring groundwater in Kontum area, Vietnam

Nhu Viet Ha Nhu*, Duong Van Binh Duong,
Nguyen Viet Nghia Nguyen

Hanoi University of Mining and Geology

Received: 12/5/2023, accepted 5/6/2023

Abstract:

The paper presents the results of a quantitative assessment of the relationship between 12 environmental factors and groundwater in the Kon Tum area. The GIS spatial analysis method was used in a two-step process, utilizing a spatial database specifically built for the research area. The results showed the strongest correlation with topography factors at slopes less than 24.26 degrees, north-facing aspect, curvature between -0.24 and -0.25, and elevation thresholds ranging from 140 to 709.2 meters. The soil lithology includes Tac Po, Kham Duc, Mang Yang formations, and the Van Canh complex. Forest cover and indices of NDVI 0.35-0.41, NDMI 0.18-0.39, and NDWI -0.36- -0.26. Conversely, the relationships with faults, rivers and rainfall remains unclear. The quantified spatial relationships obtained in this study provide important scientific foundations for developing forecasting and risks of groundwater depletion models, contributing to sustainable development in the research area.

Keywords: geo-spatial, GIS, Kon Tum, spring groundwater, Viet Nam.

Classification number: 2.7

trên kết quả quá trình điều tra, khảo sát thực địa. Mặc dù phương pháp này cung cấp các dữ liệu độ chính xác cao, nó yêu cầu rất nhiều thời gian và công sức của các nhà nghiên cứu [8]. Với sự ra đời của công nghệ viễn thám (RS) và Hệ thống thông tin địa lý (GIS), hiệu quả phân vùng tiềm năng nước ngầm đã được cải thiện rõ rệt bởi sự áp dụng các mô hình phân tích hiện đại, có thể dự báo đa kịch bản, xử lý đồng thời một lượng lớn dữ liệu đầu vào. Các mô hình này có thể được phân chia thành hai nhóm chính: Nhóm các mô hình thống kê và nhóm các mô hình dựa trên các thuật toán trí tuệ nhân tạo. Nhóm các mô hình thống kê [9] (thống kê hai biến, thống kê đa biến) thường được sử dụng cho các đánh giá quy mô khu vực. Đối với các dự báo sử dụng các mô hình thống kê, số lượng và chất lượng của dữ liệu là những đặc điểm chính ảnh hưởng đến độ chính xác dự đoán

của các mô hình được áp dụng và quy mô phân tích cũng có thể đóng một vai trò quan trọng. Trong khi đó, nhóm các mô hình sử dụng các thuật toán trí tuệ nhân tạo (ví dụ: Mạng nơron nhân tạo (ANN), Cây hồi quy tăng cường (BRT), mô hình cây hồi quy và phân loại (CART), mô hình tuyến tính tổng quát (GLM), mô hình rừng ngẫu nhiên (RF), mô hình rừng ngẫu nhiên được tối ưu hóa bằng thuật toán di truyền (RFGA)) đang có những tiến bộ vượt bậc giúp cải thiện đáng kể hiệu suất dự báo của các nghiên cứu liên quan đến các tai biến thiên nhiên và các vấn đề địa kỹ thuật, cũng như đánh giá tiềm năng nước ngầm mạch lộ [10].

Việc kết hợp các phương pháp thống kê dữ liệu và phương pháp học máy-trí tuệ nhân tạo sẽ cung cấp hiệu suất làm việc tốt hơn. Do đó, các đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ sẽ thiết lập các cơ sở khoa học cho các mô hình dự báo trữ lượng và đánh giá nguy cơ suy thoái nước ngầm mạch lộ.

Nghiên cứu này trình bày các kết quả đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố môi trường tự nhiên đối với sự phân bố không gian của các mạch lộ nước ngầm tại tỉnh Kon Tum. Sử dụng dữ liệu phân bố mạch lộ nước ngầm và 12 yếu tố môi trường tự nhiên thuộc các nhóm địa chất, địa hình, thực vật, thủy văn, khí tượng, một cơ sở dữ liệu mạch lộ đã được thành lập cho khu vực nghiên cứu. Các dữ liệu thô được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau sau đó được xử lý, chuẩn hóa để phân tích mối quan hệ không gian dựa trên quy trình hai bước trong môi trường GIS. Các kết quả cho phép xác định vai trò và sự đóng góp của từng yếu tố môi trường đối với nước ngầm mạch lộ tại tỉnh Kon Tum, Việt Nam.

Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

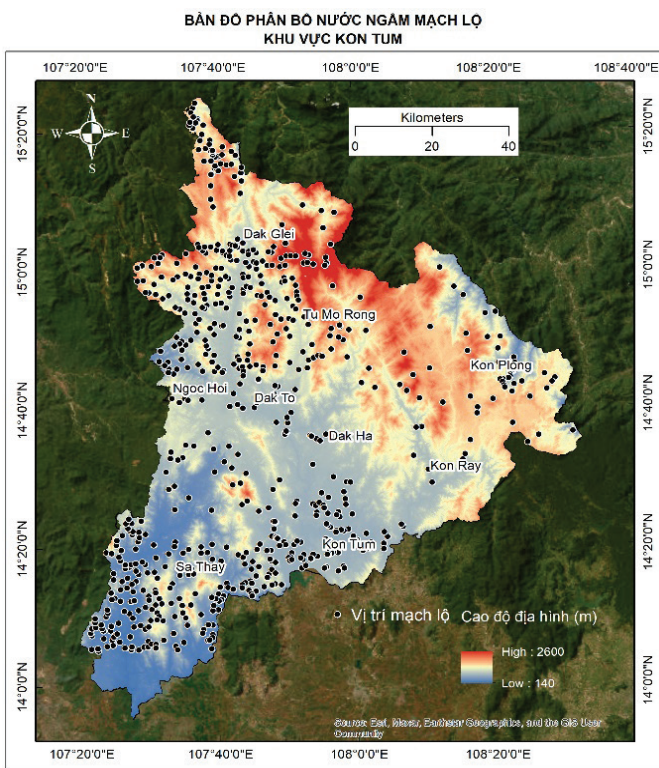
Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Là một tỉnh miền núi nằm ở phía Bắc Tây Nguyên, Kon Tum có diện tích 9690 km², ranh giới từ 13°55'10" đến 15°27'15" vĩ độ Bắc, từ 107°20'15" đến 108°32'30" kinh độ Đông (Hình 1). Địa giới hành chính thuộc địa bàn tỉnh Kon Tum - phía Bắc giáp tỉnh Quảng Nam (chiều dài ranh giới 142 km); phía nam giáp tỉnh Gia Lai (203 km), phía đông giáp Quảng Ngãi (74 km), phía tây giáp hai nước Lào và Campuchia (có chung đường biên giới dài 280,7 km).

Địa hình khu vực nghiên cứu thấp dần từ Bắc xuống Nam và từ Đông sang Tây. Cao độ địa hình biến đổi từ 140 đến 2600m, với các khu vực núi cao phân bố chủ yếu ở phía Bắc, Tây Bắc và một phần phía Đông của tỉnh Kon Tum (Hình 1). Tương tự như các tỉnh miền núi khác ở Tây Nguyên, điều kiện địa hình địa mạo ở Kon Tum được hình thành dựa trên sự phân bố xen kẽ của ba dạng địa hình chính: (i) địa hình đồi núi: là dạng địa hình chiếm ưu thế (40% tổng diện tích) với đỉnh Ngọc Linh cao 2.598 m; (ii) địa hình cao nguyên: đặc trưng bởi cao nguyên Kon Plong; và (iii) địa hình thung lũng: hình thành dọc theo sông Pô

Khô theo hướng Bắc - Nam, khá bằng phẳng, ít bị chia cắt. Nằm trong vùng Tây Nguyên, khu vực nghiên cứu bị chi phối bởi kiểu khí hậu cao nguyên nhiệt đới gió mùa, được đặc trưng bởi độ ẩm và lượng mưa hàng năm lớn, không có bão và sương muối. Khí hậu khu vực nghiên cứu có 2 mùa rõ rệt: mùa mưa bắt đầu từ tháng 5 và kết thúc vào tháng 10 và mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Lượng mưa trung bình năm không đồng đều, biến đổi trong khoảng 1.200-2500 mm và phụ thuộc vào đặc điểm địa hình. Do thuộc vùng khí hậu cao nguyên, tỉnh Kon Tum có nhiệt độ trung bình năm là 22-25°C.

Các vị trí nước ngầm mạch lộ tại tỉnh Kon Tum được xác định theo kết quả khảo sát các nguồn xuất lộ nước dưới đất trong tầng nông tức là tầng nước dưới đất trong vỏ phong hóa bazan. Địa hình khu vực nghiên cứu chi phối sự xuất hiện và lưu lượng của các mạch lộ. Một số lượng lớn các mạch lộ nhỏ (lưu lượng biến đổi từ 0,5 đến 1l/s) được ghi nhận tại những khu vực có mức độ phân cắt mạnh. Trong khi đó, các mạch lộ lớn được ghi nhận tại các khu vực có mức độ phân cắt thấp, tuy nhiên với số lượng ít hơn (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ khu vực nghiên cứu và sự phân bố không gian nước ngầm mạch lộ tỉnh Kon Tum, Việt Nam.

Nhận dạng các yếu tố có ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ

Mối quan hệ giữa sự phân bố không gian của nước ngầm mạch lộ và các yếu tố môi trường (yếu tố địa hình, địa mạo, khí tượng, điều kiện địa chất, lớp phủ thực vật, ...) đã được

chỉ ra trong nhiều nghiên cứu trước đây [11-14]. Tùy thuộc vào sự sẵn có và chất lượng dữ liệu, việc định lượng tốt mối quan hệ này giúp xác định chính xác các yếu tố chi phối, đồng thời là thông tin quan trọng cho các mô hình đánh giá. Với mục đích như trên, 12 yếu tố môi trường có liên quan đã được nhóm nghiên cứu lựa chọn để định lượng vai trò của chúng đối với sự phân bố nước ngầm mạch lộ trong khu vực nghiên cứu, bao gồm: (1) Độ dốc địa hình, (2) Hướng sườn địa hình, (3) Độ cong địa hình, (4) Cao độ địa hình, (5) Lớp thực phủ, (6) Chỉ số thực vật khác biệt chuẩn (NDVI), (7) Chỉ số độ ẩm khác biệt chuẩn (NDMI), (8) Chỉ số thủy văn khác biệt chuẩn (NDWI), (9) Khoảng cách tới đứt gãy, (10) Khoảng cách tới sông, (11) Thành tạo địa chất, và (12) Lượng mưa.

