



Original Article

Using Sentinel-2B Imagery to Estimate the Eutrophication Level of Linh Dam Lake, Hoang Mai District, Hanoi

Nguyen Thuy Linh^{1,*}, Pham Thi Huong Thao¹, Luong Thi Phuong¹, Vu Thi Han²,
Nguyen Thi Thu Ha¹, Pham Quang Vinh³

¹*VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam*

²*Vietnam construction and CN environment joint Stock, Kien Hung, Ha Dong, Vietnam*

³*Institute of Geography, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet, Hanoi, Vietnam*

Received 10 October 2019

Revised 22 November 2019; Accepted 28 November 2019

Abstract: The successfully launched of Sentinel-2B (S2B) satellite into orbit created the recording frequency on Earth every 5 days with the simulated operating of Sentinel 2A satellite, and provided a high resolution (10m). This study aims to assess the effective application of S2B satellite on water environmental monitoring by using Secchi Disk Depth (SD) and surface water reflectance data, which was collected at the same time of the acquiring local scenes from S2B to establish SD estimated equation of Lake Linh Dam. Result showed that an accurate estimation model for SD in Lake Linh Dam by an exponential function of band 3 versus band 4 ratio ($R^2 = 0.86$, $RMSE=1.7$). Resultant maps of SD distribution over the lake in 2018 and 2019 show that the water quality in Lake Linh Dam reached from the high eutrophication to super eutrophication level. This result is consistent with previous studies on eutrophication state of Lake Linh Dam, confirming the potential application of S2B image for water quality research in Hanoi lakes.

Keywords: Lake Linh Dam, eutrophication, TSI, secchi depth, Sentinel-2B.

* Corresponding author.

E-mail address: thuylinhgeo@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4471>



Nghiên cứu sử dụng ảnh Sentinel-2B đánh giá mức độ phú dưỡng của hồ Linh Đàm, Quận Hoàng Mai, Hà Nội

Nguyễn Thùy Linh^{1*}, Phạm Thị Hương Thảo¹, Lương Thị Phương¹, Vũ Thị Hân², Nguyễn Thị Thu Hà¹, Phạm Quang Vinh³

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam

²Công ty cổ phần xây dựng và CN môi trường Việt Nam, Kiến Hưng, Hà Đông, Việt Nam

³Viện Địa lý, Viện Hàn lâm và Khoa học Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 10 tháng 10 năm 2019

Chỉnh sửa ngày 22 tháng 11 năm 2019; Chấp nhận đăng ngày 28 tháng 11 năm 2019

Tóm tắt: Vệ tinh Sentinel-2B (S2B) được phóng thành công lên quỹ đạo đã cùng với Sentinel-2A (S2A) tạo thành một chuỗi cung cấp dữ liệu mặt đất 5 ngày một lần với độ phân giải không gian ở một số kênh lên đến 10m. Để đánh giá hiệu quả của vệ tinh S2B trong giám sát môi trường nước, nghiên cứu này sử dụng số liệu đo độ sâu thấu quang (SD) và phổ phản xạ đo tại mặt nước hồ Linh Đàm cùng thời điểm vệ tinh S2B chụp ảnh vào xây dựng phương trình tính toán độ sâu thấu quang từ ảnh, qua đó đánh giá mức độ phú dưỡng của hồ. Kết quả cho thấy độ sâu thấu quang của nước có tương quan cao với tỷ số phổ phản xạ kênh 3/kênh 4 của ảnh S2B và có thể tính toán từ tỷ số này bằng phương trình hàm mũ ($R^2=0.86$, $RMSE=1.7$). Áp dụng phương trình cho một số cảnh ảnh S2B thu được trong năm 2018 và 2019 cho thấy nước hồ luôn ở mức phú dưỡng cao đến siêu phú dưỡng. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đó về trạng thái phú dưỡng của hồ, khẳng định tiềm năng của ảnh S2B cho nghiên cứu chất lượng nước hồ Hà Nội.

Từ khoá: Hồ Linh Đàm, phú dưỡng, TSI, đĩa secchi, Sentinel-2B.

1. Mở đầu

Vệ tinh Sentinel-2B (S2B) được phóng thành công vào tháng 3 năm 2017 bởi Cơ quan Vũ trụ Châu Âu (ESA), có độ phân giải cao 10m và 20m trên hầu hết kênh phổ, với mục tiêu nghiên cứu biến động bề mặt Trái Đất và đặc biệt phù hợp cho quan trắc môi trường nước biển ven bờ và các thủy vực nội địa [1]. Dữ liệu ảnh S2B có đặc điểm khá tương đồng với S2A được phóng lên

quỹ đạo trước đó bởi ESA (6/2015). Trong khi dữ liệu ảnh S2A được đánh giá là có hiệu quả cao trong giám sát chất lượng môi trường nước cả trên thế giới [1-3] và tại Việt Nam [4] thì việc sử dụng ảnh S2B vào đánh giá và giám sát chất lượng môi trường nước còn hạn chế do thời gian hoạt động trên quỹ đạo của vệ tinh này chưa dài. Việc ứng dụng ảnh S2B trong nghiên cứu nước mặt các vùng nội địa, cụ thể là các hồ tại nội

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: thuylinhgeo@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuées.4471>

thành Hà Nội là rất cần thiết, để đưa ra cái nhìn tổng thể về tính phù hợp hay không của dữ liệu này trong đánh giá nước hồ nội địa, đặc biệt là các hồ nhỏ tại vùng đô thị nơi có mức độ nhạy cảm cao với ô nhiễm.

