

**APPLICATION OF REMOTE SENSING
AND GIS TO IDENTIFY
CHLOROPHYLL-A IN THE WEST
LAKE AREA- HANOI CITY**

Duong Thi Loi^{1*}, Vu Thi Kieu Anh²
and Nguyen Van Manh¹

¹*Faculty of Geography, Hanoi National
University of Education, Hanoi city, Vietnam*

²*TH School, Hanoi city, Vietnam*

*Coresponding author Dương Thị Lợi,
e-mail: loidt@hnue.edu.vn

Received March 14, 2024.

Revised April 18, 2024.

Accepted May 12, 2024.

**ỨNG DỤNG VIỄN THÁM VÀ GIS
TRONG ĐÁNH GIÁ HÀM LƯỢNG
CHLOROPHYLL-A TẠI KHU VỰC HỒ
TÂY - THÀNH PHỐ HÀ NỘI**

Dương Thị Lợi^{1*}, Vũ Thị Kiều Anh²
và Nguyễn Văn Mạnh¹

¹*Khoa Địa lí, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội,
thành phố Hà Nội, Việt Nam*

²*Trường TH School, thành phố Hà Nội, Việt Nam*

*Tác giả liên hệ: Dương Thị Lợi,
e-mail: loidt@hnue.edu.vn

Ngày nhận bài: 14/3/2024.

Ngày sửa bài: 18/4/2024.

Ngày nhận đăng: 12/5/2024.

Abstract. The decline of water quality in inland lakes is an ongoing concern in large cities, seriously affecting the city outlook and the health of the residents. Chlorophyll-a is one of the important indicators to evaluate the level of eutrophication in lakes. The purpose of this study is to identify the Chlorophyll-a in the West Lake, Hanoi based on Landsat 8-OLI satellite data and field measurement results. Research results show that the Chlorophyll-a in the West Lake area is very high, ranging from 186 - 288 $\mu\text{g/L}$ with a super eutrophication situation. The linear algorithm is used to determine the linear relationship between the ratio of image bands and Chlorophyll-a. Accordingly, the Green/Blue band ratio (B3/B2) is considered the most suitable to determine Chl-a level in the study area with $R^2 = 0.78$, average error 44.7. The results of the study confirmed the potential for Landsat data to be used as a free and effective tool for monitoring water quality in inland lakes.

Keywords: Chl-a, West Lake, Remote Sensing, GIS, Hanoi.

Tóm tắt. Sự suy giảm chất lượng nước tại các hồ nội địa là vấn đề đáng lo ngại đang diễn ra tại các thành phố lớn, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến mỹ quan và sức khỏe của người dân. Hàm lượng Chlorophyll-a là một trong những chỉ tiêu quan trọng nhằm đánh giá mức độ phú dưỡng tại các hồ. Mục đích của nghiên cứu này là đánh giá hàm lượng Chlorophyll-a tại khu vực hồ Tây – thành phố Hà Nội dựa trên dữ liệu vệ tinh Landsat 8-OLI và kết quả đo hiện trường. Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng Chlorophyll-a tại khu vực hồ Tây rất cao dao động từ 186 – 288 $\mu\text{g/L}$ được xếp vào nhóm siêu phú dưỡng. Thuật toán linear được sử dụng nhằm xác định mối quan hệ tuyến tính giữa tỉ lệ các kênh ảnh và hàm lượng Chlorophyll-a. Theo đó, tỉ lệ kênh Green/Blue (B3/B2) được đánh giá là phù hợp nhất để xác định hàm lượng Chl-a tại khu vực nghiên cứu với $R^2 = 0,78$, sai số trung bình 44,7. Kết quả nghiên cứu xác định tiềm năng của dữ liệu Landsat được sử dụng như một công cụ miễn phí và hiệu quả để theo dõi chất lượng nước tại các hồ nội địa.

Từ khóa: Chl-a, Hồ Tây, viễn thám, GIS, thành phố Hà Nội.

1. Mở đầu

Suy giảm nghiêm trọng chất lượng nước tại các thủy vực trong đất liền như ao, hồ, sông, suối... đang là mối đe dọa với an ninh môi trường trên toàn cầu. Theo Quỹ Nhi đồng Liên Hợp Quốc (UNICEF) Việt Nam nằm trong danh sách 5 quốc gia có nguồn nước ô nhiễm nặng nhất,

bên cạnh Indonesia, Thái Lan, Philippines, và Trung Quốc [1]. Hầu hết các hồ nội địa ở các thành phố lớn như Hà Nội và Hồ Chí Minh đều bị ô nhiễm. Nước thải từ sinh hoạt và nhà máy công nghiệp có chứa các chất nitrat (N) và photphat (P) chỉ được xử lý một phần hoặc không được xử lý, thông qua hệ thống ống thoát xả thẳng vào nguồn nước. Lượng chất thải quá mức đã gây ra hiện tượng bùng phát tảo và thực vật phù du, hình thành hiện tượng phú dưỡng, làm chết nhiều loài sinh vật và làm suy giảm chức năng của hệ sinh thái.