Yếu tố độ dốc địa hình: Độ dốc là một tiêu chí quan trọng thể hiện đặc điểm địa hình của một khu vực. Nó cung cấp thông tin hữu ích về bản chất của các quá trình địa chất và địa động lực khu vực. Quá trình thoát nước, xói mòn, chuyển động và vận chuyển trầm tích trên sườn dốc đều bị chi phối đồng thời bởi độ dốc địa hình. Trong một khu vực nhất định, độ dốc xác định sự thay đổi cao độ địa hình và do đó ảnh hưởng đến dòng chảy. Độ dốc là một trong những yếu tố chi phối sự xâm nhập của nước vào lớp dưới bề mặt; do đó là một chỉ số liên quan đến triển vọng nước ngầm cũng như sự hình thành mạch lộ. Trên các sườn dốc thoải và trung bình, mạng lưới thoát nước thường thưa và số lượng dòng chảy thường ít hơn so với các sườn dốc có độ dốc lớn. Do đó, trên các sườn dốc thoải, dòng nước chuyển động chậm cho phép một lượng nước mưa lớn hơn sẽ được thấm vào đất, tác động tích cực đến sự hình thành các mạch lộ. Trong khi đó, độ dốc địa hình lớn làm tăng lượng nước chảy trên bề mặt và xói mòn, làm giảm thời gian thấm của nước mưa và do đó giảm lượng nước thấm xuống đất. Ngoài ra, độ dốc địa hình cũng liên quan đến mức độ hòa tan các loại vật chất khác nhau vào hệ thống nước ngầm, do đó ảnh hưởng đến chất lượng nước ngầm mạch lộ.

Yếu tố hướng sườn địa hình: Do các hướng sườn địa hình khác nhau nhận được lượng ánh sáng mặt trời khác nhau vào các thời điểm khác nhau trong ngày nên tiềm năng nước ngầm mạch lộ sẽ có sự phụ thuộc nhất định vào yếu tố hướng sườn địa hình. Thời gian được chiếu sáng ở các hướng phơi sườn có thể liên quan đến thời gian thấm của nước mặt, cũng như đặc điểm và mức độ che phủ của thực vật trong một khu vực nhất định, do đó ảnh hưởng đến tiềm năng nước ngầm mạch lộ.

Yếu tố độ cong địa hình: độ cong địa hình hay độ cong của các đường đồng mức, đặc trưng cho hình thái địa hình của một khu vực nhất định. Độ cong địa hình định hình hướng, sự tập trung và tốc độ dòng chảy, do đó ảnh hưởng đến quá trình thấm và sự biến động nước ngầm. Mặt khác, độ cong địa hình có thể thúc đẩy các quá trình địa động lực như trượt lở, xói mòn đất, do đó chi phối sự hình thành cũng như chất lượng của nước ngầm mạch lộ.

Yếu tố cao độ địa hình: Sự xuất hiện của mạch lộ nước ngầm có thể bị ảnh hưởng bởi các tác động trực tiếp và gián tiếp của địa hình bề mặt đối với hướng và tích lũy dòng chảy. Tại các khu vực có cao độ địa hình khác nhau sẽ dẫn đến sự khác biệt về độ dốc, đặc điểm thực vật, thổ nhưỡng, cũng như sự biến đổi của các yếu tố điều kiện khí hậu như lượng mưa, độ ẩm, nhiệt độ. Do đó, cao độ địa hình có thể ảnh hưởng trực tiếp đến tiềm năng nước ngầm bằng việc xác định sự phân bố các khu vực được cung cấp nhiều hoặc ít nước, do đó sẽ dẫn đến chi phối lượng nước bổ cấp cho hệ thống nước ngầm. Ngoài ra, cao độ địa hình có thể ảnh hưởng gián tiếp đến tiềm năng nước ngầm mạch lộ thông qua các nhóm yếu tố nêu trên. Do đó, nó là một yếu tố quan trọng góp phần vào quá trình hình thành nước ngầm mạch lộ ở một khu vực bất kỳ.

Yếu tố thực phủ: Việc sử dụng đất có thể mô tả hiện trạng của các điều kiện sinh thái và phản ánh các hoạt động nhân học có thể tác động đến thực phủ bề mặt, do đó ảnh hưởng đến sự hình thành và biến động của hệ thống nước ngầm, bao gồm cả sự xuất hiện của các mạch lộ. Vì loại che phủ đất ảnh hưởng gián tiếp đến tốc độ tái tạo và khả năng thấm của đất nên nó cũng có thể ảnh hưởng đến tiềm năng mạch lộ nước ngầm. Lớp phủ đất có vai trò to lớn trong việc phát triển nguồn nước ngầm, chi phối nhiều quá trình địa chất thủy văn, như thấm, thoát hơi nước và chảy tràn bề mặt. Lớp thực phủ tạo độ nhám cho bề mặt và làm giảm tốc độ dòng chảy mặt, do đó làm gia tăng lượng nước thấm. Sự xâm nhập của nước mặt ở các khu vực rừng sẽ tăng lên và dòng chảy sẽ giảm đi, trong khi tốc độ xâm nhập của nước mặt ở các khu vực cần cỗi và đô thị sẽ giảm. Việc tăng hoặc giảm một số lớp thực phủ bề mặt, chẳng hạn như vùng nước, thảm thực vật rừng và đất cần cỗi, có thể làm thay đổi lượng nước ngầm và các thành phần thủy văn khác bằng cách ảnh hưởng đến quá trình ngăn chặn và xâm nhập của nước mặt vào trong đất. Do đó, lập bản đồ thực phủ là một trong những thành phần quan trọng trong đánh giá tiềm năng nước ngầm mạch lộ.

Chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI) là một trong những chỉ số tốt nhất để mô tả sự thay đổi của độ che phủ thực vật. Đây là một chỉ số có thể biểu thị sự phát triển của thảm thực vật ở quy mô lớn bằng cách sử dụng dữ liệu của các bước sóng khác nhau được phát hiện bởi các cảm biến vệ tinh. Cơ sở vật lý của nó là bề mặt lá cây có thể hấp thụ mạnh dải ánh sáng đỏ và phản xạ dải cận hồng ngoại. NDVI thường có mối tương quan cao với các yếu tố môi trường khí hậu địa phương, điều kiện địa hình và địa mạo, do đó, nó được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực nghiên cứu khác nhau. Trong các đánh giá tiềm năng mạch lộ nước ngầm, chỉ số thực vật khác biệt chuẩn (NDVI) cũng được xác định là các yếu tố quan trọng vì nó có thể biểu thị trạng thái của thảm thực vật, ảnh hưởng đến quá trình tái tạo nước và cả sự phụ thuộc của thảm thực vật vào nước ngầm. Giá trị NDVI thấp nhất biểu thị lớp phủ không có thực vật, trong khi giá

trị cao nhất biểu thị thảm thực vật khỏe mạnh.

Chỉ số độ ẩm khác biệt chuẩn (NDMI): Sự phát triển thảm thực vật tại một khu vực thường chịu ảnh hưởng của các yếu tố khí tượng. Tại những khu vực ẩm áp và ẩm ướt, thực vật thường phát triển mạnh, làm tăng mức độ che phủ, hạn chế xói mòn đất, tác động trực tiếp đến hình thái dòng chảy mặt và nước ngầm. Do đó, sự thay đổi trong hình thái thời tiết và điều kiện khí hậu đều dẫn đến thay đổi trạng thái độ ẩm. Vấn đề này cũng đóng một vai trò quan trọng trong vòng tuần hoàn tự nhiên của nước, có vai trò quan trọng trong điều kiện môi trường, đặc biệt là trong sự phân phối nước mưa giữa dòng chảy bề mặt và tốc độ thấm. Độ ẩm là yếu tố chính kiểm soát năng suất thực vật, thoát hơi nước, bốc hơi và lượng nước mưa chảy tràn trên bề mặt, do đó dẫn đến những ảnh hưởng nhất định đối với nước ngầm mạch lộ. Mối quan hệ này cho thấy, khi giá trị NDMI càng cao, tức là độ ẩm của đất lớn, tương ứng với sự phát triển mạnh mẽ của thảm thực vật, do đó cung cấp những nguồn bổ trợ cho hệ thống nước ngầm mạch lộ. Trong khi đó tại những khu vực hạn chế lớp phủ thực vật, đất cần cỗi thì chỉ số này thường thấp, do đó tác động tiêu cực đến sự ổn định của nước ngầm. Tuy nhiên, chỉ số NDMI không nên quá cao vì nó có thể cản trở quá trình thấm của nước mưa vào đất, gây ra suy thoái nước ngầm. Do đó, chỉ số NDMI đại diện cho độ ẩm của đất cũng được coi là một yếu tố liên quan chặt chẽ đến sự ổn định nước ngầm mạch lộ.

