

Bài báo khoa học

# Nghiên cứu xây dựng Web-GIS công bố bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 trên địa bàn thành phố Hà Nội

Nguyễn Thị Thu Hương<sup>1\*</sup>, Nguyễn Quang Minh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Trắc địa Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa Chất Hà Nội; nguyenthithuhuongtdpt@humg.edu.vn; nqminh@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: nguyenthithuhuongtdpt@humg.edu.vn ; Tel.: +84-904802198

Ban Biên tập nhận bài: 5/10/2023; Ngày phản biện xong: 25/11/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2024

**Tóm tắt:** Ngay từ khi dịch bệnh COVID-19 bùng phát trên thế giới, đã có nhiều các nghiên cứu về thành lập bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19. Mục đích chính của các bản đồ này là cung cấp các thông tin cụ thể về mức độ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 trong từng khu vực. Các thông tin này rất hữu ích cho các nhà quản lý quyết định các chính sách, đưa ra các biện pháp phòng chống dịch bệnh hiệu quả và kiểm soát được sự lan truyền của virus SARS-CoV-2. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã nghiên cứu xây dựng một Web-GIS công bố về bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 (CVI Map) trên địa bàn thành phố Hà Nội, là một hệ thống được tham chiếu chéo, tích hợp, cập nhật thường xuyên các dữ liệu và các tính toán, báo cáo hàng ngày về các trường hợp COVID-19 của thành phố Hà Nội, tạo thành một tài nguyên mở toàn diện, từ đó đưa ra các phương pháp thích ứng phù hợp dựa trên điều kiện dân cư, điều kiện sống, hạ tầng, y tế,... Đây cũng là sự chuẩn bị cần thiết để Hà Nội có thể ứng phó với sự xuất hiện của các bệnh truyền nhiễm đường hô hấp cũng như các bệnh truyền nhiễm khác trong tương lai.

**Từ khóa:** COVID-19; Web-GIS; Bản đồ CVI; QGIS; Hà Nội.

## 1. Giới thiệu

Hiện nay, mặc dù dịch bệnh COVID-19 đang dần được đẩy lùi tại Việt Nam cũng như trên thế giới, tuy nhiên sự xuất hiện các biến thể khác nhau của virus SARS-CoV-2 vẫn là nguy cơ có thể khiến dịch bệnh bùng phát trở lại. Vì vậy, việc chuẩn bị các thông tin hỗ trợ phòng chống dịch, đặc biệt là bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 dựa trên dữ liệu không gian là rất cần thiết để đảm bảo Việt Nam có thể sống an toàn với virus SARS-CoV-2. Đối với những người nghiên cứu dữ liệu không gian (geo-spatial data science), một trong những câu hỏi quan trọng là: vậy bệnh dịch sẽ hay xuất hiện ở những chỗ nào? Nguy cơ dịch bệnh ở đâu là lớn nhất? Đã có nhiều nhà khoa học, giới quản lý y tế trên thế giới tìm cách trả lời câu hỏi này để rồi từ đó họ đưa ra các mô hình tính toán chính xác cho phép thành lập các bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID (COVID-19 Vulnerability Index Map - CVI Map). Các bản đồ này được tạo ra nhằm mục đích đánh giá và phân tích mức độ nguy cơ lây nhiễm của dịch COVID-19 tại từng khu vực và địa điểm khác nhau. Đây là công cụ quan trọng để đưa ra quyết định và triển khai các biện pháp phòng chống dịch hiệu quả. Tuy nhiên, muốn có được dữ liệu và mô hình để thành lập bản đồ CVI-Map cần có những dữ liệu thống kê hết sức chi tiết để từ đó có thể hình dung tại mỗi địa điểm, khu vực có các đặc điểm khác nhau thì bệnh dịch sẽ lây nhiễm như thế nào? Từ bản đồ này sẽ xác định được các khu vực có nguy cơ lây nhiễm nhanh khi có F0 trong cộng đồng, từ đó xác định các khu vực có nguy cơ bùng phát dịch cao, cần ưu tiên phủ Vaccine sớm cũng như có các biện pháp phòng

chống dịch hợp lý. Ngoài ra, việc kiểm soát dịch bệnh COVID-19 cũng đã phát triển các thành tựu với các mục tiêu phát triển (SDGs) về sức khỏe, kinh tế và xã hội, phát triển theo hướng phát triển bền vững [1–4].

Trước đây, sự bùng phát của dịch bệnh COVID-19 và hậu quả của nó trên toàn cầu đã dẫn đến các vấn đề xã hội nghiêm trọng liên quan đến sức khỏe cần được giải quyết như sự hoảng sợ, lo lắng, trầm cảm, phân biệt chủng tộc và không khoan dung [2]. Khi những thay đổi di truyền đối với virus xảy ra theo thời gian, virus SARS-CoV-2 bắt đầu hình thành các dòng di truyền. Giống như một gia đình có cây phả hệ, virus SARS-CoV-2 có thể được lập bản đồ tương tự. Đôi khi các nhánh của cây đó có các thuộc tính khác nhau làm thay đổi tốc độ lây lan của virus, mức độ nghiêm trọng của bệnh tật mà nó gây ra hoặc hiệu quả của các phương pháp điều trị chống lại nó. Các nhà khoa học gọi những virus có những thay đổi này là “biến thể”. Chúng vẫn là SARS-CoV-2, nhưng có thể hoạt động khác. Chính phủ của các quốc gia trên thế giới đã giới thiệu một số can thiệp để giảm khả năng di chuyển của con người và tiếp xúc với xã hội.

Để kiểm soát COVID-19, việc lập các bản đồ và phân tích không gian, hệ thống thông tin địa lý (GIS) cùng với dữ liệu không gian địa lý đóng một vai trò quan trọng, và là một cách thức công nghệ rộng rãi để nắm bắt, chuẩn bị, quản lý, tổng hợp phân tích từ nhiều nguồn dữ liệu [3]. Việc lập các bản đồ và phân tích không gian cũng có thể thực hiện theo dõi, xác định mô hình địa lý lây truyền, phân đoạn không gian để đánh giá tính dễ bị tổn thương và rủi ro, mô hình hóa không gian và trực quan hóa bất kỳ sự kiện nào có thể cung cấp hỗ trợ thông tin không gian nhỏ gọn cho việc ra quyết định, xây dựng các biện pháp và đánh giá tính hiệu quả của sự kiện để ngăn chặn và kiểm soát [4]. Năm 1854, việc lập bản đồ và phân tích không gian đã được sử dụng bởi bác sĩ người Anh John Snow để phát hiện và ngăn chặn dịch tả bùng phát ở London. Kết thúc của nghiên cứu đó đã giúp cứu sống nhiều người và hỗ trợ hình thành một hệ thống quản lý nước và chất thải ở London. Sau đó, nó được theo sau bởi các thành phố khác và tạo ra một sự thay đổi đáng kể về sức khỏe cộng đồng nói chung trên toàn thế giới [5].

