

Bài báo khoa học

# Phân tích địa không gian đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai, Việt Nam

Nhữ Việt Hà<sup>1\*</sup>, Trần Vũ Long<sup>1</sup>, Phạm Minh Tuấn<sup>1</sup>, Nguyễn Việt Nghĩa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trường đại học Mở - Địa chất; [nhuvietha@humg.edu.vn](mailto:nhuvietha@humg.edu.vn); [tranvulong@humg.edu.vn](mailto:tranvulong@humg.edu.vn); [xinghiepkhaosat@gmail.com](mailto:xinghiepkhaosat@gmail.com); [nguyenvietnghia@humg.edu.vn](mailto:nguyenvietnghia@humg.edu.vn).

\*Tác giả liên hệ: [nhuvietha@humg.edu.vn](mailto:nhuvietha@humg.edu.vn); Tel.: +84-903462689

Ban Biên tập nhận bài: 5/4/2022; Ngày phản biện xong: 19/5/2023; Ngày đăng bài: 25/5/2023

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày kết quả phân tích địa không gian đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai. Hệ phương pháp phân tích không gian GIS bao gồm 03 bước đã được sử dụng, cho phép tạo lập cơ sở dữ liệu địa không gian về nước ngầm mạch lộ và 12 yếu tố có quan hệ ảnh hưởng. Theo đó, mức độ quan hệ chặt chẽ được đánh giá ở các khu vực độ dốc địa hình nhỏ hơn 12,8 độ, hướng sườn bằng phẳng, độ cong địa hình -0,004-0,005, ngưỡng cao độ 666-802,6 m, các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa hệ tầng Túc Trung, thực phủ cây thân gỗ, và các chỉ số NDVI 0,45-0,54, NDMI -03-0,04, NDWI 0-0,17. Với yếu tố khoảng cách tới đứt gãy và sông, mức độ quan hệ được đánh giá chưa rõ nét. Với yếu tố lượng mưa, mức độ quan hệ chưa phù hợp quy luật tuyến tính bổ cập trữ lượng. Từ các đánh giá định lượng, kết quả nghiên cứu đã cung cấp bức tranh toàn diện về sự ảnh hưởng và tác động giữa nước ngầm mạch lộ và 12 yếu tố môi trường tự nhiên. Là cơ sở khoa học đầu vào tin cậy cho các mô hình dự báo, đánh giá nguy cơ suy thoái nước ngầm mạch lộ phục vụ quản lý, khai thác bền vững.

**Từ khóa:** Nước ngầm mạch lộ; Địa không gian; GIS; Gia Lai; Việt Nam.

## 1. Mở đầu

Tài nguyên nước đã được xác định là một trong những thách thức quan trọng nhất của thế kỷ 21 trên toàn thế giới [1-2]. Trong đó nước ngầm, đặc biệt là nước ngầm mạch lộ ở các khu vực khan hiếm nước được coi là một trong những nguồn tài nguyên thiên nhiên quý giá nhất [3-4] do một số đặc điểm như nhiệt độ ổn định, phổ biến, khả năng chịu ô nhiễm hạn chế, chi phí phát triển thấp và đáng tin cậy trong thời kỳ hạn hán. Sự gia tăng dân số nhanh kết hợp với biến đổi khí hậu đã làm tăng nhu cầu sử dụng tài nguyên nước cho các mục đích uống, nông nghiệp và công nghiệp [5].

Khu vực Gia Lai là địa bàn trung tâm của Tây Nguyên - vùng có vị trí chiến lược trong phát triển kinh tế - xã hội và bảo vệ an ninh - quốc phòng, và thuộc một trong 7 vùng kinh tế của Việt Nam. Trong 10 năm trở lại đây, khu vực này là “chảo lửa” của hạn hán, đặc biệt trong mùa khô, kéo dài từ tháng 11 đến tháng 4 hàng năm [6-7], gây thiếu hụt nguồn nước nghiêm trọng trên diện rộng, ảnh hưởng nặng nề đến hoa màu và cây công nghiệp. Do ảnh hưởng của hạn hán khó dự báo và có xu hướng xấu, kết hợp với nạn chặt phá rừng đầu nguồn, vấn đề tăng dân số cơ học (khoảng 1,13% năm) và phát triển các cây công nghiệp tốc độ cao tự phát, đã dẫn đến nguồn nước ngầm bị khai thác và sử dụng cạn kiệt, kém hiệu quả, đã và đang tác động rất tiêu cực tới công cuộc phát triển kinh tế - xã hội, làm mất dần cân bằng hệ

sinh thái và phát triển bền vững [8]. Bên cạnh đó, sự tái tạo và bổ cập trữ lượng nước ngầm không kịp đáp ứng yêu cầu. Hậu quả là, nước trở thành vấn đề nghiêm trọng, đe dọa nghiêm trọng đến kinh tế xã hội và đời sống của nhân dân. Khi nhu cầu nước sinh hoạt trở thành phổ biến, đặc biệt là nguồn nước sạch đã trở lên hết sức khan hiếm khi hạn hán, nước ngầm mạch lộ ngày càng trở thành quý giá. Yêu cầu về dự báo trữ lượng và đánh giá nguy cơ suy thoái phục vụ quản lý, khai thác bền vững nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai có ý nghĩa rất quan trọng và cấp bách.

Mạch lộ là nơi nước ngầm xuất lộ tự nhiên, tạo thành dòng chảy, có thể thoát ra từ đá gốc hay từ lớp đất phủ trên mặt đất. Mạch nước có thể là mạch nước lên (xuất lộ của nước có áp) hoặc mạch nước xuống (xuất lộ nước ngầm). Động thái của các mạch nước rất khác nhau, có loại mạch nước chỉ chảy vào mùa mưa và biến mất vào mùa khô, có loại chảy quanh năm với lưu lượng ổn định, lại có loại xuất lộ theo chu kỳ. Có thể gặp mạch nước xuất lộ theo dạng mạch rỉ rất nhỏ (chỉ đủ quan sát thấy dòng chảy), tới các mạch nước xuất lộ tràn trề lưu lượng cực lớn. Mạch nước cũng có khi gặp trên sườn núi, bên bờ sông, hay mạch đùn lên thành đầm lầy hay thậm chí gặp mạch nước ngọt ở ngoài biển [9].

Nước ngầm mạch lộ có đặc điểm địa chất thủy văn khác biệt so với nước ngầm tồn tại trong các đất đá trầm tích. Bên cạnh các yếu tố nhân tạo, nước ngầm mạch lộ có quan hệ phụ thuộc vào nhiều yếu tố tự nhiên. Động thái, trữ lượng và nguy cơ suy thoái của nước ngầm mạch lộ liên quan chặt chẽ với các yếu tố địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng [4, 9–16]. Đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ có thể cung cấp bức tranh thông tin toàn diện về sự ảnh hưởng và tác động giữa chúng.

Trong công tác mô hình hóa dự báo trữ lượng và đánh giá nguy cơ suy thoái phục vụ quản lý, khai thác bền vững; nước ngầm mạch lộ và các yếu tố môi trường tự nhiên là dữ liệu đầu vào quan trọng bậc nhất. Có ba nhóm phương pháp [17] đã được đề xuất và ứng dụng tốt, gồm: (i) nhóm các mô hình và phương pháp truyền thống; (ii) nhóm các mô hình thống kê; và (iii) nhóm các mô hình máy học - trí tuệ nhân tạo. Nhóm (i) sử dụng trực tiếp các số liệu điều tra, khảo sát và phân tích địa chất thủy văn [18, 19] nên thường cho độ chính xác cao, nhưng tốn chi phí và thời gian. Nhóm (ii) sử dụng các mô hình thống kê (DRASTIC [20], tần suất thống kê (*Frequency Ratio*) [21], mô hình thống kê Bayesian (*Weight of Evidence*) [22], và mô hình hồi quy logic (*logistic regression*) [23]) và các dữ liệu khảo sát (độ chính xác phụ thuộc vào lượng dữ liệu), phù hợp hơn cho vùng lớn. Nhóm (iii) sử dụng các thuật toán trí tuệ nhân tạo mới hiện đang được quan tâm do khả năng dự báo chính xác cao (mạng nơ-ron nhân tạo [22], mô hình tập hợp rừng ngẫu nhiên và hàm thông tin cực đại [24], mô hình cây hồi quy và phân loại [25], mô hình cây hồi quy [26], và mô hình kết hợp logic mờ và nơ-ron nhân tích hợp với các thuật toán tối ưu hóa toàn cục [27], mô hình tập hợp và đa biến [19, 28–29]), phù hợp cho phạm vi rộng. Theo 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 nhóm phương pháp mô hình hóa này. Đặc biệt với nhóm các mô hình thống kê và máy học - trí tuệ nhân tạo.