Chỉ số thủy văn khác biệt chuẩn (NDWI): Chỉ số NDWI được sử dụng trong nghiên cứu này, là một chỉ số được tính toán từ các kênh hồng ngoại gần (NIR) và hồng ngoại sóng ngắn (SWIR) của dữ liệu vệ tinh và được sử dụng làm chỉ số phát hiện độ ẩm của thảm thực vật và đất. Do đó chỉ số NDWI cũng thể hiện mối tương quan với nước ngầm mạch lộ tương tự như chỉ số NDMI và NDVI. Sự gia tăng chỉ số NDWI dẫn đến gia tăng độ ẩm của đất tương ứng với năng lực bổ trợ nước ngầm gia tăng và do đó gia tăng tiềm năng nước ngầm mạch lộ. Giá trị NDWI thấp đặc trưng cho các khu vực có mật độ thực vật phủ thấp, cần cỗi và do đó có những sự thiếu hụt nguồn bổ cấp cho hệ thống nước ngầm. Giá trị NDWI quá cao lại gây ra tác động tiêu cực, dẫn đến sự suy giảm trữ lượng nước ngầm cũng như tiềm năng nước ngầm mạch lộ.

Yếu tố khoảng cách tới đứt gãy: Việc lập bản đồ phân bố đứt gãy trên bề mặt luôn là một khía cạnh quan trọng của các nghiên cứu địa chất cấu trúc, cũng như trong các phân tích mối quan hệ không gian với các đối tượng khác. Nghiên cứu đứt gãy tại một khu vực nhất định giúp xác định một cách rõ ràng về mối liên hệ giữa các hệ thống khe nứt và sự xâm nhập của nước mặt, kiểm soát sự di chuyển và xâm nhập của nước. Sự tồn tại của nước ngầm bị chi phối và kiểm soát bởi sự xuất hiện của các đứt gãy, khe nứt và mức độ phong hóa. Các khu vực đứt gãy lớn cung cấp các mục tiêu tốt hơn cho việc bổ sung nước ngầm so với các khe nứt do sự gia tăng của chiều rộng và chiều dài và hoạt động như

các ống dẫn và liên kết tốt hơn với các đứt gãy khác. Do đó, khoảng cách từ các đứt gãy là một yếu tố quan trọng khác để nghiên cứu các mạch nước ngầm. Sự ảnh hưởng của yếu tố này và mạch lộ nước ngầm được xác định thông qua quan hệ tỷ lệ nghịch giữa khoảng cách đến các đứt gãy và khả năng xâm nhập của nước vào đất, do đó liên quan đến sự biến đổi trữ lượng nước ngầm. Ngoài ra, các loại đứt gãy khác nhau có thể kiểm soát sự di chuyển của các mạch lộ nước ngầm trên cấu trúc địa chất của một khu vực nhất định.

Yếu tố khoảng cách tới sông: Sông là một trong những nguồn tự nhiên chính có thể bổ cập cho hệ thống nước ngầm, đặc biệt là ở các khu vực bán khô hạn và khô hạn. Tiềm năng nước ngầm nói chung cũng như nước ngầm mạch lộ tỷ lệ thuận với khoảng cách đến hệ thống sông suối. Khi một khu vực càng gần sông, thì khả năng xuất hiện mạch lộ ở đó càng cao và ngược lại. Quan hệ thủy lực, nếu có giữa mạch lộ và hệ thống sông suối có thể dẫn tới sự ảnh hưởng cả về trữ lượng và chất lượng của nước ngầm mạch lộ.

Yếu tố thành tạo địa chất: Các đặc điểm địa chất chịu trách nhiệm kiểm soát tính thấm và độ xốp của vật liệu chứa nước và do đó được gọi là các chỉ số về đặc điểm thủy văn, trong đó địa chất đóng một vai trò quan trọng trong sự xuất hiện của nước ngầm ở bất kỳ khu vực nào. Địa chất của một khu vực là một tiêu chí quan trọng vì nó có thể làm tăng hoặc giảm mức độ thấm của nước chảy vào đá chứa nước. Các tính năng thấm tạo điều kiện cho nước xâm nhập, thông qua các dòng chảy dưới bề mặt. Trong khi đó, đá không thấm nước thúc đẩy dòng chảy bề mặt. Trữ lượng và chất lượng của nước ngầm mạch lộ liên quan đến tính chất thấm và do đó biến đổi tương ứng với các loại đá khác nhau. Các đá trầm tích sinh hóa và lục nguyên như đá vôi, cát kết đặc trưng bởi tính thấm cao do đó tác động tích cực đến sự hình thành mạch lộ. Các sản phẩm phong hóa từ đá gốc nhìn chung có tính thấm cao, có thể tạo điều kiện bổ cập cho nước ngầm. Tuy nhiên phụ thuộc vào loại đá gốc mà các sản phẩm phong hóa có thể thúc đẩy quá trình suy thoái nước ngầm.

Yếu tố lượng mưa: Lượng nước thấm liên quan đến sự bổ cập trữ lượng cho một tầng chứa nước chịu ảnh hưởng bởi lượng mưa trung bình hàng năm, một yếu tố đặc trưng cho kiểu khí hậu tại một khu vực nhất định. Ở hầu hết các khu vực, hệ thống tầng chứa nước thường được bổ cập chủ yếu nhờ lượng mưa. Lượng nước mưa rơi xuống, một phần bị bốc hơi trở lại khí quyển và hình thành dòng chảy bề mặt, phần còn lại có thể bổ cập lại cho hệ thống tầng chứa nước sau khi thấm vào bề mặt đất. Các nguồn cung cấp nước cho hệ thống tầng chứa nước, ngoài sự bổ sung từ lượng mưa, là sự bổ sung nhân tạo (ví dụ, tưới tiêu hoặc các lưu vực cho phép nước bề mặt thấm nhanh vào đất bổ cập cho tầng nước ngầm) và dòng ngầm gần bề mặt từ bên ngoài khu vực. Lượng mưa thích hợp sẽ tác động tích cực đến sự hình thành mạch lộ nước ngầm. Tuy nhiên, mưa với cường độ lớn có thể làm xói mòn bề mặt, lũ lụt làm gia tăng mức độ ô nhiễm

nước ngầm, dẫn đến giảm chất lượng nước ngầm mạch lộ.

Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

Dữ liệu sử dụng:

Các bộ dữ liệu phục vụ quá trình phân tích trong nghiên cứu này được hình thành dựa trên các kết quả điều tra, khảo sát, phân tích và tổng hợp tài liệu trong khuôn khổ đề tài cấp bộ mã số B2021-MDA-12. Bản đồ kiểm kê các vị trí nước ngầm mạch lộ và các thuộc tính liên quan được xây dựng dựa trên các kết quả quan trọng của các nghiên cứu trước đó, đặc biệt là các đề tài nghiên cứu cấp Quốc gia về nước dưới đất khu vực Tây Nguyên và địa bàn khu vực Kon Tum [11, 15-19], và sau đó được cập nhật và bổ sung bởi quá trình khảo sát thực địa. Bộ dữ liệu các yếu tố môi trường liên quan được xây dựng dựa trên việc thu thập, xử lý và phân tích các tài liệu địa hình, địa chất, địa chất thủy văn, ảnh vệ tinh [11, 15-19], và từ các nguồn dữ liệu mở khác nhau. Tổng cộng 733 vị trí mạch lộ đã được điều tra và thu thập. Các bản đồ yếu tố NDVI, NDMI, NDWI được xây dựng dựa trên phân tích ảnh vệ tinh Landsat8 OLI của USGS [20]. Ảnh vệ tinh ALOS DEM 30m từ Trung tâm nghiên cứu quan sát trái đất JAXA [21] và bản đồ địa hình 1:50.000 [22] từ Bộ tài nguyên và môi trường được sử dụng để thiết lập các bản đồ độ dốc địa hình, hướng sườn địa hình, độ cong địa hình, và cao độ địa hình. Bản đồ thực phủ được xây dựng dựa trên dữ liệu sử dụng đất và độ che phủ đất (LULC) độ phân giải cao từ JAXA [23]. Bản đồ yếu tố thành tạo địa chất được xây dựng dựa trên bản đồ Địa chất và khoáng sản 1:200.000 [24] từ Bộ tài nguyên và môi trường. Dữ liệu lượng mưa giai đoạn 1981-2021 từ Dự án POWER, cơ quan hàng không và vũ trụ Quốc gia (NASA) Hoa Kỳ [25] và các trạm khí tượng trong khu vực nghiên cứu được sử dụng để thành lập bản đồ lượng mưa cho khu vực nghiên cứu. Bảng 1 khái quát thông tin các nguồn và loại dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này.

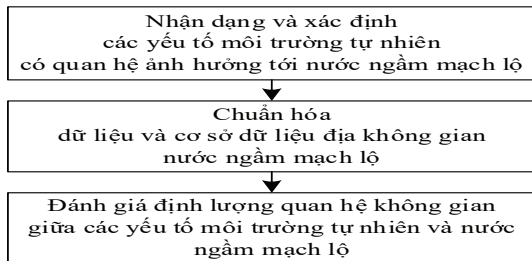
Bảng 1. Bảng dữ liệu và bản đồ điều tra và thu thập

Dữ liệu/Bản đồ	Nguồn	Thuộc tính
Nước ngầm mạch lộ	Đề tài, điều tra	Điểm
Ảnh vệ tinh Landsat8 OLI	USGS	15 m
Ảnh vệ tinh ALOS DEM	JAXA	30 m
Bản đồ thực phủ phân giải cao	JAXA	20 m
Bản đồ địa hình	Bộ TNMT	1:50.000
Bản đồ địa chất và khoáng sản	Bộ TNMT	1:200.000
Lượng mưa	NASA	1981-2021

Phương pháp nghiên cứu:

Các phân tích không gian dựa trên GIS đã chứng minh được hiệu quả trong các nghiên cứu nước ngầm mạch lộ [26-30], và do đó được đề xuất sử dụng trong nghiên cứu này để định lượng ảnh hưởng của các yếu tố môi trường đối với nước ngầm mạch lộ ở khu vực Kon Tum. Hệ phương pháp phân tích không gian GIS bao gồm 02 bước: (1) Chuẩn

hóa dữ liệu và cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ, và (2) Đánh giá định lượng quan hệ không gian giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ. Sơ đồ trình tự các bước phân tích mối quan hệ không gian dựa trên GIS được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Hệ quy trình và phương pháp phân tích.

