

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG VIỄN THÁM VÀ GIS TRONG LẬP BẢN ĐỒ PHÂN VÙNG NGUY CƠ BỆNH SỐT RÉT

Nguyễn Danh Đức, Trần Thị Tuyết Vinh, Nguyễn Văn Lợi
Trường Đại học Mở - Địa chất

Tóm tắt

Bệnh sốt rét là một trong những bệnh truyền nhiễm nhiệt đới phổ biến tại Việt Nam. Theo số liệu thống kê, năm 1991, Việt Nam có tới 1 triệu trường hợp mắc. Đến năm 2018, số lượng mắc chỉ còn 6780 người, nỗ lực của chính phủ là năm 2030 loại trừ bệnh sốt rét khỏi cộng đồng. Tuy nhiên, các tỉnh Trung, Tây Nguyên vẫn là điểm nóng của dịch sốt rét với đặc điểm về địa hình, dân cư và tập quán sinh hoạt của nhân dân. Trong công tác loại trừ bệnh sốt rét, việc dự báo, phân vùng nguy cơ để lập các phương án đối phó là hết sức quan trọng. Bài báo này sử dụng GIS và công cụ máy học được áp dụng với các dữ liệu viễn thám, quan trắc tại khu vực Đắk Nông để thành lập bản đồ phân vùng nguy cơ bệnh sốt rét. Nơron nhân tạo ANN (Artificial Neuron Network) được ứng dụng để mô hình hóa các điều kiện tối ưu cho bệnh sốt rét với 15 tiêu chí đầu vào và các dữ liệu lấy mẫu thực địa. Kết quả cho thấy bản đồ nguy cơ bệnh sốt rét có mức độ tương đồng cao với dữ liệu lấy mẫu thực tế. Điều này cho thấy tiềm năng lớn của việc ứng dụng GIS và trí tuệ nhân tạo trong thành lập bản đồ phân vùng nguy cơ bệnh sốt rét bằng dữ liệu viễn thám.

Từ khóa: Sốt rét; GIS; Nơron nhân tạo; Đắk Nông.

Abstract

Using remote sensing and GIS data for establishing malaria risk zoning maps

Malaria is one of the most populated tropical diseases in Vietnam. Based on statistical data, the number of people infected malaria in Vietnam was 1 million people in 1991, reduced to 6780 people in 2018. The government's effort is to eliminate malaria from the community by 2030. However, the Central and Central Highlands provinces are still hot spots for malaria due to the characteristics of topography, population and people's living habits. Forecasting and risk zoning for the preparation of response plans are very important for malaria elimination. In this paper, GIS and Artificial Neuron Network (ANN) are integrated to process the remote sensing and observation data in order to create the malaria risk zoning map in Dak Nong province. The input data include 15 criteria and observational data from fields. The results showed that the forecasting malaria map is highly appropriate for field observation data. This means that GIS and ANN application has high potential in malaria forecast mapping and can be applied to other tropical diseases in Vietnam.

Keywords: Malaria; GIS; Artificial Neuron Network; Dak Nong.

1. Đặt vấn đề

Sốt rét là bệnh truyền nhiễm thuộc nhóm B trong Luật phòng chống bệnh truyền nhiễm và dễ dàng lây lan phát triển thành dịch nếu không được kiểm soát. Hiện nay, sốt rét vẫn còn là một vấn đề sức khoẻ lớn trên thế giới nói chung và tại Việt Nam nói riêng. Theo ước tính của Tổ chức Y tế thế giới - WHO khoảng 40% dân số thế giới hiện nay đang sống trong vùng có nguy cơ mắc sốt rét. Hàng năm có khoảng 350 triệu đến 500 triệu người mắc sốt rét và hơn 1 triệu người chết do sốt rét [1]. Cho đến nay vấn đề quản lý và kiểm soát dịch sốt rét vẫn luôn là mối quan tâm và còn là thách thức của Bộ Y tế nói riêng và của toàn xã hội nói chung. Tại Việt Nam, theo số liệu báo cáo hàng năm của Chương trình phòng chống sốt rét Quốc gia, các tỉnh có mức độ sốt rét cao chủ yếu thuộc khu vực Miền Trung - Tây Nguyên [1]. Hầu hết các xã, huyện có đường biên giới với Lào hoặc Campuchia đều có tỷ lệ bệnh nhân mắc sốt rét cao hơn so với các địa phương khác trong cả nước. Nguyên nhân gây ra bệnh sốt rét được xác định là do ký sinh trùng sốt rét (KSTSR) và trung gian do muỗi Anopheles truyền KSTSR từ người này sang người khác. Do đó, xác định các yếu tố ảnh hưởng đến sự phát sinh, phát triển của bệnh sốt rét dưới góc độ địa lý học cũng là nghiên cứu điều kiện hay yếu tố thích hợp cho muỗi Anopheles phát sinh, phát triển và truyền bệnh vì từ các yếu tố địa lý tự nhiên, kinh tế xã hội có thể lựa chọn các dữ liệu nhằm xây dựng các lớp thành phần phục vụ cho mô hình GIS phân vùng các khu vực có nguy cơ bệnh sốt rét, công việc có ý nghĩa quan trọng trong giai đoạn hiện nay.