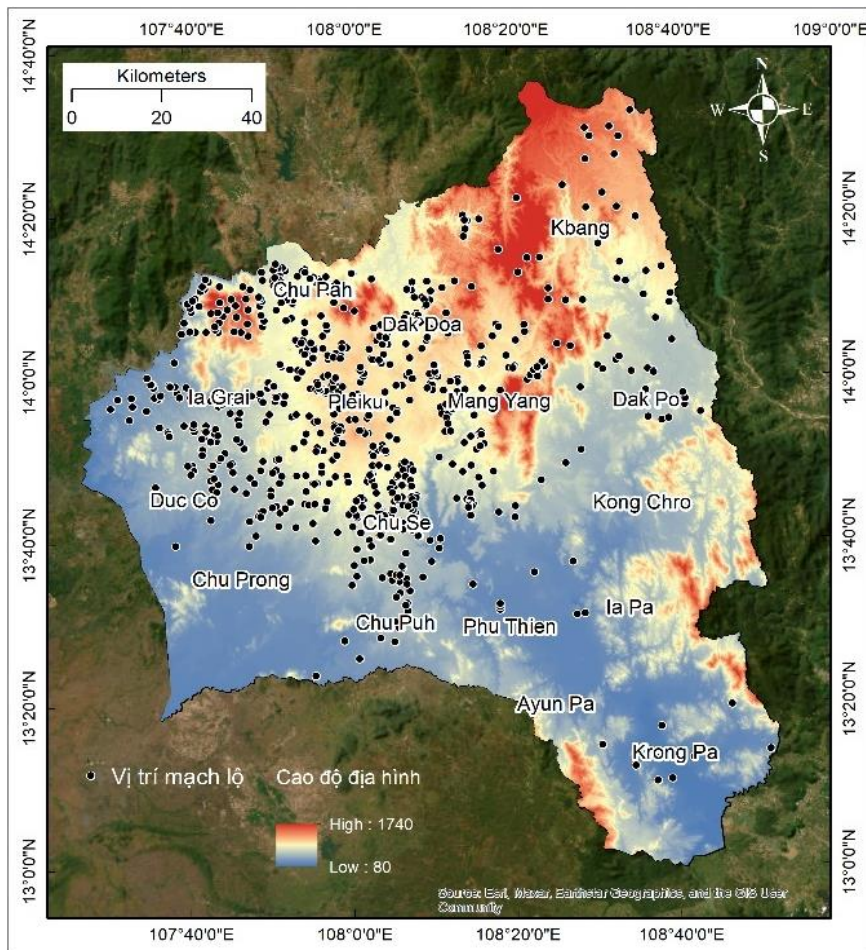
Các kỹ thuật xử lý không gian trong môi trường hệ thông tin địa lý (GIS) có thể được sử dụng để dễ dàng xử lý và chuẩn hóa cho các tập dữ liệu lớn. Môi trường GIS cũng là tối ưu cho công tác xây dựng, quản lý, và phân tích cơ sở dữ liệu địa không gian. Các công cụ phân tích không gian GIS cung cấp tính năng mạnh mẽ để phân tích mối quan hệ thống kê không gian. Trong mô hình hóa nước ngầm mạch lộ, cơ sở khoa học là mối quan hệ giữa mạch lộ nước ngầm đã biết và các nhóm yếu tố môi trường tự nhiên về địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng [4, 13–16]. Kết quả cho phép đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai, Việt Nam.

## **2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu**

### *2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu*

Khu vực nghiên cứu có diện tích khoảng 15.500 km<sup>2</sup>, ranh giới từ 15°58'20" đến 14°36'36" vĩ độ Bắc, từ 107°27'23" đến 108°94'40" kinh độ Đông (Hình 1). Địa giới hành chính thuộc địa bàn tỉnh Gia Lai. Phía bắc giáp tỉnh Kon Tum, phía nam giáp tỉnh Đắk Lắk, phía tây giáp Campuchia với 90 km đường biên giới Quốc gia, phía đông giáp các tỉnh Quảng Ngãi, Bình Định và Phú Yên.

Địa hình khu vực nghiên cứu có cao độ 600-800 m, biến đổi thấp dần từ Bắc xuống Nam và nghiêng từ Đông sang Tây (Hình 1). Điều kiện địa hình có tương quan chặt chẽ với điều kiện khí hậu, gồm 03 dạng: (i) địa hình đồi núi: chiếm 40% tổng diện tích với dãy núi Mang Yang kéo dài từ đỉnh Kon Ko Kinh đến huyện Kông Pa, chia thành 2 vùng khí hậu rõ rệt là Đông Trường Sơn và Tây Trường Sơn; (ii) địa hình cao nguyên: chiếm 33% tổng diện tích, gồm là cao nguyên Pleiku và Kon Hà Nừng; và (iii) địa hình thung lũng: phân bố dọc theo các sông, suối, khá bằng phẳng, ít bị chia cắt. Khí hậu có đặc trưng của vùng khí hậu cao nguyên nhiệt đới gió mùa, dồi dào về độ ẩm, có lượng mưa lớn, không có bão và sương muối. Khí hậu chia làm 2 mùa rõ rệt: (i) mùa mưa bắt đầu từ tháng 5 và kết thúc vào tháng 10 và (ii) mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Lượng mưa trung bình năm 1.200-2500 mm, biến đổi tùy theo khu vực địa hình. Nhiệt độ trung bình năm là 22-25°C.



**Hình 1.** Sơ đồ khu vực nghiên cứu và sự phân bố không gian nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai, Việt Nam.

Nước ngầm mạch lộ khu vực nghiên cứu được xác định là các nguồn xuất lộ nước dưới đất trong tầng nông tức là tầng nước dưới đất trong vỏ phong hóa bazan. Quy luật xuất lộ phụ thuộc vào mức độ phân cắt của địa hình. Địa hình càng phân cắt càng mạnh thì số lượng mạch lộ càng nhiều, song lưu lượng mạch lộ thường không lớn mà chủ yếu là các mạch lộ nhỏ (lưu lượng thường gặp từ 0,5 đến 1l/s). Ở những nơi địa hình có mức độ phân cắt thấp thì số lượng nguồn xuất lộ nước dưới đất ít gặp hơn, nhưng thường có lưu lượng lớn hơn (Hình 1).

## 2.2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.2.1. Dữ liệu sử dụng

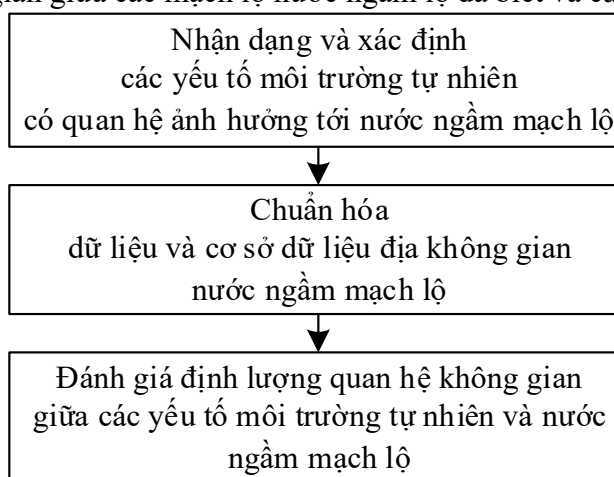
Dữ liệu trong nghiên cứu bao gồm dữ liệu không gian và phi không gian, là kết quả điều tra thu thập trong khuôn khổ đề tài cấp bộ mã số B2021-MDA-12. Theo đó, số liệu nước ngầm mạch lộ được thu thập từ công tác điều tra thực địa và các nghiên cứu đã thực hiện. Đặc biệt là các đề tài nghiên cứu cấp Quốc gia về nước dưới đất khu vực Tây Nguyên và địa bàn khu vực Gia Lai [11, 30–34]. Các dữ liệu môi trường tự nhiên (địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng) được thu thập từ các kết quả nghiên cứu tại khu vực Gia Lai về địa chất, địa chất thủy văn, nước ngầm [11, 30–34], và các nguồn mở khác nhau. Dữ liệu mạch lộ nước ngầm có tổng cộng 938 vị trí mạch lộ phân bố trên toàn khu vực Gia Lai. Dữ liệu môi trường tự nhiên, gồm: ảnh vệ tinh Landsat8 OLI của USGS [35], ảnh vệ tinh ALOS DEM 30m từ Trung tâm nghiên cứu quan sát trái đất JAXA [36], bản đồ sử dụng đất và độ che phủ đất (LULC) độ phân giải cao từ JAXA [37], bản đồ địa hình 1:50.000 [38] và bản đồ Địa chất và khoáng sản 1:200.000 [39] từ Bộ tài nguyên và môi trường, dữ liệu lượng mưa từ Dự án POWER, cơ quan hàng không và vũ trụ Quốc gia (NASA) Hoa Kỳ [40]. Tập hợp dữ liệu và bản đồ từ các nguồn cùng thuộc tính tương ứng được tóm tắt trong Bảng 1.

**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	Vị trí
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

### 2.2.2. Phương pháp nghiên cứu

Để có thể đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ tại khu vực Gia Lai, hệ phương pháp phân tích không gian GIS được sử dụng để phân tích mối quan hệ thống kê không gian giữa các mạch lộ nước ngầm lộ đã biết và các nhóm yếu tố môi trường tự nhiên về địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng [4, 13–16]. Hệ phương pháp phân tích không gian GIS bao gồm 03 bước: (1) Nhận dạng và xác định các yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ, (2) Chuẩn hóa dữ liệu và cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ, và (3) Đánh giá định lượng quan hệ không gian giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ. Quy trình và phương pháp phân tích được thể hiện trong Hình 2.



