



Tạp chí điện tử
Khoa học và Công nghệ Giao thông
Trang website: <https://jstt.vn/index.php/vn>



Article info

Type of article:

Original research paper

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2025.vn.5.4.22-33>

***Corresponding author:**

Email address:

haltt@utt.edu.vn

Received: 16/07/2025

Received in Revised Form:
15/11/2025

Accepted: 20/11/2025

Application of geospatial technology and interpolation algorithms to simulate water quality of West Lake

Le Phu Tuan, Tran Thi Quynh Nga, Dao Ngoc Duong, Nguyen Thi Yen Nhi, Hoang Thi Ha, Luu Thi Thu Ha*

University of Transport Technology, Hanoi, Vietnam

Abstract: This study applies geospatial technology combined with two popular interpolation methods, IDW and Kriging, to simulate and evaluate the spatial distribution of water quality parameters in West Lake, including DO, total Nitrogen (TN) and total Phosphor (TP). Data were collected from 22 monitoring points on the lake surface, then processed and analyzed using QGIS software. The results show that the IDW method provides higher simulation accuracy than Kriging, as shown by statistical indicators such as R^2 and NSE - especially for DO and TP parameters, IDW achieved $NSE > 0.85$ (very good), while Kriging was only at "good". The interpolation map clearly reflects areas at high risk of organic pollution and eutrophication in the South and Northwest of the lake. The integration of GIS and interpolation has effectively supported water quality simulation, contributing to improving the ability to monitor and manage urban water environment. The research results are the scientific basis for choosing the appropriate interpolation method in similar studies and practical applications.

Keywords: GIS, IDW, Kriging, spatial interpolation, water quality.



Thông tin bài viết
Dạng bài viết:
Bài báo nghiên cứu

DOI:
<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2025.vn.5.4.22-33>

*Tác giả liên hệ:
Địa chỉ Email:
haltt@utt.edu.vn

Ngày nộp bài: 16/07/2025
Ngày nộp bài sửa: 15/11/2025
Ngày chấp nhận: 20/11/2025

Ứng dụng công nghệ địa không gian và phương pháp nội suy mô phỏng chất lượng nước Hồ Tây

Lê Phú Tuấn, Trần Thị Quỳnh Nga, Đào Ngọc Dương, Nguyễn Thị Yến Nhi, Hoàng Thị Hà, Lưu Thị Thu Hà*

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, Hà Nội, Việt Nam

Tóm tắt: Nghiên cứu này ứng dụng công nghệ địa không gian kết hợp với hai phương pháp nội suy phổ biến là IDW và Kriging nhằm mô phỏng và đánh giá sự phân bố không gian của các thông số chất lượng nước tại Hồ Tây, bao gồm DO, tổng Nitơ (TN) và tổng Phosphor (TP). Dữ liệu được thu thập từ 22 điểm quan trắc trên mặt hồ, sau đó được xử lý và phân tích bằng phần mềm QGIS. Kết quả cho thấy phương pháp IDW cho độ chính xác mô phỏng cao hơn Kriging, thể hiện qua các chỉ số thống kê như R^2 và NSE – đặc biệt với các thông số DO và TP, IDW đạt $NSE > 0,85$ (rất tốt), trong khi Kriging chỉ ở mức "tốt". Bản đồ nội suy phản ánh rõ các khu vực có nguy cơ ô nhiễm hữu cơ và phú dưỡng cao tại phía Nam và Tây Bắc hồ. Việc kết hợp công nghệ địa không gian và phương pháp nội suy đã hỗ trợ hiệu quả trong mô phỏng chất lượng nước, góp phần nâng cao khả năng giám sát và quản lý môi trường nước đô thị. Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học cho việc lựa chọn phương pháp nội suy phù hợp trong các nghiên cứu và ứng dụng thực tiễn tương tự.

Từ khóa: GIS, IDW, Kriging, nội suy không gian, chất lượng nước.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và biến đổi khí hậu, chất lượng nước mặt tại các đô thị lớn đang chịu nhiều áp lực từ các hoạt động sản xuất, sinh hoạt và phát triển cơ sở hạ tầng. Hồ Tây – hồ nước ngọt lớn nhất tại Thủ đô Hà Nội – không chỉ có giá trị về mặt sinh thái, mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc điều hòa khí hậu, cảnh quan và phát triển du lịch văn hóa – lịch sử của khu vực (Hình 1). Tuy nhiên, những năm gần đây, hiện tượng suy giảm chất lượng nước tại Hồ Tây đã và đang trở thành vấn đề môi trường cấp bách, đặc biệt là tình trạng phú dưỡng, ô nhiễm hữu cơ và mất cân bằng hệ sinh thái thủy sinh [1]. Do vậy, việc áp dụng công nghệ để hỗ trợ trong việc quản lý và bảo vệ nguồn nước hồ Tây là rất cần thiết.

Để quản lý và giám sát chất lượng nước hiệu quả, việc ứng dụng các công nghệ hiện đại như công nghệ địa không gian (Geospatial Technology) và các mô hình toán học là xu hướng tất yếu. Công nghệ GIS (Geographic Information System) kết hợp với hệ thống định vị toàn cầu (GPS) và viễn thám (Remote Sensing) cho phép thu thập, quản lý và phân tích không gian một cách toàn diện, phục vụ đánh giá hiện trạng và dự báo biến động môi trường [2]. Trong khi đó, các phương pháp nội suy như Kriging (một kỹ thuật địa thống kê (geostatistical method) phổ biến trong mô phỏng không gian) và IDW (Inverse Distance Weighting – Trọng số khoảng cách nghịch đảo) đã được chứng minh là công cụ hữu hiệu trong việc mô phỏng không gian các thông số môi trường tại các khu

vực có mật độ điểm quan trắc hạn chế [3].

Các công nghệ không gian địa lý, bao gồm viễn thám (RS) và hệ thống thông tin địa lý (GIS) cho phép thu thập, trực quan hóa và phân tích dữ liệu môi trường trên quy mô không gian và thời gian rộng lớn. Đặc biệt, viễn thám đã được sử dụng để xác định các thông số chất lượng nước như độ đục, độ pH và chất rắn lơ lửng bằng cách sử dụng ảnh vệ tinh đa phổ [4, 5]. Kết hợp với GIS, các mô hình phân bố chất lượng nước theo không gian có thể được phát triển và tích hợp với các lớp môi trường khác để phân tích toàn diện hơn [6]. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng mô hình hóa dựa trên GIS hỗ trợ việc xác định các điểm nóng ô nhiễm, giúp dự đoán những thay đổi về chất lượng nước và hỗ trợ ra quyết định quản lý nước bền vững [7]. Có thể ví dụ, Gholizadeh và cộng sự (2016) đã chứng minh việc ứng dụng thành công ảnh Landsat 8 kết hợp với phân tích GIS để lập bản đồ phú dưỡng ở các hồ nội địa [8].