Trên thực tế, việc theo dõi chất lượng nước tại các thủy vực gặp nhiều hạn chế, phụ thuộc lớn vào dữ liệu quan trắc thực địa. Các số liệu quan trắc này tuy tốn nhiều kinh phí và công sức để thu thập nhưng chỉ thể hiện được chất lượng nước tại điểm quan trắc rời rạc. Do vậy, bài toán đặt ra là cần cấp bách xây dựng một công cụ, đi kèm một quy trình giám sát chất lượng nước tự động trên khắp diện tích mặt hồ theo thời gian thực [2]. Trước yêu cầu thực tiễn này, ý tưởng sử dụng công nghệ viễn thám để nghiên cứu chất lượng môi trường nước được tiến hành từ cuối những năm 70 của thế kỉ XX bởi Mittenzwey [3]. Trong đó, hàm lượng Chlorophyll-a (Chl-a) được đánh giá là thông số quan trọng thể hiện sự có mặt của tảo, được sử dụng để đánh giá mức độ phú dưỡng (TSI–*Trophic State Index*) của thủy vực, từ đó phản ánh mức độ ô nhiễm nước tại khu vực nghiên cứu [4].

Trên thế giới, nhiều công trình ứng dụng công nghệ viễn thám nghiên cứu hàm lượng Chl-a nhằm giám sát chất lượng nước hồ đã được tiến hành. Bên cạnh việc khai thác thành công một số dữ liệu ảnh thương mại như ALOS [5] và Worldview [6], các dữ liệu ảnh miễn phí như Landsat và Sentinel được đánh giá là có hiệu quả cao phục vụ cho mục đích này. Sử dụng ảnh Landsat để tính toán và giám sát các thông số chất lượng nước hồ đã được thực hiện bởi nhiều nhà khoa học trên thế giới, tiêu biểu như: tính toán nồng độ Chl-a cho các hồ ở Minnesota của nhóm tác giả Olmanson, L.G và cộng sự (2008) [7], hồ Karaoun, Lebanon (2016) bởi Ali Fadel và các cộng sự [8], khu vực phía bắc vịnh Bengal của Shukla Poddar và các cộng sự [9]. Tại Việt Nam, nhiều nhà nghiên cứu đã bước đầu thành công trong việc xây dựng phương pháp định lượng nhằm xác định giá trị của các thông số liên quan đến chất lượng bề mặt nước từ ảnh vệ tinh tại các hồ nội địa như hồ Thác Bà, hồ Tây, các hồ thuộc quận Hai Bà Trưng [10, 11, 12]. Các nghiên cứu đều cho thấy tình trạng phú dưỡng đang diễn ra với các mức độ khác nhau tại hầu hết các hồ trong khu vực nghiên cứu.

Với vai trò là trung tâm kinh tế, chính trị, văn hoá hàng đầu của Việt Nam, Hà Nội có tốc độ đô thị hoá rất nhanh, đặc biệt là khu vực nội thành. Quá trình đô thị hoá đã đem đến diện mạo hiện đại cho thủ đô, tuy nhiên sự phát triển thiếu bền vững gây nên những hệ lụy về môi trường, đặc biệt là môi trường nước. Các hoạt động xả thải, phần lớn được đổ trực tiếp ra môi trường, xuống lòng hồ, điều này khiến hiện trạng môi trường của khu vực ở mức ô nhiễm cao trong những năm vừa qua. Khu vực Hồ Tây là một ví dụ điển hình cho tình trạng ô nhiễm nước, điển hình từ năm 2016 đến năm 2022 đã ghi nhận hàng loạt cá chết tại hồ bốc mùi hôi thối nồng nặc [13]. Giải quyết vấn đề ô nhiễm nước tại các hồ nội địa nói chung và Hồ Tây nói riêng được xem là một trong những thách thức lớn cho sự phát triển của Hà Nội trong tương lai. Vì vậy, nghiên cứu ứng dụng viễn thám và GIS trong đánh giá hàm lượng Chl-a tại khu vực hồ Tây – Thành phố Hà Nội có ý nghĩa rất quan trọng và cần thiết, cung cấp nguồn tư liệu có giá trị, góp phần đảm bảo sự phát triển bền vững của Hà Nội trong tương lai.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Dữ liệu nghiên cứu

Nguồn dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm:

(1) Dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat 8 OLI được chụp ngày 13/8/2019. Dữ liệu được tải miễn phí từ website của Cục khảo sát Địa chất Hoa Kỳ tại địa chỉ: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Đặc trưng các kênh ảnh được mô tả chi tiết trong Bảng 1; (2) Dữ liệu hàm lượng Chl-a tại hồ Tây được đo

đặc trực tiếp ngày 13/8/2019; (3) Dữ liệu không gian hành chính khu vực nghiên cứu do NXB Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam cung cấp; (4) Niêm giám thống kê thành phố Hà Nội, báo cáo về tình trạng ô nhiễm nước ở hồ Tây và các tài liệu liên quan khác.