Các phân tích dựa trên quy trình hai bước trình bày ở trên đã được thực hiện với sự hỗ trợ của các chương trình ArcMap và ArcCatalog của bộ phần mềm ESRI ArcGIS desktop 10.8.2. Quá trình phân tích xử lý đồng thời hai dạng dữ liệu của các đối tượng được đề cập, bao gồm dữ liệu không gian và phi không gian. Dữ liệu không gian được định dạng bởi ba loại chính: điểm, đường, và vùng. Chúng được sử dụng để thể hiện các thông tin như sự phân bố không gian của các mạch lộ, cũng như thông tin của các yếu tố môi trường. Dữ liệu không gian có thể được lưu trữ dưới dạng dữ liệu raster hoặc dữ liệu vector trong ArcGIS và có thể chuyển đổi qua lại. Trong khi đó, đặc tính, số lượng, mối quan hệ của thuộc tính các đối tượng mạch lộ, địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng với vị trí địa lý của chúng được coi là dữ liệu phi không gian. Dữ liệu phi không gian gồm các đối tượng dạng text, các thông số thuộc tính của các đối tượng không gian.

Cơ sở dữ liệu phục vụ đánh giá mối quan hệ không gian được xây dựng dựa trên các dữ liệu thô được điều tra và thu thập từ nhiều nguồn khác nhau, sau đó được xử lý và chuẩn hóa theo cùng một khuôn dạng và hệ tọa độ địa lý. Nghiên cứu được thực hiện trên các bản đồ được chuẩn hóa theo hệ tọa độ VN2000, kinh tuyến trực 105 múi 60; mức độ chi tiết tương đương tỷ lệ 1/50.000-1/200.000 tùy theo đối tượng và tính khả dụng của dữ liệu. Công tác chuẩn hóa về nội dung dữ liệu được thực hiện theo quy định về các lớp dữ liệu thuộc tính, dữ liệu thông tin của Bộ Tài nguyên và môi trường. Các lớp dữ liệu được chuẩn hóa về khuôn dạng dưới định dạng file *.Shp (shapefile) được sử dụng trong phần mềm ESRI ArcGIS. Chuẩn dữ liệu thuộc tính là các thông tin chi tiết cho đối tượng hoặc các số liệu thống kê cho đối tượng. Các thuộc tính của dữ liệu vector và raster bao gồm các thông tin được thể hiện trong các bảng, trong đó các cột hay trường thể hiện loại thuộc tính, còn các hàng thể hiện giá trị thuộc tính tương ứng của dữ liệu.

Hai mô hình dữ liệu chuẩn hóa vector và raster đã được sử dụng trong nghiên cứu này để xây dựng bản đồ mạch lộ cũng như các bản đồ yếu tố môi trường tự nhiên. Các mô hình này cung cấp các thông tin về vị trí, hình dạng, các thuộc tính bề mặt, cũng như các thuộc tính phân loại, ... của các đối tượng khác nhau, do đó chúng cung cấp một cái nhìn trực quan về quan hệ không gian của các đối tượng được nghiên cứu. Mô hình dữ liệu dạng raster sử dụng một ma trận ô lưới (cell) hoặc pixel với kích thước xác định để mô tả một đối tượng bất kỳ. Định dạng raster có thể được sử dụng để mô tả các đối tượng rời rạc (ví dụ: dữ liệu sử dụng đất), hoặc các đối tượng liên tục (ví dụ; cao độ địa hình). Mức độ chi tiết hay độ phân giải của dữ liệu raster được thể hiện phụ thuộc vào kích thước ô cell. Do đó, kích thước ô cell cần được lựa chọn phù hợp để có thể mô tả tốt đối tượng, đồng thời cân bằng với thời gian xử lý, cũng như không gian lưu trữ. Các ô cell chứa đựng các giá trị thuộc tính dữ liệu có thể được thể hiện bằng các định dạng số nguyên, số thực, ký tự hay tổ hợp của chúng.

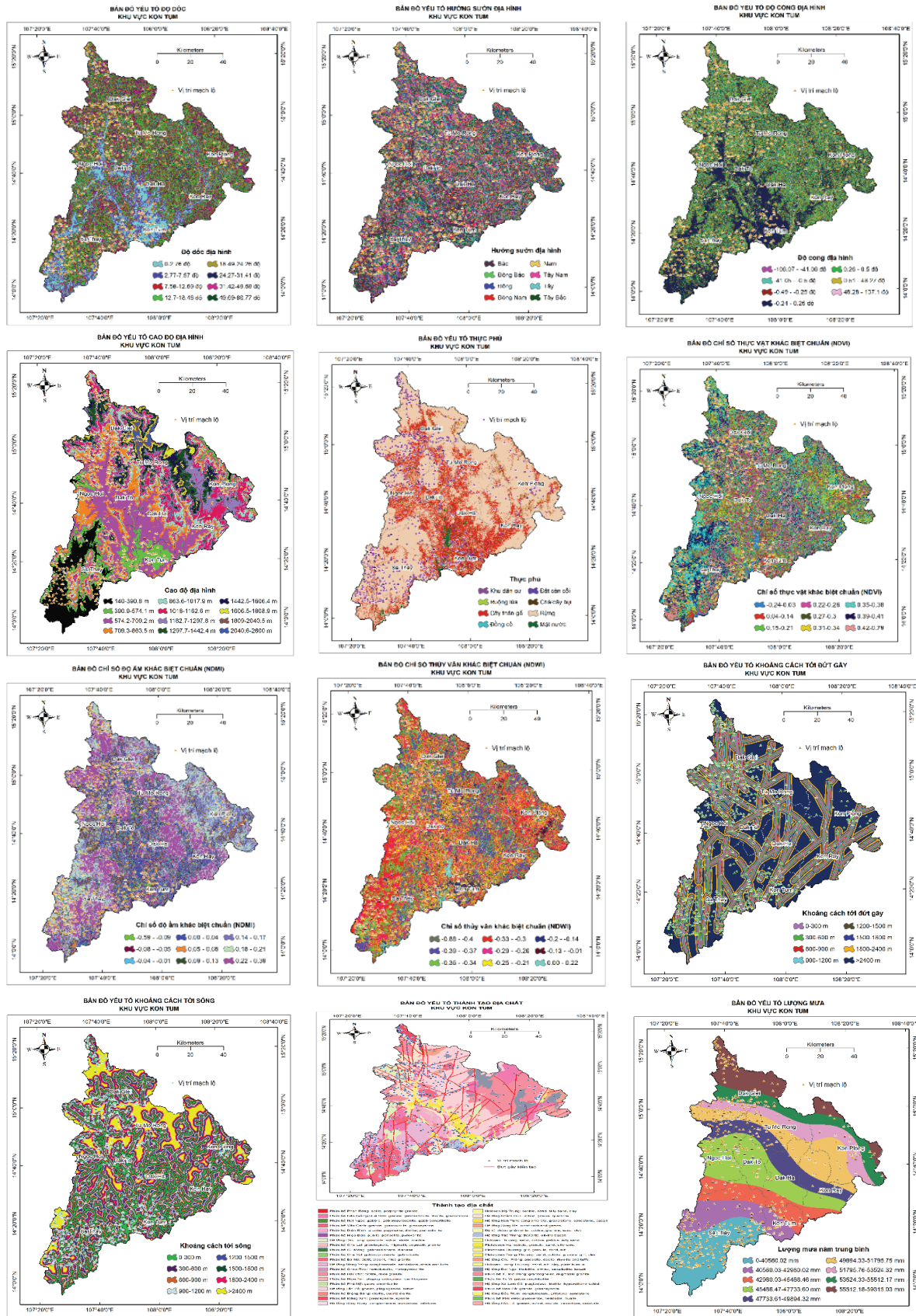
Các dữ liệu yếu tố môi trường và dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ sau khi được thành lập và chuẩn hóa được sử dụng để định lượng mối quan hệ không gian trong môi trường GIS. Hệ cơ sở dữ liệu địa không gian cho phép tận dụng các công cụ trích xuất dữ liệu không gian đa tầng (Extract Multi Values to Points) ở trình các công cụ phân tích không gian (Spatial Analyst Tools) trong phần mềm ESRI ArcGIS desktop 10.8.2. Cuối cùng, chương trình Microsoft Excel được sử dụng để xác định các mối quan hệ thống kê giữa các sự phân bố không gian của các mạch lộ nước ngầm lộ và các nhóm yếu tố môi trường tự nhiên liên quan được lựa chọn.

Phân tích kết quả và thảo luận

Chuẩn hóa dữ liệu và cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ

Dữ liệu mạch lộ nước ngầm khu vực Kon Tum, sau khi được thu thập và tổng hợp từ nhiều nguồn khác nhau, đã được xử lý, chuẩn hóa để đưa vào phân tích. Tổng cộng 733 mạch lộ nước ngầm với thuộc tính lưu lượng 0,01 đến 10,89 l/s và độ khoáng hoá 0,01 đến 0,99 g/l đã được xây dựng dưới dạng bản đồ vector các điểm trên hệ tọa độ VN2000, kinh tuyến trực 105 múi 60 (Hình 1).

Đối với dữ liệu các yếu tố môi trường tự nhiên, quy trình xử lý và chuẩn hóa cũng được thực hiện tương tự như đối với dữ liệu mạch lộ nước ngầm để xây dựng các bản đồ yếu tố. Các bản đồ raster (hệ tọa độ VN2000, kinh tuyến trực 105 múi 60) đã được xây dựng cho tất cả các yếu tố sử dụng trong nghiên cứu này. Chi tiết 12 bản đồ yếu tố môi trường được thể hiện trong Hình 3.



Hình 3. Bản đồ độ dốc, hướng sườn, độ cao, thực phủ, NDVI, NDMI, NDWI, khoảng cách tới đứt gãy, khoảng cách tới sông, thành tạo địa chất, và lượng mưa khu vực Kon Tum, Việt Nam.