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

Chuẩn hóa dữ liệu và cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ sử dụng chương trình ArcMap và ArcCatalog của bộ phần mềm ESRI ArcGIS desktop 10.8.2. Dữ liệu chuẩn hóa bao gồm tất cả các dữ liệu khả dụng về nước ngầm mạch lộ và các yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ. Dữ liệu tồn tại dưới dạng cả không gian và phi không gian. Dữ liệu không gian chứa đựng những thông tin của các đối tượng mạch lộ, địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng. Các đối tượng không gian được định dạng về dạng điểm, đường và vùng. Lưu trữ các dữ liệu không gian sử dụng cả mô hình dữ liệu raster và mô hình dữ liệu vector. Dữ liệu phi không gian là những diễn tả đặc tính, số lượng, mối quan hệ của 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. Các số liệu phi không gian được gọi là dữ liệu thuộc tính, chúng liên quan đến vị trí địa lý hoặc các đối tượng không gian và liên kết chặt chẽ với chúng trong GIS thông qua một cơ chế thống nhất chung. Dữ liệu phi không gian gồm các đối tượng dạng text, các thông số thuộc tính của các đối tượng không gian.

Các dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau được chuẩn hóa, chuyển đổi về cùng một khuôn dạng và hệ tọa độ địa lý trước khi đưa vào Cơ sở dữ liệu địa không gian. Nội dung chuẩn hóa được thực hiện gồm: (i) cơ sở toán học bản đồ, (ii) chuẩn hóa mức độ chi tiết, (iii) chuẩn hóa nội dung dữ liệu, (iv) chuẩn hóa khuôn dạng dữ liệu, (v) chuẩn hóa thuộc tính dữ liệu, và (v) chuẩn hóa mô hình dữ liệu. Chuẩn hóa về mặt cơ sở toán học bản đồ sử dụng hệ tọa độ VN2000, kinh tuyến trục 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. Chuẩn hóa về nội dung dữ liệu theo đúng yêu cầu của Bộ Tài nguyên và môi trường quy định về các lớp dữ liệu thuộc tính, dữ liệu thông tin. Chuẩn hóa về khuôn dạng dữ liệu theo khuôn dạng \*.Shp (*shapefile*) của phần mềm ESRI ArcGIS. Chuẩn hóa thuộc tính dữ liệu là chuẩn hóa các thông tin chi tiết cho đối tượng hoặc các số liệu thống kê cho đối tượng. Các dữ liệu vector và raster chủ yếu được tổ chức thành các bảng dữ liệu, gồm có các cột dữ liệu (trường dữ liệu): mỗi cột diễn đạt một trong nhiều thuộc tính của đối tượng; và các hàng tương ứng với một bản ghi: gồm toàn bộ nội dung thuộc tính của một đối tượng quản lý.

Chuẩn hóa về mô hình dữ liệu theo quy định xây dựng mô hình dạng vector và raster. Mô hình này thể hiện được đầy đủ nhất dữ liệu địa lý. Nó cho phép không chỉ mô tả vị trí, hình dạng của đối tượng không gian mà nó còn miêu tả mối quan hệ về không gian với các đối tượng khác. Cơ sở dữ liệu địa không gian chứa đựng những thông tin định vị của các đối tượng, cho biết vị trí, sự phân bố, ... của các đối tượng. Mô hình dữ liệu dạng raster phản ánh toàn bộ vùng nghiên cứu dưới dạng một lưới các điểm (cell) hay điểm ảnh (pixel). Các hệ thống trên cơ sở raster hiển thị, định vị và lưu trữ dữ liệu đồ họa nhờ sử dụng các ma trận hay lưới các điểm ảnh. Độ phân giải dữ liệu raster phụ thuộc vào kích thước của điểm ảnh. Dữ liệu raster được thiết lập bằng cách mã hoá mỗi điểm ảnh bằng một giá trị theo các đặc trưng và tính chất trên bản đồ, có thể sử dụng số nguyên, số thực, ký tự hay tổ hợp chúng để làm giá trị. Mỗi đặc tính giống nhau sẽ có cùng giá trị số.

Phân tích, đánh giá định lượng quan hệ không gian giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ được thực hiện thông qua cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ đã được thành lập và chuẩn hóa trên 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. Các kết quả sau đó được kết xuất ra Microsoft Excell để tổng hợp, phân tích đánh giá các mối quan hệ thống kê không gian giữa các mạch lộ nước ngầm lộ đã biết và các nhóm yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ.

### 3. Phân tích kết quả và thảo luận

#### 3.1. Nhận dạng và xác định các yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ

Nhiều tài liệu nghiên cứu [4, 10–12] đã xác nhận nước ngầm mạch lộ có quan hệ chặt chẽ với các yếu tố đặc trưng về địa hình, địa mạo, địa chất, thực phủ, thổ nhưỡng, lượng mưa, và khí tượng. Tuy nhiên, việc tiếp cận định lượng trong xác định mối quan hệ và sự ảnh hưởng của nước ngầm mạch lộ phụ thuộc rất nhiều vào tính khả dụng và chất lượng của dữ liệu. Trong khuôn khổ nghiên cứu này, 12 yếu tố môi trường tự nhiên đã được nhận dạng và xác định có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ, gồm: (1) Độ dốc địa hình, (2) Hướng sườn địa hình, (3) Độ cong địa hình, (4) Cao độ địa hình, (5) 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:** là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Nó có thể ảnh hưởng đến sự bổ cập và lưu trữ. Trên các địa hình dốc, nước mưa có thể chảy nhanh chóng trên bề mặt đất và khó thấm thấu vào đất để trở thành nước ngầm. Trên các địa hình ít dốc, nước mưa có thể thấm thấu vào đất dễ dàng hơn và hình thành nước ngầm mạch lộ. Bên cạnh đó, độ dốc địa hình cũng có thể ảnh hưởng đến suy thoái nước ngầm bằng cách tăng tốc độ vận động của nước trong các khe nứt, thoát tới các nguồn khác. Điều này có thể làm giảm trữ lượng nước ngầm và gây ra tình trạng suy thoái. Độ dốc địa hình cũng có thể ảnh hưởng đến chất lượng nước ngầm trong trường hợp nước chảy qua các khu vực đất dốc, hòa tan các chất độc hại từ đất và mặt đất, làm tăng độ ô nhiễm của nước ngầm mạch lộ.

**Yếu tố hướng sườn địa hình:** Hướng sườn, hay còn gọi là hướng dốc của mái đất cũng có thể ảnh hưởng đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Điều này bởi vì hướng sườn có thể ảnh hưởng đến các yếu tố như lượng bức xạ mặt trời, nhiệt độ và sự bốc thoát hơi nước của cây cối, ảnh hưởng đến các quá trình thủy văn và bổ cập cho nước ngầm mạch lộ.

**Yếu tố độ cong địa hình:** độ cong của địa hình cũng có thể ảnh hưởng đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Điều này bởi vì độ cong có thể ảnh hưởng đến lượng mưa rơi trực tiếp trên một vùng đất, tốc độ thoát nước và sự tương tác giữa nước mưa và đất.

**Yếu tố cao độ địa hình:** cao độ địa hình có thể ảnh hưởng đến lượng mưa nhận được trong một khu vực, tốc độ chảy của nước mặt. Do đó có thể ảnh hưởng đến quá trình bổ cập và suy thoái nước ngầm mạch lộ.

**Yếu tố thực phủ:** thực phủ bề mặt có ảnh hưởng đáng kể đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Lớp phủ thực vật có thể giúp tăng cường thấm thấu và giữ lại nước mưa trên bề mặt đất, từ đó giúp tăng cường bổ cập cho hệ thống nước ngầm mạch lộ. Khi có lớp phủ thực vật đầy đủ, nước mưa sẽ được giữ lại trên lá, thân cây, rễ cây, lá cây khô, v.v. Nước mưa sẽ không trực tiếp tiếp xúc với đất và có thể dễ dàng thấm thấu vào đất, giúp tăng cường trữ lượng nước ngầm. Ngoài ra, lớp phủ thực vật cũng giúp duy trì độ ẩm cho đất và giảm tốc độ thoát nước từ bề mặt đất, giảm nguy cơ sạt lở đất và hạn chế sự xuất hiện của vùng ngập úng. Tuy nhiên, khi thực vật phủ đất bị mất đi hoặc bị thiếu hụt do các hoạt động như khai thác lâm nghiệp, đô thị hóa hay đất trồng cây công nghiệp, đất trống, v.v. thì nước mưa sẽ trực tiếp chảy xuống mặt đất, gây ra hiện tượng ngập úng và mất nước.

**Chỉ số thực vật khác biệt chuẩn (NDVI):** là một chỉ số được sử dụng để đo lường mật độ và sự phát triển của lớp phủ thực vật. NDVI được tính bằng cách sử dụng các giá trị phổ của đất và thực vật được thu thập từ ảnh vệ tinh hoặc máy bay không người lái. Mật độ lớp phủ thực vật được coi là yếu tố quan trọng trong quản lý tài nguyên nước ngầm mạch lộ. Tuy nhiên, NDVI không có ảnh hưởng trực tiếp đến trữ lượng nước ngầm mạch lộ. Thay vào đó, NDVI có thể được sử dụng để ước tính mức độ thấm thấu của đất và khả năng thoát nước, từ đó ảnh hưởng đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ.