Có nhiều phương pháp đánh giá chất lượng nước hồ, trong đó đánh giá mức độ phú dưỡng của hồ là một việc cần thiết nhằm phản ánh mức ô nhiễm hữu cơ của nước hồ. Hầu hết các đánh giá mức độ phú dưỡng của hồ được thực hiện thông qua việc tính toán chỉ số dinh dưỡng (Trophic State Index: TSI) của nước hồ. Theo Carlson [5], TSI có thể được đánh giá thông qua 1 trong 3 đại lượng: độ sâu thấu quang (SD); hàm lượng chlorophyll-a; hàm lượng tổng photpho trong nước. Việc sử dụng SD làm cơ sở đánh giá mức độ phú dưỡng của hồ đã được tiến hành ở nhiều nghiên cứu trên thế giới và tại Việt Nam [6] với ưu điểm của phương pháp là cách thức tiến hành đơn giản, giúp giảm chi phí và nhân lực trong nghiên cứu và đánh giá nhanh ngoài hiện trường. SD cũng là thông số có thể tính toán từ dữ liệu ảnh vệ tinh [7, 8], do vậy, SD được lựa chọn là thông số dùng đánh giá mức độ phú dưỡng của Hồ Linh Đàm trong nghiên cứu này bằng phương pháp viễn thám.

Hồ Linh Đàm nằm ở phường Hoàng Liệt, quận Hoàng Mai, thành phố Hà Nội, có diện tích mặt nước khoảng 72 ha, chiều dài khoảng 3300m, rộng 220m, độ sâu trung bình khoảng 2 đến 6m. Hồ nằm bao quanh khu đô thị Linh Đàm – một trong những khu đô thị có mật độ dân số đông nhất thành phố Hà Nội. Đây là hồ nước tự nhiên, đồng thời là hệ sinh thái ngập nước với nhiều giá trị và chức năng quan trọng như: điều tiết nước mặt giảm ngập lụt; tiếp nhận và lắng đọng trầm tích; đồng hóa chất ô nhiễm và chất thải; giữ lại các chất dinh dưỡng (nitơ, photpho, các nguyên tố vi lượng...) cho sinh vật. Bên cạnh đó, hồ còn đóng vai trò quan trọng trong việc điều hòa không khí cho các khu vực lân cận và cung cấp cảnh quan đẹp cho thành phố. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, tốc độ đô thị hóa gia tăng nhanh chóng kết hợp với diễn biến thời tiết phức tạp đã làm ảnh hưởng nghiêm trọng đến diện tích mặt nước cũng như chất lượng nước hồ, cụ thể là độ sâu của hồ giảm rõ rệt, nước

hồ chứa có biểu hiện ô nhiễm bởi rác thải, chất hữu cơ và khối lượng nước trong hồ giảm [9] gây đe dọa mất cân bằng sinh thái của hồ. Do vậy, để có biện pháp kịp thời bảo vệ và duy trì sự cân bằng sinh thái của hồ, việc đánh giá nhanh và dự báo mức độ phú dưỡng là vô cùng cần thiết. Phương pháp giám sát chất lượng nước hồ truyền thống thường không đáp ứng được yêu cầu này.

Nghiên cứu này nhằm đánh giá và giám sát mức độ phú dưỡng Hồ Linh Đàm thông qua việc tính toán SD và giá trị TSI từ ảnh vệ tinh S2B. Trong đó, phương trình tính toán SD từ các thông số ảnh S2B được xây dựng dựa trên kết quả đo SD và phổ phản xạ mặt nước đo cùng thời kỳ ở nhiều thời điểm khảo sát khác nhau. Phương trình này sau đó được áp dụng vào các ảnh S2B đã được xử lý để tính toán được giá trị TSI của nước hồ làm cơ sở đánh giá mức độ phú dưỡng của hồ và sự thay đổi mức độ phú dưỡng nước hồ theo thời gian.

2. Phương pháp nghiên cứu

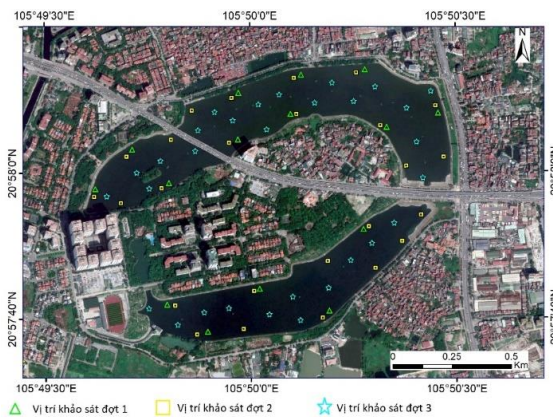
2.1. Phương pháp đo phổ phản xạ mặt nước