Độ dốc địa hình biến đổi trong một dải rộng và được phân chia thành 8 ngưỡng thành phần: 0-2,76 độ, 2,77-7,57 độ, 7,58-12,69 độ, 12,7-18,48 độ, 18,49-24,26 độ, 24,27-31,41 độ, 31,42-49,68 độ, 49,69-86,77 độ. Mối quan hệ giữa độ dốc địa hình và sự phân bố mạch lộ được thể hiện trong Bảng 2. Tám hướng sườn địa hình trong khu vực nghiên cứu đã được xác định, bao gồm: Bắc, Đông Bắc, Đông, Đông Nam, Nam, Tây Nam, Tây, Tây Bắc (Bảng 3). Các giá trị biên xác định 07 ngưỡng phân loại của yếu tố độ cong địa hình như sau: -106,07 - -41,06, -41,05 - -0,5, -0,49 - -0,25, -0,24 - 0,25, 0,26 - 0,5, 0,51 - 48,27, 48,28 - 137,1 (Bảng 4). Cao độ địa hình khu vực nghiên cứu được phân loại thành 12 ngưỡng: 140-390,8 m, 390,9-574,1 m, 574,2-709,2 m, 709,3-863,5 m, 863,6-1017,9 m, 1018-1162,6 m, 1162,7-1297,6 m, 1297,7-1442,4 m, 1442,5-1606,4 m, 1606,5-1808,9 m, 1809-2040,5 m, 2040,6-2600 m (Bảng 5). Việc phân loại các yếu tố này thành các ngưỡng khác nhau được thực hiện sử dụng phương pháp phân loại Natural Breaks trong ESRI ArcGIS. Trong khi đó, bản đồ thực phủ được phân chia thành các lớp tuân theo loại: Khu dân cư, Ruộng lúa, Cây thân gỗ, Đồng cỏ, Đất cằn cỗi, Chà/cây bụi, Rừng, và Mặt nước (Bảng 6). Dựa trên phân loại Natural Breaks, các dữ liệu liên tục NDVI, NDMI và NDWI được phân chia thành 09 ngưỡng thành phần. Các chỉ số NDVI, NDMI, và NDWI được phân loại thành 09 ngưỡng thành phần, lần lượt, NDVI: -0,24-0,03, 0,04-0,14, 0,15-0,21, 0,22-0,26, 0,27-0,3, 0,31-0,34, 0,35-0,38, 0,39-0,41, 0,42-0,79 (Bảng 7). NDMI: -0,59 - -0,09, -0,08 - -0,05, -0,04 - -0,01, 0 - 0,04, 0,05 - 0,08, 0,09 - 0,13, 0,14 - 0,17, 0,18 - 0,21, 0,22 - 0,39 (Bảng 8). NDWI: -0,88 - -0,4, -0,39 - -0,37, -0,36 - -0,34, -0,33 - -0,3, -0,29 - -0,26, -0,25 - -0,21, -0,2 - -0,14, -0,13 - -0,01, 0 - 0,22 (Bảng 9). Các bản đồ yếu tố khoảng cách tới đứt gãy và tới sông sử dụng phân loại “Manual” trong ArcGIS để xác định các giá trị biên cho 08 ngưỡng thành phần: 0-300 m, 300-600 m, 600-900 m, 900-1200 m, 1200-1500 m, 1500-1800 m, 1800-2400 m, và >2400 m (Bảng 10 và Bảng 11). Bản đồ địa chất, được phân loại dựa trên sự có mặt của tất cả các thành tạo địa chất có mặt tại khu vực nghiên cứu, bao gồm 20 hệ tầng (Đệ tứ không phân chia, Chư Prông, Đắc Rium, Đại Nga, Đăk Lô, Đăk Long, Khâm Đức, Kon Tum, Mang Yang, Sông Bung, Sông Re, Tắc Pò, Túc Trung, Xa Lam Cô, Holocen Hạ-Trung, Holocen Thượng, Holocen Trung-Thượng, Pleistocen Hạ, Pleistocen Thượng, Pleistocen Trung-Thượng) và 20 phức hệ (Bà Nà, Bến Giằng-Quế Sơn, Cha Val, Cheo Reo, Chu Lai, Cù Mông, Đèo Cả, Diên Bình, Điện Biên, Hải Vân, Hiệp Đức, Măng Xim, Nậm Nin, Núi Ngọc, Phan Rang, Phù Mỹ, Plei Weik, Tà Vi, Tu Mơ Rông, Vân Canh) (Bảng 12). Tương tự như các yếu tố liên tục ở trên, bản đồ yếu tố lượng mưa cũng sử dụng phân loại Natural Breaks để xác định 09 ngưỡng thành

phần: 0-40560,02 mm, 40560,03-42980,02 mm, 42980,03-45486,46 mm, 45486,47-47733,60 mm, 47733,61-49894,32 mm, 49894,33-51795,75 mm, 51795,76-53524,32 mm, 53524,33-55512,17 mm, 55512,18-59315,03 mm (Bảng 13).



Hình 4. Mô hình cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ khu vực Kon Tum, Việt Nam.

Hình 4 trình bày mô hình xây dựng cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ khu vực Kon Tum, trong đó thể hiện các nguồn thu thập dữ liệu thô, quy trình xử lý và chuẩn hóa dữ liệu trong ArcGIS để phục vụ đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố môi trường tự nhiên đến nước ngầm mạch lộ.

Đánh giá định lượng quan hệ không gian giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ

Kết quả phân tích thống kê mối quan hệ với độ dốc địa hình tại tỉnh Kon Tum (Bảng 2) đã chỉ ra rằng, 90,83% tổng số mạch lộ phân bố ở những diện tích có độ dốc nhỏ hơn 24,26 độ (chiếm 77,8% diện tích khu vực nghiên cứu). Mức độ ảnh hưởng lớn nhất đối với sự hình thành nước ngầm mạch lộ được ghi nhận ở diện tích có độ dốc 0-2,76 độ (26% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,01-10,89 l/s, chiếm 17,52% diện tích), tiếp sau đó là các diện tích có độ dốc 12,7-18,48 độ (20,79% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,04-2,50 l/s, chiếm 18,56% diện tích). Diện tích có độ dốc 0-2,76 độ mặc dù chiếm diện tích nhỏ hơn nhưng lại ghi nhận số lượng lớn hơn mạch lộ so với diện tích có độ dốc 12,7-18,48 độ. Điều này cho thấy rằng các khu vực địa hình thoải có tiềm năng hình thành mạch lộ nước ngầm lớn hơn. Sự ảnh hưởng/tác động nhỏ nhất là các diện tích có độ dốc 49,69-86,77 độ (0,68% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,04-4,43 l/s). Các diện tích có độ dốc 2,77-7,57 độ, 7,58-12,69 độ, và 18,49-24,26 độ ghi nhận sự ảnh hưởng/tác động nước ngầm mạch lộ ở mức trung bình và tương đối tương đồng nhau, tương ứng 16,69% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,04-4,43 l/s, 16,42% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,01-7,80 l/s và 10,94% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,01-2,00 l/s.

Bảng 2. Quan hệ mạch lộ và độ dốc địa hình

Độ dốc địa hình	D.tích, %	Mạch lộ, %
0-2,76 độ	17,52%	25,99%
2,77-7,57 độ	11,11%	16,69%
7,58-12,69 độ	13,55%	16,42%
12,7-18,48 độ	18,56%	20,79%
18,49-24,26 độ	17,06%	10,94%
24,27-31,41 độ	14,52%	5,75%
31,42-49,68 độ	7,16%	2,74%
49,69-86,77 độ	0,52%	0,68%

Sự phân bố mạch lộ nước ngầm ở các hướng sườn địa hình là tương đối đồng đều. Tuy nhiên, hướng sườn phía Bắc chiếm diện tích lớn nhất so với các hướng sườn còn lại (chiếm 19,62%), đã ghi nhận sự hiện diện số lượng các mạch lộ lớn nhất (24,35% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,01-10,89 l/s). Sự phân bố các mạch lộ ở các hướng sườn phía Đông và phía Nam là nhỏ nhất, tương ứng số lượng mạch lộ chiếm 8-9% với lưu lượng 0.01-10.89 l/s. Năm hướng sườn còn lại (Đông Nam, Tây Nam, Tây Bắc, Tây, và Đông Bắc) ghi nhận sự hiện diện số lượng các mạch lộ trung bình, và tương đối đồng đều (11-13% tổng số lượng với lưu lượng 0.02-7.80 l/s) (Bảng 3).

Bảng 3. Quan hệ mạch lộ và hướng sườn địa hình.

Hướng sườn địa hình	D.tích, %	Mạch lộ, %
Bắc	19,62%	24,35%
Đông Bắc	10,70%	10,94%
Đông	12,06%	7,52%
Đông Nam	12,16%	13,00%
Nam	10,57%	9,03%
Tây Nam	12,14%	12,45%
Tây	11,94%	11,22%
Tây Bắc	10,81%	11,49%

Phân tích sự chi phối của độ cong địa hình đối với sự hình thành mạch lộ cho thấy, 76,75% tổng số mạch lộ phân bố ở các diện tích có độ cong địa hình -0,24 - 0,25 và -41,05 - -0,5 (chiếm 61,70% diện tích khu vực). Độ cong -0,24 - 0,25 chiếm ưu thế về số lượng mạch lộ được ghi nhận, tuy nhiên độ cong -41,05 - -0,5 lại cho thấy tác động tích cực khi đánh giá tương quan giữa số lượng mạch lộ và diện tích phân bố. Các diện tích còn lại ghi nhận dưới 10% tổng số mạch lộ trong khu vực nghiên cứu. Hai diện tích có độ cong -106,07 - -41,06 và 48,28 - 137,1 không ghi nhận sự xuất hiện các mạch lộ nước ngầm (Bảng 4).