Để có thể tạo bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh, dữ liệu không gian đóng vai trò quan trọng, làm đầu vào cho các mô hình xác định chỉ số nguy cơ bệnh tật [6]. Dựa trên số liệu thống kê về vị trí của các ca mắc COVID-19, có thể tạo ra mối tương quan giữa một số thông tin không gian như mật độ dân số, thu nhập bình quân đầu người, điều kiện sống có nguy cơ bùng phát dịch bệnh, v.v... [7]. Thông tin không gian này có thể được thu thập thông qua các nguồn dữ liệu mở hoặc có thể được xác định gián tiếp bằng các mô hình phân tích không gian thông qua dữ liệu không gian hiện có như phân bố độ che phủ đất, dữ liệu dân số, v.v... [8]. Phân tích tình hình dịch bệnh COVID-19 về không gian và thời gian là rất quan trọng để có thể hiểu rõ được bản chất, mức độ, mô hình địa lý của việc truyền nhiễm, các yếu tố nguy cơ tiềm ẩn, mức độ dễ bị tổn thương và rủi ro, và các điểm nóng về lây nhiễm [9]. Phân tích không gian về sự bùng phát COVID-19 cũng rất quan trọng khi xây dựng được một chính sách toàn diện để kiểm soát các tình huống bất lợi của đại dịch sử dụng các nguồn lực có sẵn. Việc phân tích không gian và thời gian rất quan trọng trong dịch tễ học [9]. Trong hai thập kỷ qua, dịch tễ học đã tham gia và nhận được các phản hồi tốt trong nghiên cứu các ứng dụng trung gian [10] và đã có một số nghiên cứu nhất định được thực hiện trên thế giới liên quan đến việc phân tích COVID-19 trong không gian [4, 11–12]. Đặc biệt, một nghiên cứu toàn diện về bản chất của lan truyền theo không gian, mô hình lây truyền theo không gian địa lý, tính dễ bị tổn thương và mức độ rủi ro cùng với việc phân tích các điểm nóng của COVID-19 đã được công bố trong các nghiên cứu của các nhà khoa học như [7, 13–15].

Cho đến nay, việc lập bản đồ nguy cơ lây nhiễm COVID-19 đã được báo cáo ở nhiều quốc gia trên thế giới bằng nhiều cách tiếp cận khác nhau. Theo [16], một trong những công cụ giúp con người có thể hiểu được căn bệnh này là Hệ thống thông tin địa lý (GIS). GIS cung cấp một khuôn khổ tuyệt vời để tích hợp dữ liệu cụ thể về bệnh tật với các khu dân cư, cơ sở y tế và xã hội cũng như môi trường tự nhiên xung quanh. Nó cũng cung cấp dữ liệu rất

phù hợp để phân tích dữ liệu và hiển thị xu hướng. Theo [17] đã đề xuất phương pháp tiếp cận đa tiêu chí và công nghệ GIS để đánh giá mức độ nguy hiểm của COVID-19 trong quá trình phong tỏa các quận nội thành. Tương tự, MCDA dựa trên GIS đã được sử dụng để thiết lập bản đồ các khu vực dễ bị tổn thương do COVID-19 cho Bờ Tây, Palestine [18]. Ngoài ra, để xác định các khu vực có khả năng dễ bị tổn thương do lây nhiễm COVID-19, có thể hỗ trợ các tổ chức chính phủ duy trì việc quản lý dịch bệnh và ngăn chặn sự lây lan của nó, [19] đã tạo ra bản đồ về tình trạng dễ bị tổn thương của COVID-19 ở Tây Bengal, Ấn Độ thông qua nền tảng GIS và một phương pháp MCDM mờ tích hợp. Mặt khác, phương pháp này cũng được áp dụng trong việc xây dựng mô hình xác định các chỉ số nhạy cảm COVID-19 ở Trung Quốc [20], đánh giá mức độ tổn thương do COVID-19 [21], xác định các chỉ số nhạy cảm COVID-19 do yếu tố xã hội gây nên ở Iran [22], thiết lập bản đồ mức độ nhạy cảm với COVID-19 [23].

Ngoài ra, phương pháp tiếp cận MCDA dựa trên GIS, nghiên cứu [24] đã xác nhận vai trò của ứng dụng hình ảnh vệ tinh, công nghệ viễn thám và dữ liệu không gian địa lý trong việc xác định các đặc điểm và mối quan hệ có liên quan đến mức độ phổ biến và tỷ lệ tử vong của COVID-19 trên toàn cầu. Hơn nữa, nghiên cứu [25] kết luận rằng trong những năm tới, việc áp dụng công nghệ viễn thám sẽ cho phép giám sát và quản lý rủi ro đại dịch toàn cầu hiệu quả hơn nhiều. Hiện nay, công nghệ này đã được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu về đại dịch COVIDS. Nghiên cứu [26] đã sử dụng công nghệ viễn thám, GIS và phương pháp dựa trên kiến thức địa phương để giải quyết hiệu quả tình trạng lây lan bệnh COVID-19 ở Ấn Độ. Sau khi tham khảo ý kiến của chính quyền địa phương, họ đã phân định không gian các khu vực nguy hiểm khác nhau và các hoạt động được phép ở đó. Ngoài ra, nghiên cứu [27] đã sử dụng hình ảnh vệ tinh để phân tích tình trạng lây nhiễm SARS CoV-2 trong những nhóm dân cư dễ mắc bệnh ở Ecuador. Ngoài ra, sự kết hợp giữa mạng Bayesian và công nghệ GIS còn được sử dụng để xây dựng mô hình phân tích các khu vực dễ bị tổn thương do đại dịch bùng phát ở Bangkok, Thái Lan. Mô hình này được sử dụng để thực hiện phân tích kịch bản đã giúp phát hiện ra các chiến lược quản lý lỗ hổng.

Ở Việt Nam, đã có những nghiên cứu xác định vị trí của các bệnh như sốt rét [28] phân tích địa lý về sự xuất hiện bệnh tiêu chảy do vi khuẩn Shigella ở Việt Nam [29], hay phân bố địa lý sốt xuất huyết ở thành phố Hà Nội [30]. Các nghiên cứu này cho thấy thông tin địa lý/thông tin không gian có thể góp phần nâng cao hiệu quả phòng chống dịch bệnh, bảo vệ tính mạng người dân và đảm bảo an toàn sức khỏe cho Việt Nam. Ngoài ra, công nghệ GIS cũng đã được chứng minh là có hiệu quả trong việc khoanh vùng nguy cơ dịch bệnh COVID-19 để phân cấp mức độ tác động [31]. Bên cạnh đó, để dự báo và khoanh vùng vùng dịch để có thể đưa ra giải pháp chính xác và nhanh nhất [32] áp dụng mô hình hồi quy địa lý cục bộ để đánh giá tình hình dịch trên toàn thành phố, tập trung vào các khu vực được dự báo có mức độ lây nhiễm cao và nguy cơ lây nhiễm rất cao. Tuy nhiên, dịch bệnh COVID-19 là bệnh mới và xuất hiện nhanh nên hầu như chưa có kinh nghiệm cũng như chưa có nhiều nghiên cứu sử dụng dữ liệu không gian để dự báo, xác định nguy cơ dịch bệnh.

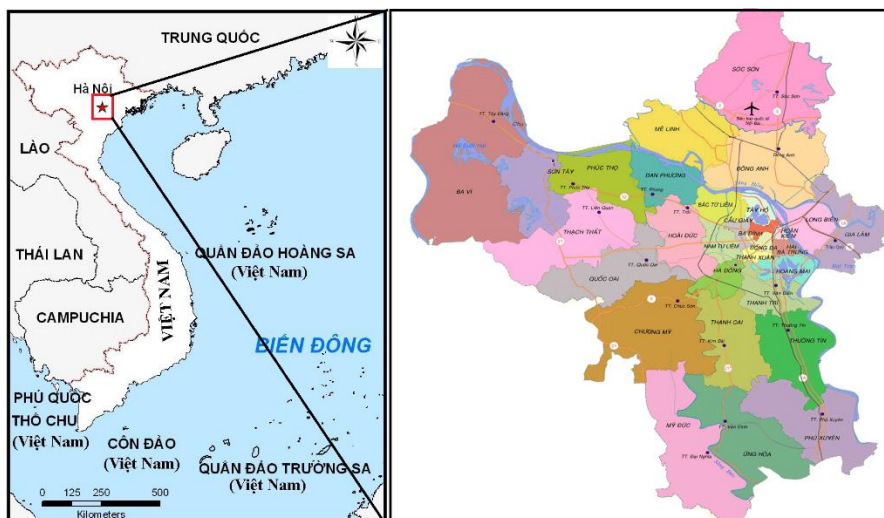
Trong nghiên cứu này, việc xây dựng một Web-GIS công bố về bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 (CVI Map) trên địa bàn thành phố Hà Nội trên cơ sở xây dựng các mô hình nghiên cứu cho phép xác định các chỉ số nguy cơ dịch bệnh từ dữ liệu không gian, cũng như các mô hình phân tích không gian xác định các thông tin cần thiết cho mô hình dịch tễ học như mật độ dân số, điều kiện sống, thông tin về nhân khẩu học, độ tuổi dân số, v.v. nhằm đánh giá và phân tích mức độ nguy cơ lây nhiễm của dịch bệnh COVID-19 tại từng khu vực và địa điểm khác nhau trên địa bàn thành phố Hà Nội. Trong đó, các bản đồ CVI-Map có thể được cập nhật và điều chỉnh theo thời gian, dựa trên các thông tin mới nhất về dịch bệnh và các yếu tố tác động. Điều này giúp cho quá trình phân tích và sử dụng các dữ liệu không gian trở nên linh hoạt và có khả năng đáp ứng nhanh chóng đối với tình hình dịch bệnh thay đổi. Kết quả của việc xây dựng Web-GIS này có thể cung cấp cho chính quyền và các nhà quản lý y tế những thông tin quan trọng về nguy cơ lây nhiễm