Hình 1. Vị trí lưu vực hồ Tây trên Google Earth

Bên cạnh đó, phương pháp nội suy rất quan trọng trong việc ước tính các giá trị chưa biết tại các vị trí chưa lấy mẫu dựa trên dữ liệu đo được. Trong khoa học môi trường, đặc biệt là các nghiên cứu về chất lượng nước, các phương pháp nội suy như Trọng số Khoảng cách Nghịch đảo (IDW), Kriging và Spline thường được áp dụng để tạo ra các bề mặt không gian liên tục từ các điểm lấy mẫu rời rạc [9]. Nhiều nhà nghiên cứu đã sử dụng nội suy để mô tả sự biến động không gian của các thông số chất lượng nước nhiều lưu vực trên thế giới. Ví dụ, Nas và Berktaş (2009) đã sử dụng phương pháp IDW để ước tính sự phân bố nồng

độ nitrat và phốt phát trong các hệ thống sông [4], trong khi Hooshmand (2011) và Awokoya (2024) đã áp dụng phương pháp Kriging để mô hình hóa mức oxy hòa tan trong hồ [10, 11]. Các phương pháp này nâng cao khả năng mô phỏng hiệu quả các điều kiện chất lượng nước theo thời gian thực và lịch sử.

Trên thực tế, việc kết hợp sử dụng các công cụ không gian địa lý và phương pháp nội suy đã được chứng minh là hiệu quả trong việc quản lý các hồ và hồ chứa nước đô thị ở nhiều khu vực. Tại lưu vực Hồ Tây, các nghiên cứu trước đây tập trung vào việc lấy mẫu thủ công và đo đạc tại các điểm, không nắm bắt được tính không đồng nhất về mặt không gian của chất lượng nước hồ [12, 13]. Việc tích hợp phân tích không gian địa lý với nội suy không gian cung cấp một khuôn khổ toàn diện để hiểu sự phân tán ô nhiễm, cung cấp thông tin cho các biện pháp can thiệp có mục tiêu và hỗ trợ quản lý hồ bền vững.

Nghiên cứu này nhằm mục đích áp dụng công nghệ không gian địa lý và các phương pháp nội suy để mô hình hóa và trực quan hóa sự biến động không gian của các thông số chất lượng nước chính tại Hồ Tây. Mục tiêu chính của nghiên cứu là tập trung vào việc ứng dụng và so sánh độ chính xác của phương pháp nội suy IDW và phương pháp nội suy Kriging cho các thông số DO, Tổng Nitơ (TN), Tổng Phốt pho (TP). Kết quả nghiên cứu được kỳ vọng sẽ cung cấp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn phương pháp phù hợp kết hợp với công nghệ không gian địa lý để hỗ trợ trong việc quản lý tài nguyên nước bền vững cho Hồ Tây nói riêng và các hệ thống thủy vực đô thị khác nói chung.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Thu thập và xử lý dữ liệu chất lượng nước

Dữ liệu chất lượng nước được thu thập từ 22 điểm quan trắc phân bố đều trên mặt hồ nhằm phản ánh được sự biến động không gian của các thông số môi trường (Hình 2). Các điểm lấy mẫu được xác định tọa độ bằng thiết bị GPS cầm tay (Garmin GPSMAP 64s) với sai số vị trí khoảng $\pm 3\text{m}$. Các chỉ tiêu môi trường được phân tích gồm:

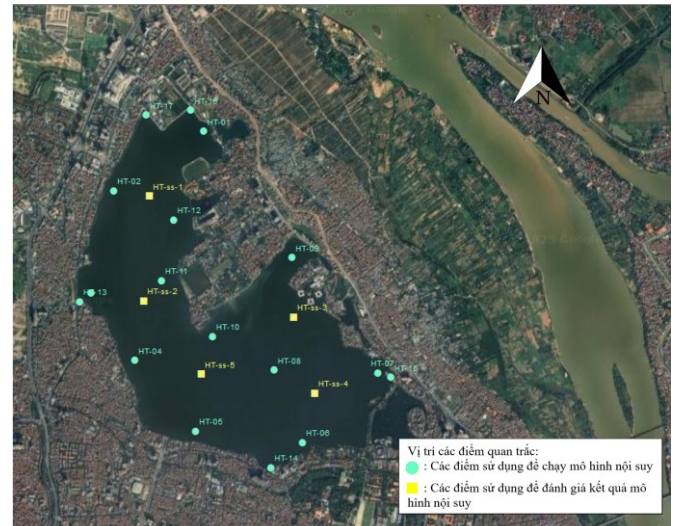
DO (oxy hoà tan), tổng nitơ (TN) và tổng phosphor (TP). Quy trình lấy mẫu và phân tích tuân theo các tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành như TCVN 6663-1:2011 – Chất lượng nước – Lấy mẫu – Phần 1: Hướng dẫn lập chương trình lấy mẫu và kỹ thuật lấy mẫu, TCVN 6663-3:2016 – Chất lượng nước – Lấy mẫu – Phần 3: Hướng dẫn bảo quản và xử lý mẫu nước, TCVN 6663-4:2018 – Chất lượng nước – Lấy mẫu – Phần 4: Hướng dẫn lấy mẫu từ hồ và ao tự nhiên, nhân tạo (tương đương ISO 5667-4:1987), TCVN 7325:2016 (ISO 5814:2012) về Chất lượng nước - Xác định oxy hòa tan - Phương pháp đầu đo điện hóa, SMEWW 4500-P.B & 4500-P.E:2017 – Phương pháp định lượng Phosphor, TCVN 6638:2000 – Phương pháp xác định amoni ($\text{NH}_3\text{-N}$) trong nước bằng các phương pháp quang phổ/điện cực.