Bảng 4. Quan hệ mạch lộ và độ cong địa hình

Độ cong địa hình	D.tích, %	Mạch lộ, %
-106,07 - -41,06	0,01%	-
-41,05 - -0,5	20,38%	34,34%
-0,49 - -0,25	8,46%	10,53%
-0,24 - 0,25	41,32%	42,41%
0,26 - 0,5	8,96%	3,69%
0,51 - 48,27	20,87%	9,03%
48,28 - 137,1	0,01%	-

Trong mối quan hệ với cao độ địa hình, các diện tích có cao độ thấp nhất (140-709,2m), mặc dù chỉ chiếm 40% diện tích tỉnh Kon Tum nhưng lại ghi nhận một tỷ trọng lớn mạch lộ nước ngầm (55,96% tổng số mạch lộ), thể hiện sự ảnh hưởng/tác động chặt chẽ. Trong đó, số lượng mạch lộ lớn nhất (23% tổng số lượng, lưu lượng 0.01-7,80 l/s) phân bố trong diện tích có cao độ 574,2-709,2m. Các diện tích có cao độ 140-390,8m và 390,9-574,1m, mặc dù chiếm diện tích nhỏ hơn 10% nhưng lại ghi nhận từ 14 đến 18% số lượng mạch lộ. Điều này cũng phù hợp với những kết quả phân tích mối quan hệ với độ dốc địa hình. Ở các diện tích có cao độ địa hình lớn nhất, sự hiện diện của các mạch lộ nước ngầm cũng là ít nhất. Ở ngưỡng cao độ địa hình 1162,7-2600 m chỉ có số lượng mạch lộ chiếm 2,05% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0.02-4.43 l/s (Bảng 5).

Bảng 5. Quan hệ mạch lộ và cao độ địa hình.

Cao độ địa hình	D.tích %	Mạch lộ %
140-390,8 m	9,81%	14,64%
390,9-574,1 m	9,62%	18,06%
574,2-709,2 m	20,50%	23,26%
709,3-863,5 m	13,09%	11,49%
863,6-1017,9 m	10,77%	8,62%
1018-1162,6 m	11,06%	9,71%
1162,7-1297,6 m	10,17%	5,75%
1297,7-1442,4 m	7,07%	4,92%
1442,5-1606,4 m	4,11%	1,50%
1606,5-1808,9 m	2,06%	0,41%
1809-2040,5 m	1,04%	0,96%
2040,6-2600 m	0,71%	0,68%

Sự ảnh hưởng/tác động giữa các yếu tố thực phủ với nước ngầm mạch lộ tại tỉnh Kon Tum được ghi nhận sự ảnh hưởng/tác động chặt chẽ nhất với các diện tích Rừng (62,79% tổng số lượng, lưu lượng 0,01-6,42 l/s, chiếm 70,63% diện tích khu vực), tiếp đó là diện tích Cây thân gỗ (32,56% tổng số lượng, lưu lượng 0,02-10,89 l/s, chiếm 24,20% diện tích khu vực). Các diện tích còn lại như ruộng

lúa, khu dân cư, cây bụi, và đặc biệt là diện tích đất cần cỗi có sự ảnh hưởng/tác động với nước ngầm mạch lộ được ghi nhận rất thấp, chỉ 1-2% (Bảng 6). Các kết quả này cho thấy lớp phủ thực vật chi phối quá trình thấm và do đó tác động đến quá trình hình thành mạch lộ.

Bảng 6. Quan hệ mạch lộ và thực phủ.

Thực phủ	D.tích, %	Mạch lộ, %
Khu dân cư	0,69%	0,55%
Ruộng lúa	1,40%	0,96%
Cây thân gỗ	24,20%	32,56%
Đồng cỏ	0,17%	0,27%
Đất cần cỗi	0,41%	0,41%
Chà/cây bụi	1,60%	2,46%
Rừng	70,63%	62,79%
Mặt nước	0,89%	-

Mối quan hệ của chỉ số NDVI với tiềm năng mạch lộ được ghi nhận chặt chẽ nhất tại các diện tích có NDVI 0,35-0,38 (23,67% tổng số lượng, lưu lượng 0,01-10,89 l/s, chiếm 22,33% diện tích) và 0,39-0,41 (20,66% tổng số lượng, lưu lượng 0,02-4,53 l/s, chiếm 18,77% diện tích) (Bảng 7), Đồng thời một mối quan hệ tuyến tính cũng được xác định giữa chỉ số NDMI và sự phân bố mạch lộ tại tỉnh Kon Tum. Do đó, các diện tích có chỉ số NDMI cao nhất ghi nhận mối quan hệ chặt chẽ nhất (0,22-0,39 và 0,18-0,21) ứng với 22,71% mạch lộ (lưu lượng 0,05-3,00 l/s) và 21,61% mạch lộ (lưu lượng 0,01-6,42 l/s) (Bảng 8). Sự phân bố mạch lộ theo NDWI có dạng hình chuông với sự ảnh hưởng mạnh mẽ nhất tập trung ở các diện tích có giá trị NDWI (-0,33- -0,3, -0,36- -0,34 và -0,29- -0,26) ứng với 28% (lưu lượng 0,01-10,89 l/s), 21% (lưu lượng 0,02-6,42 l/s) và 20% (lưu lượng 0,01-3,69 l/s). Các diện tích này chiếm đến 64% diện tích khu vực nghiên cứu (Bảng 9).

Bảng 7. Quan hệ mạch lộ và NDVI.

NDVI	D.tích, %	Mạch lộ, %
-0,24-0,03	1,12%	-
0,04-0,14	2,41%	1,78%
0,15-0,21	6,18%	5,20%
0,22-0,26	10,56%	12,59%
0,27-0,3	13,68%	13,68%
0,31-0,34	15,86%	14,77%
0,35-0,38	22,33%	23,67%
0,39-0,41	18,77%	20,66%
0,42-0,79	9,09%	7,66%

Bảng 8. Quan hệ mạch lộ và NDMI.

NDMI	D.tích, %	Mạch lộ, %
-0,59 - -0,09	1,72%	1,78%
-0,08 - -0,05	4,38%	4,10%
-0,04 - -0,01	5,95%	5,75%
0 - 0,04	8,10%	9,44%
0,05 - 0,08	8,81%	10,26%
0,09 - 0,13	9,65%	10,12%
0,14 - 0,17	14,94%	14,23%
0,18 - 0,21	23,72%	21,61%
0,22 - 0,39	22,73%	22,71%

Bảng 9. Quan hệ mạch lộ và NDWI.

NDWI	D.tích, %	Mạch lộ, %
-0,88 - -0,4	1,85%	0,82%
-0,39 - -0,37	8,63%	7,11%
-0,36 - -0,34	18,87%	21,20%
-0,33 - -0,3	25,57%	28,04%
-0,29 - -0,26	19,58%	19,84%
-0,25 - -0,21	15,98%	16,55%
-0,2 - -0,14	6,70%	5,06%
-0,13 - -0,01	1,67%	1,37%
0 - 0,22	1,16%	-

Các đứt gãy kiến tạo trong khu vực nghiên cứu chưa thể hiện sự chi phối rõ ràng đối với sự phân bố của các mạch lộ nước ngầm. Các diện tích cách > 2400m từ các đứt gãy (chiếm 35,27% diện tích nghiên cứu) chiếm ưu thế về sự phân bố mạch lộ so với tất cả các diện tích còn lại (30,19% với lưu lượng 0,01-7,80 l/s). Sự phân bố mạch lộ ở các diện tích còn lại như sau: 0-300 m (11,73% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,09-1,78 l/s), 300-600 m (10,92% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,13-0,50 l/s), 600-900 m (8,76% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,13-0,50 l/s), 900-1200 m (10,38%, lưu lượng 0,10-2,50 l/s), 1200-1500 m (8,49% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,14-5,00 l/s), 1500-1800 m (6,87% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,05-10,89 l/s), và 1800-2400m ghi nhận 12,67% tổng số mạch lộ khu vực nghiên cứu (Bảng 10).

Bảng 10. Quan hệ mạch lộ và khoảng cách tới đứt gãy.

Khoảng cách tới đứt gãy	D.tích, %	Mạch lộ, %
0-300 m	10,46%	11,73%
300-600 m	9,96%	10,92%
600-900 m	9,41%	8,76%
900-1200 m	8,70%	10,38%
1200-1500 m	7,76%	8,49%
1500-1800 m	6,84%	6,87%
1800-2400 m	11,60%	12,67%
>2400 m	35,27%	30,19%

Tương tự như yếu tố khoảng cách đến đứt gãy kiến tạo, các dòng chảy mặt trong nghiên cứu này cũng thể hiện sự tác động không rõ ràng đến sự hình thành của các mạch lộ nước ngầm tại khu vực nghiên cứu. 35% tổng số mạch lộ phân bố ở những diện tích nằm ở khoảng cách >2400m từ sông, mặc dù diện tích này chỉ chiếm 11,91% diện tích nghiên cứu. Các khu vực 0-300m, 300-600m, và 600-900m có ảnh hưởng ở mức độ trung bình đến các mạch lộ, lần lượt ghi nhận 12,55, 14,59, và 12,04% tổng số mạch lộ tại tỉnh Kon Tum. Các diện tích còn lại chỉ ghi nhận <8% số lượng các mạch lộ (Bảng 11).

Bảng 11. Quan hệ mạch lộ và khoảng cách tới sông.