Tổng số 70 điểm khảo sát được thực hiện tại hồ Linh Đàm vào 3 đợt: Đợt 1 vào ngày 01/4/2017; đợt 2 vào 2 ngày 20 và 22/3/2019 và đợt 3 vào ngày 19/4/2019 (Hình 1). Tại mỗi điểm khảo sát, nhóm nghiên cứu đều tiến hành đo phổ phản xạ mặt nước (ρ_w), SD và định vị bằng GPS cầm tay. Mục đích của việc đo phổ phản xạ là để xác định mối quan hệ giữa phổ phản xạ mặt nước và TSI của nước hồ Linh Đàm, từ đó làm cơ sở cho việc hiệu chỉnh ảnh vệ tinh S2B và đánh giá độ chính xác của phương pháp viễn thám trong nghiên cứu hàm lượng phú dưỡng trong nước hồ.

Để thực hiện việc đo phổ phản xạ mặt nước, nghiên cứu đã 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) ứng với 350nm đến 1050 nm với độ phân giải kênh phổ là 1,5nm [10]. ρ_w được đo ở góc chiếu 40-45° theo hướng 130-135° so với hướng chiếu của mặt trời theo phương pháp của Mobley [11] và được tính toán bằng phương trình (1) dưới đây:

$$\rho_w(\lambda) = R_p(\lambda) \frac{L_\tau(\lambda) - L_{sky}(\lambda)}{\pi \cdot L_\tau(\lambda)} \quad (1)$$

trong đó: ρ_w là phổ phản xạ của mặt nước được đo ngay trên bề mặt nước, có đơn vị là %; $R_p(\lambda)$ là hệ số phản xạ ảnh hưởng bởi bầu trời được cung cấp theo năm bởi Field Spectroscopy Facility (<http://fsf.nerc.ac.uk/>); $L_t(\lambda)$ là hệ số phát xạ thu được của mặt nước tại điểm đo; $L_{sky}(\lambda)$ là hệ số phát xạ thu được của bầu trời thu được tại thời điểm đo; $L_\tau(\lambda)$ là hệ số phát xạ thu được của bề mặt vật phản xạ chuẩn (panel) [12]. Số liệu thu được vào đợt 1 (ngày 01/4/2017) và đợt 2 (ngày 20, 23/3/2019) được sử dụng để xây dựng phương trình tính toán SD, các số liệu đo vào đợt 3 (19/4/2019) được tác giả sử dụng để đánh giá độ chính xác của phương trình.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu và vị trí các điểm lấy mẫu.

2.2. Phương pháp xác định mức độ phú dưỡng nước hồ

Phương pháp phổ biến được dùng để đo SD là sử dụng đĩa Secchi dựa trên nguyên tắc tập trung ánh sáng. Theo đó, SD được xác định trực tiếp ngoài hiện trường bằng đĩa Secchi (Model 58-B10) đường kính 20 cm của hãng Wildeo (Hoa Kỳ) theo phương pháp của Lind [13]. Mức độ phú dưỡng của hồ được đánh giá dựa vào chỉ số TSI, trong đó TSI được tính từ SD theo phương trình sau [14]:

$$TSI(SD)=60-14.41*\ln(SD) \quad (2)$$

trong đó, SD là độ sâu thấu quang của nước (m), TSI là chỉ số dinh dưỡng của nước. Mức độ phú dưỡng của hồ, theo đó, được đánh giá theo Carlson và Simson [14] trong bảng 1.

Bảng 1. Mối quan hệ giữa giá trị TSI, độ trong của nước với mức độ phú dưỡng của nước hồ

TSI	Độ trong (m)	Mức độ phú dưỡng
< 30	> 8	Nghèo dinh dưỡng (Oligotrophy)
30 – 40	8 - 4	Dinh dưỡng trung bình (Mesotrophy)
40 – 50	4 - 2	
50 – 60	2 - 1	Phú dưỡng (Eutrophy)
60 – 70	0,5 - 1	
70 – 80	0,25 – 0,5	Siêu phú dưỡng (Hypereutrophy)
> 80	< 0,25	

2.3. Phương pháp xử lý ảnh vệ tinh

Nghiên cứu sử dụng 8 ảnh vệ tinh S2B level 1C (ảnh đã được hiệu chỉnh bức xạ đưa giá trị số về giá trị phổ phản xạ ngoài bầu khí quyển - TOA) (Bảng 2). Các ảnh này được thu thập tại website của Cục Địa chất Hoa Kỳ (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) và ảnh nằm trong hệ tọa độ WGS 84, múi 48N với độ phân giải không gian là 10m, 20m và 60m tùy theo kênh phổ. Các ảnh được lấy vào các thời điểm khác nhau và có độ che phủ mây dưới 10%. Ảnh sau khi thu thập được tiến hành đồng bộ các kênh phổ về cùng giá trị độ phân giải không gian là 10m bằng phần mềm chuyên dụng SNAP, sau đó tiến hành hiệu chỉnh khí quyển bằng phương pháp hồi quy tuyến tính sử dụng các giá trị đo phổ mặt nước cùng thời điểm chụp ảnh vào ngày 19/4/2019. Đây là phương pháp đơn giản nhưng có hiệu quả cao đặc biệt trong các nghiên cứu chất lượng nước sử dụng ảnh vệ tinh [15].