Thời gian triển khai lấy mẫu và phân tích mẫu diễn ra trong khoảng thời gian từ 10 giờ đến 13 giờ từ ngày 12 tháng 9 năm 2024 đến ngày 10 tháng 10 năm 2024 trong điều kiện thời tiết nắng ráo, có gió nhẹ, kết quả quan trắc được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả quan trắc chất lượng nước Hồ Tây

STT	Tên điểm quan trắc	Toạ độ		Thông số		
		X	Y	DO	TP	TN
1	HT-01	585280	2330329	4,5	0,30	0,797
2	HT-02	584398	2329746	8,2	0,25	0,890
3	HT-03	584177	2328745	9,5	0,76	0,842
4	HT-04	584604	2328080	8,9	0,32	0,859
5	HT-05	585202	2327388	3,9	0,62	1,137
6	HT-06	586250	2327276	3,8	0,59	1,844
7	HT-07	586988	2327958	6,1	0,77	1,475
8	HT-08	585973	2327985	4,4	0,56	1,309
9	HT-09	586146	2329090	3,9	0,37	1,596
10	HT-10	585366	2328314	5,8	0,32	1,127
11	HT-11	584865	2328863	6,8	0,28	1,076
12	HT-12	584989	2329460	8,7	0,24	1,006
13	HT-13	584065	2328658	9,3	0,81	0,821
14	HT-14	585941	2327031	3,9	0,63	1,753
15	HT-15	587110	2327915	6,3	0,83	1,502
16	HT-16	585153	2330534	4,7	0,35	0,812
17	HT-17	584715	2330488	5,1	0,41	0,815
18	HT-ss-1 (*)	584747	2329692	7,3	0,27	0,953
19	HT-ss-2 (*)	584694	2328667	7,5	0,35	0,973
20	HT-ss-3 (*)	586162	2328508	4,4	0,51	1,254
21	HT-ss-4 (*)	586367	2327761	5,2	0,53	1,357
22	HT-ss-5 (*)	585256	2327946	5,5	0,42	1,255

(*) 05 vị trí sử dụng so sánh với kết quả nội suy để đánh giá mô hình



Hình 2. Bản đồ mô tả vị trí của các điểm quan trắc

2.2. Ứng dụng công nghệ địa không gian

Dữ liệu không gian và dữ liệu thuộc tính được tích hợp và xử lý trong môi trường phần mềm QGIS 2.18. Các lớp bản đồ bao gồm ranh giới Hồ Tây, vị trí các điểm lấy mẫu, bản đồ nền được xử lý và hiệu chỉnh trước khi đưa vào sử dụng. Hệ tọa độ sử dụng là VN-2000 (WGS 84 Zone 48N). Việc sử dụng GIS giúp hiển thị trực quan phân bố không gian và hỗ trợ phân tích không gian cho quá trình nội suy [2].

2.3. Áp dụng các phương pháp nội suy

Hai phương pháp nội suy được sử dụng là IDW (Inverse Distance Weighting) và Kriging để mô phỏng phân bố không gian của các chỉ tiêu chất lượng nước trên toàn bộ mặt hồ:

- IDW là phương pháp nội suy xác định xác định các giá trị cell bằng cách tính trung bình các giá trị của các điểm mẫu trong vùng lân cận của mỗi cell. Điểm càng gần điểm trung tâm (mà ta đang xác định) thì càng có ảnh hưởng nhiều hơn [14, 8].

- Kriging là phương pháp nội suy giá trị cho các điểm xung quanh một điểm đã xác định được giá trị. Những điểm gần điểm gốc sẽ ảnh hưởng nhiều hơn những điểm ở xa [15, 9]. Bản chất của phương pháp nội suy Kriging là dự đoán giá trị của hàm tại một điểm nhất định bằng cách tính trung bình trọng số của các điểm đã biết nằm trong vùng lân cận của điểm nội suy.

2.4. Đánh giá và hiệu chỉnh mô hình nội suy

Hai chỉ số thống kê định lượng, hệ số xác định (R^2) và hệ số Nash-Sutcliffe (NSE) được sử dụng để đánh giá độ chính xác của dữ liệu mô phỏng so với dữ liệu thực tế hay đánh giá kết quả của mô hình [16, 10].

- Hệ số xác định (R^2): R^2 là chỉ số thể hiện mức độ tương quan và khả năng giải thích của mô hình đối với dữ liệu quan sát thực tế. R^2 nằm trong khoảng từ 0 đến 1, với các giá trị cao hơn biểu thị phương sai lỗi (Error Variance) ít hơn và thông thường các giá trị lớn hơn 0,5 được coi là chấp nhận được [17, 18].

- Hệ số Nash-Sutcliffe (NSE): Hệ số Nash-Sutcliffe là một chỉ số thống kê chuẩn hóa xác định độ lớn tương đối của phương sai dư ("nhiều") so với phương sai dữ liệu đo được ("thông tin") [19]. NSE cho biết mức độ phù hợp của đồ thị dữ liệu quan sát so với dữ liệu mô phỏng với đường 1:1. NSE được tính theo công thức sau:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2}$$

Trong đó Y_i^{obs} là quan sát thứ i đối với thành phần đang được đánh giá, Y_i^{sim} là giá trị mô phỏng thứ i đối với thành phần đang được đánh giá, Y^{mean} là giá trị trung bình của dữ liệu quan sát đối với thành phần đang được đánh giá và n là tổng số quan sát. Các mức phân loại giá trị NSE và ý nghĩa tương ứng về độ chính xác của mô hình được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Giá trị của NSE và độ chính xác của mô hình [16]

Giá trị NSE	Độ chính xác của mô hình
$0,75 < NSE \leq 1,00$	Rất tốt (Very good)
$0,65 < NSE \leq 0,75$	Tốt (Good)
$0,50 < NSE \leq 0,65$	Chấp nhận được (Satisfactory)
$NSE \leq 0,50$	Không chấp nhận được (Unsatisfactory)

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Kết quả mô phỏng không gian nồng độ DO

Sau khi sử dụng phần mềm QGIS để chạy các mô hình nội suy nồng độ theo phương pháp IDW và phương pháp Kriging, kết quả nội suy nồng độ DO được thể hiện trong Hình 3.