Bảng 1. Đặc trưng các kênh của Landsat 8

Kênh ảnh	Bước sóng	Độ phân giải (m)
Kênh 1 - Coastal aerosol	0.433 - 0.453	30
Kênh 2 - Blue	0.450 - 0.515	30
Kênh 3 - Green	0.525 - 0.600	30
Kênh 4 - Red	0.630 - 0.680	30
Kênh 5 - Near Infrared (NIR)	0.845 - 0.885	30
Kênh 6 - SWIR 1	1.560 - 1.660	30
Kênh 7 - SWIR 2	2.100 - 2.30	30
Kênh 8 - Panchromatic	0.500 - 0.680	15
Kênh 9 - Cirrus	1.360 - 1.390	30
Kênh 10 - Thermal Infrared (TIR) 1	1 10.3 - 11.3	30
Kênh 11 - Thermal Infrared (TIR) 2	2 11.5 - 12.5	30

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1 Phương pháp đo phổ hiện trường

Quá trình thực địa được tiến hành ngày 13/8/2019 nhằm thu thập các mẫu nước tại khu vực hồ Tây – thành phố Hà Nội. Mẫu nước được thu thập ở độ sâu từ 0 - 50cm, lấy vào các chai nhựa đóng kín, để lạnh và gửi đi phân tích xác định hàm lượng Chl-a tại phòng phân tích chuyên dụng. Phổ xạ mặt nước được tiến hành bằng cách sử dụng máy đo bức xạ hiện trường GER 1500 cho phép đo quang phổ điện từ mặt nước từ sóng UV đến cận hồng ngoại (NIR) bước sóng từ 350 – 1550 nm với độ phân giải kênh phổ là 1,5 nm. Giá trị $\rho_w(\lambda)$ được đo đạc và hiệu chỉnh theo phương pháp của Mueller [14]:

$$\rho_w(\lambda) = \frac{R_p * [L_w(\lambda) - \rho * L_{sky}(\lambda)]}{\pi * L_p(\lambda)} \quad (1)$$

trong đó: $\rho_w(\lambda)$ là phổ phản xạ mặt nước; R_p là hệ số hiệu chỉnh phổ phản xạ chuẩn, $L_w(\lambda)$ là hệ số phát xạ mặt nước tại điểm đo, $L_{sky}(\lambda)$ là hệ số phát xạ của bầu trời thu được tại điểm đo; ρ là hệ số hoạt động bề mặt nước Fresnel thường có giá trị 0.022, L_p là hệ số phát xạ của thanh phản xạ chuẩn.

Dựa vào giá trị Chl-a đo được tại hiện trường, mức độ phú dưỡng của nước hồ được xác định thông qua chỉ số TSI được tính toán từ Chl-a theo công thức của Carlson [15]:

$$TSI(Chl-a) = 9,81 * \ln(Chl-a) + 30,6 \quad (2)$$

Trong đó: TSI(Chl-a): mức độ phú dưỡng dựa theo hàm lượng Chl-a. Dựa vào giá trị TSI(Chl-a), trạng thái phú dưỡng của hồ được chia thành 4 mức độ: 1) nghèo dinh dưỡng ($TSI(Chl-a) < 30$); 2) dinh dưỡng trung bình ($TSI(Chl-a) = 30$ đến 50); 3) phú dưỡng ($TSI(Chl-a) = 50$ đến 70); 4) siêu phú dưỡng ($TSI(Chl-a) > 70$).

2.2.2. Phương pháp xử lý ảnh vệ tinh

Ảnh Landsat 8 OLI sau khi được tải về cần thực hiện quá trình tiền xử lý ảnh. Quá trình này bao gồm: chuyển đổi giá trị độ xám DN (Digital Number) về giá trị phản xạ phổ, hiệu chỉnh khí quyển, cắt ảnh theo ranh giới. Dữ liệu phổ sau khi hiệu chỉnh sẽ được dùng để tính toán hàm lượng Chl-a thông qua các thuật toán.