**Chỉ số độ ẩm khác biệt chuẩn (NDMI):** là một chỉ số được sử dụng để đánh giá độ ẩm của đất. NDMI được tính bằng cách so sánh giá trị của các bước sóng trong khoảng tầm gần hồng ngoại gần (NIR) và hồng ngoại gần (SWIR) trong vùng phổ của đất và nước. Chỉ số

NDMI cũng có thể được sử dụng để ước tính vùng nguy cơ suy thoái nước ngầm mạch lộ. Khi NDMI cao, tức là đất có độ ẩm cao, điều này có thể góp phần tăng cường bổ cập cho hệ thống nước ngầm mạch lộ. Tuy nhiên, nếu NDMI quá cao, tức là đất bị quá ẩm, có thể dẫn đến tình trạng mất nước mưa và gây ra suy thoái nước ngầm mạch lộ. Khi NDMI thấp, tức là đất có độ ẩm thấp, điều này có thể chỉ ra rằng khu vực đó đang trong tình trạng hạn hán hoặc không có đủ nước để duy trì các lớp phủ thực vật. Trong trường hợp này, có thể đưa ra các biện pháp quản lý tài nguyên nước để tăng cường bổ cập cho hệ thống nước ngầm mạch lộ và ngăn ngừa suy thoái nước dưới đất. NDMI là một chỉ số quan trọng để đánh giá trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ.

Chỉ số thủy văn khác biệt chuẩn (NDWI): là một chỉ số được sử dụng để đo lường thủy văn trong một khu vực. NDWI được tính bằng cách sử dụng các giá trị phổ của đất và nước được thu thập từ ảnh vệ tinh hoặc máy bay không người lái. Khi NDWI cao, tức là nước trong khu vực đó cao, điều này có thể góp phần tăng cường bổ cập cho hệ thống nước ngầm mạch lộ. Khi NDWI thấp, tức là lượng nước trong khu vực đó thấp, điều này có thể chỉ ra rằng khu vực đó đang trong tình trạng hạn hán hoặc không có nguồn nước đủ để duy trì các lớp phủ thực vật. Tương tự, NDWI là một chỉ số quan trọng để đánh giá trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ.

Yếu tố khoảng cách tới đứt gãy: là yếu tố được xem xét để đánh giá sự ảnh hưởng của hoạt động kiến tạo đến trữ lượng và suy thoái của nước ngầm mạch lộ. Sự ảnh hưởng có thể bằng cách ảnh hưởng đến tính thấm của đất và hệ thống dòng chảy ngầm. Các đứt gãy kiến tạo có thể giúp nước mưa thấm vào đất nhanh hơn và dễ dàng hơn, điều này có thể tạo ra nhiều nước ngầm hơn trong các khu vực gần các đứt gãy. Tuy nhiên, nếu các đứt gãy quá gần nhau, nước mưa có thể chảy qua các đứt gãy và không thấm vào đất để tạo ra nước ngầm, điều này có thể làm giảm trữ lượng nước ngầm. Khoảng cách đến các đứt gãy kiến tạo cũng có thể ảnh hưởng đến trữ lượng nước ngầm bằng cách tạo ra một hệ thống dòng chảy nước ngầm phức tạp hơn. Về chất lượng nước ngầm, nó có thể ảnh hưởng bằng cách tác động đến quá trình trao đổi nước và chất lượng nước giữa các đứt gãy và đất xung quanh. Nếu khoảng cách quá xa, các đứt gãy có thể không tác động đến quá trình trao đổi này, còn nếu quá gần, chất lượng nước có thể bị ảnh hưởng bởi các chất độc hại được giải phóng từ các đứt gãy.

Yếu tố khoảng cách tới sông: là một yếu tố quan trọng cần được xem xét trong việc đánh giá trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Nếu khoảng cách đến sông gần, thì nguồn nước từ sông có thể dễ dàng thấm vào đất và đóng góp vào trữ lượng nước ngầm mạch lộ. Tuy nhiên, nếu khoảng cách đến sông quá xa, thì nước từ sông có thể không thể thấm vào được đất và không đóng góp vào trữ lượng nước ngầm mạch lộ.

Yếu tố thành tạo địa chất: điều kiện địa chất với các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa có vai trò rất lớn đến quá trình hình thành trữ lượng và sự suy thoái nước ngầm mạch lộ. Đặc tính của các loại đá khác nhau có thể ảnh hưởng đến khả năng thấm nước và lưu giữ do đó ảnh hưởng đến trữ lượng và chất lượng nước ngầm mạch lộ. Thực tế, các loại đá vôi, dolomit, cát đá có khả năng thấm nước và lưu giữ nước tốt hơn so với các loại đá phiến, đá granit. Tuy nhiên, các loại đá này có thể có khả năng hòa tan cao và gây ra tình trạng suy thoái nước ngầm mạch lộ. Các sản phẩm phong hóa từ đá vôi cũng có thể làm tăng trữ lượng nước ngầm mạch lộ bằng cách tạo ra các khe và hốc, cho phép nước thấm sâu vào dưới đáy. Các sản phẩm phong hóa từ đá granit thường không gây ra ảnh hưởng đáng kể đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Các sản phẩm phong hóa từ sỏi, sạn kết thường có tác động lớn đến trữ lượng và suy thoái nước ngầm mạch lộ. Sỏi sạn thường có các khe và hốc lớn, cho phép nước thấm qua và tích tụ trong các lớp đất dưới đó.

Yếu tố lượng mưa: mưa là nguồn nước quan trọng để bổ sung cho trữ lượng nước ngầm. Khi mưa, nước sẽ thấm sâu vào đất và đá, và tích tụ trong các lỗ trống, khe hở, tầng chứa nước ngầm. Do đó, mưa thường dẫn đến tăng trữ lượng nước ngầm trong mạch lộ. Tuy nhiên, mưa cũng có thể gây ra suy thoái nước ngầm nếu lượng mưa quá lớn và quá nhanh. Khi lượng mưa vượt quá khả năng thấm của đất và đá, nước sẽ chảy dồn về các khu vực thấp hơn, gây

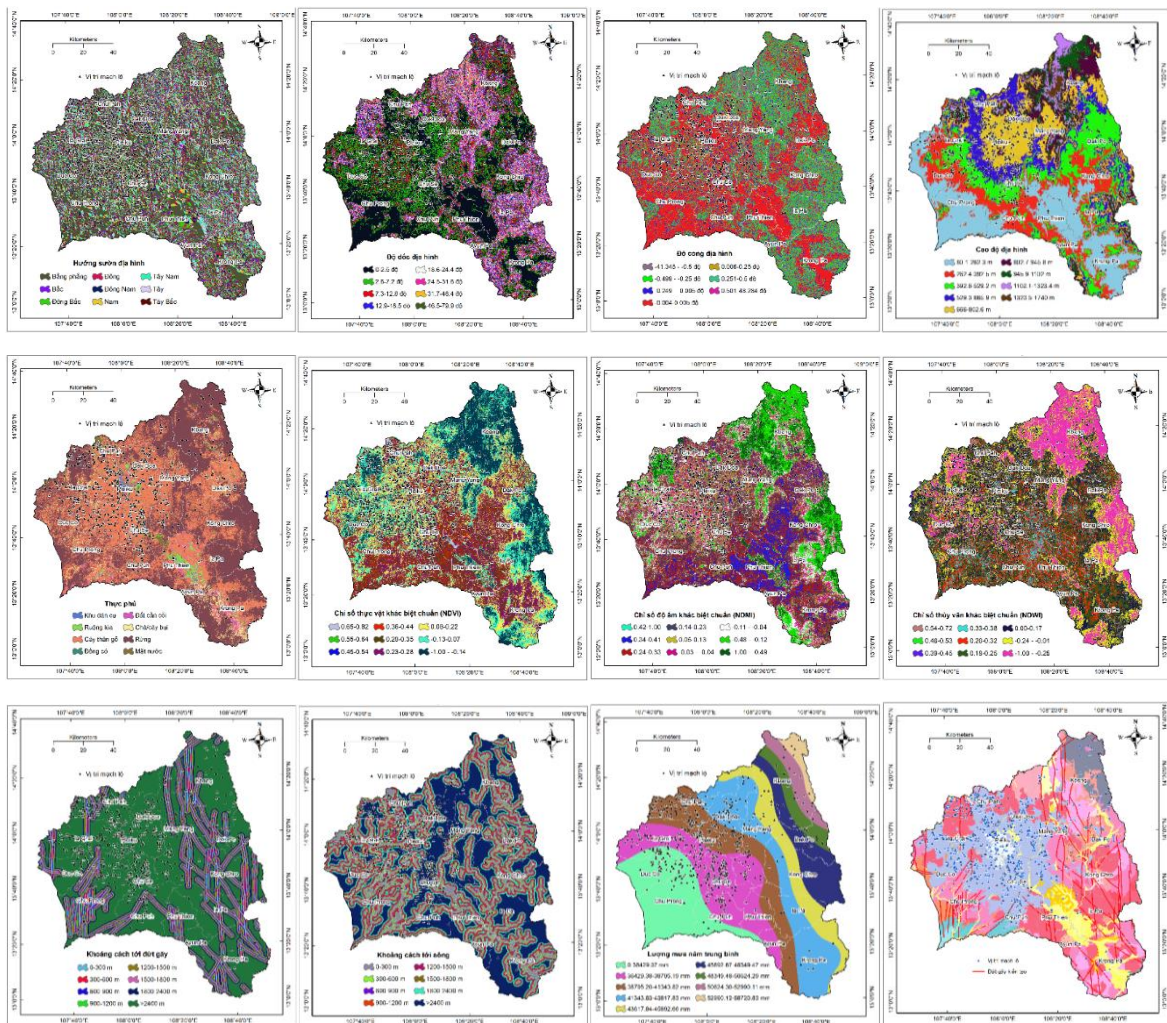
ra lũ lụt, làm suy thoái nước ngầm trong mạch lộ. Bên cạnh đó, mưa có thể làm cho các chất ô nhiễm từ các nguồn khác nhau như đất đai, phân bón, hóa chất... được đưa xuống nước ngầm mạch lộ. Điều này có thể làm giảm chất lượng nước ngầm và gây hại cho sức khỏe con người và động vật.