và tốc độ lây lan dịch bệnh trong từng khu vực cụ thể. Điều này giúp họ đưa ra quyết định và triển khai các biện pháp phòng chống dịch hiệu quả cho thành phố Hà Nội, ưu tiên phân phối vaccine, cũng như giành quyền ưu tiên tài nguyên y tế cho các khu vực có nguy cơ cao.

## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Thủ đô Hà Nội có vị trí nằm trong khoảng từ 20°53' đến 21°23' vĩ độ Bắc và từ 105°44' đến 106°02' kinh độ Đông. Hà Nội nằm tiếp giáp với các tỉnh Thái Nguyên, Vĩnh Phúc ở phía bắc; Hà Nam, Hòa Bình ở phía nam; các tỉnh Bắc Giang, Bắc Ninh, Hưng Yên ở phía đông và Hòa Bình, Phú Thọ ở phía tây. Đây là trung tâm chính trị, kinh tế, văn hóa, khoa học và kỹ thuật của cả nước [33]. Nằm trong vùng đồng bằng sông Hồng phía Bắc, Hà Nội là vùng có mật độ dân số cao nhất cả nước với dân số năm 2020 là khoảng 8,3 triệu người, năm 2021 là khoảng 8,34 triệu người và năm 2022 là khoảng 8,4 triệu người, sống trên diện tích 3.359,82 km<sup>2</sup>, với mật độ 2.511 người/km<sup>2</sup>, trong đó hơn 8 triệu người sống ở các khu đô thị [34].



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

### 2.2. Dữ liệu đã sử dụng

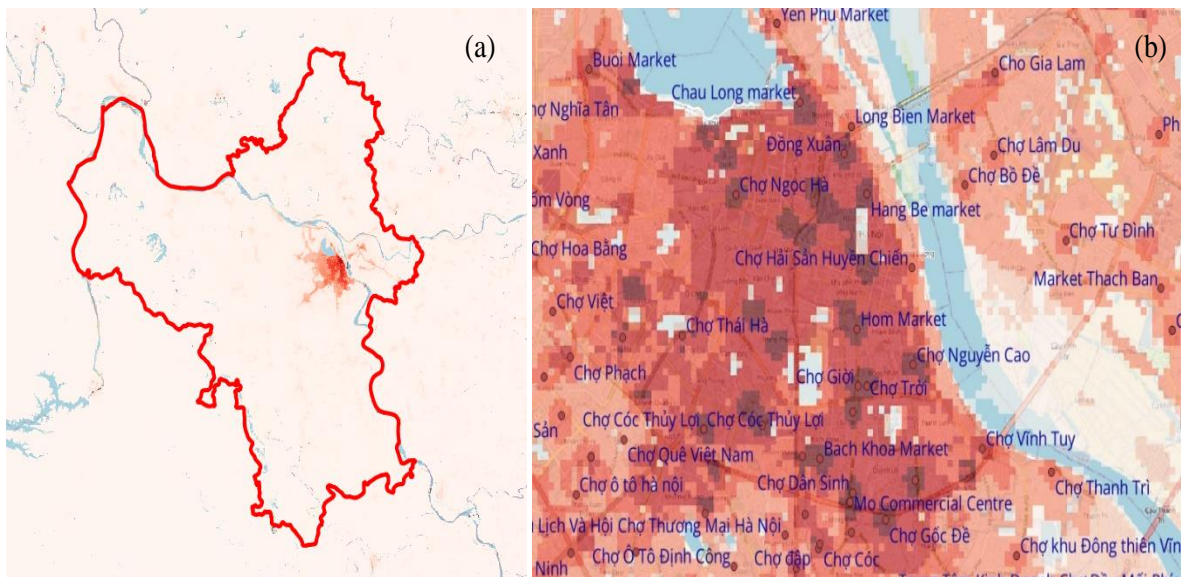
Dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm dữ liệu về các ca nhiễm COVID-19 tại Hà Nội trong khoảng thời gian từ ngày 5/7/2021 đến ngày 22/9/2021 được thu thập tại Trung tâm Kiểm soát bệnh tật Hà Nội (CDC Hà Nội - 70 Nguyễn Chí Thanh, Đống Đa, Hà Nội) và một số dữ liệu không gian cần thiết để xây dựng bản đồ chỉ số nguy cơ dịch bệnh như: dữ liệu thảm phủ đất, dữ liệu dân số và phân bố dân cư, dữ liệu thị trường địa phương, trung tâm thương mại, căn hộ, dữ liệu về các khu công nghiệp, v.v. tại thành phố Hà Nội. Bảng 1 trình bày dữ liệu và nguồn được sử dụng trong nghiên cứu.

Bảng 1. Nguồn và các dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu.

Dữ liệu	Tham số	Nguồn
Dữ liệu dân số	Mật độ dân cư (mật độ nhà trên 1 ha)	<a href="https://hub.worldpop.org/geodata">https://hub.worldpop.org/geodata</a> World Population năm 2020 độ phân giải 90x90m
Dữ liệu các đối tượng hạ tầng kinh tế xã hội	Các tham số về độ nhạy cảm COVID-19 được xác định từ: Vị trí các ca nhiễm COVID-19	CDC Hà Nội (được thu thập từ 5/7/2021 đến 22/9/2021)

Dữ liệu	Tham số	Nguồn
	Vị trí các chợ dân sinh, trung tâm thương mại, các đơn vị hành chính, các đơn vị dịch vụ, các khu công nghiệp, khu chế xuất, các khu chung cư...	Google Earth
Dữ liệu lớp phủ sử dụng đất	Các tham số của mô hình phân tích không gian	<p><a href="https://www.eorc.jaxa.jp/">https://www.eorc.jaxa.jp/</a>                      (Dữ liệu với độ phân giải 30m được giải đoán từ ảnh vệ tinh do Jaxa cung cấp, 1991- 2019),                      Sentinel-1 SAR GRD                      Sentinel-2 MSI Level-2A                      Sentinel-2 MSI Level-2A                      Landsat 7 ETM+ (Collection 1)                      Landsat 5 and 4 TM (Collection 1)                      Dữ liệu khảo sát mặt đất, dữ liệu điều tra, dữ liệu giải đoán bằng mắt thường từ ảnh vệ tinh (130,000 sites)                      ALOS PRISM Digital Surface Model (AW3D DSM) đã được tính toán để xác định độ dốc, hướng dốc, và độ cao                      Các nguồn dữ liệu phụ trợ khác bao gồm khoảng cách đến sông, để bờ biển, hệ thống giao thông và nhà cửa</p>