Bảng 2. Các ảnh vệ tinh sử dụng trong nghiên cứu

TT	Ngày	Số hiệu cảnh ảnh
1	15/3/2018	L1C_T48QWJ_A005335_2 0180315T033912
2	14/5/2018	L1C_T48QWJ_A006193_2 0180514T032752
3	07/3/2018	L1C_T48QWJ_A006908_2 0180703T033349
4	21/9/2018	L1C_T48QWJ_A008052_2 0180921T033654
5	01/10/2018	L1C_T48QWJ_A008195_2 0181001T033950
6	20/12/2018	L1C_T48QWJ_A009339_2 0181220T033200
7	08/02/2019	L1C_T48QWJ_A010054_2 0190208T034132
8	19/4/2019	L1C_T48QWJ_A011055_2 0190419T033830

2.4. Phương pháp phân tích, thống kê bản đồ

Các phép phân tích thống kê, hồi quy trong nghiên cứu được thực hiện trên phần mềm IBM SPSS Statistics 20, trong đó các kết quả phân tích đều dựa trên 95% phân bố của các chuỗi số. Các thông số thống kê cơ bản như: giá trị trung bình, giá trị lớn nhất, giá trị nhỏ nhất, giá trị lệch chuẩn, hệ số xác định (R²), sai số toàn phương trung bình (RMSE), hệ số góc (slope), hệ số chặn (y-intercept) đều được tính toán sử dụng các phép hồi quy tuyến tính đều được xử lý trên phần mềm này.

Sơ đồ phân bố SD và phân bố TSI của hồ Linh Đàm được thành lập dựa trên phương pháp phân bố xác suất của biến ngẫu nhiên bằng modul phân mảnh mật độ (density slicing) trong phần mềm ENVI 5.3 và biên tập trên ArcGIS 10.3.

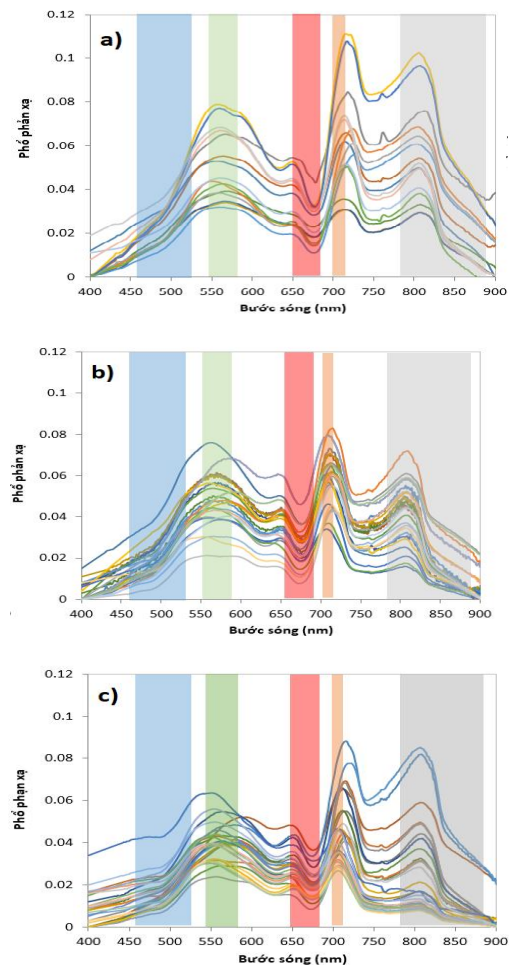
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xây dựng phương trình tính SD từ ảnh S2B

Kết quả đo SD trong cả 3 đợt khảo sát cho thấy SD tại hồ Linh Đàm không có sự chênh lệch nhiều, dao động chủ yếu từ 0.26 đến 0.53m vào tháng 4 năm 2017; từ 0.28 đến 0.48m vào tháng

3 năm 2019; từ 0.30 đến 0.53 m vào tháng 4 năm 2019.

Giá trị SD trung bình trên cả 3 đợt khảo sát đạt từ 0.34 đến 0.38 m, ứng với giá trị TSI dao động từ 74 - 76 tương đương mức phú dưỡng từ cao đến siêu phú dưỡng.



Hình 2. Phổ phản xạ mặt nước đo tại các điểm khảo sát Hồ Linh Đàm đợt 1 (a), 2 (b), 3(c) và vị trí các kênh phổ của ảnh Sentinel-2B.