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

Dữ liệu nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai đã được xử lý, chuẩn hóa về cơ sở toán học bản đồ, mức độ chi tiết, nội dung dữ liệu, thuộc tính dữ liệu và khuôn dạng dữ liệu. Tổng cộng 938 mạch lộ nước ngầm với thuộc tính trữ lượng 0,01-118,35 l/s và độ khoáng hoá 0,01-0,980 g/L đã được xây dựng dưới dạng bản đồ vector các điểm trên hệ toạ độ VN2000, kinh tuyến trục 105 múi 60 (Hình 1).

Dữ liệu các yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ sau khi được nhận dạng và xác định cũng đã được xử lý, chuẩn hóa về cơ sở toán học bản đồ mức độ chi tiết, nội dung dữ liệu và khuôn dạng dữ liệu. Tổng cộng 12 bản đồ các yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ đã được xây dựng dưới dạng các bản đồ raster trên hệ toạ độ VN2000, kinh tuyến trục 105 múi 60.

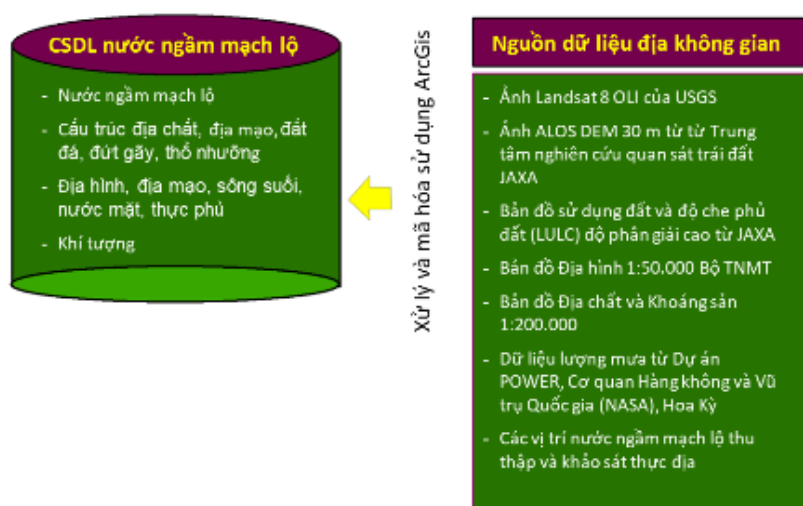
Hình 3 thể hiện nội dung chi tiết các bản đồ yếu tố độ dốc, hướng sườn, độ cong, cao độ, thực phủ, NDVI, NDMI, NDWI, khoảng cách tới đứt gãy, khoảng cách tới sông, thành tạo địa chất và lượng mưa.



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



Kết quả chuẩn hóa, yếu tố độ dốc địa hình đã được mã hóa gồm 08 ngưỡng thành phần: 0-2,5 độ, 2,6-7,2 độ, 7,3-12,8 độ, 12,9-18,5 độ, 18,6-24,4 độ, 24,5-31,6 độ, 31,7-46,4 độ, và 46,5-79,9 độ. Chi tiết thể hiện trong Bảng 2. Với hướng sườn địa hình, có 09 ngưỡng thành phần đã được mã hóa: Bằng phẳng, Bắc, Đông Bắc, Đông, Đông Nam, Nam, Tây Nam, Tây, và Tây Bắc (Bảng 3). Độ cong địa hình được phân chia thành 07 ngưỡng: -41,345 - -0,5, -0,499 - -0,25, -0,249 - -0,005, -0,004-0,005, 0,006-0,25, 0,251-0,5, 0,501-48,284 (Bảng 4). Cao độ địa hình gồm 09 ngưỡng thành phần: 80,1-262,3 m, 262,4-392,5 m, 392,6-529,2 m, 529,3-665,9 m, 666-802,6 m, 802,7-945,8 m, 945,9-1102 m, 1102,1-1323,4 m, và 1323,5-1740 m (Bảng 5). Đây là sự phân chia tự động theo thuật toán Natural Break trong ESRI ArcGIS. Ngược lại, sự phân ngưỡng thành phần đối với yếu tố thực phủ được 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). Bộ 03 chỉ số NDVI, NDMI và NDWI đều được phân thành 09 ngưỡng thành phần theo Natural Break. NDVI: 0,65-0,82, 0,55-0,64, 0,45-0,54, 0,36-0,44, 0,29-0,35, 0,23-0,28, 0,08-0,22, -0,13-0,07, và -1,00 - -0,14 (Bảng 7). NDMI: 0,42-1,00, 0,34-0,41, 0,24-0,33, 0,14-0,23, 0,05-0,13, -0,03 - -0,04, -0,11 - -0,04, -0,48 - -0,12, và -1,00 - -0,49 (Bảng 8). NDWI: 0,54-0,72, 0,46-0,53, 0,39-0,45, 0,33-0,38, 0,26-0,32, 0,18-0,25, 0,00-0,17, -0,24 - -0,01, và -1,00 - -0,25 (Bảng 9). Hai yếu tố khoảng cách tới đứt gãy và tới sông đều được phân ngưỡng thành 08 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). Đối với yếu tố địa chất, ngưỡng thành phần được phân chia theo 43 thành tạo đất đá trong khu vực Gia Lai, bao gồm 24 hệ tầng (Chư Prông, Chư Sê, Đắc Bùng, Đại Nga, Đăk Lô, Đơn Dương, Đray Linh, Ea Súp, Ia Ban, Khâm Đức, Kon Cot, Kon Tum, Mang Yang, Sông Ba, Tắc Pô, Túc Trung, Xa Lam Cô, Xuân Lộc, Holocen Hạ-Trung, Holocen Thượng, Holocen Trung-Thượng, Pleistocen Hạ, Pleistocen Thượng, Pleistocen Trung-Thượng) và 19 phức hệ (Cù Mông, Đăk Long, Đèo Cả, Diên Bình, Điện Bông, Hiệp Đức, Kon Kbang, Nậm Nin, Phan Rang, Phù Mỹ, Phước Thiện, Plei Man Ko, Sông Ba, Tu Mơ Rông, Vân Canh, Xâm nhập không xác định tuổi) (Bảng 12). Yếu tố lượng mưa, thuật toán Natural Break phân chia thành 09 ngưỡng thành phần: 0-36429,37 mm, 36429,38-38795,19 mm, 38795,20-41343,82 mm, 41343,83-43617,83 mm, 43617,84-45892,66 mm, 45892,67-48349,47 mm, 48349,48-50624,29 mm, 50624,30-52990,11 mm, và 52990,12-56720,83 mm (Bảng 13).



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

Sau khi chuẩn hóa chuyên đổi về cùng một khuôn dạng và hệ tọa độ địa lý, toàn bộ các lớp dữ liệu nước ngầm mạch lộ và các yếu tố môi trường có quan hệ ảnh hưởng được chuẩn hóa về mô hình dữ liệu để tổ hợp thành cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ trên môi trường GIS. Mô hình cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai được trình bày trên Hình 4.

3.3. 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, đánh giá định lượng quan hệ không gian giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai cho thấy phần lớn nước ngầm mạch lộ (> 90% tổng mạch lộ) ở khu vực có địa hình có độ dốc nhỏ hơn 12,8 độ (chiếm 75% tổng diện tích). Lần lượt ở độ dốc 0-2,5 độ (41% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,01-61,27 l/s), 2,6-7,2 độ (40% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-78,22 l/s) và 7,3-12,8 độ (12% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-118,35 l/s). Ở các khu vực có độ dốc địa hình cao hơn, mối quan hệ với nước ngầm mạch lộ được ghi nhận kém chặt chẽ hơn: độ dốc 12,9-18,5 độ (4% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,01-6,70 l/s), 18,6-24,4 độ (2% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,04-1,81 l/s) và > 24,4 độ (1% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-0,20 l/s) (Bảng 2).

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

Độ dốc địa hình (độ)	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0-2,5	40,55	40,62
2,6-7,2	21,55	40,09
7,3-12,8	13,21	11,83
12,9-18,5	10,00	4,26
18,6-24,4	7,87	1,81
24,5-31,6	4,92	1,07
31,7-46,4	1,62	0,11
46,5-79,9	0,28	0,21

Trương đồng với yếu tố hướng sườn địa hình, khoảng 25% mạch lộ (lưu lượng 0,01-61,27 l/s) phân bố ở các khu vực bằng phẳng (chiếm 24,2% tổng diện tích), 13-15% phân bố tại các sườn có hướng Tây Nam (13% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-23,20 l/s), Tây (15% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-0,20 l/s) và Tây Bắc (13% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-23,20 l/s), Tây (15% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-30,01 l/s), các hướng sườn còn lại, chiếm <10% các mạch lộ nước ngầm tại mỗi hướng (Bảng 3).