Từ kết quả nội suy nồng độ DO theo phương

pháp IDW và Kriging ở Hình 3 cho thấy sự phân bố không gian rõ rệt giữa các khu vực trong Hồ Tây. Vùng có nồng độ DO thấp nhất (khoảng 3,7–3,8 mg/L), thể hiện bằng màu đỏ, tập trung chủ yếu ở phía Nam và Đông Nam hồ. Đây có thể là các khu vực bị ô nhiễm hữu cơ cao, nước lưu thông kém hoặc nằm gần các cống xả thải. Các khu vực có DO trung bình (khoảng 6,6 mg/L, thể hiện màu cam – vàng) chiếm phần lớn diện tích trung tâm và phía Đông hồ, với chất lượng nước ở mức tạm chấp nhận được cho sinh vật thủy sinh. Ngược lại, khu vực có DO cao nhất (khoảng 9,5 mg/L, thể hiện màu xanh) nằm ở phía Tây và Tây Bắc, nơi được lắp đặt hệ thống sục khí, giúp nâng cao hàm lượng oxy hòa tan. Tổng thể, kết quả cho thấy DO phân bố không đồng đều, tồn tại các vùng ô nhiễm cục bộ với DO dưới 5 mg/L – mức có thể ảnh hưởng xấu đến sinh vật thủy sinh. Trong khi đó, những khu vực có DO trên 7 mg/L cho thấy chất lượng nước tốt hơn, phù hợp cho sự phát triển của hệ sinh thái nước ngọt.

Để đánh giá kết quả độ chính xác của phương pháp nội suy IDW và Kriging, nghiên cứu sử dụng số liệu từ mẫu đánh giá được chia ra từ đầu (với 17 vị trí chạy mô hình nội suy và 05 vị trí đánh giá mô hình nội suy). Sử dụng số liệu nội suy và số liệu từ mẫu đánh giá để thực hiện tính toán chỉ số R^2 và NSE, kết quả được thể hiện trong Bảng 3.

Kết quả đánh giá độ chính xác của hai phương pháp nội suy cho thấy cả IDW và Kriging đều cho hiệu quả dự báo cao. Cụ thể, hệ số R^2 lần lượt đạt 0,91 và 0,96, cho thấy mô hình giải thích được tới 91% và 96% mức biến động của dữ liệu thực tế – phản ánh mối tương quan chặt chẽ giữa giá trị nội suy và giá trị quan trắc. Bên cạnh đó, chỉ số hiệu suất Nash–Sutcliffe (NSE) của cả hai phương pháp đều lớn, với NSE = 0,89 đối với IDW và 0,85 đối với Kriging, cho thấy sai số thấp và khả năng dự báo đáng tin cậy. Theo thang đánh giá, cả hai phương pháp đều đạt mức "rất tốt", hoàn toàn phù hợp để ứng dụng trong phân tích và mô phỏng không gian nồng độ DO của Hồ Tây.

Nhìn chung, cả hai phương pháp nội suy

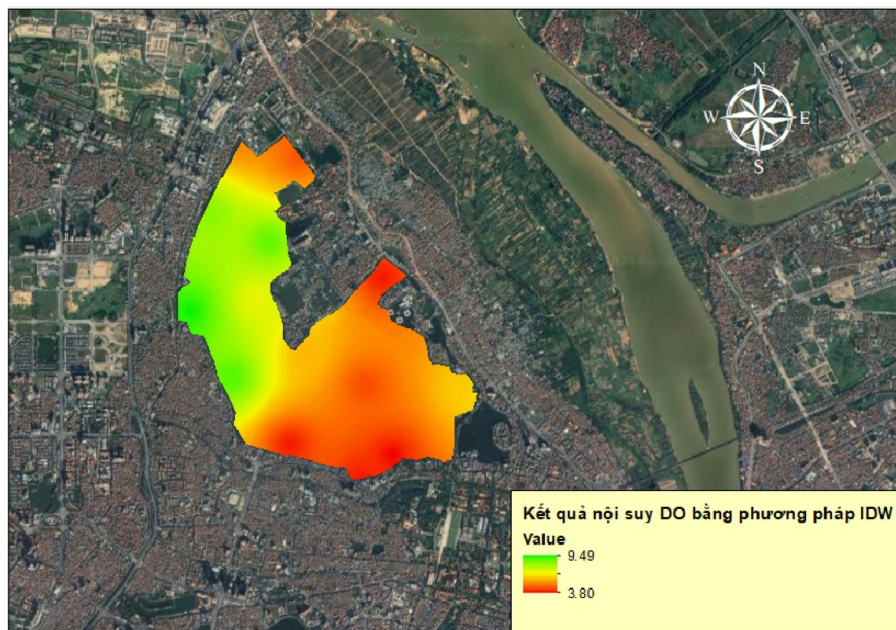
IDW và Kriging đều cho sai số nhỏ giữa giá trị nội suy và giá trị quan trắc, với các chỉ số thống kê như R^2 và NSE đạt mức rất tốt. Trong đó, phương pháp IDW cho thấy hiệu quả mô phỏng cao hơn, thể hiện qua chỉ số NSE cao hơn so với Kriging, đồng thời tái hiện rõ nét hơn sự phân bố không gian của nồng độ DO tại Hồ Tây. Cả hai mô hình đều có thể áp dụng hiệu quả cho mục tiêu giám sát, đánh giá và cảnh báo chất lượng nước, đặc biệt hữu ích trong việc ước lượng tại các vị trí chưa được quan trắc. Trong bối cảnh của nghiên cứu này, nếu chỉ xét chỉ

số R^2 , NSE thì rất khó để lựa chọn phương pháp nào là tốt hơn. Do vậy, nhóm nghiên cứu xét thêm trung bình sai lệch tuyệt đối (MAE- Mean Absolute Error) [20].

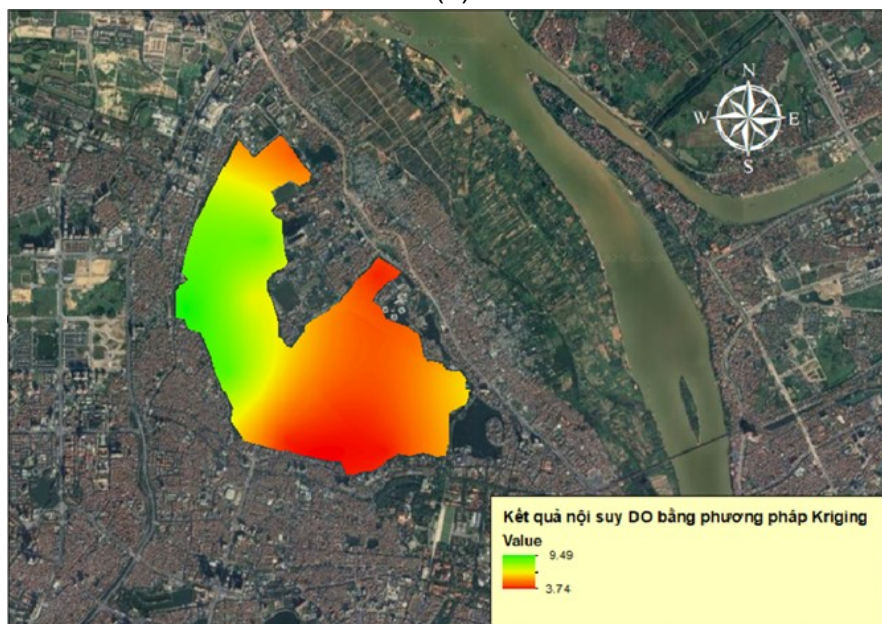
$$MAE_{IDW} = (0,4 + 0,1 + 0,3 + 0,3 + 0,3)/5 = 0,28$$