2.2.3. Phương pháp thống kê và bản đồ

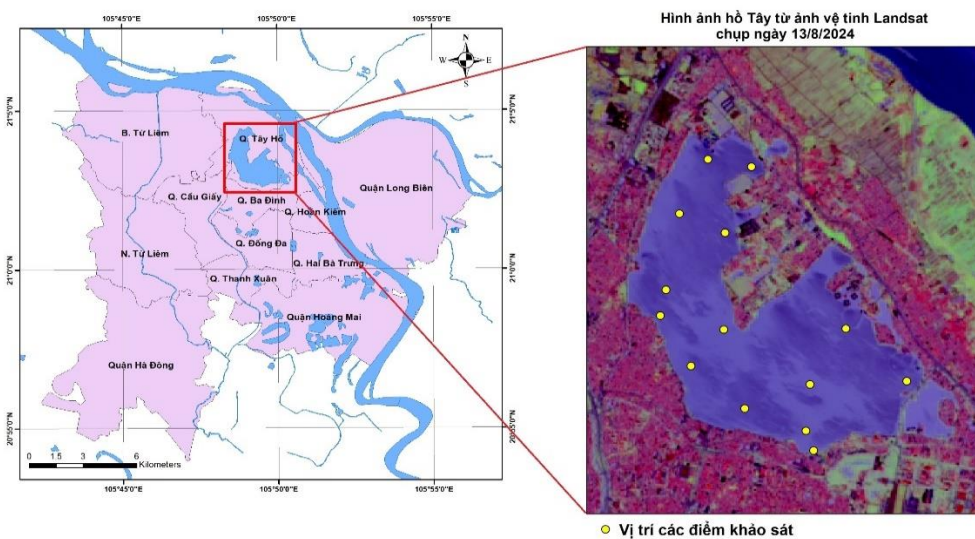
Các số liệu được thu thập thông qua khảo sát thực địa và tài liệu liên quan được tổng hợp, xử lý và phân tích thống kê. Một phương trình sẽ được xây dựng dựa trên mối tương quan giữa phản xạ phổ của các kênh ảnh với nồng độ Chl-a trong khu vực nghiên cứu. Các phép tính toán thống kê bao gồm đánh giá độ chính xác thông qua sai số trung bình, sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên độ tương quan, phương sai, độ lệch chuẩn... được sử dụng nhằm đánh giá mức độ phù hợp của phương trình đưa ra.

Phần mềm ArcMap được sử dụng để xử lý số liệu, nội suy không gian và xây dựng các bản đồ trong nghiên cứu bao gồm: bản đồ vị trí khu vực nghiên cứu, bản đồ nội suy hàm lượng Chl-a từ dữ liệu đo đạc thực tế, bản đồ mức độ phú dưỡng và bản đồ hàm lượng Chl-a từ dữ liệu vệ tinh Landsat 8-OLI.

2.3. Kết quả nghiên cứu

2.3.1. Đặc điểm khu vực nghiên cứu

Hồ Tây nằm ở quận Tây Hồ, thành phố Hà Nội có diện tích hơn 500 ha, chu vi là 14,8 km, độ sâu trung bình 1,52 m (Hình 2). Hồ Tây được xem là hồ tự nhiên lớn nhất thành phố Hà Nội, đây là hồ móng ngựa và là vết tích dòng chảy cũ của sông Hồng [16]. Hồ Tây đóng vai trò quan trọng trong việc điều hòa không khí đô thị, tạo môi trường cảnh quan đô thị. Tuy nhiên trong những năm gần đây, do tác động của quá trình đô thị hóa, khu vực quanh hồ Tây bao gồm các phường Thụy Khuê, Yên Phụ, Bưởi, Tứ Liên, Nhật Tân, Quảng An, Xuân La và Phú Thượng đã bị biến đổi sâu sắc với mật độ nhà cửa và dân cư dày đặc, tình trạng nước thải chưa qua xử lý được đổ trực tiếp vào hồ đã khiến cho môi trường nước ở đây bị ô nhiễm nghiêm trọng. Hiện tượng siêu phú dưỡng với hậu quả cá chết hàng loạt trong nhiều năm qua đang đặt ra những thách thức lớn trong sự phát triển bền vững của khu vực quận Tây Hồ nói riêng và thành phố Hà Nội nói chung [13].

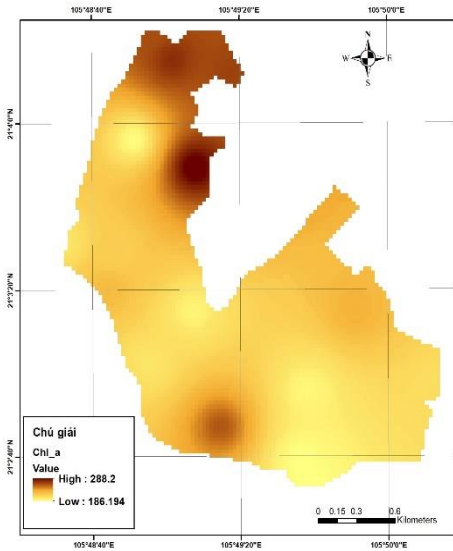


Hình 1. Vị trí hồ Tây trong khu vực nội thành Hà Nội và các điểm khảo sát ngày 13/8/2019