Trên thế giới, những năm gần đây công nghệ GIS với dữ liệu địa không

gian cũng đã được nghiên cứu và ứng dụng nhiều trong phân tích các vấn đề về xã hội, y tế - dịch tễ cộng đồng với mức độ ngày càng chuyên sâu. Các mô hình tuyến tính tích hợp dữ liệu viễn thám và GIS trong lập bản đồ nguy cơ sốt rét cũng có những đóng góp về mặt khoa học và thực tiễn [2]. Mosha và cộng sự, (2014) đã đề xuất cách tiếp cận thống kê và các phương pháp phân tích không gian [3]. Trước đó, Aregawi và cộng sự đã sử dụng phương pháp phân tích thống kê dựa trên chuỗi thời gian [4]. Tuy nhiên, cách tiếp cận thống kê chưa giải quyết được các cấu trúc phức tạp và phi tuyến tính của mô hình dự báo nguy cơ sốt rét. Các mô hình dự báo truyền thống vẫn cần phải được phát triển hoặc thay thế bằng các phương pháp mạnh mẽ và tự động để giải quyết những hạn chế của các kỹ thuật này [5].

Nhìn chung, các nghiên cứu về vấn đề này được chia thành ba hướng chính: (1) dựa vào kiến thức chuyên gia, (2) sử dụng viễn thám và GIS, (3) sử dụng các mô hình thống kê kết hợp với trí thông minh nhân tạo, viễn thám và GIS. Các hướng nghiên cứu này đều tìm hiểu mối quan hệ giữa các biến độc lập và xây dựng mô hình dự báo nguy cơ mắc bệnh sốt rét dựa trên tập hợp biến đó.

Hiện nay hướng nghiên cứu thứ (3) sử dụng các mô hình thống kê kết hợp với trí thông minh nhân tạo, viễn thám và GIS đã và đang chứng minh được tính hiệu quả và có mức độ tin tưởng dựa trên cơ sở đánh giá độ chính xác của kết quả dự báo. Có thể kể đến một số nghiên cứu sử dụng trí thông minh nhân tạo, dữ liệu viễn thám và phân tích GIS trong quản lý dự báo rủi ro sốt rét [6]. Cụ thể, Sudheer et al., (2013) đã tích hợp mô hình vector hỗ trợ

Nghiên cứu

(Support Vector Machine) và thuật toán tối ưu hóa đom đóm (Firefly Algorithm) để đánh giá nguy cơ sốt rét [5]. Buczak và cộng sự (2015) ứng dụng logic mờ trong nghiên cứu về sốt rét tại Hàn Quốc [7]. Orlando Zacarias and Henrik Boström, (2013) triển khai so sánh mô hình hồi quy vector hỗ trợ và tối ưu hóa ngẫu nhiên (Random forest) tại Mô-dâm-bic [8]. Mô hình Nơron nhân tạo được Palaniyandi M, (2014) sử dụng trong nghiên cứu tại khu vực rừng Amazon của Brazil [6]. Những nghiên cứu này đã phần nào thấy được tính ưu việt so với các mô hình trước đây dựa trên việc đánh giá độ chính xác của bản đồ kết quả.

Ở Việt Nam, đã có nhiều nghiên cứu về bệnh sốt rét [1, 9, 10], đặc biệt trong những năm gần đây đã có những nghiên cứu sử dụng dữ liệu viễn thám và công nghệ GIS trong lĩnh vực môi trường và sức khỏe [11], trong giảm thiểu nguy cơ phát sinh và lan truyền của dịch sốt rét, các đề tài nghiên cứu liên quan tới y học - dịch tễ, địa lý thiên nhiên, địa lý y học [12]. Các đề tài chủ yếu tập trung vào nghiên cứu về y học - dịch tễ bệnh sốt rét hay địa lý tự nhiên hoặc phương pháp phòng bệnh, một trong số các nghiên cứu về lĩnh vực này có thể kể đến như: Dự báo nguy cơ tự nhiên bệnh sốt rét ở Gia Lai của Đào Văn Dũng, Nguyễn Đức Tuệ, Nguyễn Cao Huân (2009) trong tạp chí Y học Việt Nam ứng dụng viễn thám và GIS trong dự báo dịch sốt rét ở Gia Lai [12]; xác định tỷ lệ mắc và thực trạng sử dụng thuốc tự điều trị sốt rét cho người dân tại rẫy ở xã Đăk R'Măng, Đăk Glong, Đăk Nông năm 2010 của Nguyễn Đức Hào (2010); Hồ Đắc Thoàn (2017) [9, 10].

Dưới góc nhìn dịch bệnh sốt rét là

một tai biến tự nhiên - nhân sinh thì cũng có các đề tài nghiên cứu chuyên sâu với việc ứng dụng GIS, viễn thám và mô hình toán trong nghiên cứu dịch sốt rét như đề tài nghiên cứu của các tác giả: Đào Văn Dũng, 2009 [12]; Bùi Quang Thành và cộng sự, 2018 [13]. Với cách tiếp cận về việc sử dụng mô hình khai phá dữ liệu, trí tuệ nhân tạo, tối ưu hóa cũng có các nghiên cứu gần đây như: nghiên cứu trong lũ lụt [14] nghiên cứu cháy rừng [15].