Kết quả phổ phản xạ mặt nước trong 3 đợt khảo sát được thể hiện trong Hình 2-a,b,c. Qua biểu đồ có thể thấy xu hướng chung của phổ phản xạ nước hồ Linh Đàm đều có 3 điểm cực đại và 2 điểm cực tiểu. Trong đó, một điểm nằm trong dải sóng xanh lục (green: 523 - 596nm) và 2 điểm nằm trong dải sóng cận hồng ngoại tương

ứng với khoảng 696 - 712nm và 780 - 886nm. Hai điểm cực tiểu gồm một điểm nằm ở dải sóng xanh lam (blue: 450-512nm) và một điểm cực tiểu nằm ở dải sóng đỏ (red: 648- 680nm). Các bước sóng ở điểm cực đại nằm trong 2 dải sóng cận hồng ngoại cao nhất vào ngày 01/4/2017 và thấp nhất vào ngày 19/4/2019; 20, 22/3/2019 thấp hơn so với các bước sóng ở các điểm cực đại và cực tiểu thu được vào ngày 01/4/2017. Phổ phản xạ của hồ Linh Đàm phản ánh lượng thực vật phù du (tảo) có trong nước hồ khá lớn. Đặc trưng dải phổ phản xạ mặt nước của Hồ Linh Đàm cho thấy có sự tương đồng với phổ phản xạ mặt nước các hồ ở mức siêu phú dưỡng trên thế giới như hồ Carter (Hoa Kỳ) [16], hồ Zeekoevlei (Nam Phi) [10]. Có thể thấy, yếu tố chính chi phối giá trị SD của nước Hồ Linh Đàm là hàm lượng tảo trong nước.

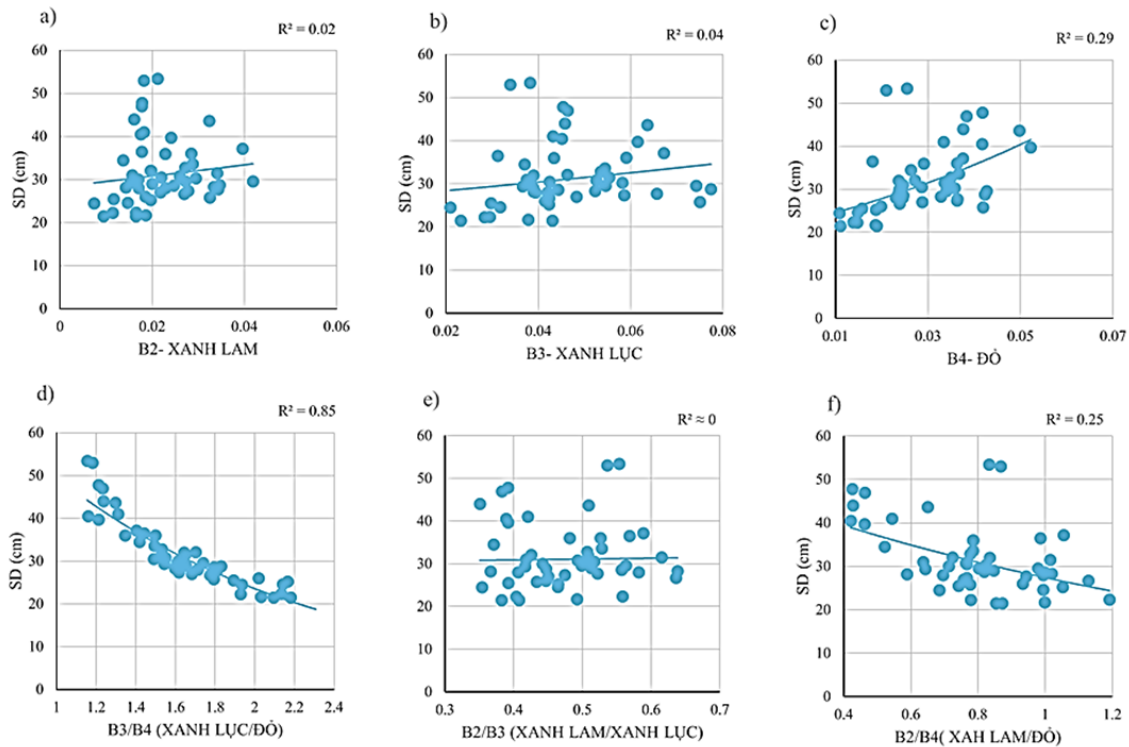
Kết quả của 40 điểm đo từ 2 đợt khảo đầu cho thấy SD có tương quan cao nhất với tỷ số kênh 3/kênh 4 của ảnh S2B với hệ số xác định $R^2 = 0.85$ (hình 3d) cho thấy tiềm năng của tỷ số

này trong việc tính toán SD từ ảnh. Trong phân tích này, giá trị kênh 3/kênh 4 của ảnh S2B là tỷ số giá trị phổ phản xạ đo tại mặt nước ứng với dải sóng của hai kênh phổ 3 và 4. Trong điều kiện sử dụng giá trị thu được từ ảnh vệ tinh, thì giá trị tương quan giữa SD và tỷ số này có thể thấp hơn so với sử dụng giá trị phổ phản xạ mặt nước đo cùng thời điểm.