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

Hướng sườn địa hình	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
Bằng phẳng	24,20	25,37
Bắc	6,83	9,91
Đông Bắc	9,11	5,54
Đông	9,87	5,22
Đông Nam	10,12	6,29
Nam	9,41	5,01
Tây Nam	11,39	13,22
Tây	10,51	14,82
Tây Bắc	8,55	14,61

Ứng với các thành phần độ cong địa hình, các mạch lộ nước ngầm được ghi nhận phân bố lớn nhất (40,51% tổng mạch lộ) ở độ cong địa hình -0,004-0,005 (chiếm 37,4% tổng diện tích), tiếp đến là ở độ cong 0,006-0,25 và -0,249 - -0,005 lần lượt 19,3% và 24,2%, còn lại chỉ có dưới 9% mạch lộ nước ngầm phân bố ở mỗi mức độ cong độ địa hình (Bảng 4).

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

Độ cong địa hình	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
-41,345 - -0,5	2,35	0,75
-0,499 - -0,25	12,20	8,53
-0,249 - -0,005	16,19	24,20
-0,004-0,005	37,39	40,51
0,006-0,25	17,19	19,30
0,251-0,5	12,43	6,40
0,501-48,284	2,25	0,32

Tại các yếu tố cao độ địa hình, các mạch lộ nước ngầm được ghi nhận phân bố lớn nhất (33,48%) ở ngưỡng cao độ 666-802,6 m (chiếm 15,35 tổng diện tích), tiếp đến là ở cao độ 392,6-529,2 m và 529,3-665,9 m lần lượt 23,24% và 25,37%, còn lại chỉ có dưới 8% mạch lộ nước ngầm phân bố ở mỗi mức cao độ địa hình (Bảng 5).

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

Cao độ địa hình (m)	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
80,1-262,3	22,07	4,05
262,4-392,5	16,40	7,68
392,6-529,2	18,00	23,24
529,3-665,9	13,04	25,37
666-802,6	15,35	33,48
802,7-945,8	6,59	3,09
945,9-1102	5,28	2,56
1102,1-1323,4	2,56	0,53
1323,5-1740	0,72	-

Mối quan hệ không gian giữa nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai với các yếu lớp phủ thực vật ghi nhận mối quan hệ chặt chẽ nhất với các khu vực Cây thân gỗ (chiếm 42,21% tổng diện tích với 69% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,01-118,35 l/s), tiếp đó là khu vực Rừng (chiếm 48,12% tổng diện tích với 18,76% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,02-26,50 l/s). Các khu vực còn lại như ruộng lúa, khu dân cư, cây bụi, và đặc biệt là khu vực đất cằn cỗi có mối quan hệ với nước ngầm mạch lộ được ghi nhận rất thấp, chỉ 1-5% (Bảng 6).

**Bảng 6.** Quan hệ mạch lộ và thực phủ.

Thực phủ	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
Khu dân cư	1,13	1,60
Ruộng lúa	2,71	5,76
Cây thân gỗ	42,21	71,86
Đồng cỏ	0,11	-
Đất cằn cỗi	1,53	0,53
Chà/cây bụi	3,42	1,49
Rừng	48,12	18,76
Mặt nước	0,77	-

Với các chỉ số NDVI, NDMI, và NDWI; mối quan hệ với nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai được ghi nhận chặt chẽ nhất tại các khu vực có NDVI 0,45-0,54 và 0,55-0,64 ứng với 48% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,01-118,35 l/s và 40% tổng số mạch lộ với lưu lượng

0,01-43,22 l/s (Bảng 7), NDMI 0,05-0,13 và -03-0,04 ứng với 30% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,01-118,35 l/s và 31% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,03-78,22 l/s (Bảng 8), NDWI 0-0,17, 0,18-0,25 và -0,24 - -0,01 ứng với 46% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,01-118,35 l/s, 21% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,01-43,22 l/s và 16% tổng số mạch lộ với lưu lượng 0,03-36,00 l/s (Bảng 9).

**Bảng 7.** Quan hệ mạch lộ và NDVI.

NDVI	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0,65-0,82	0,32	–
0,55-0,64	0,49	–
0,45-0,54	5,15	1,39
0,36-0,44	14,32	7,36
0,29-0,35	17,55	15,67
0,23-0,28	15,16	29,00
0,08-0,22	14,94	34,01
-0,13-0,07	12,91	7,14
-1,00 - -0,14	19,16	5,44

**Bảng 8.** Quan hệ mạch lộ và NDMI.

NDMI	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0,42-1,00	0,01	–
0,34-0,41	8,79	1,28
0,24-0,33	16,53	5,33
0,14-0,23	18,08	15,14
0,05-0,13	13,76	30,17
-0,03 - -0,04	11,60	31,34
-0,11 - -0,04	9,68	9,70
-0,48 - -0,12	13,71	3,84
-1,00 - -0,49	7,83	3,20

**Bảng 9.** Quan hệ mạch lộ và NDWI.

NDWI	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0,54-0,72	0,39	–
0,46-0,53	0,33	–
0,39-0,45	0,73	0,21
0,33-0,38	4,81	1,81
0,26-0,32	13,03	8,53
0,18-0,25	20,87	21,11
0,00-0,17	22,32	46,38
-0,24 - -0,01	17,53	16,20
-1,00 - -0,25	19,99	5,76

Với các đứt gãy kiến tạo, mối quan hệ không gian với nước ngầm mạch lộ được ghi nhận mức độ chặt chẽ chưa rõ ràng. Phần lớn mạch lộ nước ngầm, chiếm 83% tổng số mạch, được phân bố ở khoảng cách >2400 m tới đứt gãy kiến tạo. Các khoảng cách: 0-300 m (2% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,01-21,00 l/s), 300-600 m (3% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-4,00 l/s), 600-900 m (2% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,04-2,50 l/s), 900-1200 m (2% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,10-6,24 l/s), 1200-1500 m (2% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-4,46 l/s), 1500-1800 m (4% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,08-5,72 l/s) (Bảng 10).

Liên quan đến dòng chảy mặt, mối quan hệ không gian giữa sông với nước ngầm mạch lộ được ghi nhận mức độ chặt chẽ chưa rõ ràng. Phần lớn mạch lộ nước ngầm, chiếm 26,55%, được phân bố ở khoảng cách > 2400 m tới sông. Các khoảng cách: 0-300 m (10% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,01-29,66 l/s), 300-600 m (7% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,07-30,00 l/s), 600-

900 m (9% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-78,22 l/s), 900-1200 m (10% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,05-22,87), 1200-1500 m (10% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-61,27 l/s), 1500-1800 m (9% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,02-118,35 l/s) và 1800-2400 m (17% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,03-40,00 l/s) (Bảng 11).

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

Khoảng cách tới đứt gãy	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0-300 m	6,08	1,92
300-600 m	6,05	2,88
600-900 m	5,78	1,60
900-1200 m	5,40	1,71
1200-1500 m	4,95	2,45
1500-1800 m	4,56	2,35
1800-2400 m	8,05	3,62
>2400 m	59,13	83,48

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

Khoảng cách tới sông (m)	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0-300	13,97	10,49
300-600	10,05%	7,39
600-900	9,04	9,42
900-1200	8,30	9,74
1200-1500	7,62	9,64
1500-1800	6,98	9,31
1800-2400	12,03	17,45
> 2400	32,02	26,55

Kết quả phân tích mối quan hệ không gian với các thành tạo địa chất cho thấy chủ yếu nước ngầm mạch lộ (68,87% tổng mạch lộ, lưu lượng 0,02-118,35 l/s) phân bố tại các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa hệ tầng Túc Trung (chiếm 25,77% tổng diện tích) (Bảng 12). Thành phần gồm bazan của 3-5 đợt phun trào phủ chồng lên nhau, thành phần là các tập bazan đặc sít bazan lỗ hồng màu xám tro, xám đen, nứt nẻ không đều xen kẽ các tập tuf bazan, dăm kết núi lửa và các lớp bazan phong hóa thành đất đỏ giữa tầng. Rải rác một số chỗ gặp các tập trầm tích đầm hồ dày 5-30 m xen kẽ gồm cát kết, sét kết gắn kết yếu. Lớp vỏ phong hóa trên cùng dày trung bình 15-20 m là bột sét màu nâu đỏ lẫn sạn vón laterit chuyển xuống bazan phong hóa dờ dang dạng mảnh cục lẫn ít sét. Bề dày chung của hệ tầng 50-300 m. Đây cũng là hệ tầng có thành phần đất đá chủ yếu hình thành cao nguyên Pleiku.