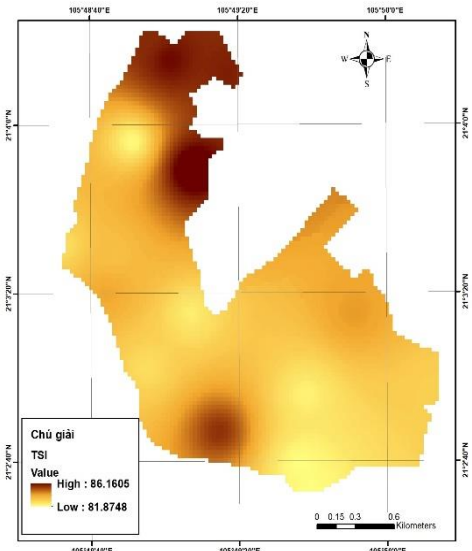
2.3.2. Phân bố hàm lượng Chlorophyll-a và mức độ phú dưỡng trong nước hồ từ dữ liệu khảo sát

Hàm lượng Chl-a (chất diệp lục a) là sắc tố quang tổng hợp màu xanh lá cây có ở thực vật tảo và vi khuẩn lam. Chl-a là thông số tiêu biểu nhằm xác định mức độ phú dưỡng trong nước hồ. Kết quả phân tích hàm lượng Chl-a trong nước hồ Tây vào ngày 13/8/2019 tại 13 điểm đo cho thấy hàm lượng Chl-a tại khu vực nghiên cứu là khá cao dao động từ 186,2 đến 288,2 $\mu\text{g/L}$ (Hình

2). Khu vực có hàm lượng Chl-a cao tập trung ở phần phía bắc (giáp các con phố Nhật Chiêu, Quảng Bá, Quảng An) và tây nam của hồ (giáp phố Nguyễn Đình Thi). Dựa theo công thức và phân loại đề xuất bởi Carlson [16], mức độ phú dưỡng TSI của hồ được các định. Theo đó, TSI nước hồ Tây có giá trị từ 81,9 – 86,2 ứng với mức siêu phú dưỡng (Hình 3).



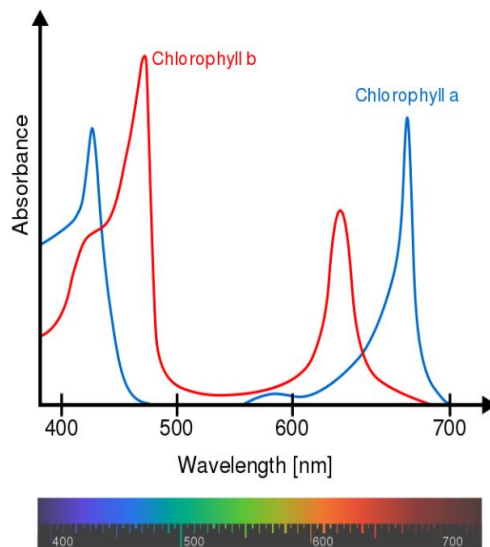
Hình 2. Bản đồ nội suy phân bố hàm lượng Chl-a từ dữ liệu khảo sát tại hồ Tây ngày 13/8/2019



Hình 3. Bản đồ chỉ số trạng thái phú dưỡng TSI của nước hồ Tây ngày 13/8/2019

2.3.3. Mối quan hệ giữa hàm lượng Chlorophyll-a và phổ phản xạ mặt nước từ các kênh ảnh

Hàm lượng Chl-a có mối quan hệ với bước sóng điện từ. Theo đó Chl-a hấp thụ hầu hết năng lượng từ bước sóng của ánh sáng màu tím – xanh và đỏ cam và hấp thụ yếu tại phần xanh lục và cận xanh lục của bức xạ điện từ (Hình 4) [17].



Hình 4. Phổ hấp thụ của Chl-a (Nguồn: [17])

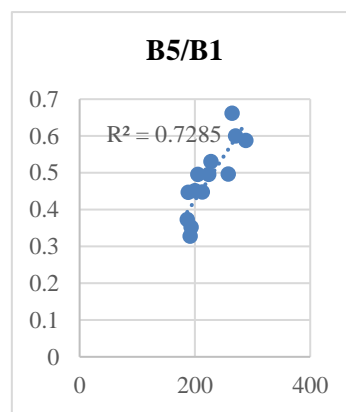
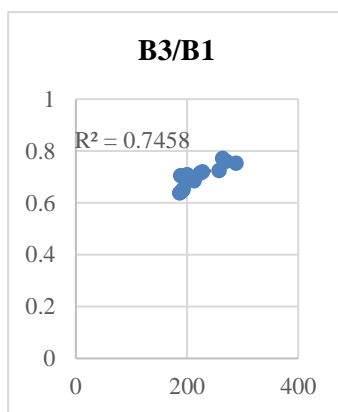
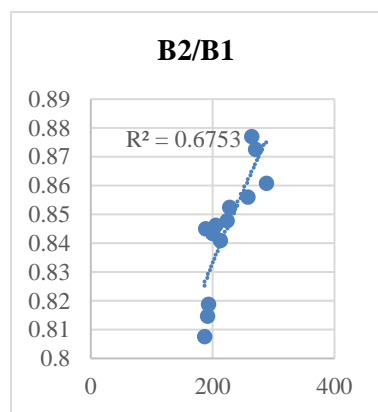
Dựa trên mức độ hấp thụ và phản xạ tương ứng với các bước sóng kênh ảnh, thuật toán dựa vào tỉ lệ dải phổ được thiết lập nhằm xác định mối tương quan giữa hàm lượng Chl-a và kênh