$$MAE_{Kriging} = (0,7 + 0,4 + 0,0 + 0,7 + 0,0)/5 = 0,36$$

Như vậy, IDW có sai lệch trung bình nhỏ hơn, thể hiện độ khớp với dữ liệu quan trắc tốt hơn ở các vị trí cụ thể và như vậy IDW là phương pháp phù hợp và chính xác hơn trong bối cảnh nghiên cứu này.



(a)



(b)

Hình 3. Kết quả nội suy nồng độ DO theo phương pháp IDW (a) và Kriging (b)

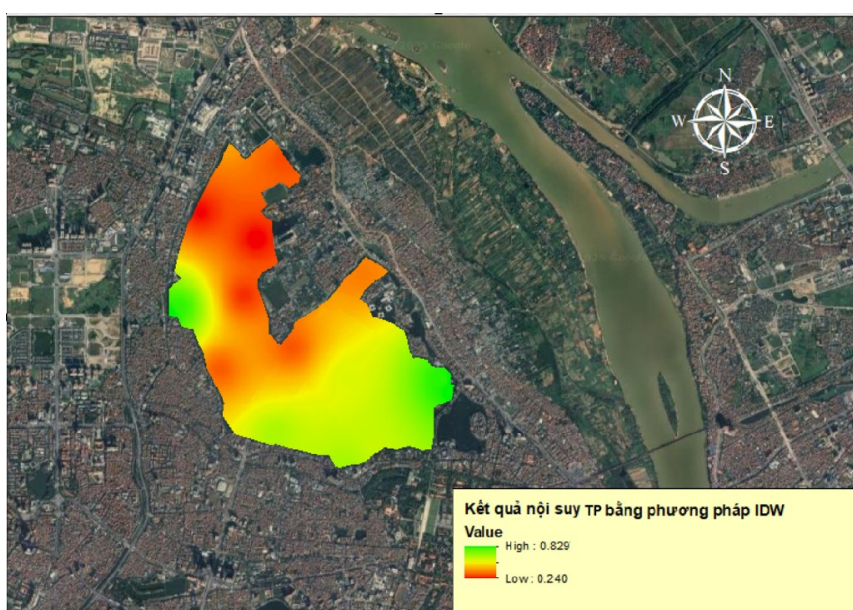
Bảng 3. Chỉ số R^2 , NSE của phương pháp nội suy IDW và Kriging đối với DO

Vị trí	IDW		Kriging	
	Giá trị quan trắc	Giá trị nội suy	Giá trị quan trắc	Giá trị nội suy
HT-ss-1	7,3	7,7	7,3	8
HT-ss-2	7,5	7,4	7,5	7,9
HT-ss-3	4,4	5,1	4,4	4,4
HT-ss-4	5,2	4,9	5,2	4,5
HT-ss-5	5,5	5,8	5,5	5,5
R^2	0,91		0,96	
NSE	0,89		0,85	

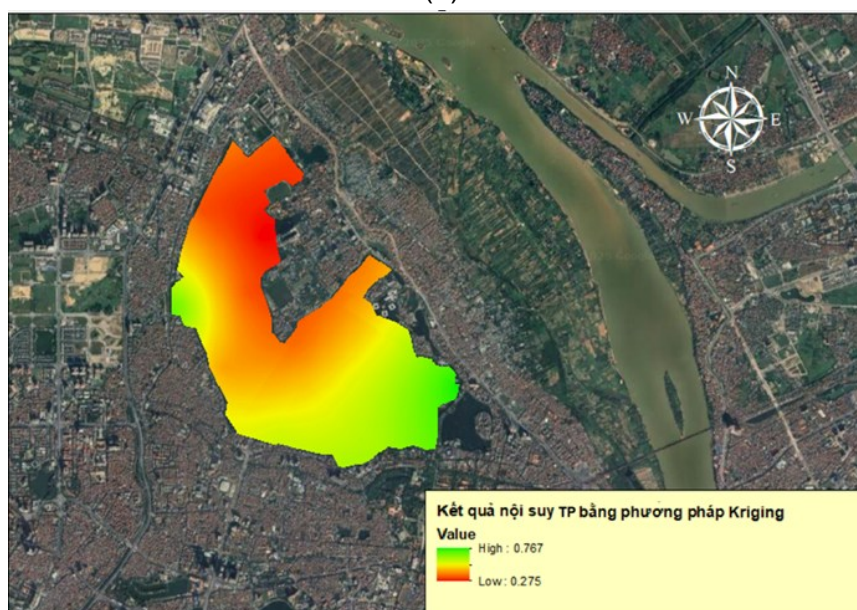
3.2. Kết quả mô phỏng không gian nồng độ Tổng Phosphor (TP)

Sau khi sử dụng phần mềm QGIS để chạy

các mô hình nội suy nồng độ theo phương pháp IDW và phương pháp Kriging cho nồng độ Tổng Phosphor, kết quả được thể hiện trong Hình 4.