Kết quả phân tích hồi quy tuyến tính giữa giá trị SD và tỷ số kênh 3/kênh 4 của ảnh S2B cho thấy đường cong hàm mũ có sai số thấp nhất (RMSE = 0.071) so với đường thẳng tuyến tính (RMSE = 0.131), đường cong hàm logarithm (RMSE = 0.110) và hàm bậc 2 (RMSE = 0.097). Theo đó, SD có thể tính toán từ tỷ số kênh 3/kênh 4 của ảnh S2B bằng phương trình hàm mũ sau:

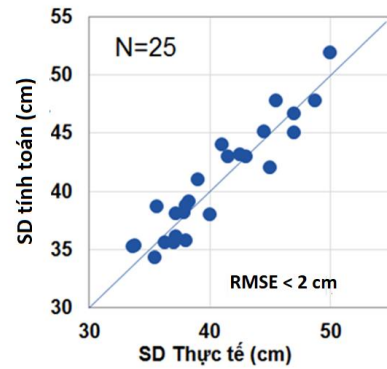
$$SD = 1,04 \cdot e^{-0,74 \cdot B3/B4} \quad (3)$$

trong đó SD là độ thấu quang của nước tính bằng độ sâu đĩa Secchi (m), B3/B4 là tỷ số phổ phản xạ thu được từ kênh 3/kênh 4 của ảnh S2B.

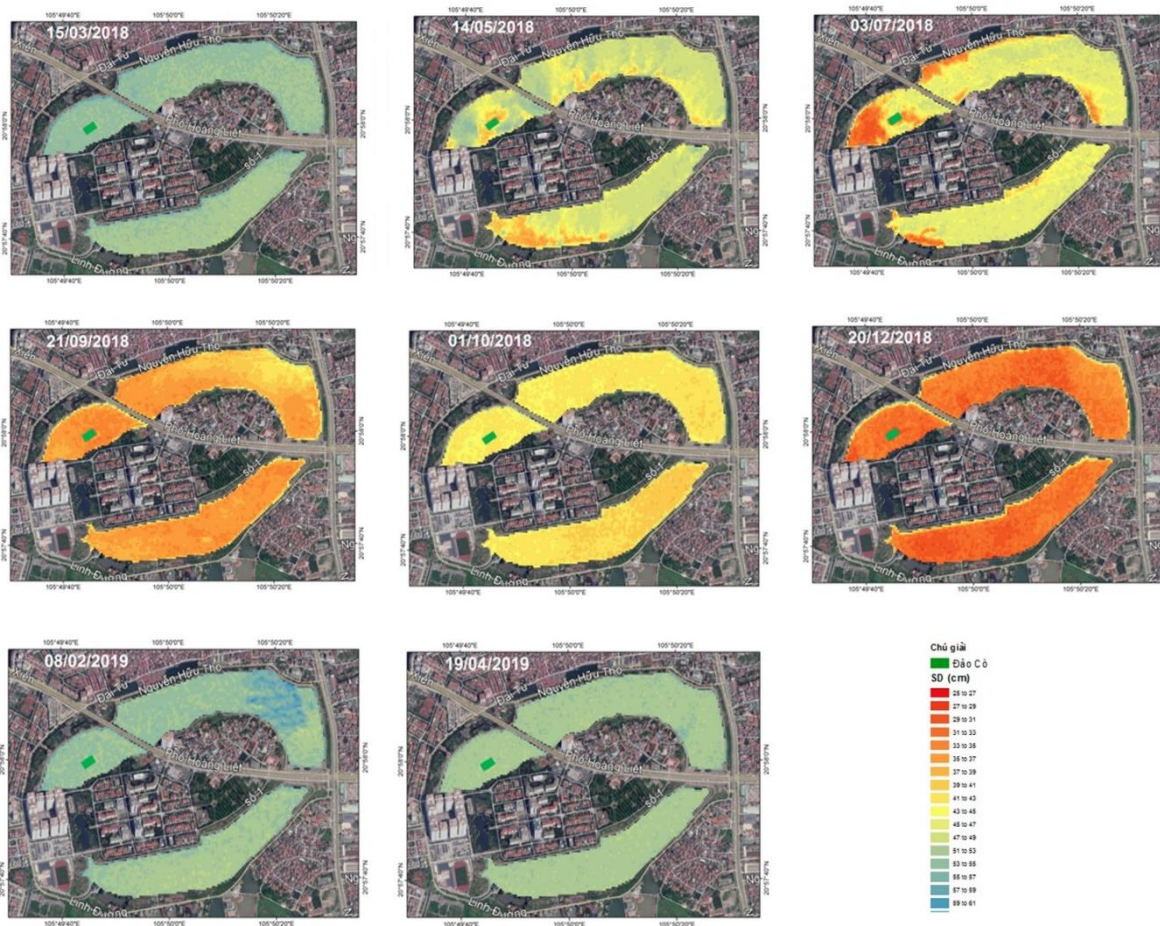


Hình 3. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ tuyến tính giữa độ thấu quang (SD) và tỷ số đơn kênh phổ lam (B) (a), lục (b), đỏ (c) và các tỷ số kênh phổ lục/đỏ (d), lam/lục (e), lam/đỏ (f) ứng với các dải sóng của ảnh S2B.