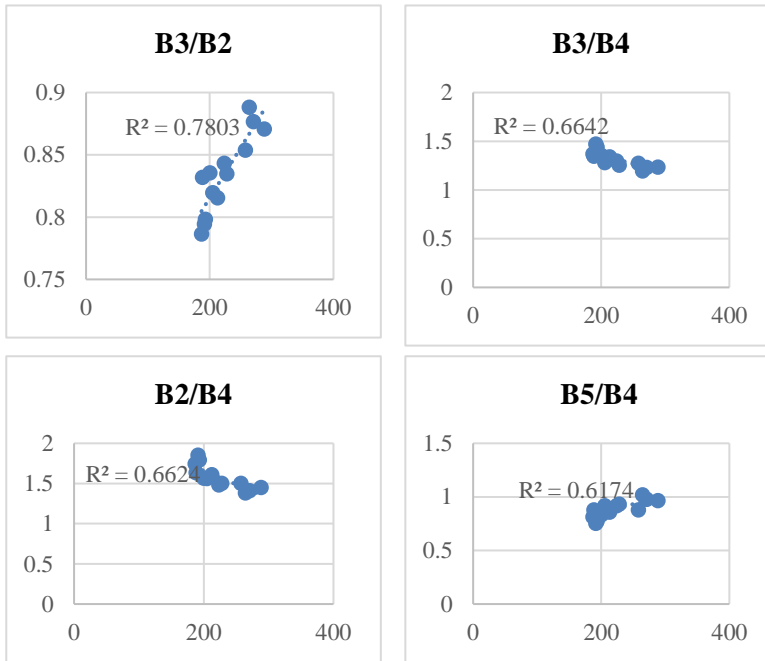
phổ. Theo đó khu vực bước sóng từ 0.4 đến 0.8 nm tương ứng với kênh ảnh từ kênh 1 – B1 (Coastal aerosol), kênh 2 – B2 (Blue), kênh 3 – B3 (Green), kênh 4 – B4 (Red), kênh 5 – B5 (Near Infrared) được sử dụng.

Giá trị phản xạ phổ của các điểm ảnh tại các vị trí khảo sát tương ứng được thực hiện trong quá trình tiền xử lí ảnh tương ứng với các kênh được thực hiện (Bảng 2). Tuy nhiên, việc sử dụng các kênh đơn lẻ không phản ánh được mối quan hệ giữa hàm lượng Chl-a và giá trị phản xạ phổ. Do đó, việc xác định các tỉ lệ kênh phổ được xem là một giải pháp phù hợp. Trong nghiên cứu này, hàm tuyến tính Linear được sử dụng để xác định mối tương quan của Chl-a với tỉ số của 2 kênh phổ tương đối cao, với B2/B1 là 0,68; B3/B1 là 0,75; B5/B1 là 0,73; B3/B2 là 0,78; B3/B4 là 0,67; B5/B4 là 0,62; B2/B4 là 0,66. Hình 5 thể hiện mối quan hệ của Chl-a và các tỉ số kênh phổ nói trên sử dụng thuật toán hồi quy, xác định đường cong tính toán. Theo đó, hàm lượng Chl-a cho kết quả chính xác nhất khi sử dụng tỉ số kênh 3 trên kênh 2 của ảnh Landsat 8 bằng phương trình hàm tuyến tính Linear với hệ số xác định $R^2 = 0,78$ và giá trị sai số của phép tính là 44,7 ($\mu\text{g/L}$).

Bảng 2. Giá trị phản xạ phổ theo kênh ảnh tại các điểm ảnh tương ứng với vị trí khảo sát

ID	Kinh độ	Vĩ độ	B1	B2	B3	B4	B5
HT01	105.8153	21.05063	0.250596	0.211153	0.175296	0.136136	0.11865
HT02	105.8207	21.04642	0.254947	0.216632	0.183837	0.142098	0.126789
HT03	105.8268	21.0442	0.232546	0.187463	0.148061	0.10745	0.0809
HT04	105.837	21.04902	0.250797	0.215827	0.172355	0.136418	0.124331
HT05	105.8309	21.05422	0.259218	0.222998	0.179486	0.15205	0.13956
HT06	105.8272	21.04877	0.232184	0.189156	0.152533	0.104509	0.076428
HT07	105.8186	21.05417	0.234722	0.192217	0.152815	0.104549	0.082068
HT08	105.8188	21.06368	0.265503	0.229203	0.200074	0.151526	0.146691
HT09	105.8215	21.07014	0.272996	0.237985	0.215182	0.179567	0.18275
HT10	105.8171	21.0709	0.267517	0.233312	0.203257	0.162646	0.157811
HT11	105.8142	21.06558	0.250878	0.211757	0.173483	0.134524	0.119255
HT12	105.8128	21.05811	0.24975	0.210992	0.171308	0.13396	0.113695
HT13	105.8123	21.05559	0.254383	0.215666	0.181863	0.139882	0.120705