2. Khu vực nghiên cứu

Đăk Nông là một tỉnh ở vùng Tây Nguyên nằm trọn trên cao nguyên M'Nông, và ở cửa ngõ phía Tây Nam của Tây Nguyên, có giới hạn tọa độ từ 11°45' đến 12°50' vĩ độ Bắc và từ 107°12' đến 108°07' kinh độ Đông. Phía Bắc và Đông Bắc giáp tỉnh Đăk Lăk, phía Đông và Đông Nam giáp tỉnh Lâm Đồng, phía Nam giáp tỉnh Bình Phước, phía Tây giáp Vương quốc Campuchia với đường biên giới dài khoảng 120 km. Tỉnh Đăk Nông được chia thành 8 đơn vị hành chính cấp huyện: Thành phố Gia Nghĩa, huyện Cư Jút, Đăk Mil, Đăk Glong, Đăk R'Lấp, Đăk Song, Krông Nô, Tuy Đức (Hình 1). Địa hình Đăk Nông chạy dài và thấp dần từ Đông sang Tây, với độ cao trung bình từ 600 m đến 700 m so với mặt nước biển, địa hình đa dạng, phong phú và bị chia cắt mạnh, có sự xen kẽ giữa các núi cao, với các cao nguyên rộng lớn, dốc thoải, lượn sóng, khá bằng phẳng xen kẽ các dải đồng bằng thấp trũng. Về kinh tế - xã hội, theo số liệu thống kê chỉ số năng lực cạnh tranh cấp tỉnh PCI năm 2017 tỉnh Đăk Nông vẫn đứng cuối cùng trong danh sách, người dân làm nông nghiệp của tỉnh chiếm 70% với tập quán canh tác

của người dân hay đi rừng, ngủ rừng, đi dân làm kinh tế mới,... Những đặc điểm địa lý tự nhiên, kinh tế - xã hội trên của Đắk Nông tiềm tàng các điểm, vị trí dễ bị

tổn thương nhất khi xuất hiện bệnh truyền nhiễm đặc biệt dịch bệnh liên quan tới muỗi và ký sinh trùng.



Hình 1: Khu vực nghiên cứu

3. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

3.1. Dữ liệu nghiên cứu

3.1.1. Các nhân tố ảnh hưởng đến bệnh sốt rét

Quá trình phát sinh bệnh sốt rét có mối liên quan chặt chẽ tới các điều kiện tự nhiên và kinh tế xã hội của chúng ta. Các nghiên cứu trước đây cũng đã chỉ ra rằng điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội ảnh hưởng trực tiếp tới sự phát sinh/lan truyền vector sốt rét hay dịch bệnh như: khí hậu nhiệt đới, độ cao, độ dốc, vùng nước đọng, điều kiện giao thông, y tế kém phát triển, mức độ sống không đảm bảo, thói quen sinh sống đi rừng của người dân, trình độ dân trí thấp và ảnh hưởng tiêu cực của biến đổi khí hậu (BĐKH). Công nghệ địa không gian với các dữ liệu bản đồ và ảnh viễn thám mô tả các lớp nội dung về khí hậu, độ cao, độ dốc, vùng nước đọng, điều kiện giao thông, y tế,...sẽ là nguồn dữ liệu đầu

vào để sử dụng kỹ thuật phân tích không gian trong GIS nhằm xác định và khoanh vùng các khu vực có nguy cơ xảy ra bệnh sốt rét. Vì vậy một khi nhận biết được các khu vực/vùng địa lý dễ bị tổn thương bởi dịch bệnh sốt rét, sẽ là thông tin quan trọng giúp hỗ trợ cho công tác y tế dự phòng. Việc quản lý phòng tránh sốt rét, trong đó có dự báo nguy cơ mắc bệnh sốt rét đòi hỏi phải có dữ liệu chính xác về không gian và các thông tin về thời gian [3, 4]. Từ những lớp dữ liệu chính xác này sẽ là đầu vào quan trọng cho các nghiên cứu, trong đó có các nghiên cứu trên quan điểm địa lý y học kết hợp với công nghệ viễn thám, GIS và các thuật toán tối ưu là hướng nghiên cứu nhiều triển vọng khi sử dụng ứng dụng các phân tích không gian. Đánh giá các nguy cơ tiềm tàng, xác định khu vực dễ tổn thương giúp chủ động phòng và hạn chế tác động xấu từ quá trình lây lan của dịch bệnh.