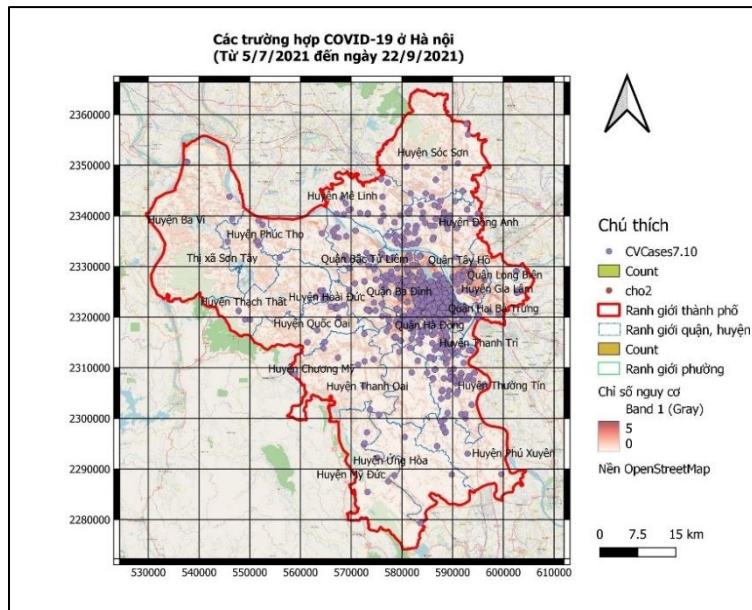
Dữ liệu mật độ dân cư (<http://www.worldpop.org.uk/>). Dữ liệu có độ phân giải 100 m × 100 m và số liệu dân số ước tính trên mỗi điểm ảnh này. Dữ liệu mật độ dân cư được thể hiện như Hình 2a.



**Hình 2.** (a) Dữ liệu mật độ dân số download được từ <http://www.worldpop.org.uk/>; (b) Dữ liệu chợ dân sinh và trung tâm thương mại.

Dữ liệu vị trí các chợ dân sinh tại Thành phố Hà Nội được xác định từ Google Earth với tổng 240 chợ như trên Hình 2b.

Vị trí của hơn 3500 ca F0 tại thành phố Hà Nội trong khoảng thời gian 5/7/2021 đến ngày 22/9/2021 (do các ca bệnh chỉ có thông tin về địa chỉ, không có thông tin về tọa độ nên nhóm nghiên cứu đã phải tiến hành xác định vị trí các ca nhiễm trên bản đồ một cách thủ công) để đối chứng với kết quả mô hình xác định mức độ nhạy cảm lây nhiễm COVID-19 (Hình 3). Dữ liệu các ca bệnh F0 được cung cấp bởi Trung tâm kiểm soát dịch bệnh Hà Nội (CDC Hà Nội) theo định dạng file excel.



**Hình 3.** Vị trí được xác định dựa vào địa chỉ của 3500 ca nhiễm COVID-19 ở Hà Nội trong thời gian 5/7/2021 đến ngày 22/9/2021.

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Trong quá trình nghiên cứu, chúng tôi đã xây dựng được một bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 trên cơ sở xây dựng 02 mô hình: mô hình xác định các chỉ số nguy cơ dịch bệnh và mô hình phân tích không gian.

Mô hình nhạy cảm trong khu vực truyền bệnh được xác định dựa trên dữ liệu của Thành phố Hồ Chí Minh được nhóm nghiên cứu của Bùi Hồng Sơn xây dựng dựa trên nghiên cứu, đánh giá về tương quan giữa các yếu tố vị trí địa lý và các đối tượng địa lý với nguy cơ COVID-19 [32]. Theo đó, quy trình xây dựng bản đồ phân vùng nhạy cảm lan truyền bệnh:

1. Lượng hóa các giá trị đặc trưng cho mức độ nhạy cảm của từng ô (cell) kích thước 100 x 100 m (tương đương 01 hecta) bao gồm tổng dân số trong bán kính 500 mét và khoảng cách từ từng cell đến các đối tượng địa lý nhạy cảm, dễ trở thành tâm lan truyền dịch như chợ, siêu thị, chung cư, khu công nghiệp.

2. Xác định các chỉ số nhạy cảm cho từng cell theo công thức sau:

- Đối với dân số xác định chỉ số PopIndex:

$$\text{PopIndex}_i = \text{Pop2020}_i / \text{MaxOfPop2020} \quad (1)$$

Trong đó  $\text{Pop2020}_i$  là dân số trong vòng 500 mét đối với từng cell và  $\text{MaxOfPop2020}$  là giá trị Max của  $\text{Pop2020}$ .

- Chỉ số nhạy cảm đối với chợ:

$$\text{ChoIndex}_i = (1000 - \text{Dist2cho}_i) / 1000 \quad (2)$$

- Chỉ số nhạy cảm đối với chung cư, cao ốc:

$$\text{ChungcuIndex}_i = (1000 - \text{Dist2cc}_i) / 1000 \quad (3)$$

Trong đó  $\text{Dist2cc}_i$  là khoảng cách từng cell đến chung cư.

- Chỉ số nhạy cảm đối với siêu thị, trung tâm thương mại:

$$\text{SieuthiIndex}_i = (1000 - \text{Dist2st}_i) / 1000 \quad (4)$$

Trong đó  $\text{Dist2st}_i$  là khoảng cách từng cell đến siêu thị.

- Chỉ số nhạy cảm đối với khu công nghiệp, khu chế xuất:

$$\text{KhuCNIndex}_i = (1000 - \text{Dist2cn}_i) / 1000 \quad (5)$$

Trong đó  $\text{Dist2cn}_i$  là khoảng cách từng cell đến khu công nghiệp (tính theo đường thẳng, không tính theo lộ trình).

Chỉ số nhạy cảm tổng hợp xác định theo công thức sau:

$$SensIndex_i = kp. PopIndex_i + kch. ChoIndex_i + kcc. ChungcuIndex_i + kst.SieuthiIndex_i + kcn.KhuCNIndex_i \tag{6}$$

Trong đó kp, kch, kcc, kst, kcn là các trọng số các yếu tố nhạy cảm dân số, chợ, chung cư, siêu thị, khu công nghiệp...

Do chuỗi số liệu thu thập được chưa đủ lớn, trong thử nghiệm dưới đây kp, kch, kcc, kst, kcn nhận giá trị bằng 1.

Để thuận lợi trong khai thác trực quan, sử dụng giá trị chỉ số nhạy cảm tổng hợp tương đối:

$$CovidSensIndex_i = 100SensIndex_i / MaxOfSensIndex \tag{7}$$

Trong đó MaxOfSensIndex là giá trị lớn nhất trong các giá trị SensIndex của tất cả các cell.

Mô hình này được tạo ra bởi nền tảng phân tích và mô hình nội suy các giá trị chỉ số index cho các grid không có dữ liệu, một hệ thống được thiết kế để hợp lý hóa phân tích thống kê và không gian địa lý phức tạp. Mô hình thực hiện các phương pháp hiện tại và lịch sử để xác định tình trạng các ca bệnh. Mô hình biến các thủ tục lập bản đồ và phân tích khó khăn và tốn thời gian thành các bản đồ, biểu đồ và kết quả đồ họa dễ hiểu.

Mô hình phân tích mức độ nhạy cảm với COVID-19 của [32] là mô hình duy nhất đã xây dựng thành công bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 tại Việt Nam vào thời kỳ đầu xảy ra dịch bệnh. Trên nền tảng đó, nhóm tác giả đã nghiên cứu cải tiến mô hình của [32] để xây dựng một Web-GIS công bố về bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 tại Hà Nội bằng cách giảm lược một số tham số của mô hình trên cho phù hợp với các điều kiện về dịch bệnh của Hà Nội. Dữ liệu được trình bày như Hình 6. Để xác định mức độ tương quan giữa mật độ dân số và tỷ lệ nhiễm COVID-19, dữ liệu các ca nhiễm COVID-19 như Hình 6 được sử dụng để xác định mật độ dân số tại các vị trí nhiễm bệnh sử dụng phương pháp phân tích không gian trên phần mềm QGIS.