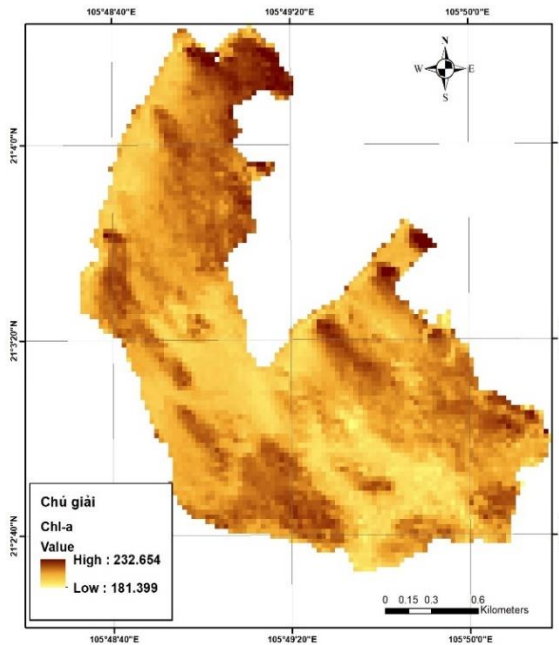




Hình 5. Mối quan hệ giữa hàm lượng Chl-a và tỉ số phổ phản xạ mặt nước tương đương tỉ số kênh ảnh Landsat 8

2.3.4. Phương trình phân bố hàm lượng Chlorophyll-A từ ảnh Landsat

Hình 5 biểu diễn kết quả so sánh mối quan hệ giữa hàm lượng Chl-a và các tỉ số phổ phản xạ mặt nước của 13 điểm ảnh Landsat 8 chụp ngày 13/8/2019. Theo đó, tỉ số B3/B2 được xem là phù hợp hơn cả với chỉ số tương quan giữa phổ phản xạ mặt nước và hàm lượng Chl-a từ dữ liệu đo đạc khá chặt chẽ.



Hình 6. Bản đồ phân bố hàm lượng Chl-a của nước hồ Tây tính toán từ ảnh Landsat 8 chụp ngày 13/8/2019

Từ mối quan hệ trên, hàm lượng Chl-a trong nước hồ ngày 13/8/2019 được xác định bởi tỉ số kênh 3 trên kênh 2 của ảnh Landsat 8. Hệ số xác định tương đối cao ($R^2 = 0,78$) và giá trị sai số của phép tính là 44,7 ($\mu\text{g/L}$) từ phương trình hàm tuyến tính Linear, cho thấy hàm lượng Chl-a trong nước hồ Tây có thể được tính toán bằng phương trình sau:

$$C_{\text{Chlorophyll-a}} = 236,672 * (B3/B2) + 0,6546 \quad (3)$$

Trong đó: hàm lượng Chl-a có đơn vị là ($\mu\text{g/L}$); B3/B2 ứng với tỉ số kênh 3 trên kênh 2 của ảnh Landsat 8 sau khi đã hiệu chỉnh.

Bản đồ phân bố hàm lượng Chl-a trong nước hồ Tây ngày 13/8/2019 được tính toán từ ảnh Landsat 8 theo phương trình (3) được thể hiện trong Hình 6. Theo đó hàm lượng Chl-a trong nước hồ dao động từ 181,4 – 232,7 $\mu\text{g/L}$. Vùng có hàm lượng Chl-a trên 190 $\mu\text{g/L}$ trải rộng hàng trăm ha, chủ yếu ở khu vực ven bờ phía bắc, nam và tây nam. Điều này phù hợp với hiện tượng thực tế tại hồ Tây ngày 26/8/2019 khi cá chết hàng loạt dạt vào bờ khu vực Quảng Bá, Quảng An, Nguyễn Đình Thi được ghi nhận bởi báo *Dân trí* [18].

3. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã cho thấy hàm lượng Chl-a trong nước hồ Tây có thể tính toán từ tỉ số kênh 3 và kênh 2 của ảnh Landsat 8. Kết quả về phân bố hàm lượng Chl-a theo không gian tính từ ảnh Landsat 8 giúp thành lập bản đồ phân bố hàm lượng Chl-a và giải thích hiện tượng cá chết tại hồ vào mùa thu. Qua nghiên cứu, ảnh Landsat 8 với kênh phổ hợp lí hoàn toàn phù hợp cho giám sát chất lượng nước ở các khu vực hồ nội địa diện tích nhỏ. Thời gian tới, nghiên cứu nên được áp dụng tính toán ở nhiều thời điểm khác nhau để đánh giá độ chính xác của phương pháp, cũng giúp hiểu rõ hơn quá trình phú dưỡng xảy ra tại hồ Tây, từ đó có giải pháp phù hợp nhằm giảm thiểu ô nhiễm môi trường và cân bằng hệ sinh thái hồ.