Để kiểm chứng độ tin cậy của phương trình (3), kết quả đo hiện trường giá trị phổ phân xạ mặt nước ứng với kênh 3/kênh 4 ảnh S2B và SD của 30 điểm đo tại Hồ Linh Đàm vào ngày 19/4/2019 được sử dụng. Kết quả cho thấy, giá trị SD đo thực tế và giá trị SD tính toán từ phương trình 3 có độ lệch chuẩn nhỏ với sai số (RMSE) < 0.02 m, ứng với < 5% giá trị đo trung bình thực tế. Kết quả này cho thấy, phương trình 3 hoàn toàn phù hợp để tính toán độ trong của nước hồ Linh Đàm từ ảnh S2B (Hình 4).



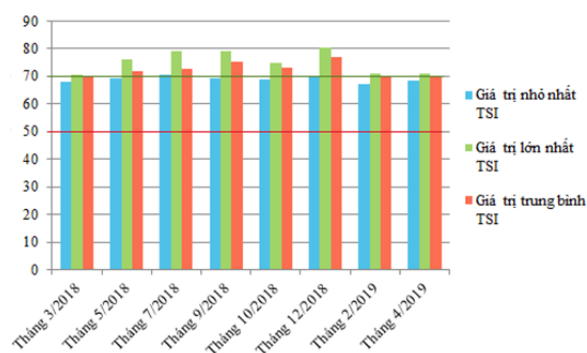
Hình 4. Sai số giữa SD đo và SD tính toán từ phương trình (3).



Hình 5. Phân bố SD theo không gian tại hồ Linh Đàm vào các tháng 3, 5, 7, 9, 10 và 12 năm 2018; và tháng 2, 4 năm 2019 trên nền ảnh Google Earth năm 2018 khu vực Hà Nội.

SD có xu hướng cao hơn vào các tháng đầu năm và có xu hướng thấp hơn vào các tháng cuối năm. Giá trị SD tại hồ Linh Đàm vào các tháng đầu năm là đồng đều hơn so với các tháng từ giữa năm đến cuối năm.

Đặc biệt cao trong một số thời điểm tại vị trí mặt hồ gần chung cư Linh Đàm, các vị trí cống thải trực tiếp hay cống ngầm và một phần diện tích Đảo Cỏ có thể thấy TSI rất cao đạt trong khoảng 70 - 80. Kết quả giải đoán này khớp với kết quả phân tích ngoài thực địa và phù hợp với kết quả nghiên cứu của tác giả Ha N.T. T. và cộng sự [6] trong nghiên cứu “Monitoring the trophic state index of Lake Linh Dam using Landsat 8 Imagery”



Hình 6. Mức độ phú dưỡng qua các tháng khi so sánh với bảng chỉ số dinh dưỡng của Carlson và Simpsom [14].

Từ sơ đồ phân bố TSI theo từng tháng ta có thấy theo thời gian, giá trị TSI của hồ nghiên cứu trong các tháng không giống nhau. Phân bố không theo xu hướng mùa, mà theo hai xu hướng chính. Một là, TSI có xu hướng thấp hơn vào các tháng đầu năm và có xu hướng cao hơn vào các tháng cuối năm. Tính từ tháng 3 năm 2018 đến tháng 4 năm 2019, vào các tháng cuối năm 2018, TSI luôn có giá trị cao hơn so với những tháng đầu năm. Vào tháng 3 năm 2018, TSI trung bình tại hồ Linh Đàm là 69.7; đến tháng 12 năm 2018, TSI trung bình tại hồ là 76.8. Như vậy cuối năm 2018, TSI đã tăng lên với mức tăng đáng kể so với đầu năm 2018, cụ thể TSI đã tăng 7.1 so với tháng 3 năm 2018.

Mức độ phú dưỡng cho nước hồ Linh Đàm cũng được tính toán, so sánh với bảng phân loại chỉ số của Carlson và Simpson [14] trong hình 6. Theo đó, các tháng đều nằm ở mức độ phú dưỡng cao (Eutrophy) đến siêu phú dưỡng (Hypereutrophy) với chỉ số TSI trung bình các tháng nằm trong khoảng từ 69 đến 77. Trong đó các điểm có giá trị TSI nhỏ nhất của các tháng đều nằm ở mức phú dưỡng (TSI >50). Do vậy, trong suốt khoảng thời gian từ tháng 3 năm 2018 đến tháng 4 năm 2019, hồ luôn trong trạng thái phú dưỡng đến siêu phú dưỡng.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy dữ liệu ảnh S2B có nhiều ưu việt trong nghiên cứu và giám sát chất lượng nước hồ nội đô. Ảnh S2B với độ phân giải không gian của các kênh đa phổ có thể xử lý về 10m x 10m, thiết kế các kênh phổ phù hợp, hợp lý cho giám sát chất lượng nước ở các hồ nội địa có diện tích nhỏ. Độ sâu thấu quang của nước hồ Linh Đàm tương quan cao nhất với tỷ số kênh phổ xanh lục (B3) trên kênh phổ đỏ (B4) của ảnh Sentinel 2B. Phương trình tính toán SD của nước hồ Linh Đàm có dạng hàm mũ của tỷ số kênh phổ này ($R^2 = 0.86$ và $RMSE=1.7$). Giá trị chỉ số dinh dưỡng (TSI) tính được từ kết quả SD của nước cho thấy nước hồ Linh Đàm luôn trong trạng thái phú dưỡng cao đến siêu phú dưỡng với TSI trung bình dao động trong khoảng từ 69 -77 từ tháng 3 năm 2018 đến tháng 4 năm 2019. Một số khu vực có giá trị TSI cao (> 80) ứng với các vị trí cống chảy vào hồ. Trong thời gian tới, nghiên cứu tương tự nên được áp dụng cho các ảnh Sentinel-2B thu được các thời điểm khác nhau, thời điểm đo độ sâu thấu quang và thời điểm chụp ảnh cần tiến hành đồng thời để đánh giá độ chính xác của phương pháp tính và cũng như để hiểu rõ hơn quá trình phú dưỡng xảy ra tại các hồ nội địa nói chung và ở Hồ Linh Đàm nói riêng, từ đó có những giải pháp giảm thiểu ô nhiễm môi trường và cân bằng hiệu quả hệ sinh thái hồ hiệu quả.