Các thành tạo đất đá khác có mối quan hệ với nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai thấp hơn hẳn so với hệ tầng Túc Trung. Lớn nhất trong số này là các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa hệ tầng Xuân Lộc (9,59% tổng mạch lộ trên 1,55% tổng diện tích) và phức hệ Vân Canh (8,21% tổng mạch lộ trên 20,02% tổng diện tích). Lưu lượng nước ngầm mạch lộ phân bố ở hệ tầng Xuân Lộc biến đổi từ 0,04 đến 78,22 l/s, ở phức hệ Vân Canh biến đổi từ 0,01-10,33 l/s (Bảng 12). Phức hệ Vân Canh là một thể xâm nhập, trong khi hệ tầng Xuân Lộc là bazan của 3-5 đợt phun phủ chồng lên nhau. Vỏ phong hóa trên mặt dày 20-50 m, gồm bột sét màu nâu đỏ chuyển xuống bazan phong hóa dờ dang vỡ vụn. Bề dày chung của hệ tầng khoảng 20-150 m. Tiếp theo là các thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa của các thành tạo Đệ tứ (bao gồm Holocen, Pleistocen và đệ tứ không phân chia), hệ tầng Đại Nga, hệ tầng Kan Nack và phức hệ Bến Giàng-Quế Sơn - nơi bắt gặp 2-4% mạch lộ nước ngầm trong khu vực với lưu lượng lần lượt 0,02-6,0 l/s, 0,03-0,64 l/s, 0,03-1,0 l/s và 0,01-3,20 l/s (Bảng 12). Các thành tạo địa chất còn lại ghi nhận mối quan hệ với nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai không đáng kể, trung bình chỉ bắt gặp 1 đến dưới 10 mạch lộ trên tổng số 938 mạch lộ ở khu vực nghiên cứu. Các mạch lộ này có lưu lượng: 0,3-0,4 l/s (hệ tầng Khâm Đức), 0,3-1,0 l/s

(hệ tầng Kon Tum), 0,03-0,75 l/s (hệ tầng Mang Yang); 0,05-0,5 l/s (hệ tầng Tắc Pô), 0,01-0,10 l/s (hệ tầng Đray Linh), 0,01 l/s (phức hệ Đăk Bùng, Sông Ba, Đèo Cả).

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

<b>Thành tạo địa chất</b>	<b>Diện tích (%)</b>	<b>Mạch lộ (%)</b>
Xâm nhập không xác định tuổi	0,02	–
Phức hệ Phan Rang	0,16	–
Hệ tầng Đăk Lô	1,06	0,11
Phức hệ Plei Man Ko	0,47	–
Phức hệ Vân Canh	20,02	8,21
Phức hệ Kon Kbang	0,02	–
Phức hệ Sông Ba	0,04	–
Phức hệ Cù Mông	0,05	–
Hệ tầng Xa Lam Cô	2,40	0,75
Phức hệ Bến Giằng-Quế Sơn	14,63	2,24
Phức hệ Đèo Cả	1,03	0,11
Phức hệ Đăk Long	1,34	0,32
Phức hệ Cheo Reo	0,01	–
Hệ tầng Kon Cot	1,95	1,17
Phức hệ Nậm Nin	0,01	–
Phức hệ Phù Mỹ	0,01	–
Phức hệ Diên Bình	0,01	–
Phức hệ Hiệp Đức	0,01	–
Phức hệ Phước Thiện	0,01	–
Pleistocen Thượng	1,53	0,32
Holocen Hạ-Trung	3,34	1,71
Hệ tầng Kon Tum	0,24	0,53
Hệ tầng Mang Yang	6,48	1,17
Hệ tầng Túc Trung	25,77	68,87
Hệ tầng Đại Nga	4,93	1,71
Holocen Thượng	1,22	0,32
Hệ tầng Khâm Đức	0,28	0,43
Holocen Trung-Thượng	0,40	0,85
Hệ tầng Chư Prông	1,61	–
Hệ tầng Ea Súp	0,41	–
Hệ tầng Đăk Bùng	0,57	0,11
Hệ tầng Chư Sê	0,03	–
Hệ tầng Đơn Dương	0,91	–
Hệ tầng Sông Ba	1,41	0,11
Pleistocen Hạ	1,21	0,21
Hệ tầng Ia Ban	0,32	–
Hệ tầng Đray Linh	1,52	0,32
Pleistocen Trung-Thượng	0,93	0,21
Phức hệ Điệng Bông	0,01	–
Phức hệ Chu Lai	0,03	–
Phức hệ Tu Mơ Rông	0,01	–
Hệ tầng Tắc Pô	2,07	0,64
Hệ tầng Xuân Lộc	1,55	9,59

Với yếu tố lượng mưa, mối quan hệ không gian giữa lượng mưa và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai được ghi nhận chưa phù hợp quy luật tuyến tính về trữ lượng - lượng mưa. Điều này có thể đến từ khía cạnh mật độ trạm khí tượng quá thưa cho khu vực rộng lớn, địa hình phức tạp. 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 khu vực Gia Lai 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, 36% số lượng mạch lộ nước ngầm (lưu lượng 0,02-78,22 l/s) phân bố ở các khu vực có lượng mưa trung bình nhiều năm 36429,38-38795,19 mm, tiếp đến là 31% số lượng mạch lộ nước ngầm (lưu lượng 0,01-118,35 l/s) phân bố ở các khu vực có lượng mưa trung bình nhiều năm 38795,20-41343,82 mm. Các khu vực có lượng mưa trung bình nhiều năm còn lại, có số lượng các mạch lộ phân bố ít hơn (Bảng 13).

**Bảng 13.** Quan hệ mạch lộ và lượng mưa.

Lượng mưa (mm)	Diện tích (%)	Mạch lộ (%)
0-36429,37	17,55	14,29
36429,38-38795,19	19,65	35,50
38795,20-41343,82	16,03	30,92
41343,83-43617,83	18,04	12,69
43617,84-45892,66	9,66	2,03
45892,67-48349,47	9,30	1,39
48349,48-50624,29	3,93	1,17
50624,30-52990,11	3,87	1,39
52990,12-56720,83	1,98	0,64

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã sử dụng kết quả điều tra thu thập về nước ngầm mạch lộ và các yếu tố môi trường tự nhiên tới nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai trong khuôn khổ đề tài cấp bộ mã số B2021-MDA-12, sử dụng Hệ phương pháp phân tích không gian GIS bao gồm 03 bước. Kết quả đã xây dựng được cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ tích hợp các dữ liệu không gian/phi không gian. Cơ sở dữ liệu địa không gian nước ngầm mạch lộ bao gồm dữ liệu không gian về nước ngầm mạch lộ và 12 yếu tố môi trường tự nhiên có quan hệ ảnh hưởng tới nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai. Mười hai yếu tố môi trường tự nhiên, gồm: độ dốc, hướng sườn, độ cong, cao độ, thực phủ, NDVI, NDMI, NDWI, khoảng cách tới đứt gãy, khoảng cách tới sông, thành tạo địa chất, và lượng mưa. Cơ sở dữ liệu địa không gian là cơ sở để tiến hành phân tích định lượng về các mối quan hệ không gian giữa các yếu tố môi trường tự nhiên đến sự hình thành, trữ lượng và nguy cơ suy thoái nước ngầm mạch lộ khu vực nghiên cứu.

Kết quả phân tích đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường tự nhiên và nước ngầm mạch lộ cho thấy nước ngầm mạch lộ có mối quan hệ không gian chặt chẽ với các khu vực: độ dốc địa hình thấp < 12,8 độ (> 90% tổng mạch lộ trên 75% tổng diện tích), hướng sườn bằng phẳng (25% tổng mạch lộ trên 24,2% tổng diện tích), độ cong địa hình - 0,004 - 0,005 (40,51% tổng mạch lộ trên 24,2% tổng diện tích), cao độ địa hình 666-802,6 m (33,48% tổng mạch lộ trên 15,35 tổng diện tích), thành tạo đất đá và sản phẩm phong hóa hệ tầng Túc Trung (68,87% tổng mạch lộ trên 25,77% tổng diện tích), thực phủ là cây thân gỗ, và các chỉ số NDVI 0,45-0,54, NDMI -03-0,04, NDWI 0-0,17. Thành phần đất đá của Hệ tầng Túc Trung là bazan của 3-5 đợt phun trào phủ chồng lên nhau, thành phần là các tập bazan đặc sít bazan lỗ hồng màu xám tro, xám đen, nứt nẻ không đều xen kẽ các tập tuf bazan, dăm kết núi lửa và các lớp bazan phong hóa thành đất đỏ giữa tầng, bề dày 50-300m. Trong khi đó, mối quan hệ không gian giữa nước ngầm mạch lộ với các yếu tố đứt gãy kiến tạo và hệ thống sông chưa rõ nét ở khu vực Gia Lai. Nguyên nhân có thể do tính khả dụng của dữ liệu trên diện tích nghiên cứu lớn cũng như điều kiện địa chất, địa hình-địa mạo phức tạp nên kết quả phân tích chưa ghi nhận được sự nổi bật về đặc điểm quan hệ giữa nước ngầm mạch lộ với các thành phần cụ thể trong các yếu tố này. Mối quan hệ giữa lượng mưa trung bình nhiều năm với trữ lượng nước ngầm mạch lộ cũng chưa phù hợp quy luật tuyến tính về trữ lượng-lượng mưa. Điều này có thể đến từ khía cạnh mật độ trạm khí tượng quá thưa cho

khu vực rộng lớn, địa hình phức tạp và giới hạn thuật toán nội suy chưa xét đến sự phân cắt địa hình và lưu vực dẫn đến độ sai số nhất định.

Từ kết quả đánh giá định lượng quan hệ giữa các yếu tố môi trường và nước ngầm mạch lộ khu vực Gia Lai, nghiên cứu đã cung cấp bức tranh thông tin toàn diện về sự ảnh hưởng và tác động giữa chúng. Kết quả này cũng góp phần 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 phục vụ quản lý, khai thác bền vững. Đặc biệt với các mô hình hiện đang được quan tâm do khả năng dự báo chính xác cao như máy học - trí tuệ nhân tạo.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.V.H., N.V.N.; Xử lý số liệu: N.V.H., P.M.T.; Viết bản thảo bài báo: T.V.L., N.V.N.; Chính sửa bài báo: N.V.H.