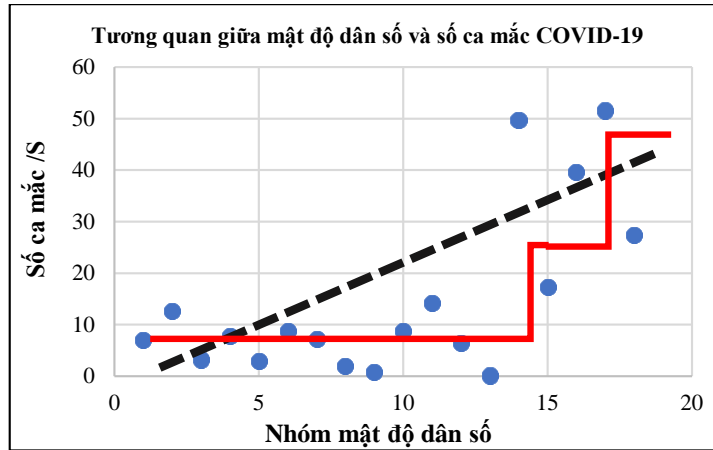
Dữ liệu về mật độ dân số được phân đoạn thành 18 nhóm mật độ từ 0 đến 850 người/ha với bước nhảy 50 người. Số liệu phân tích được trình bày trong Bảng 2. Trong bảng thống kê tổng số lượng ca mắc được định vị tại các vị trí có mật độ dân số từ nhóm 1 đến nhóm 18 và diện tích tương ứng với mỗi nhóm mật độ dân số. Chẳng hạn, nhóm 1 cho thấy có 27041 ca COVID-19 tại các vị trí có mật độ dân số từ 0-50 người/ha trong khi diện tích đất tương ứng với mật độ dân số này là 3815 ha. Vì diện tích đất tương ứng ở mỗi nhóm dân số không đều nhau và việc thống kê đơn thuần số ca mắc theo mật độ dân số sẽ không phản ánh đúng tương quan giữa mức độ nhạy cảm của COVID-19 theo mật độ dân số nên nhóm nghiên cứu đã sử dụng tham số N là tỷ số giữa số ca nhiễm theo mật độ dân số/ diện tích đất có cùng mật độ dân số. Cách làm này sẽ tiêu chuẩn hóa được về tương quan giữa số ca nhiễm theo mật độ dân số.

**Bảng 2.** Phân nhóm mật độ dân số và số ca mắc theo mật độ dân số.

Nhóm dân số	Mật độ dân số (người/ha)	Số ca mắc	Diện tích (ha)	N (Tỷ lệ ca mắc/S (Diện tích có cùng mật độ dân số))
1	50	27041	3815	7.088073
2	100	16286	1276	12.76332
3	150	7313	2268	3.224427
4	200	9725	1259	7.724384
5	250	15170	5059	2.998616
6	300	12073	1386	8.710678
7	350	11579	1619	7.151946
8	400	8383	4064	2.062746
9	450	10326	13035	0.792175
10	500	11685	1349	8.661972
11	550	14699	1029	14.28474
12	600	20745	3244	6.394883
13	650	19506	178808	0.109089
14	700	9105	183	49.7541

Nhóm dân số	Mật độ dân số (người/ha)	Số ca mắc	Diện tích (ha)	N (Tỷ lệ ca mắc/S (Diện tích có cùng mật độ dân số))
15	750	5407	314	17.21975
16	800	5732	145	39.53103
17	850	3248	63	51.55556
18	900	55	2	27.5

Từ dữ liệu trong Bảng 2 có thể xác định chỉ số nhạy cảm theo mật độ dân số bằng phương pháp hồi quy tuyến tính. Trong đó, đồ thị phân bố và hàm hồi quy được xác định như Hình 4.



**Hình 4.** Đồ thị phân bố hồi quy tuyến tính để xác định ảnh hưởng của mật độ dân số đến khả năng lây nhiễm COVID-19. Trong đó, đường nét đứt màu đen là đường hồi quy, đường nét liền màu đỏ là đường phân bậc cho mô hình gián lược.

Để giản lược hóa mô hình xác định nhạy cảm COVID-19, nhóm nghiên cứu sử dụng phân bậc để giản lược chỉ số. Các chỉ số nhạy cảm của mật độ dân số sẽ được chia làm 3 mức bao gồm: mức thấp (mật độ dân số từ 0 đến 600 người/ha), nhóm trung bình (mật độ dân số từ 600 đến 700 người/ha) và mức cao (mật độ dân số trên 700 người/ha). Các chỉ số PopIndex sẽ lần lượt nhận các giá trị 1, 2, 3 lần lượt tương ứng với mức nhạy cảm thấp, trung bình và cao.

Một chỉ số khác liên quan đến khoảng cách điểm lây nhiễm, nhóm nghiên cứu cũng tiến hành giản lược chỉ số nghiên cứu bằng cách phân loại chỉ số này thành hai giá trị là không nhạy cảm và nhạy cảm. Khu vực không nhạy cảm là các khu vực có khoảng cách lớn hơn 400 m đến các điểm có nguy cơ lây nhiễm như chợ dân sinh, tương ứng với giá trị ChoIndex<sub>i</sub> = 0. Ngược lại, khu vực nhạy cảm sẽ nằm trong bán kính 400 m đến các điểm có nguy cơ lây nhiễm cao có giá trị ChoIndex<sub>i</sub> = 1.

Nhóm nghiên cứu cũng tiến hành xác định giản lược mức độ lây nhiễm đối với các khu vực có điều kiện sinh hoạt không tốt, đó là các khu dân cư có đã được hình thành với thời gian lâu, diện tích nhà ở nhỏ, điều kiện vệ sinh không tốt. Các khu dân cư này thường được hình thành từ trước năm 1995 và để xác định được tương đối vị trí các khu dân cư này có thể sử dụng dữ liệu lớp phủ trong các thời kỳ trước đây, trong đó có xác định các lớp đất xây dựng tương ứng với các vị trí trước năm 1995 ở khu vực thành phố và có mật độ xây dựng cao. Các vị trí có lớp mặt đất trước năm 1995 sẽ có giá trị DKIndex = 1, các khu vực có dân cư không thuộc khu vực trên sẽ có giá trị DKIndex = 0.

Đối với mô hình giản lược, giá trị mức độ nhạy cảm sẽ được xác định bằng:

$$CovidIndex_i = k_p \cdot PopIndex_i + k_{ch} \cdot ChoIndex_i + k_{dk} \cdot DKIndex_i \tag{8}$$

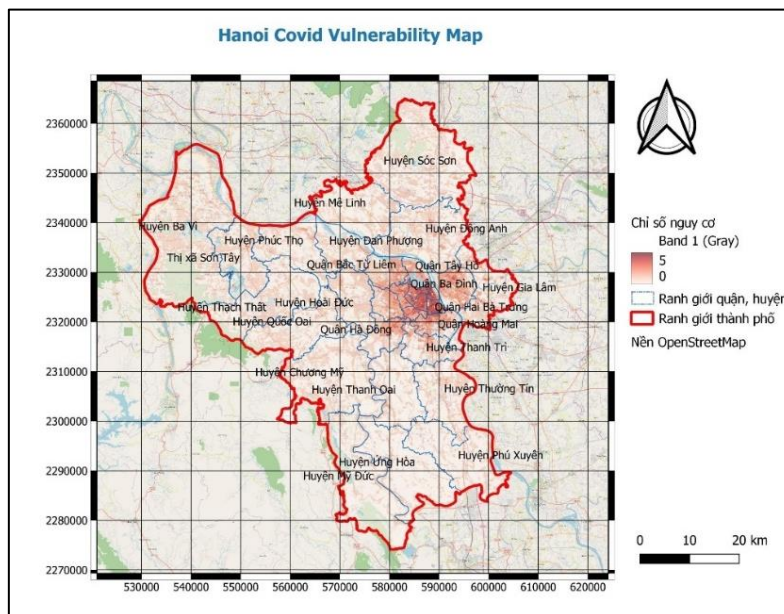
Trong đó, k<sub>p</sub>, k<sub>ch</sub>, k<sub>dk</sub> là các trọng số của các chỉ số PopIndex, ChoIndex, và DKIndex. Trong mô hình giản lược, các trọng số này đều bằng 1, nghĩa là coi mức độ ưu tiên (quan trọng) của các yếu tố nhạy cảm này là như nhau.