Khoảng cách tới sông	D.tích, %	Mạch lộ, %
0-300 m	21,28%	12,55%
300-600 m	17,08%	14,59%
600-900 m	13,87%	12,04%
900-1200 m	11,09%	8,27%
1200-1500 m	8,69%	6,33%
1500-1800 m	6,75%	5,00%
1800-2400 m	9,31%	6,22%
>2400 m	11,91%	35,00%

Trong các yếu tố về thành tạo địa chất, các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa hệ tầng Tắc Pô, Khâm Đức, Mang Yang và phức hệ Vân Canh chiếm 48% diện tích khu vực nghiên cứu, có ảnh hưởng/tác động lớn nhất (> 50%) đến nước ngầm mạch lộ tại tỉnh Kon Tum (Bảng 12). Trong đó hệ tầng Tắc Pô phân bố trên diện tích lớn nhất (22,77% diện tích nghiên cứu) được ghi nhận có sự hiện diện của 15,6% tổng số mạch lộ nước ngầm với lưu lượng 0,01-5,00 l/s trên đá phiến thạch anh-mica gneis biotit, đá phiến thạch anh-mica silimanit, đá phiến thạch anh-biotit có amphibolit, thấu kính amphibolit, gneis biotit-graphit xen quartzit plagioclas-mica, dày 1500-1600m. Hệ tầng Khâm Đức, tuy chỉ chiếm 8,52% diện tích, nhưng có sự phân bố của 14,91% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,1-10,89 l/s trên đá góc amphibolit phân lớp dày xen plagiognisamphibol và ít đá phiến kết tinh, chuyển lên là đá phiến thạch anh-mica, lớp mỏng đá hoa, calciphyr; dày khoảng 1300m. Hệ tầng Mang Yang có 9,44% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,1-2,2 l/s trên: cuội tầng kết tuf, cuội sạn kết tuf, cát kết tuf xen các tập mỏng ryodacit, đá phiến sét (dày 100-150m); cát kết arkos xen kẽ các lớp felsit, dung nham ryolit (dày 300-400m); ryolit porphur, felsit porphur, và tuf dung nham xen bột kết, đá phiến sét, cát kết đa khoáng).

Bên cạnh đó, tồn tại các nhóm thành tạo địa chất được ghi nhận sự ảnh hưởng/tác động ở mức độ thấp hơn, tương ứng 5-8% tổng số mạch lộ. Lớn nhất trong số này là các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa hệ tầng Mang Yang (9,44% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,03-2,16 l/s, chiếm 8,08% diện tích khu vực), phức hệ Hải Vân (7,39% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,01-4,43 l/s, chiếm 13,49% diện tích khu vực). Tiếp đến là hệ tầng Đăk Long (6,16% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,10-0,25 l/s). Các hệ thành tạo địa chất ghi nhận hiện diện 5% tổng số mạch

lộ khu vực Kon Tum như hệ tầng Túc Trung, Kon Tum và phức hệ Diên Bình, Bến Giăng – Quế Sơn với lưu lượng biến đổi từ 0,01-7,8 l/s, chiếm 17% diện tích khu vực (Bảng 12).

Các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa được ghi nhận sự ảnh hưởng/tác động ở mức độ thấp (<5% tổng số lượng mạch lộ) với nước ngầm mạch lộ khu vực Kon Tum bao gồm: Đệ Tứ (4%), phức hệ Bà Nà (3%), phức hệ Đèo Cả (2%), hệ tầng Đại Nga, Đăk Rium, Kan Nack, Sông Re, và phức hệ Chu Lai, Chu Prông, Hiệp Đức, Núi Ngọc, Plei Weik, Tu Mơ Rông (1-2%). Trong số này, nước ngầm mạch lộ có lưu lượng lớn nhất (0,05-2,5 l/s) hiện diện trên các thành tạo Đệ Tứ, tiếp đến là phức hệ Tu Mơ Rông (0,06-1,78 l/s), phức hệ Núi Ngọc (1,41 l/s), hệ tầng Sông Bung (0,1-1,2 l/s), phức hệ Plei Weik (0,20-1,13 l/s), phức hệ Đèo Cả (0,14-1,04 l/s) (Bảng 12).

Bảng 12. Quan hệ mạch lộ và thành tạo địa chất.

Thành tạo địa chất	D.tích, %	Mạch lộ, %
Phức hệ Phan Rang	0,04%	-
Phức hệ Bến Giăng-Quế Sơn	8,33%	5,06%
Phức hệ Núi Ngọc	0,25%	0,27%
Phức hệ Vân Canh	8,79%	12,72%
Phức hệ Diên Bình	4,25%	4,51%
Phức hệ Hiệp Đức	0,10%	-
Hệ tầng Đăk Long	5,49%	6,16%
Phức hệ Chu Lai	0,44%	0,14%
Phức hệ Cù Mông	0,02%	-
Phức hệ Cha Val	0,03%	-
Phức hệ Bà Nà	1,31%	2,74%
Hệ tầng Mang Yang	8,08%	9,44%
Phức hệ Cheo Reo	0,02%	-
Phức hệ Hải Vân	13,49%	7,39%
Phức hệ Nậm Nìn	0,12%	-
Phức hệ Phù Mỹ	0,03%	-
Hệ tầng Tắc Pô	22,77%	15,60%
Phức hệ Diệng Bông	0,14%	0,14%
Phức hệ Măng Xim	0,02%	-
Hệ tầng Sông Bung	0,09%	0,55%
Holocen Hạ-Trung	1,11%	0,96%
Hệ tầng Khâm Đức	8,52%	14,91%
Hệ tầng Kon Tum	3,05%	5,06%
Hệ tầng Sông Re	1,59%	0,96%
Đệ tứ không phân chia	0,02%	-
Hệ tầng Túc Trung	1,46%	4,79%
Holocen Thượng	1,54%	1,23%
Pleistocen Hạ	0,17%	0,14%
Pleistocen Thượng	0,40%	0,82%
Pleistocen Trung-Thượng	0,27%	0,55%
Hệ tầng Chư Prông	0,10%	0,14%
Holocen Trung-Thượng	0,01%	-

Hệ tầng Đại Nga	5,01%	1,37%
Phức hệ Tu Mơ Rông	0,38%	0,82%
Phức hệ Tà Vi	0,05%	0,14%
Hệ tầng Xa Lam Cỏ	0,85%	0,41%
Phức hệ Đèo Cả	0,87%	2,33%
Hệ tầng Đắc Rium	0,20%	0,14%
Phức hệ Plei Weik	0,10%	0,41%
Hệ tầng Đăk Lô	0,49%	0,14%

Lượng mưa, mặc dù được coi là có những ảnh hưởng nhất định đối với trữ lượng nước ngầm cùng như sự hình thành của mạch lộ, tuy nhiên trong nghiên cứu này, lại không thể hiện được mối quan hệ chặt chẽ với sự phân bố không gian của các mạch lộ trong khu vực nghiên cứu. Điều này có thể liên quan đến sự phân bố quá thưa các trạm khí tượng trong một khu vực rộng lớn, và ảnh hưởng từ sự phức tạp của điều kiện địa hình. Mặc dù số liệu lượng mưa được đưa vào xem xét là lượng mưa trung bình nhiều năm (1981-2021) của các trạm khí tượng tại tỉnh Kon Tum và lân cận (khu vực Tây Nguyên) nhưng giới hạn thuật toán nội suy chưa xét đến sự phân cắt địa hình và lưu vực dẫn đến độ sai số. Kết quả phân tích cho thấy, 26% tổng số lượng mạch lộ nước ngầm (lưu lượng 0,01-0,81 l/s) phân bố ở các diện tích có lượng mưa trung bình nhiều năm 0-40560,02 mm (chiếm 14,35% diện tích nghiên cứu), tiếp đến là khoảng 36% tổng số lượng mạch lộ nước ngầm (lưu lượng 0,01-0,99 l/s) phân bố ở 03 diện tích (chiếm khoảng 40% diện tích nghiên cứu) có lượng mưa trung bình nhiều năm 45486,47-47733,60 mm, 40560,03-42980,02 mm, và 49894,33-51795,75 mm. Các diện tích có lượng mưa trung bình nhiều năm còn lại, có số lượng các mạch lộ phân bố ít hơn, trung bình 6-8% tổng số lượng (Bảng 13).

Bảng 13. Quan hệ mạch lộ và lượng mưa.

Lượng mưa	D.tích, %	Mạch lộ, %
0-40560,02 mm	14,35%	26,13%
40560,03-42980,02 mm	9,34%	12,04%
42980,03-45486,46 mm	9,68%	8,21%
45486,47-47733,60 mm	16,49%	12,86%
47733,61-49894,32 mm	9,99%	6,84%
49894,33-51795,75 mm	13,71%	11,08%
51795,76-53524,32 mm	9,05%	8,89%
53524,33-55512,17 mm	8,08%	5,75%
55512,18-59315,03 mm	9,30%	8,21%

Kết luận

Nghiên cứu này trình bày các kết quả phân tích mối quan hệ không gian giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và sự phân bố 733 mạch lộ tại tỉnh Kon Tum, Tây Nguyên, một trong những điểm nóng về vấn đề sử dụng bền vững nguồn nước tại Việt Nam. Công tác chuẩn bị dữ liệu thô được tiến hành bằng quá trình điều tra thực địa, phân tích và tổng hợp các tài liệu trong khuôn khổ đề tài cấp bộ mã số B2021-MDA-12.

Sau đó, một cơ sở dữ liệu mạch lộ nước ngầm, bao gồm sự phân bố không gian của mạch lộ trong khu vực nghiên cứu và 12 yếu tố môi trường tự nhiên (độ dốc, hướng sườn địa hình, độ cong địa hình, cao độ địa hình, thực phủ, NDVI, NDMI, NDWI, khoảng cách tới đứt gãy, khoảng cách tới sông, thành tạo địa chất, và lượng mưa) đã được xây dựng sử dụng quy trình phân tích không gian 2 bước trong môi trường GIS. Việc xây dựng thành công cơ sở dữ liệu địa không gian cho phép nhóm nghiên cứu thực hiện các phân tích định lượng ảnh hưởng của các nhóm yếu tố đến sự hình thành của các mạch lộ nước ngầm, cùng như sẽ được sử dụng cho các mô hình đánh giá trữ lượng và nguy cơ suy thoái nước ngầm mạch lộ khu vực nghiên cứu.