Nghiên cứu

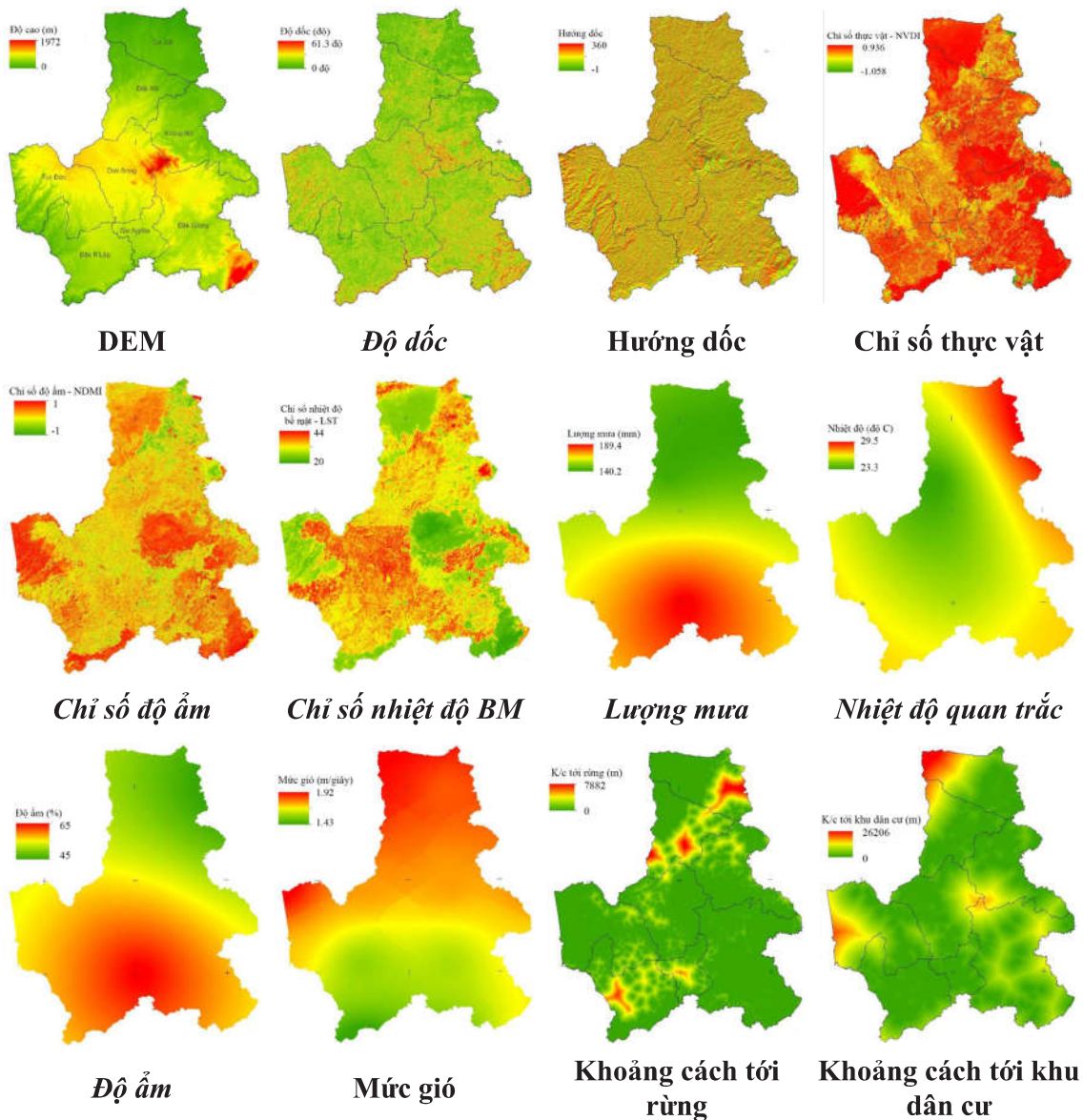
3.1.2. Dữ liệu nghiên cứu

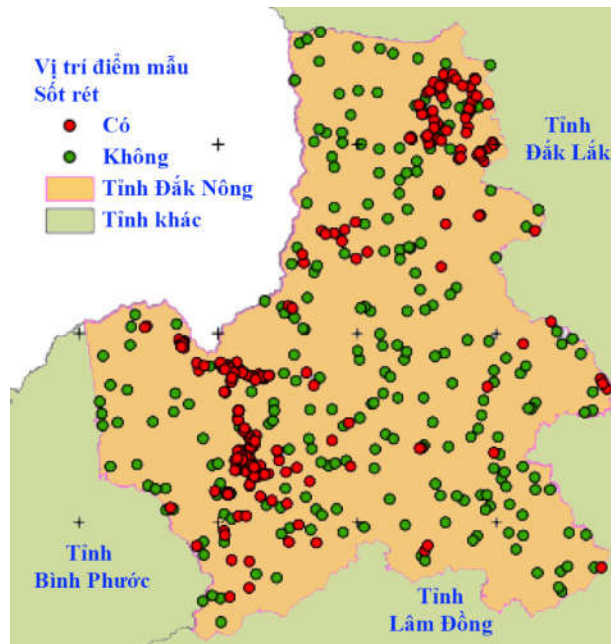
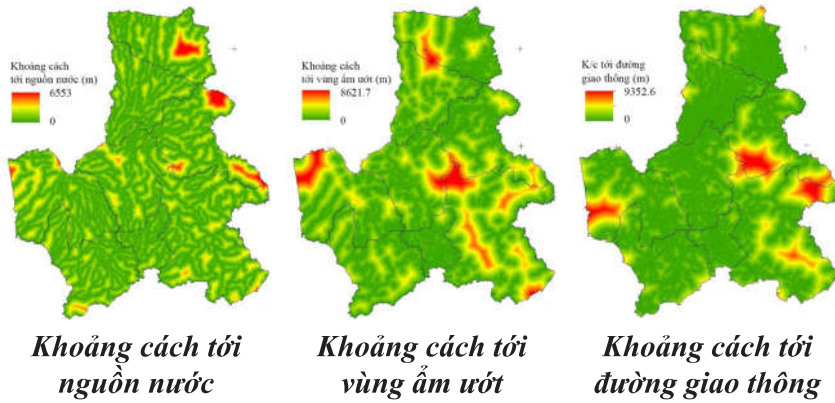
Dữ liệu nghiên cứu của bài báo bao gồm ảnh vệ tinh Landsat 8; dữ liệu DEM từ nguồn ảnh vệ tinh ASTER (miễn phí) có độ phân giải 30 m, dữ liệu địa hình, thủy văn, các số liệu quan trắc tại các trạm quan trắc trong tỉnh Đắk Nông, ... để xây dựng các lớp dữ liệu đầu vào.

Do vậy, dữ liệu đầu vào cần chuẩn bị bao gồm: DEM, độ dốc, hướng dốc,

chỉ số thực vật, chỉ số nhiệt độ bề mặt, chỉ số độ ẩm, lượng mưa, nhiệt độ, mức gió, khoảng cách tới khu dân cư, khoảng cách tới đường giao thông, khoảng cách tới nguồn nước như sông, suối, hồ, ao, ... khoảng cách tới vùng ẩm ướt, khoảng cách tới rừng. Các dữ liệu này là các lớp raster được chuẩn bị trong phần mềm ArcGIS (Bảng 1).