### 3. Kết quả nghiên cứu

Để xác định được mức độ nhạy cảm đối với COVID-19 cho thành phố Hà Nội, chúng tôi đã sử dụng mô hình giản lược xác định các chỉ số nguy cơ dịch bệnh COVID-19 theo công thức (8). Trong đó chỉ số nhạy cảm với mật độ dân số được xác định từ dữ liệu dân số theo 3 mức của mô hình giản lược. Chỉ số nhạy cảm dân số cùng chỉ số chợ dân sinh và chỉ số điều kiện sinh hoạt được sử dụng để tính chỉ số nhạy cảm COVID-19 tổng thể. Như vậy, chỉ số nhạy cảm COVID-19 cho thành phố Hà Nội được chia thành các mức từ 1 đến 5 và được biểu thị như trên Hình 5. Trên hình vẽ này, mức độ nhạy cảm được biểu thị bằng màu sắc tăng dần từ trắng đến đỏ.

Để kiểm chứng tính chính xác của mô hình, nhóm nghiên cứu sử dụng 3500 mẫu các ca nhiễm COVID-19 dựa vào địa chỉ của các ca bệnh (được CDC Hà Nội cung cấp dưới dạng file excel). Do các địa chỉ này chưa được xác định vị trí nên nhóm nghiên cứu đã phải tiến hành xác định vị trí của các ca nhiễm COVID-19 trên bản đồ một cách thủ công.



**Hình 5.** Kết quả xác định mức độ nhạy cảm đối với COVID-19 theo mô hình giản lược. Thang màu từ trắng đến đỏ.

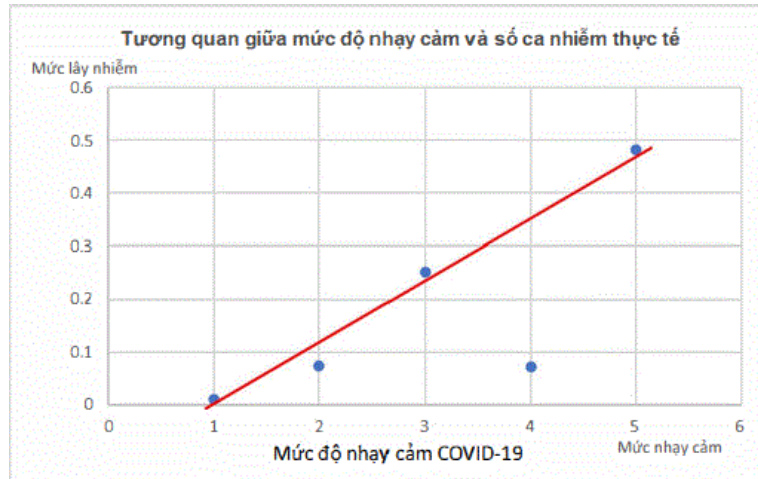
Mô hình được kiểm chứng bằng cách thống kê số lượng các ca nhiễm COVID-19 theo từng mức độ nhạy cảm như Bảng 3 và Hình 6.

**Bảng 3.** Bảng thống kê dữ liệu các ca nhiễm COVID từ 5/7/2021 đến ngày 22/9/2021.

Mức độ nhạy cảm COVID-19 (CVI)	Số ca nhiễm	Diện tích theo mức độ nhạy cảm	Số ca nhiễm/Diện tích theo mức độ nhạy cảm
1	1075	102548	0.010483
2	1051	14015	0.074991
3	775	3083	0.251379
4	146	2020	0.072277
5	185	384	0.481771

Do diện tích các vùng có mức độ nhạy cảm khác nhau không đều nhau nên việc đánh giá số ca nhiễm theo mức độ nhạy cảm không hoàn toàn chính xác. Chẳng hạn diện tích có mức độ nhạy cảm bằng 1 là 102548 ha trong khi số ca nhiễm được ghi nhận ở các vị trí có mức độ nhạy cảm 1 là 1075 trong khi số ca nhiễm ở các vị trí có mức độ nhạy cảm 5 (mức nhạy cảm cao nhất là 185 ca trên tổng diện tích có mức độ nhạy cảm 5 là 384 ha. Nếu chỉ so sánh số ca nhiễm thì có thể nói rằng số ca nhiễm ở các vị trí có mức độ nhạy cảm 5 ít hơn rất nhiều so với số ca nhiễm ở mức độ nhạy cảm 1 và mô hình không chính xác.

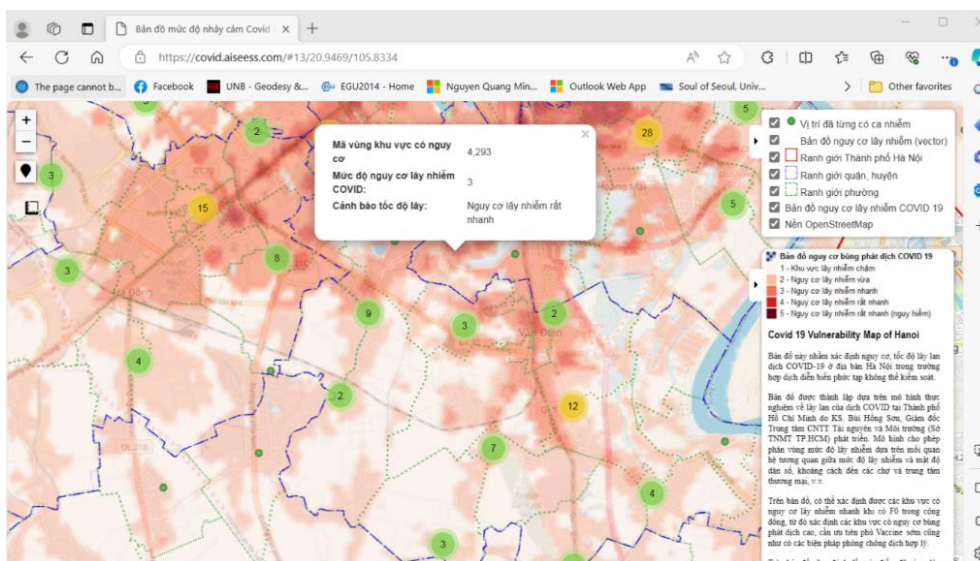
Để có thể xác định tính chính xác của mô hình, nhóm nghiên cứu đã sử dụng chỉ số so sánh là tỷ số giữa số ca mắc bệnh COVID-19 tại mỗi vị trí nhạy cảm trên tổng diện tích theo mỗi mức độ nhạy cảm. So sánh trên Hình 6 và Bảng 3 có thể thấy xu thế chung khi mức độ nhạy cảm tăng thì nguy cơ nhiễm bệnh cũng tăng tỷ lệ thuận với mức độ nhạy cảm. Như vậy, mô hình hoàn toàn có thể sử dụng được để xác định mức độ nhạy cảm (dễ tổn thương) với COVID-19 ở các khu vực khác nhau, từ đó đưa ra các biện pháp đối phó và thích ứng phù hợp.