(a)



(b)

Hình 4. Kết quả nội suy nồng độ Tổng Phosphor theo phương pháp IDW (a) và Kriging (b)

Kết quả nội suy nồng độ tổng Phosphor (TP) theo hai phương pháp IDW và Kriging trong Hình 4 cho thấy sự phân bố không gian rõ rệt trong khu vực Hồ Tây. Giá trị TP dao động từ khoảng 0,240–0,830 mg/L với IDW và từ 0,275–0,767 mg/L với Kriging. Cả hai phương pháp đều cho thấy khu vực có nồng độ TP cao (màu đỏ – cam) tập trung chủ yếu ở phía Tây Bắc và Tây Nam hồ, trong khi các vùng có TP thấp (màu xanh) phân bố chủ yếu ở phía Đông và Đông Nam. Tổng Phosphor là yếu tố dinh dưỡng chính gây nguy cơ phú dưỡng và bùng phát tảo, do đó việc xác định sự phân bố của TP có ý nghĩa quan trọng trong quản lý chất lượng nước. Cả hai phương pháp nội suy đều thể hiện tốt tính liên tục không gian và mô tả rõ xu hướng lan truyền của TP, góp phần xác định các “điểm nóng” ô nhiễm dinh dưỡng cần được kiểm soát trong công tác giám sát và bảo vệ môi trường hồ.

Sử dụng số liệu nội suy và số liệu từ mẫu đánh giá để thực hiện tính toán chỉ số R^2 và NSE, kết quả được thể hiện trong Bảng 4.

Trong Bảng 4, kết quả đánh giá độ chính xác cho thấy cả hai phương pháp nội suy IDW và Kriging đều thể hiện mức độ tương quan cao giữa giá trị nội suy và giá trị quan trắc nồng độ TP, với cùng hệ số R^2 lần lượt đạt 0,94 và 0,84. Điều này cho thấy các mô hình có khả năng giải thích từ 84% đến 94% phương sai của dữ liệu thực tế. Tuy

nhien, xét về hiệu suất dự báo qua chỉ số NSE, phương pháp IDW đạt giá trị 0,85 – thuộc mức "rất tốt", trong khi Kriging chỉ đạt 0,68 – tương ứng mức "tốt". Điều này cho thấy phương pháp IDW không chỉ cho kết quả chính xác hơn mà còn ổn định và đáng tin cậy hơn khi mô phỏng không gian nồng độ TP trong Hồ Tây. Do đó, IDW được đánh giá là phù hợp hơn để ứng dụng trong phân tích và giám sát phân bố TP trên diện rộng.

Như vậy, cả hai phương pháp nội suy IDW và Kriging đối với TP đều cho sai số nhỏ giữa giá trị quan trắc và giá trị nội suy, với các chỉ số thống kê R^2 và NSE đạt mức độ tin cậy tốt. Các mô hình đã phản ánh rõ sự phân bố không gian của TP, đặc biệt là các khu vực có nguy cơ tích tụ cao – nhiều khả năng liên quan đến nguồn thải sinh hoạt hoặc quá trình lắng đọng tự nhiên. Kết quả cho thấy khu vực phía Bắc và phía Tây của Hồ Tây là những vùng cần ưu tiên giám sát và kiểm soát nguồn phát thải Phosphor nhằm hạn chế nguy cơ phú dưỡng. Nhìn chung, đây là cơ sở dữ liệu quan trọng, hỗ trợ hiệu quả cho công tác quy hoạch xử lý ô nhiễm và giám sát chất lượng môi trường nước. Mặc dù cả hai phương pháp đều có thể áp dụng để nội suy TP, nhưng IDW cho thấy độ chính xác và khả năng mô phỏng tốt hơn so với Kriging trong điều kiện nghiên cứu này.

Bảng 4. Chỉ số R^2 , NSE của phương pháp nội suy IDW và Kriging đối với TP

Vị trí	IDW		Kriging	
	Giá trị quan trắc	Giá trị nội suy	Giá trị quan trắc	Giá trị nội suy
HT-ss-1	0,27	0,3	0,27	0,3
HT-ss-2	0,35	0,39	0,35	0,42
HT-ss-3	0,51	0,498	0,51	0,48
HT-ss-4	0,53	0,59	0,53	0,62
HT-ss-5	0,42	0,45	0,42	0,44
R^2	0,94		0,84	
NSE	0,85		0,68	

3.3. Kết quả mô phỏng không gian nồng độ Tổng Nitơ (TN)

Kết quả nội suy nồng độ Tổng Nitơ bằng phương pháp IDW và Kriging được thể hiện trong Hình 5.

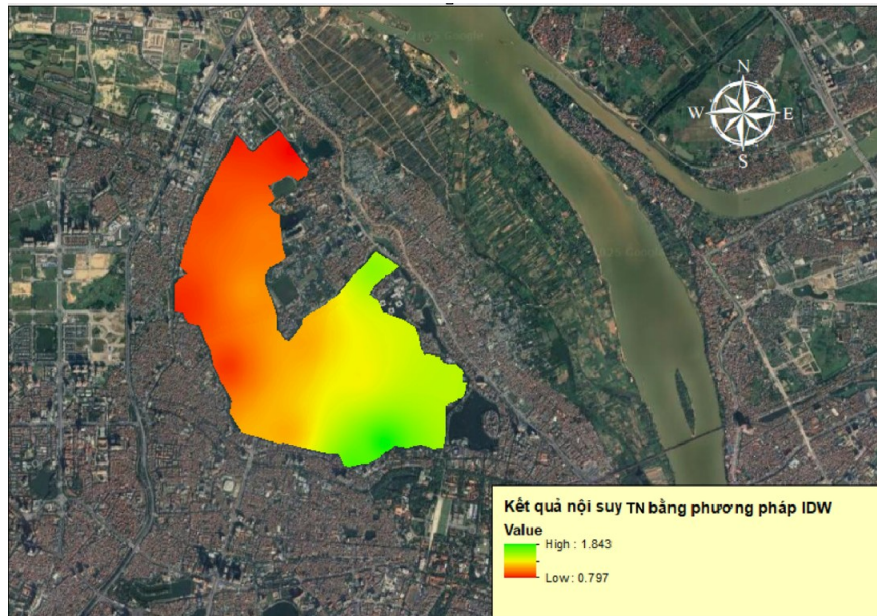
Kết quả nội suy nồng độ tổng Nitơ (TN) bằng hai phương pháp IDW và Kriging trong Hình 5 cho

thấy giá trị TN dao động trong khoảng từ 0,797 mg/L đến khoảng 1,844 mg/L. Cả hai phương pháp đều cho thấy sự phân bố không gian tương đồng, với các khu vực có nồng độ TN cao (màu đỏ – cam) tập trung chủ yếu ở phía Bắc và phía Tây Hồ Tây, trong khi các vùng có nồng độ thấp (màu xanh) phân bố ở phía Đông Nam và phía Nam. Tổng Nitơ