Bảng 1. Dữ liệu đầu vào





Hình 2: Vị trí điểm lấy mẫu khu vực nghiên cứu
Bảng 2. Dữ liệu thu thập để đào tạo và kiểm thử mạng

OBJECTID	Shape	Malaria	ASPECT	DEM	Dist forest	Dist hospital	Dist resident	Dist river	Dist roads	Dist wetland	NDVI	RAIN	SLOPE	TEMP	LST 1 March 201
247	Point	Co	341,5651	385	2030,241	22615,04	0	123,1864	30,79659	87,10593	0,53298	140,7462	2,939062	23,90881	32,831918
248	Point	Co	284,0363	344	1437,907	17836,44	0	2260,772	137,7266	97,38738	0,48459	141,421	5,733931	24,07654	31,099308
249	Point	Co	62,35402	305	2870,038	13453,18	0	97,38738	153,983	126,9776	0,61019	141,7329	5,496208	24,20405	32,945685
250	Point	Co	155,556	360	2713,772	19136,29	0	2905,345	30,79659	351,1352	0,52214	140,8841	5,60208	24,01757	34,444053
251	Point	Co	341,5651	339	942,6978	9550,371	0	1027,887	43,55296	897,8673	0,65278	140,7029	5,134089	24,26823	32,999187
252	Point	Co	155,556	349	3833,65	15258,03	0	3422,304	97,38738	2494,714	0,82538	141,2289	8,815767	24,13658	32,796206
253	Point	Co	241,6992	368	3984,679	17222,68	0	2128,533	253,9552	1460,486	0,69506	140,6578	6,83473	24,06123	33,903051
254	Point	Co	292,3801	327	4138,219	9290,215	0	1865,581	0	2327,742	0,28510	140,9215	4,267604	24,28489	33,350841
255	Point	Co	220,6013	360	2678,596	19218,58	0	2816,163	87,10593	263,1262	0,76480	140,891	8,513084	24,01571	33,226316
256	Point	Co	207,8973	357	4429,788	15025,61	0	3793,36	0	2846,145	0,73462	141,1053	4,464272	24,13725	31,688534
257	Point	Co	208,3008	306	2855,46	9792,833	0	194,7746	68,86328	1712,468	0,67054	141,1956	3,429565	24,28026	33,559589
258	Point	Co	105,2551	306	2482,519	13631,52	0	1571,834	30,79659	153,983	0,39643	141,9943	7,904157	24,17229	33,181814
259	Point	Co	209,5778	373	4085,862	17036,34	30,79659	2464,497	222,0774	1337,083	0,68597	140,666	9,797319	24,06663	32,407172
260	Point	Co	302,1957	333	5813,382	9755,28	0	3251,339	43,55296	991,7269	0,68825	140,6975	7,378931	24,26959	33,686219
261	Point	Co	156,8014	263	1170,271	9232,611	0	123,1864	123,1864	789,3767	0,50033	141,5014	3,537704	24,30792	33,601741
262	Point	Co	0	329	575,3279	11203,74	0	240,5291	43,55296	1088,824	0,27538	140,9358	7,400404	24,19218	34,088797

Ngoài dữ liệu các yếu tố ảnh hưởng làm đầu vào của mô hình thì còn cần có các mẫu về vị trí các điểm xuất hiện bệnh sốt rét và các điểm không xuất hiện bệnh sốt rét để làm cơ sở cho mô hình mạng học (đào tạo) và để kiểm tra sự đúng đắn của mô hình.

Dữ liệu thu thập được tham chiếu lại vào các yếu tố ảnh hưởng để đưa vào thành thuộc tính của các điểm đào tạo mạng (Bảng 2) phục vụ cho đánh giá độ chính xác.

Nghiên cứu

3.2. Phương pháp và quy trình xử lý dữ liệu

Quy trình xử lý dữ liệu thành lập bản đồ phân vùng nguy cơ sốt rét khu vực thực nghiệm được tiến hành theo quy trình (Hình 3). Các mẫu lần lượt được đưa vào mạng huấn luyện gọi là X_i , ban đầu các trọng số (w) được khởi tạo ngẫu nhiên và chúng sẽ được điều chỉnh sau mỗi vòng lặp. Bước này sẽ được lặp lại cho đến khi các trọng số hội tụ được các giá trị cho phép mạng xác định chính xác các mẫu. Gọi giá trị đầu ra là Y (Y_j) và giá trị mong đợi đã biết trước là (Z_j - Designed Result), sau mỗi vòng sẽ xuất hiện giá trị lỗi gọi là delta ($\text{delta} = Z_j - Y_j$), mục đích của mạng huấn luyện là delta càng nhỏ càng tốt ($\text{delta} = 0$ là hoàn hảo). Như vậy trọng số sau mỗi vòng sẽ được hiệu chỉnh theo công thức sau:

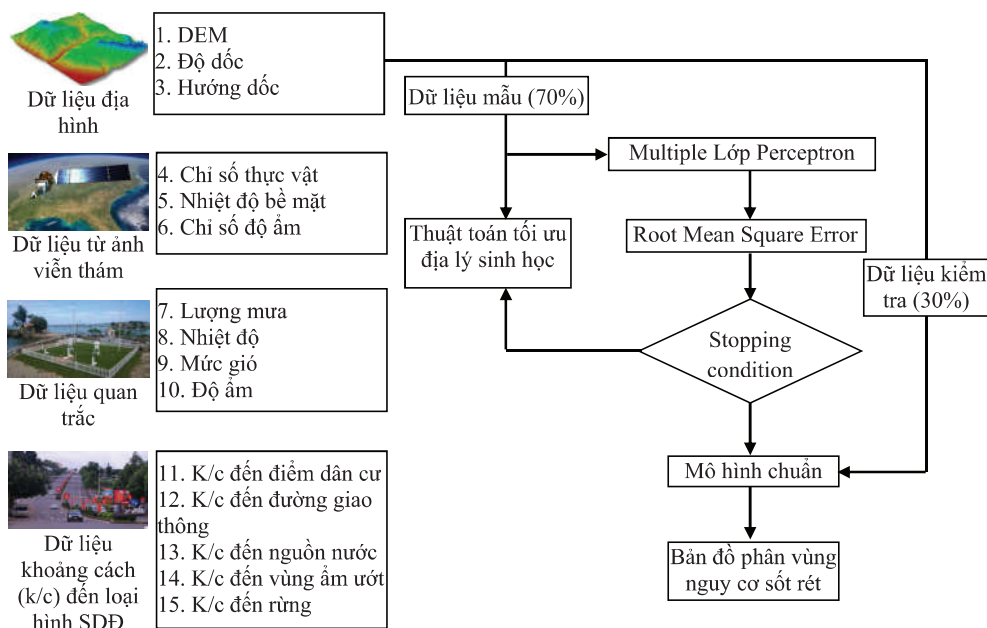
$$W_i (\text{sau}) = w_i (\text{trước}) + LR * \text{delta} * X_i$$

Trong đó, LR - Learning rate được gọi là tham số kiểm soát tốc độ học của mạng, lựa chọn được tham số kiểm soát tốc độ học phù hợp sẽ làm tăng độ chính xác.

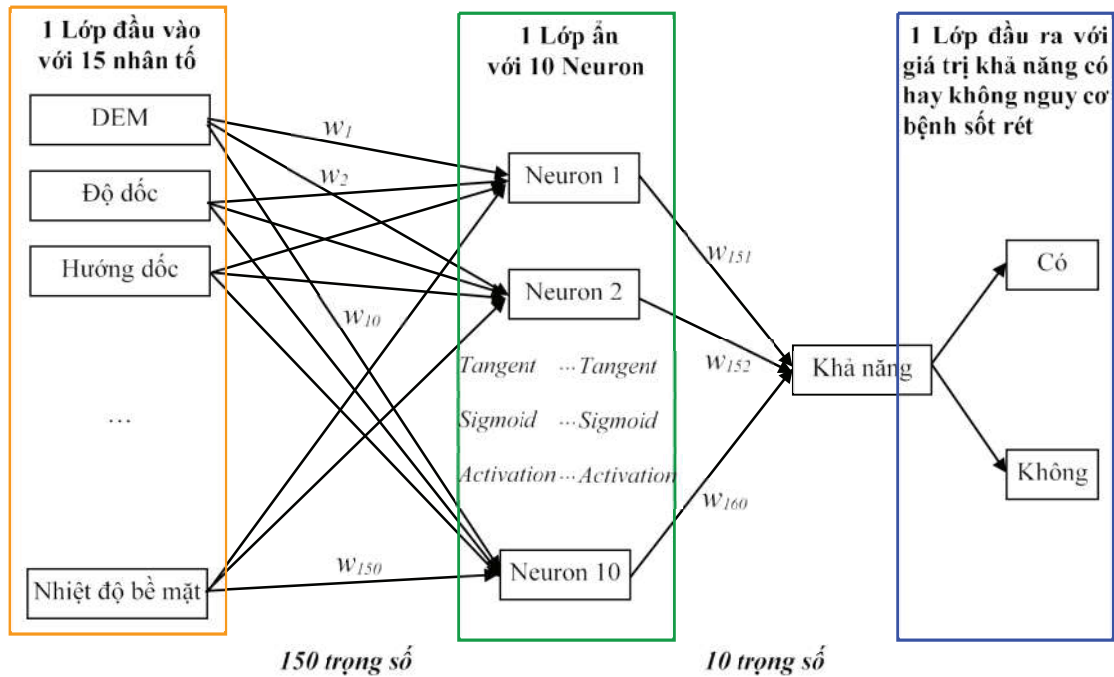
Tuy nhiên trong quá trình huấn luyện mạng Nơron nhân tạo, không phải tất cả Nơron có thể sinh ra, hay nói cách khác là khi đầu vào không đủ mạnh (thông tin đầu vào yếu) thì kết quả đầu ra sẽ không được chuyển tiếp sang lớp tiếp theo. Việc có được chuyển tiếp hay không phụ thuộc vào hàm chuyển đổi (Y_T -Transfer Function) thông qua khả năng kích hoạt bên trong (phụ thuộc hàm tổng là Summation Function và kết quả đầu ra).

$$Y_j = \sum_{i=1}^n X_i W_i; Y_T = 1/(1 + e^{-Y})$$

Hàm chuyển đổi phi tuyến được sử dụng phổ biến trong huấn luyện mạng là sigmoid (logical activation) function, mang giá trị thuộc khoảng $[0,1]$. Nếu đầu ra của một Nơron nhỏ hơn giá trị ngưỡng của nó, thì coi như không đủ mạnh để được chuyển đến lớp tiếp theo. Trên cơ sở đó nhóm tác giả tiến hành xây dựng mô hình mạng huấn luyện cho bài toán dự đoán nguy cơ sốt rét gồm 3 lớp, dữ liệu đầu vào mô hình là các yếu tố, các Nơron, trọng số và hàm toán học tương ứng.