Tài liệu tham khảo

- [1] N. Pahlevan, S. Sarkar, B.S. Franz, S.V. Balasubramania, J. He, Sentinel-2 Multispectral Instrument (MSI) data processing for aquatic science applications: Demonstrations and validations. *Remote Sensing of Environment* 201 (2017) 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.08.033>.
- [2] K. Toming, T. Kutser, A. Laas, M. Sepp, B. Paavel, T. Nõge, First experiences in mapping lake water quality parameters with Sentinel-2 MSI imagery, *Remote Sens.* 8 (2016) 640. <https://doi.org/10.3390/rs8080640>.
- [3] K. Dörnhöfer, A. Göritz, P. Gege, B. Pflug, N. Oppelt, Water Constituents and Water Depth Retrieval from Sentinel-2A-A first evaluation in an Oligotrophic lake, *Remote Sens.* 8 (2016) 941. <https://doi.org/10.3390/rs8110941>.
- [4] N.T.T Ha, B.D. Canh, N.T.P. Thao, B.T. Nhi, First experience in Modeling Spatial Distribution of Chlorophyll-a Concentration and TSI in the West Lake Water Using Sentinel-2A Image, *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences* 32 (2016) 121-130. (in Vietnamese).
- [5] R.E. Carlson, A trophic state for lakes, *Limnology and Oceanography* 22 (1977) 361-369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>.
- [6] N.T.T. Ha, V.T. Han, N.T.P. Thao, D.T.M. Khanh, Monitoring the trophic state index of Lake Linh Dam using Landsat 8 Imagery, *Journal of Mining and Earth Sciences* 58 (2017) 42-50.
- [7] C. Giardino, M. Pepe, P.A. Brivio, P. Ghezzi, E. Zilioli, Detecting chlorophyll, Secchi disk depth and surface temperature in a sub-alpine lake using Landsat imagery, *Science of the Total Environment* 268 (2001) 19-29. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00692-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00692-6).
- [8] J.A. Harrington Jr, F.R. Schiebe, J.F. Nix, Remote sensing of Lake Chicot, Arkansas: Monitoring suspended sediments, turbidity, and Secchi depth with Landsat MSS data, *Remote Sensing of Environment* 39 (1992) 15-27. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90137-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90137-9).
- [9] Vnexpress, Trash floods the surface of Hanoi's most beautiful peninsular lake. <https://vnexpress.net/thoi-su/rac-thai-tran-mat-ho-ban-dao-dep-nhat-thu-do-3222858.html>, 2015 (accessed 15 August 2019) (in Vietnamese).
- [10] M.W. Matthews, S. Bernard, K. Winter, Remote sensing of cyanobacteria-dominant algal blooms and water quality parameters in Zeekoevlei, a small hypertrophic lake, using MERIS, *Remote Sensing of Environment* 114 (2010) 2070-2087. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.04.013>.
- [11] C.D. Mobley, Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements, *Applied optics* 38 (1999) 7442-7455. <https://doi.org/10.1364/AO.38.007442>.
- [12] N. Pahlevan, S.K. Chittimalli, S.V. Balasubramanian, V. Vellucci, Sentinel-2/Landsat-8 product consistency and implications for monitoring aquatic systems, *Remote sensing of Environment* 220 (2019) 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.027>.
- [13] O.T. Lind, *Handbook of common methods in limnology*, The CV Mosley Company, St. Louis, 1979.
- [14] R.E. Carlson, J. Simpson, *A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods*, North American Lake Management Society, 1996, 96.
- [15] N.T.T. Ha, N.T.P. Thao, K. Koike, M.T. Nhuan, Selecting the Best Band Ratio to Estimate Chlorophyll-a Concentration in a Tropical Freshwater Lake Using Sentinel 2A Images from a Case Study of Lake Ba Be (Northern Vietnam), *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6 (2017) 290. <https://doi.org/10.3390/ijgi6090290>.
- [16] P.S.J. Chavez, An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data, *Remote sensing of Environment* 24 (1988) 459-479. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3).