Kết quả nghiên cứu đã định lượng những tác động tích cực của các yếu tố môi trường tự nhiên đối với sự hình thành nước ngầm mạch lộ trong khu vực nghiên cứu. Các phân tích đã chỉ ra rằng, 90,83% tổng số mạch lộ phân bố ở những diện tích có độ dốc nhỏ hơn 24,26 độ (chiếm 77,8% diện tích khu vực nghiên cứu); hướng sườn phía Bắc (chiếm 19,62%), đã ghi nhận sự hiện diện số lượng các mạch lộ lớn nhất (24,35% tổng số mạch lộ, lưu lượng 0,01-10,89 l/s); 76,75% tổng số mạch lộ phân bố ở các khu vực có độ cong địa hình -0,24 - 0,25 và -41,05 - -0,5 (chiếm 61,70% diện tích khu vực); các diện tích có cao độ thấp nhất (140-709,2m), mặc dù chỉ chiếm 40% diện tích tỉnh Kon Tum nhưng lại ghi nhận một tỷ trọng lớn mạch lộ nước ngầm (55,96% tổng số mạch lộ); diện tích Rừng chỉ phối sự phân bố mạch lộ nước ngầm (62,79% tổng số lượng, lưu lượng 0,01-6,42 l/s, chiếm 70,63% diện tích khu vực); các diện tích có NDVI 0,35-0,38 (23,67% tổng số lượng, lưu lượng 0,01-10,89 l/s, chiếm 22,33% diện tích) và 0,39-0,41 (20,66% tổng số lượng, lưu lượng 0,02-4,53 l/s, chiếm 18,77% diện tích) ghi nhận mối quan hệ chặt chẽ nhất; một mối quan hệ tuyến tính cũng được xác định giữa chỉ số NDMI và sự phân bố mạch lộ trong khu vực nghiên cứu; ảnh hưởng mạnh mẽ nhất tập trung ở các khu vực có giá trị NDWI (-0,33- -0,3, -0,36- -0,34 và -0,29- -0,26); các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa hệ tầng Tắc Pô, Khâm Đức, Mang Yang và phức hệ Vân Canh chiếm 48% diện tích khu vực nghiên cứu, có ảnh hưởng/tác động lớn nhất (> 50%) đến nước ngầm mạch lộ khu vực nghiên cứu. Tuy nhiên, một mối quan hệ “yếu” giữa các yếu tố đứt gãy kiến tạo, hệ thống sông, lượng mưa trung bình năm và nước ngầm mạch lộ đã được xác định cho khu vực nghiên cứu. Điều này có thể được giải thích bởi các giới hạn về dữ liệu thu thập, thuật toán nội suy, cũng như những ảnh hưởng từ tính phức tạp của điều kiện địa hình, địa chất, dẫn đến quá trình xử lý có thể không đưa ra những kết quả chưa thể hiện đúng điều kiện môi trường khu vực nghiên cứu.

Dù có một số kết quả chưa thực sự phù hợp với quy luật chung, cơ sở dữ liệu nước ngầm mạch lộ các kết quả thu được trong nghiên cứu này cho phép định lượng vai trò của từng yếu tố môi trường tự nhiên đối với sự hình thành mạch lộ nước ngầm, là nguồn dữ liệu đầu vào chất lượng cao của các

mô hình đánh giá, dự báo trữ lượng cũng như nguy cơ suy thoái nước ngầm tại tỉnh Kon Tum, đặc biệt là các mô hình dựa trên các thuật toán máy học - trí tuệ nhân tạo. Kết quả nghiên cứu này cũng như của đề tài góp phần quan trọng trong xây dựng chiến lược quản lý, khai thác bền vững nguồn nước ngầm mạch lộ cho khu vực nghiên cứu cũng như cho các khu vực khác tại Việt Nam.

Lời cảm ơn

Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của đề tài cấp bộ mã số: B2021-MDA-12.

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] Scanlon, B.R., et al., *Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future*. Nature Reviews Earth & Environment, 2023. **4**(2): p. 87-101.
- [2] Naghibi, S.A. and H.R. Pourghasemi, *A Comparative Assessment Between Three Machine Learning Models and Their Performance Comparison by Bivariate and Multivariate Statistical Methods in Groundwater Potential Mapping*. Water Resources Management, 2015. **29**(14): p. 5217-5236.
- [3] Khosravi, K., M. Panahi, and D. Tien Bui, *Spatial prediction of groundwater spring potential mapping based on an adaptive neuro-fuzzy inference system and metaheuristic optimization*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 2018. **22**(9): p. 4771-4792.
- [4] Japan International Cooperation Agency (JICA), Ministry of Agriculture and Rural development, and Ministry of Planning and Investment, *The study on groundwater development in the rural provinces of the central highlands: Kon Tum Province*. 2002.
- [5] Manga, M., *Using Springs to Study Groundwater Flow and Active Geologic Processes*. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2001. **29**: p. 201-228.
- [6] Church, T.M., *An underground route for the water cycle*. Nature, 1996. **380**(6575): p. 579-580.
- [7] Chen, W., et al., *Groundwater spring potential mapping using population-based evolutionary algorithms and data mining methods*. Science of The Total Environment, 2019. **684**: p. 31-49.
- [8] Al-Ruzouq, R., A. Shanableh, and T. Merabtene, *Geomatics for Mapping of Groundwater Potential Zones in Northern Part of the United Arab Emirates - Sharjah City*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., 2015. **XL-7/W3**: p. 581-586.
- [9] Hou, E., J. Wang, and W. Chen, *A comparative study on groundwater spring potential analysis based on statistical index, index of entropy and certainty factors models*. Geocarto International, 2018. **33**(7): p. 754-769.
- [10] Chen, W., et al., *Groundwater Spring Potential Mapping Using Artificial Intelligence Approach Based on Kernel Logistic Regression, Random Forest, and Alternating Decision Tree Models*. Applied Sciences, 2020. **10**(2).
- [11] Dân, N.L., *Nghiên cứu cơ sở khoa học cho giải pháp tổng thể giải quyết các mâu thuẫn lợi ích trong việc khai thác sử dụng tài nguyên nước lãnh thổ Tây Nguyên*, mã số TN3/T02 thuộc Chương trình Tây Nguyên 3. 2015.
- [12] Vinh, P.T., *Nghiên cứu đề xuất các mô hình thu gom khai thác bền vững nguồn nước mạch lộ phục vụ cấp nước sạch cho các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Tây Nguyên*. Mã số ĐTDL.CN-64/15. 2018, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- [13] Yousefi, S., et al., *Groundwater spring potential assessment using new ensemble data mining techniques*. Measurement, 2020. **157**.
- [14] Kordestani, M.D., et al., *Groundwater potential mapping using a novel data-mining ensemble model*. Hydrogeology Journal, 2019. **27**(1): p. 211-224.
- [15] Cảnh, Đ.V., et al., *Nghiên cứu xây dựng cơ sở khoa học và đề xuất các giải pháp bảo vệ và sử dụng hợp lý tài nguyên nước vùng Tây Nguyên*. Mã số KC08.05. 2008.
- [16] Cảnh, Đ.V., et al., *Nghiên cứu cơ sở khoa học và xây dựng các giải pháp lưu giữ nước mưa vào lòng đất phục vụ chống hạn và bảo vệ tài nguyên nước dưới đất vùng Tây Nguyên*. Mã Số: ĐTDL.2007G/44. 2010.
- [17] Dương, H.H., et al., *Nghiên cứu đề xuất các mô hình, giải pháp công nghệ khai thác và bảo vệ nguồn nước trong các thành tạo Bazant phục vụ cấp nước sinh hoạt bền vững tại các vùng núi cao, khan hiếm nước khu vực Tây Nguyên*. 2018.
- [18] Vinh, P.T., *Nghiên cứu đề xuất các mô hình thu gom khai thác bền vững nguồn nước mạch lộ phục vụ cấp nước sạch cho các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Tây Nguyên*. Đề tài nghiên cứu ứng dụng và phát triển công nghệ cấp Quốc Gia - Mã số: ĐTDL.CN-64/15. 2018, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- [19] Thủ tướng Chính phủ, *Quyết định số 264/QĐ-Ttg về việc Phê duyệt Chương trình điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất để cung cấp nước sinh hoạt ở các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước*. 2015.
- [20] Survey, U.S.G., *Earth Resources Observation and Science (EROS) Center*, accessed March 18, 2020 at URL <https://www.usgs.gov/centers/eros>. 2020.
- [21] JAXA, *Advanced Land Observing Satellite*, accessed March 18, 2020 at URL https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm. 2020.
- [22] MONRE, *Bản đồ địa hình, tỷ lệ 1:50.000*. 2018, Bộ Tài nguyên và Môi trường (MONRE).
- [23] JAXA, *Advanced Land Observing Satellite*, accessed March 18, 2020 at URL https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/lulc/lulc_vnm_v2104_e.htm. 2020.
- [24] MONRE, *Địa chất và khoáng sản, tỷ lệ 1:200.000*. 2010, Bộ Tài nguyên và Môi trường (MONRE).
- [25] NASA, *Nasa Power*, accessed March 18, 2020 at URL <https://power.larc.nasa.gov/docs/referencing/#:~:text=When%20referencing%20POWER%20data%20products,version%20number%2C%20and%20date%20accessed.&text=The%20data%20was%20obtained%20from%20the%20POWER%20Project%20Hourly%20,0n%20YYYY%2FMM%2FDD>. 2020.
- [26] Moghaddam, D.D., et al., *Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan Watershed, Iran*. Arabian Journal of Geosciences, 2015. **2**(8): p. 913-929.
- [27] Mousavi, S.M., et al., *GIS-based groundwater spring potential mapping using data mining boosted regression tree and probabilistic frequency ratio models in Iran*. Aims Geosci, 2017. **3**(1): p. 91-115.
- [28] Naghibi, S.A. and M.M. Dashtpajardi, *Evaluation of four supervised learning methods for groundwater spring potential mapping in Khalkhal region (Iran) using GIS-based features*. Hydrogeology journal, 2017. **25**(1): p. 169.
- [29] Nhu, V.-H., et al., *Mapping of Groundwater Spring Potential in Karst Aquifer System Using Novel Ensemble Bivariate and Multivariate Models. A tree-based intelligence ensemble approach for spatial prediction of potential groundwater*, 2020. **12**(4): p. 1-25.
- [30] Pourtaghi, Z.S. and H.R. Pourghasemi, *GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran*. Hydrogeol J, 2014. **22**(3): p. 643-662.