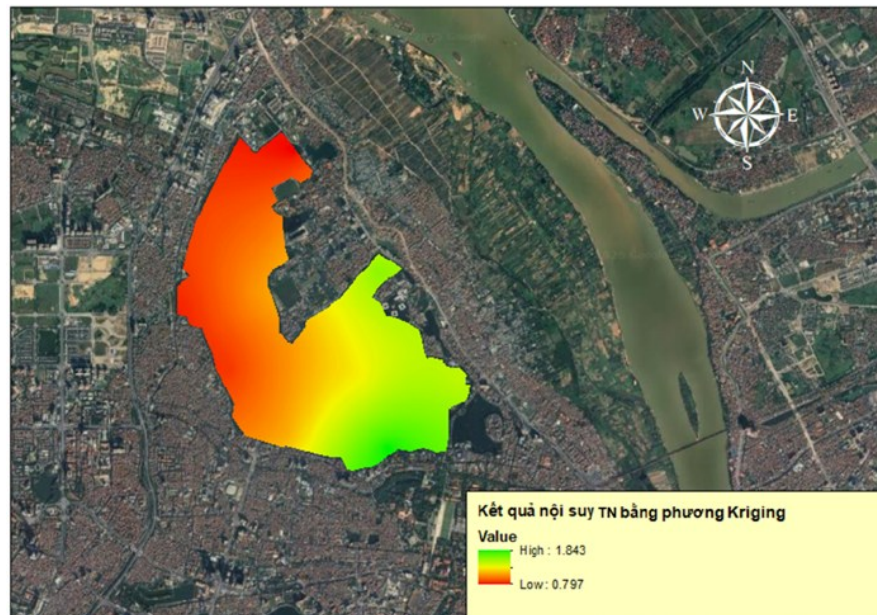
là một chỉ tiêu quan trọng phản ánh mức độ ô nhiễm dinh dưỡng và là yếu tố góp phần vào quá trình phú dưỡng. Một số khu vực có nồng độ TN cao vượt ngưỡng cho phép, đặc biệt ở phía Bắc và Tây, cho thấy nguy cơ ô nhiễm Nitơ nghiêm trọng. Do đó, cần tăng cường kiểm soát các nguồn

thải tiềm năng như nước thải sinh hoạt, rò rỉ từ hệ thống thoát nước hoặc dòng chảy mặt từ khu dân cư.

Sử dụng số liệu nội suy và số liệu từ mẫu đánh giá để thực hiện tính toán chỉ số R^2 và NSE, kết quả được thể hiện trong Bảng 5.



(a)



(b)

Hình 5. Kết quả nội suy nồng độ Tổng Nitơ theo phương pháp IDW (a) và Kriging (b)

Kết quả đánh giá độ chính xác cho thấy cả hai phương pháp nội suy IDW và Kriging trong Bảng 5 đều có mức độ tương quan khá cao giữa giá trị nội suy và giá trị quan trắc nồng độ TN, với hệ số R^2 lần lượt là 0,86 và 0,76 – đều vượt

ngưỡng chấp nhận được trong các mô hình môi trường. Tuy nhiên, xét về hiệu suất dự báo qua chỉ số NSE, phương pháp IDW đạt 0,71 – thuộc mức "tốt", cho thấy sai số nhỏ và khả năng dự đoán đáng tin cậy. Ngược lại, phương pháp Kriging chỉ

đạt $NSE = 0,27$, cho thấy độ chính xác thấp và không đảm bảo độ tin cậy khi sử dụng để phân tích không gian nồng độ TN. Như vậy, trong trường hợp này, mô hình nội suy IDW thể hiện rõ ưu thế và phù hợp hơn cho việc mô phỏng, giám sát và đánh giá mức độ ô nhiễm Nitơ tại Hồ Tây.

Như vậy, phương pháp nội suy IDW cho kết quả mô phỏng nồng độ TN với sai số nhỏ, cùng các chỉ số thống kê R^2 và NSE đạt mức "tốt", đảm bảo độ tin cậy khi sử dụng trong phân tích không gian. Trong khi đó, phương pháp Kriging dù có hệ số R^2 chấp nhận được (trên 0,5), phản ánh mức độ tương quan tuyến tính giữa giá trị quan trắc và mô phỏng, nhưng chỉ số NSE lại rất thấp và không đạt ngưỡng tin cậy, nên không phù hợp để mô phỏng nồng độ TN trong nghiên cứu này.

Bảng 5. Chỉ số R^2 , NSE của phương pháp nội suy IDW và Kriging đối với TN

Vị trí	IDW		Kriging	
	Giá trị quan trắc	Giá trị nội suy	Giá trị quan trắc	Giá trị nội suy
HT-ss-1	0,953	0,944	0,953	0,923
HT-ss-2	0,973	1,007	0,973	0,982
HT-ss-3	1,254	1,37	1,254	1,431
HT-ss-4	1,357	1,484	1,357	1,558
HT-ss-5	1,255	1,164	1,255	1,095
R^2	0,86		0,76	
NSE	0,71		0,27	

4. Kết luận

Nghiên cứu đã ứng dụng phần mềm QGIS kết hợp với hai phương pháp nội suy phổ biến là IDW và Kriging để mô phỏng và so sánh sự phân bố không gian của các chỉ tiêu chất lượng nước tại Hồ Tây, bao gồm DO, tổng Phosphor (TP) và tổng Nitơ (TN). Kết quả cho thấy phương pháp IDW cho độ chính xác mô phỏng cao hơn so với Kriging, thể hiện qua các chỉ số thống kê R^2 và NSE – đặc biệt với các chỉ tiêu DO và TP, NSE đều vượt ngưỡng 0,85 và đạt mức "rất tốt".

Bản đồ phân bố không gian các chỉ tiêu đã phản ánh rõ hiện trạng chất lượng nước tại Hồ Tây, trong đó nồng độ DO thấp và TP, TN cao tập trung tại các khu vực phía Nam và Tây Bắc, cho thấy nguy cơ ô nhiễm hữu cơ và phú dưỡng cần được quan tâm. Việc tích hợp công nghệ địa không gian với phương pháp nội suy đã cho phép mô phỏng trực quan và hiệu quả sự biến động chất lượng

Nhìn chung, cả IDW và Kriging đều có khả năng mô phỏng phân bố không gian chất lượng nước Hồ Tây, nhưng với bộ dữ liệu hiện có, phương pháp IDW cho kết quả chính xác và ổn định hơn. Do đó, nghiên cứu đề xuất lựa chọn phương pháp IDW để nội suy không gian phân bố nồng độ các chỉ tiêu DO, TP, TN và xây dựng bản đồ không gian mô phỏng chất lượng nước của Hồ Tây.