**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. Altenburger, R.; et al. Future water quality monitoring-Adapting tools to deal with mixtures of pollutants in water resource management. *Sci. Total Environ.* **2015**, *512*, 540–551.
2. Chezgi, J.; et al. Assessment of a spatial multi-criteria evaluation to site selection underground dams in the Alborz Province, Iran. *Geocarto Int.* **2016**, *31(6)*, 628–646.
3. Todd, D.K.; Mays, L.W. Groundwater hydrology. John Wiley & Sons, 2004.
4. Nhu, V.H.; Rahmati, O.; Falah, F.; Shojaei, S.; Al-Ansari, N.; Shahabi, H.; Shirzadi, A.; Górski, K.; Nguyen, H.; Ahmad, B.B. 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. *Water* **2020**, *12(4)*, 1–25.
5. Lee, S.; Song, K.Y.; Kim, Y.; Park, I. Regional groundwater productivity potential mapping using a geographic information system (GIS) based artificial neural network model. *Hydrogeol. J.* **2012**, *20(8)*, 1511.
6. VOV. Biến đổi khí hậu ở Tây Nguyên: Người làm nông rất mệt. 2017. Trục tuyến: <https://vov.vn/kinh-te/bien-doi-khi-hau-o-tay-nguyen-nguoi-lam-nong-rat-mat-649162.vov>.
7. Nhat Ha. Tây Nguyên trong 'chảo lửa' hạn hán. 2016. Trục tuyến: <https://vnexpress.net/tin-tuc/thoi-su/tay-nguyen-trong-chao-lua-han-han-3376415.html>.
8. Viện Quy hoạch Thủy lợi. Quy hoạch tổng thể thủy lợi vùng Tây Nguyên. 2015.
9. Kresic, N.; Stevanovic, Z. Groundwater hydrology of springs: engineering, theory, management and sustainability. Butterworth-heinemann, 2010. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-19145-6>.
10. Nhu, V.H.; Shahabi, H.; Nohani, E.; Shirzadi, A.; Al-Ansari, N.; Bahrami, S.; Miraki, S.; Geertsema, M.; Nguyen, H. Daily Water Level Prediction of Zrebar Lake (Iran): A Comparison between M5P, Random Forest, Random Tree and Reduced Error Pruning Trees Algorithms. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2020**, *9(8)*, 479.
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 ĐTĐL.CN-64/15. 2018, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.



13. Naghibi, S.A.; Dashtpajardi, M.M. Evaluation of four supervised learning methods for groundwater spring potential mapping in Khalkhal region (Iran) using GIS-based features. *Hydrogeol. J.* **2017**, *25*(1), 169.
14. Mousavi, S.M.; Golkarian, A.; Naghibi, S.A.; Kalantar, B.; Pradhan, B. GIS-based groundwater spring potential mapping using data mining boosted regression tree and probabilistic frequency ratio models in Iran. *Aims Geosci.* **2017**, *3*(1), 91–115.
15. Moghaddam, D.D.; Rezaei, M.; Pourghasemi, H.R.; Pourtaghie, Z.S.; Pradhan, B. Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan Watershed, Iran. *Arabian J. Geosci.* **2015**, *2*(8), 913–929.
16. Pourtaghi, Z.S.; Pourghasemi, H.R. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. *Hydrogeol. J.* **2014**, *22*(3), 643–662.
17. Chowdhury, A.; Jha, M.K.; Chowdary, V.M.; Mal, B.C. Integrated remote sensing and GIS-based approach for assessing groundwater potential in West Medinipur district, West Bengal, India. *Int. J. Remote Sens.* **2009**, *30*(1), 231–250. doi:10.1080/01431160802270131.
18. Sander, P.; Chesley, M.M.; Minor, T.B. Groundwater assessment using remote sensing and GIS in a rural groundwater project in Ghana: lessons learned. *Hydrogeol. J.* **1996**, *4*(3), 40–49.
19. Mohammadtaghi, A.; Saeid, J.; Dieu, T.B.; Hoa, P.V.; Ngo, P.T.T.; Nhu, V.H. A tree-based intelligence ensemble approach for spatial prediction of potential groundwater. *Int. J. Digital Earth* **2020**, 1–22.
20. Aller, L.; et al. DRASTIC: a standardized system to evaluate groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. National Water Well Association, Worthington, Ohio, United States of America, 1987.
21. Oh, H.-J.; et al. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *J. Hydrol.* **2011**, *399*(3-4), 158–172.
22. Corsini, A.; Cervi, F.; Ronchetti, F. Weight of evidence and artificial neural networks for potential groundwater spring mapping: an application to the Mt. Modino area (Northern Apennines, Italy). *Geomorphology* **2009**, *111*(1-2), 79–87.
23. Ozdemir, A. Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). *J. Hydrol.* **2011**, *405*(1-2), 123–136.
24. Rahmati, O.; Pourghasemi, H.R.; Melesse, A.M. Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: A case study at Mehran Region, Iran. *Catena* **2016**, *137*, 360–372.
25. Golkarian, A.; et al. Groundwater potential mapping using C5.0, random forest, and multivariate adaptive regression spline models in GIS. *Environ. Monit. Assess.* **2018**, *190*(3), 149.
26. Rahmati, O.; et al. Groundwater spring potential modelling: Comprising the capability and robustness of three different modeling approaches. *J. Hydrol.* **2018**, *565*, 248–261.
27. Khosravi, K.; Panahi, M.; Dung, B.T. 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), 4771–4792.
28. Nhu, V.H.; et al. Mapping of groundwater spring potential in karst aquifer system using novel ensemble bivariate and multivariate models. Groundwater Modelling in Karst Areas. *Water* **2020**, *12*(4), 985. <https://doi.org/10.3390/w12040985>.
29. Hà, N.V. Using artificial intelligence in predicting groundwater potential for water scarcity area in the Central Highlands (Vietnam). RefNo: VIE 11 888 11/REGIE/019.

30. Sử dụng trí tuệ nhân tạo dự báo tiềm năng nước dưới đất cho vùng khan hiếm nước khu vực Tây Nguyên (Việt Nam). Mã số: VIE 11 888 11/REGIE/019. 2018, Facility for Capacity Building project (FCB) - Enabel Viet Nam.
31. Cảnh, Đ.V.; cs. 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.
32. Cảnh, Đ.V.; cs. 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: ĐTĐL.2007G/44. 2010.
33. Dương, H.H.; cs. 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.
34. 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: ĐTĐL.CN-64/15. 2018, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
35. 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.
36. Survey, U.S.G. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. 2020. Online available: <https://www.usgs.gov/centers/eros> (accessed March 18, 2020).
37. JAXA. Advanced Land Observing Satellite. 2020. Online available: [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30\\_e.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm) (accessed March 18, 2020).
38. JAXA. Advanced Land Observing Satellite. 2020. Online available: [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/lulc/lulc\\_vnm\\_v2104\\_e.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/lulc/lulc_vnm_v2104_e.htm) (accessed March 18, 2020).
39. MONRE. Bản đồ địa hình, tỷ lệ 1:50.000. 2018, Bộ Tài nguyên và Môi trường.
40. MONRE. Địa chất và khoáng sản, tỷ lệ 1:200.000. 2010, Bộ Tài nguyên và Môi trường.
41. NASA. Nasa Power. Online available: <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's%20Hourly%20,on%20YYYY%2FMM%2FDD> (accessed March 18, 2020).

## **Geo-spatial analysis to quantitatively assess the relationship between environmental factors and spring groundwater in Gia Lai area, Vietnam**

**Nhu Viet Ha<sup>1\*</sup>, Tran Vu Long<sup>1</sup>, Pham Minh Tuan<sup>1</sup>, Nguyen Viet Nghia<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Hanoi University of Mining and Geology; [nhuvietha@humg.edu.vn](mailto:nhuvietha@humg.edu.vn); [tranvulong@humg.edu.vn](mailto:tranvulong@humg.edu.vn); [xinghiepkhaosat@gmail.com](mailto:xinghiepkhaosat@gmail.com); [nguyenvietnghia@humg.edu.vn](mailto:nguyenvietnghia@humg.edu.vn)

**Abstract:** This paper presents the results of geospatial analysis to evaluate the quantitative relationship between natural environmental factors and spring groundwater in Gia Lai area. GIS spatial analysis method including 03 steps has been used, allowing the creation of a geospatial database on spring groundwater and 12 influencing factors. Accordingly, the level of close relationship is assessed in areas with terrain slope less than 12.8 degrees, aspect of flat, curvature of -0.004 to 0.005, elevation of 666-802.6 meters, Tuc Trung formation, land use/landcover of woody crops, and indices of NDVI of 0.45-0.54, NDMI of -0.3-0.04, and NDWI of 0-0.17. The relationship with factors of distance to faults and rivers

was not clearly defined. The relationship with rainfall does not conform to the linear rule of reserves supplementation. From the quantitative assessment, the research results have provided a comprehensive picture of the influence and impact between the spring groundwater and 12 natural environmental factors. As a reliable input scientific basis for forecasting models, assessing the risk of groundwater degradation for sustainable management and exploitation.

**Keywords:** Spring groundwater; Geo-spatial; GIS; Gia Lai; Viet Nam.