**Hình 6.** Xu thế tương quan giữa mức độ lây nhiễm và mức độ nhạy cảm COVID-19. Trong đó, trục tung giá trị mức độ lây nhiễm, trục hoành là các mức độ nhạy cảm COVID-19 trong mô hình giản lược có giá trị từ 1 đến 5. Đường màu đỏ là đường hồi quy.

Hình 6 thể hiện xu thế tương quan tỷ số giữa số ca mắc bệnh COVID-19 tại mỗi vị trí nhạy cảm trên tổng diện tích theo mỗi mức độ nhạy cảm. Trong đó, trục hoành là các mức độ nhạy cảm COVID-19 khác nhau trong mô hình giản lược, có giá trị từ 1 đến 5. Nếu tương quan này theo hướng đồng biến, có nghĩa là giá trị khi mức độ lây nhiễm nhỏ. Khi mức độ lây nhiễm có giá trị thấp thì mô hình được cho là phản ánh đúng nguy cơ lây nhiễm.

Để có thể phổ biến rộng rãi dữ liệu bản đồ nhạy cảm COVID-19, nhóm nghiên cứu đã tiến hành xây dựng bản đồ nhạy cảm COVID-19 trực tuyến. Việc xây dựng được dựa trên công nghệ mã nguồn mở, với thư viện Java Script Leaflet. Leaflet là một thư viện JavaScript mã nguồn mở cho việc xây dựng một ứng dụng map có tính tương tác. Nó cũng hoạt động hiệu quả trên cả nền tảng máy tính lẫn mobile, có thể được mở rộng với các plugin, ngoài ra nó còn có một trang document API đẹp, đơn giản nhưng dễ đọc.



**Hình 7.** Bản đồ nhạy cảm COVID-19 (CVI) trực tuyến tại <https://covid.aiseess.com/>.

Để xây dựng Web-GIS này, nhóm nghiên cứu sử dụng một plugin của QGIS là QGIS2Web. Quá trình thực hiện dự án về công bố bản đồ nhạy cảm COVID-19 được thực hiện hoàn toàn trên máy tính để bàn. Sau đó, dự án được đẩy ra thư viện sử dụng các API của Leaflet từ QGIS. Web-GIS công bố bản đồ nhạy cảm COVID-19 của nhóm nghiên cứu được đặt tại địa chỉ: <https://covid.aiseess.com/> (Hình 7). Bản đồ cho phép hiển thị các lớp dữ liệu như lớp dữ liệu về mức độ nhạy cảm COVID-19, lớp dữ liệu các ca mắc COVID-19 tại Hà Nội tại thời điểm từ 5/7/2021 đến ngày 22/9/2021 trên nền OpenStreetMap. Bản đồ trực tuyến cũng cho phép tra cứu mức độ nhạy cảm tại các vị trí, hiển thị số lượng ca nhiễm hiện có tại mỗi khu vực.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu này đã giới thiệu phương pháp xây dựng Web-GIS công bố về bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 (CVI Map) trên cơ sở xây dựng các mô hình xác định các chỉ số nguy cơ dịch bệnh từ dữ liệu không gian, cũng như các mô hình phân tích không gian xác định các thông tin cần thiết cho mô hình dịch tễ học như mật độ dân số, điều kiện sống, thông tin về nhân khẩu học, độ tuổi dân số, v.v. Kết quả của nghiên cứu đã xây dựng được một Web-GIS công bố về bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 trên địa bàn thành phố Hà Nội trên cơ sở các dữ liệu thu thập được về các ca nhiễm COVID-19 trong khoảng thời gian từ ngày 5/7/2021 đến ngày 22/9/2021 do CDC Hà Nội cung cấp và một số các dữ liệu không gian của khu vực nghiên cứu.

Trong bối cảnh hiện nay, mặc dù dịch bệnh COVID-19 đã được đẩy lùi tại Việt Nam cũng như trên thế giới nhưng các biến thể của virus SARS-CoV-2 đã xuất hiện và bản chất biến đổi không ngừng của virus này có khả năng làm gia tăng sự kháng thuốc và kháng vaccine đối với một số biến thể, do đó việc theo dõi và đánh giá các nguy cơ lây nhiễm luôn rất quan trọng. Chính vì thế, việc sử dụng Web-GIS và các bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 vẫn rất cần thiết nhằm giúp cho các nhà quản lý, các cơ quan y tế có thể theo dõi, đánh giá và sẵn sàng ứng phó với dịch bệnh trong tình hình mới.

**Đóng góp của nhóm tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.T.H., N.Q.M.; Xử lý số liệu: N.T.T.T., N.Q.M.; Thu thập dữ liệu: N.T.T.H., N.Q.M.; Viết bản thảo bài báo: N.T.T.H., N.Q.M.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.T.H., N.Q.M.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của Trường Đại học Mở - Địa Chất Hà Nội thông qua đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở có mã số: T22-44. Tập thể nhóm tác giả bài báo xin trân trọng cảm ơn sự tài trợ của Trường Đại học Mở - Địa Chất Hà Nội cho nghiên cứu này.

**Lời cam đoan:** Tập thể nhóm tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể nhóm 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. UND. Human development report 2015, 2015. Online available: <https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2015>.
2. Bodrud-Doza, Md.; Shammi, M.; Bahlman, L.; Towfiqul Islam, A.R.Md.; Rahman, M.M. Psychosocial and Socio-Economic Crisis in Bangladesh Due to COVID-19 Pandemic: A Perception-Based Assessment. *Front Public Health* 2020, 26(8), 341. Doi:10.3389/fpubh.2020.00341.
3. Rahman, M.R.; Islam, A.H.; Islam, M.N. Geospatial modelling on the spread and dynamics of 154 day outbreak of the novel coronavirus (COVID-19) pandemic in Bangladesh towards vulnerability zoning and management approaches. *Model. Earth Syst. Environ.* 2021, 7, 2059–2087.
4. Zhou, P.; Yang, X.L.; Wang, X.G.; Hu, B.; Zhang, L.; Zhang, W.; Si, H.R.; Zhu, Y.;