Ngoài ra, một hạn chế của nghiên cứu là số lượng điểm quan trắc (22 điểm) có thể chưa bao quát hết sự phức tạp không gian của Hồ Tây. Các nghiên cứu trong tương lai nên áp dụng các phương pháp đánh giá chéo (cross-validation) hoặc gia tăng mật độ quan trắc để cải thiện độ tin cậy và độ mịn của mô hình nội suy.

nước theo không gian, góp phần hỗ trợ quá trình giám sát, đánh giá và ra quyết định trong quản lý môi trường nước đô thị.

Trên cơ sở kết quả đạt được, nghiên cứu kiến nghị tăng cường giám sát tự động và định kỳ tại các khu vực có nguy cơ ô nhiễm cao; áp dụng các biện pháp cải thiện chất lượng nước như sục khí, tuần hoàn và xử lý cục bộ tại các điểm xả thải. Đồng thời, khuyến khích mở rộng ứng dụng công nghệ địa không gian và nội suy – đặc biệt là phương pháp IDW – trong các nghiên cứu và đánh giá môi trường tại các hệ thống thủy vực đô thị khác. Trong các nghiên cứu tiếp theo, cần tích hợp mô hình với các công cụ dự báo động học, tăng cường số lượng và tần suất quan trắc, cập nhật dữ liệu mới và mở rộng phạm vi nghiên cứu để đánh giá hiệu quả trong bối cảnh biến đổi khí hậu và quá trình đô thị hóa ngày càng gia tăng. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu phản ánh hiện trạng chất lượng

nước tại thời điểm tháng 9 đến tháng 10 năm 2024, tương ứng giai đoạn chuyển tiếp giữa mùa mưa và mùa khô. Trong các nghiên cứu tiếp theo, cần mở rộng thời gian lấy mẫu cho cả hai mùa nhằm đánh giá đặc trưng biến động theo mùa và xây dựng các bản đồ chất lượng nước theo chu kỳ năm, phục vụ quản lý tổng hợp hồ đô thị.

Tài liệu tham khảo

- [1] H.T.L. Vân, L.N. Cầu, B.Q. Dũng, N.T.K. Anh, N.V. Tiến, N.T. Giang, N.K. Anh. (2018). Đánh giá hiện trạng chất lượng nước Hồ Tây. *Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu*, số 8, 58-62.
- [2] P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D.W. Rhind. (2015). *Geographic Information Science and Systems. 4th Edition*, Wiley, London.
<https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2004.FR.1.en>
- [3] G.Y. Lu, D.W. Wong. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences*, 34(9), 1044-1055.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.010>
- [4] B. Nas, A. Berktaş. (2010). Groundwater Quality Mapping in Urban Groundwater Using GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160, 215-227. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0689-4>
- [5] D. Carstens, R. Amer. (2019). Spatio-temporal Analysis of Urban Changes and Surface Water Quality. *Journal of Hydrology*, 569, 720-734. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.033>
- [6] S.M. Kloiber, P.L. Brezonik, M.E. Bauer. (2002). Application of Landsat Imagery to Regional-Scale Assessments of Lake Clarity. *Water Research*, 36(17), 4330-4340. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00146-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00146-X)
- [7] N. Du, H. Ottens, R. Sliuzas. (2010). Spatial impact of urban expansion on surface water bodies—A case study of Wuhan, China. *Landscape and Urban Planning*, 94(3-4), 175-185. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.10.002>
- [8] M.H. Gholizadeh, A.M. Melesse, & L. Reddi. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors*, 16(8), 1298. <https://doi.org/10.3390/s16081298>
- [9] P.A. Burrough, R.A. McDonnell. (1998). *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford University Press, Oxford.
- [10] A. Hooshmand, M. Delghandi, A. Izadi, K.A. Aali. (2011). Application of kriging and cokriging in spatial estimation of groundwater quality parameters. *African Journal of Agricultural Research*, 6(14), 3402-3408. DOI: 10.5897/AJAR11.027
- [11] S.O. Awokoya, P.S. Ayanlola, A. Olatunji, F.A. Ojeniyi, O.I. Agbelusi, O.T. Orodian, G.A. Isola. (2024). Application of Geostatistical Kriging Model in Assessing Exposure to Background Ionizing Radiation and its Radiological Hazard Indices. *Malaysian Journal of Science and Advanced Technology*, 4(4), 464-471. <https://doi.org/10.56532/mjsat.v4i4.381>
- [12] N.T.H. Tiên, N.S. Vân, V.T.H. Nguyễn, K.T. Thoa, N.Đ. Tuấn, K.V. Vạn. (2018). Hiện trạng môi trường nước, trầm tích Hồ Tây (Hà Nội) và đề xuất một số giải pháp bảo vệ nguồn lợi thủy sản. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*, 16(5), 464-472.
- [13] N.T. Anh. (2021). Nghiên cứu hệ sinh thái hồ Tây trong điều kiện biến đổi khí hậu. *Luận án tiến sĩ. Viện Khoa học khí tượng thủy văn và biến đổi khí hậu. Bộ Tài nguyên và Môi trường*.
- [14] D. Shepard. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data. *Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference*, 517-524. <https://doi.org/10.1145/800186.810616>
- [15] G. Matheron. (1963). Principles of Geostatistics. *Economic Geology*, 58, 1246-1266.
- [16] D.N. Moriasi, J.G. Arnold, M.W. Van Liew, R.L. Bingner, R.D. Harmel, T.L. Veith. (2007). Model evaluation guidelines for systematic

- quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE, 2007 American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885-900. doi: 10.13031/2013.23153
- [17] C. Santhi, J.G. Arnold, J.R. Williams, W.A. Dugas, R. Srinivasan, L.M. Hauck. (2001). Validation of the SWAT model on a river basin with point and nonpoint sources. *Journal of The American Water Resources Association*, 37(5), 1169-1188. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03630.x>
- [18] M. Liew, J. Arnold, J. Garbrecht. (2003). Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. *Transactions of the ASABE*, 46(6), 1539-1551. DOI:10.13031/2013.15643
- [19] J.E. Nash, J.V. Sutcliffe. (1970). River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- [20] C.J. Willmott, K. Matsuura. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), 79-82. <https://doi.org/10.3354/cr030079>