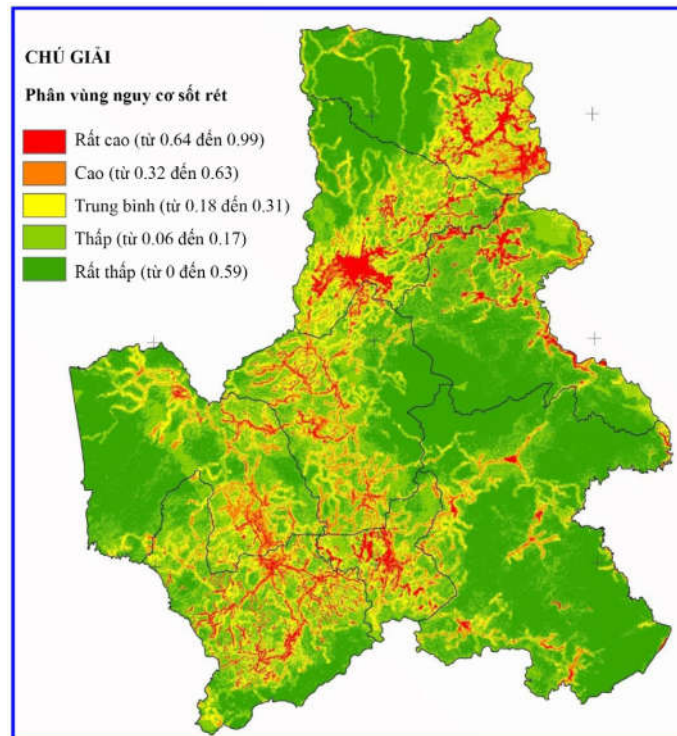
Hình 3: Quy trình xử lý dữ liệu thành lập bản đồ phân vùng nguy cơ sốt rét



Hình 4: Mô hình mạng huấn luyện ANN trong xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ sốt rét

4. Kết quả nghiên cứu

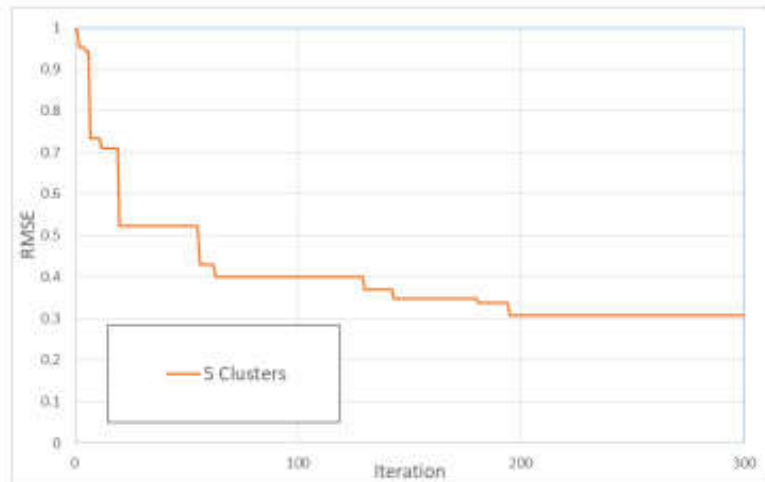
Sau khi xử lý dữ liệu và sử dụng mô hình mạng huấn luyện ANN, phân khoảng và trình bày các điểm nguy cơ sốt rét trên địa bàn tỉnh Đắk Nông bằng phần mềm ArcMap kết quả ta nhận được bản đồ phân vùng nguy cơ sốt rét khu vực nghiên cứu (Hình 5).



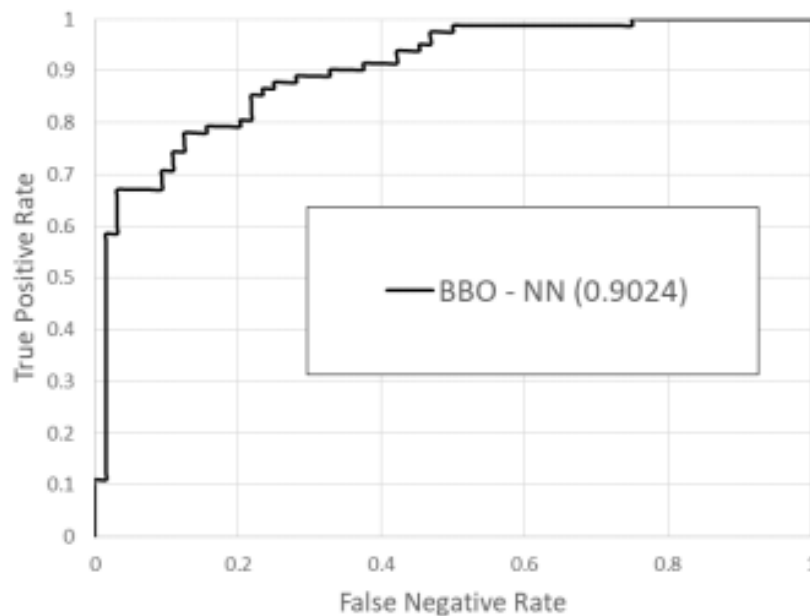
Hình 5: Phân vùng nguy cơ bệnh sốt rét khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu

Để kiểm tra sự đúng đắn của mô hình, sau 300 lần lặp giá trị sai số RMSE giảm xuống ngưỡng tối thiểu = 0,3646; còn phần diện tích dưới đường cong ROC có giá trị AUC = 0,902 giá trị này gần với 1 (thể hiện sự tối ưu về khả năng phân biệt dự đoán là tốt).