***Lời cảm ơn:** Nghiên cứu được thực hiện dưới sự tài trợ của Bộ Khoa học và Công nghệ cho đề tài Khoa học Công nghệ cấp Bộ, mã số B2024-SPH-15. Đề tài do Trường Đại học Sư phạm Hà Nội là cơ quan chủ trì. TS. Dương Thị Lợi là chủ nhiệm đề tài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chau NDG, Sebesvari Z, Amelung W & Renaud FG, (2015). Pesticide pollution of multiple drinking water sources in the Mekong Delta, Vietnam: evidence from two provinces. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(12), 9042-9058.
- [2] Zulkifli CZ, Garfan S, Talal M, Alamoodi AH & Alamed A, (2022). IoT-Based Water Monitoring Systems: A Systematic Review. *Water*, 14 (22).
- [3] Mittenzwey KH, Gitel AA, Lopatchenko AA, Sukhorokov BL & Voigt T, (1988). In-situ Monitoring of Water Quality on the Basis of Spectral Reflectance. Ship-borne Experiments for the Development of Remote Sensing Algorithms Especially for the Estimation of Algae Content in Natural Waters. *International Review of Hydrobiology*, 73(1), 61-72.
- [4] Håkanson L, Bryhn AC & Hytteborn JK, (2007). On the issue of limiting nutrient and predictions of cyanobacteria in aquatic systems. *Science of The Total Environment*, 379, 89-108.
- [5] Tiit K, Donald CP, Kari YK, Anu R & Sebastian S, (2005). Mapping lake CDOM by satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 94(4), 535-540.
- [6] Eugenio F, Marcello J & Martin J, (2020). Multiplatform Earth Observation Systems for Monitoring Water Quality in Vulnerable Inland Ecosystems: Maspalomas Water Lagoon. *Remote Sensing*, 12(2), 284.

- [7] Olmanson LG, Bauer ME & Brezonik PL, (2008). A 20-year Landsat water clarity census of Minnesota's 10,000 lakes. *Remote Sensing of Environment*, 112(11), 4086 – 4097.
- [8] Fadel A, Faour G & Slim K, (2016). Assessment of The trophic state and Chlorophyll-a concentrations using Landsat OLI in Karaoun reservoir, Lebanon. *Lebanese Science Journal*, 17(2), 130-145.
- [9] Poddar S, Chacko N & Swain D, (2019). Estimation of Chlorophyll-a in Northern Coastal Bay of Bengal Using Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI Sensors. *Frontiers in Marine Science*, 6.
- [10] NTT Hà, BĐ Cảnh, NTP Thảo & BT Nhị, (2016). Thử nghiệm mô hình hóa sự phân bố không gian của hàm lượng chlorophyll-a và chỉ số trạng thái phú dưỡng nước Hồ Tây sử dụng ảnh Sentinel-2A. *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội: Các khoa học Trái Đất và Môi trường*, 32(2S), 121-130.
- [11] Vinh PQ, Ha NTT, Binh NT, Thang NN & Thao NTP, (2019). Developing an algorithm for estimating chlorophyll-a concentration in the Thac Ba Reservoir surface water using Landsat 8 Imagery. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 41(1), 10-20.
- [12] ĐH Tuấn & ĐP Anh, (2023). Đánh giá mức độ phú dưỡng tại một số hồ nội thành tại quận Hai Bà Trưng, thành phố Hà Nội. *Tạp chí khí tượng thủy văn*, 754, 1-8.
- [13] Manh NV, Chao HL, Hien LTT & Ariel CB, (2021). Multi-task Convolution Neural Network for Season-Insensitive Chlorophyll-A Estimation in Inland Water. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 10439-10449.
- [14] James LM, Giulietta SF & Charles RM, (2003). Ocean Optics Protocols For Satellite Ocean Color Sensor Validation: Radiometric Measurements and Data Analysis Protocols. *NASA/TM*, 3, 1-84.
- [15] Carlson RE, (2003). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361-369.
- [16] Tổng cục thống kê thành phố Hà Nội, (2022). *Niên giám thống kê thành phố Hà Nội*. NXB Thống kê.
- [17] Eoin O, Sinead O, Thomas N & Damien M, (2014). A multi-wavelength discriminating sensor with a wireless mote interface for aquatic pollution monitoring. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 7(5), 1-4.
- [18] N Dương, (2019). Cá chết nổi bốc mùi hôi thối ở Hồ Tây, hồ Hồ Đắc Di. *Báo Dân Trí*, số ra ngày 26/08/2019.