- Li, B.; Huang, C.L.; Chen, H.D.; Chen, J.; Luo, Y.; Guo, H.; Jiang, R.D.; Liu, M.Q.; Chen, Y.; Shen, X.R.; Wang, X.; Zheng, X.S.; Zhao, K.; Chen, Q.J.; Deng, F.; Liu, L.L.; Yan, B.; Zhan, F.X.; Wang, Y.Y.; Xiao, G.F.; Shi, Z.L. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature* **2020**, *579*(7798), 270–273. Doi:10.1038/s41586-020-2012-7.
5. Brody, C.D.; Romo, R.; Kepecs, A. Basic mechanisms for graded persistent activity: discrete attractors, continuous attractors, and dynamic representations. *Curr. Opin. Neurobiol.* **2003**, *13*(2), 204–211. Doi: 10.1016/s0959-4388(03)00050-3.
  6. Amram, O.S.; Amiri, R.B.; Lutz, B. Rajan.; Monsivais, P. Development of a vulnerability index for diagnosis with the novel coronavirus, COVID-19, in Washington State, USA. *Health Place.* **2020**, *64*, 102377.
  7. Acharya, R.; Porwal, A. A vulnerability index for the management of and response to the COVID-19 epidemic in India: an ecological study. *Lancet Global Health* **2020**, *8*(9), e1142–e1151.
  8. Franch-Pardo, I.B.M.; Napoletano, F.; Verges, R.; Billa, L. Spatial analysis and GIS in the study of COVID-19. A review. *Sci. Total Environ.* **2020**, *739*, 140033.
  9. Andrew, D.; Haggett, C.P. The epidemiological significance of islands. *Health Place* **1995**, *1*(4), 199–209. [https://doi.org/10.1016/1353-8292\(95\)00029-1](https://doi.org/10.1016/1353-8292(95)00029-1).
  10. Kirby, J.N.; Tellegen, C.L.; Steindl, S.R. A meta-analysis of compassion-based interventions: current state of knowledge and future directions. *Behav. Ther.* **2017**, *48*(6), 778–792. Doi: 10.1016/j.beth.2017.06.003.
  11. Fan, L.; Li, D.; Xue, H.; Zhang, L.; Liu, Z.; Zhang, B.; Zhang, L.; Yang, W.; Xie, B.; Duan, X.; Hu, X.; Cheng, K.; Peng, L.; Yu, N.; Song, L.; Chen, H.; Sui, X.; Zheng, N.; Liu, S.; Jin, Z. Progress and prospect on imaging diagnosis of COVID-19. *Chin. J. Acad. Radiol.* **2020**, *3*, 4–13. Doi: 10.1007/s42058-020-00031-5.
  12. Gatto, M.; Bertuzzo, E.; Mari, L.; Miccoli, S.; Carraro, L.; Casagrandi, R.; Rinaldo, A. Spread and dynamics of the COVID-19 epidemic in Italy: Effects of emergency containment measures. *Biol. Sci.* **2020**, *117*(19), 10484–10491. doi: 10.1073/pnas.2004978117.
  13. Ramírez-Aldana, R.; Gomez-Verjan, J.C.; Bello-Chavolla, O.Y.; Garcí'a-Peña. Spatial epidemiological study of the distribution, clustering, and risk factors associated with early COVID-19 mortality in Mexico. *PLoS ONE* **2021**, *16*(7), e0254884. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254884>.
  14. Huang et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet Global Health* **2020**, *395*(10223), 496. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5).
  15. Kang, L.; Ma, S.; Chen, M.; Yang, J.; Wang, Y.; Li, R.; Yao, L.; Bai, H.; Cai, Z.; Yang, B.X.; Hu, S.; Zhang, K.; Wang, G.; Ci Ma, C. Impact on mental health and perceptions of psychological care among medical and nursing staff in Wuhan during the 2019 novel coronavirus disease outbreak: A cross-sectional study. *Brain Behav. Immun.* **2020**, *87*, 11–17.
  16. Raju, K.; Rajan, N.; John, S.M.; Kumar, A.R.; Rahiman, B.A.; Sreerenjini, K. Smart fault detection in distribution system. *Int J. Electr. Eng. Technol.* **2020**, *11*(2), 54–61.
  17. Sangiorgio, V.; Parisi, F. A multicriteria approach for risk assessment of Covid-19 in urban district lockdown. *Saf. Sci.* **2020**, *130*, 104862. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104862>.

18. Shadeed, S.; Alawna, S. GIS-based COVID-19 vulnerability mapping in the West Bank, Palestine. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **2021**, *64*, 102483.
19. Malakar, S. Geospatial modelling of COVID-19 vulnerability using an integrated fuzzy MCDM approach: a case study of West Bengal, India. *Model. Earth Syst. Environ.* **2022**, *8(3)*, 3103–3116.
20. Gao, Z.; Jiang, Y.; He, J.; Wu, J.; Xu, J.; Christakos, G. An AHP-based regional COVID-19 vulnerability model and its application in China. *Model. Earth Syst. Environ.* **2022**, 1–14.
21. Wyszynski, M.; Grudziński, M.; Pokonieczny, K.; Kaszubowski, M. The assessment of COVID-19 vulnerability risk for crisis management. *Appl. Sci.* **2022**, *12(8)*, 4090.
22. Moslehi, S.; Dehdashti, A.; Pourmohammadi, B.; Fatemi, F. Main social vulnerability indicators in the COVID-19 pandemic in Iran. *Front. Public Health* **2023**, *11*, 1080137.
23. Sarkar, S.K. COVID-19 susceptibility mapping using multicriteria evaluation. *Disaster medicine and public health preparedness*, **2020**, *14(4)*, 521–537.
24. Dahu, B.M.; Alaboud, K.; Nowbuth, A.A.; Puckett, H.M.; Scott, G.J.; Sheets, L.R. The Role of Remote Sensing and Geospatial Analysis for Understanding COVID-19 Population Severity: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20(5)*, 4298.
25. Mehmood, K.; Bao, Y.; Mushtaq, S.; Khan, M.A.; Siddique, N.; Bilal, M.; Heng, Z.; Huan, L.; Tariq, M.; Ahmad, S. Perspectives from remote sensing to investigate the COVID-19 pandemic: A future-oriented approach. *Front. Public Health* **2022**, *10*, 938811.
26. Kanga, S.; Sudhanshu, G.; Meraj, M.; Farooq, M.; Nathawat.; Singh, S.K. Reporting the management of COVID-19 threat in India using remote sensing and GIS based approach. *Geocarto Int.* **2022**, *37(5)*, 1337–1344.
27. Toulkeridis, T.; Seqqat, R.; Arias, M.T.; Salazar-Martinez, R.; Ortiz-Prado, E.; Chunga, S.; Vizueté, K.; Heredia-R, M.; Debut, A. Volcanic Ash as a precursor for SARS-CoV-2 infection among susceptible populations in Ecuador: A satellite Imaging and excess mortality-based analysis. *Disaster Medicine Public Health Preparedness* **2022**, *16(6)*, 2499–2511.
28. Bui, T.Q.; Pham, H.M. Web-based GIS for spatial pattern detection: Application to malaria incidence in Vietnam. *SpringerPlus* **2016**, *5(1)*, 1–14.
29. Kim, D.R.; Ali, M.; Thiem, V.D.; Park, J.K.; von Seidlein, L.; Clemens, J. Geographic analysis of shigellosis in Vietnam. *Health Place* **2008**, *14(4)*, 755–767.
30. Toan, D.T.T.; Hu, W.; Thai, P.Q.; Hoat, L.N.; Wright, P.; Martens, P. Hot spot detection and spatio-temporal dispersion of dengue fever in Hanoi, Vietnam. *Global Health Action* **2013**, *6(1)*, 18632.
31. Canh, K.M.; Son, B.H.; Chon, L.T. GIS app proposed solutions to construction risk of Covid-19 in Thu Duc City. *J. Hydro-Meteorol.* **2022**, *(4)*, 382–388.
32. Sơn, B.H.; Nga, D.T.T.; Chon, L.T. Dự báo khu vực lan truyền nCoV-19 dựa vào phương pháp hồi quy. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *EME4*, 149–157.
33. Uy, P.D.; Nakagoshi, N. Application of land suitability analysis and landscape ecology to urban greenspace planning in Hanoi, Vietnam. *Urban For. Urban Greening* **2008**, *7(1)*, 25–40.
34. General Statistics Office. Statistical Yearbook of Vietnam 2019. Statistical Publishing House: Hanoi, Vietnam, 2020.

## **Research to build a Web-GIS to publish COVID-19 vulnerability index map in Hanoi City**

**Nguyen Thi Thu Huong<sup>1\*</sup>, Nguyen Quang Minh<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam; nguyenthithuhuongtdpt@humg.edu.vn; nqminh@gmail.com

**Abstract:** Since the COVID-19 epidemic broke out in the world, there have been many studies establishing a map of the risk of COVID-19 infection. The main purpose of these maps is to provide specific information about the level of risk of COVID-19 infection in each area. This information is very useful for managers to decide on policies, devise effective disease prevention measures and control the spread of the virus. In this article, the author has researched and built a Web-GIS published on the COVID-19 infection risk map (CVI Map) in Hanoi city, which is a cross-referenced system, integrates and regularly updates data and calculations and daily reports on COVID-19 cases in Hanoi city, forming a comprehensive open resource, thereby offering appropriate methods. Appropriate response based on population conditions, living conditions, infrastructure, healthcare, etc. This is also necessary preparation for Hanoi to be able to respond to the emergence of respiratory infectious diseases as well as other infectious diseases in the future.

**Keywords:** COVID-19; Web-GIS; CVI map; QGIS; Hanoi.