Hình 6: Giá trị RMSE sau 300 lần lặp



Hình 7: Biểu đồ ROC và AUC

5. Kết luận và kiến nghị

Trên cơ sở ứng dụng viễn thám và GIS, nhóm tác giả đã xây dựng được lớp dữ liệu phân vùng nguy cơ sốt rét tỉnh Đắk Nông. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc ứng dụng viễn thám, GIS và các thuật toán tối ưu phân vùng nguy cơ sốt rét có mức độ tin cậy cao qua cách thức kiểm thử và đánh giá tham số kết quả, đã giảm

thiểu tối đa sự đánh giá chủ quan của con người so với những phương pháp truyền thống khác.

Các kết quả nghiên cứu có thể sử dụng cho việc khoanh vùng khu vực nguy cơ và có các biện pháp hỗ trợ công tác phòng ngừa và kiểm soát dịch bệnh tốt hơn.

Từ kết quả nghiên cứu có thể thấy rằng để nâng cao độ chính xác kết quả mô

hình cần phải có nguồn dữ liệu đầu vào đảm bảo độ tin cậy và luôn được cập nhật trước khi chạy mô hình.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn tới Trường Đại học Mở - Địa chất đã hỗ trợ bài báo thông qua đề tài khoa học công nghệ cấp cơ sở, mã số T21-21

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Hoàng Hà (2014). *Nghiên cứu thực trạng sốt rét và đánh giá kết quả can thiệp phòng chống sốt rét tại một số xã biên giới của huyện Hương Hóa, tỉnh Quảng Trị*. Luận án Tiến sĩ y học, Huế.

[2]. Abiodun Morakinyo Adeola, and et al (2015). *Application of geographical information system and remote sensing in malaria research and control in South Africa: a review*. Southern African Journal of Infectious Diseases, volume 30, issue 4.

[3]. Jacklin F Mosha, and et al., (2014). *Hot spot or not: a comparison of spatial statistical methods to predict prospective malaria infections*. Malaria Journal 2014. <https://malariajournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-2875-13-53>.

[4]. Maru Aregawi et al., (2013). *Marc coosemans time series analysis of trends in malaria cases and deaths at hospitals and the effect of antimalarial interventions, 2001 - 2011, Ethiopia*. Journal of PLOS ONE. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106359>.

[5]. Sudheer Ch et al., (2014). *A support vector machine-firefly algorithm based forecasting model to determine malaria transmission*. Journal of Neurocomputing. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2013.09.030>.

[6]. Palaniyandi M (2014). *Red and Infrared remote sensing data for mapping and assessing the malaria and JE vectors*. J Geophys Remote Sensing. 3(3):1 - 4.

[7]. Anna L Buczak, and et al., (2015). *Fuzzy association rule mining and classification for the prediction of malaria in South Korea*. BMC medical informatics and decision making 15(1):47. Doi: 10.1186/s12911-015-0170-6.

[8]. Orlando Zacarias, Henrik Boström (2013). *Comparing support vector regression and random forests modeling for predicting malaria incidence in Mozambique*. International Journal on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer). Doi: 10.1109/ICTer.2013.6761181.

[9]. Hồ Đắc Toàn (2018). *Nghiên cứu một số đặc điểm dịch tễ và biện pháp phòng chống sốt rét cho người dân ngủ rẫy ở hai huyện của tỉnh Khánh Hòa và Gia Lai (2014 - 2017)*. Luận án Tiến sĩ Y tế công cộng, Hà Nội.

[10]. Nguyễn Đức Hào (2010). *Xác định tỷ lệ mắc và thực trạng sử dụng thuốc tự điều trị sốt rét cho người ngủ rẫy tại xã Đắc R Mãng, huyện Đắc Glong, tỉnh Đắk Nông năm 2010*. Y tế công cộng.

[11]. Nguyễn Quang Mỹ (2002), *Tăng cường năng lực đào tạo về Viễn thám và GIS trong lĩnh vực môi trường và sức khỏe ở Việt Nam*. Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

[12]. Đào Văn Dũng và nnk (2009). *Ứng dụng viễn thám và hệ thống thông tin địa lý trong dự báo dịch sốt rét ở Gia Lai*. Tạp chí Y học Việt Nam.

[13]. Quang-Thanh Bui and et al (2018). *Understanding spatial variations of malaria in Vietnam using remotely sensed data integrated into GIS and machine learning classifiers*. Geocarto International.

[14]. Dieu Tien Bui, and et al (2016). *Hybrid artificial intelligence approach based on neural fuzzy inference model and metaheuristic optimization for flood susceptibility modeling in a high-frequency tropical*. Journal of Hydrology, vol 540, pp 317 - 330.

[15]. Dieu Tien Bui and et al (2017). *A hybrid artificial intelligence approach using GIS-based neural-fuzzy inference system and particle swarm optimization for forest fire susceptibility modeling at a tropical area*. Journal of Agricultural and forest meteorology, vol 233, pp 32 - 44.

BBT nhận bài: 12/10/2021; Phản biện xong: 08/11/2021 ; Chấp nhận đăng: 01/12/2021