

ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG Ô NHIỄM VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG NƯỚC HỒ ĐÔ THỊ TẠI HÀ NỘI

Ứng Thị Thúy Hà^a, Phạm Tuấn Hùng^{a,*}, Lều Thọ Bách^a

^aKhoa Kỹ thuật môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 07/8/2021, Sửa xong 08/9/2021, Chấp nhận đăng 10/9/2021

Tóm tắt

Trong hệ sinh thái đô thị, các hồ nước là một thành phần vô cùng quan trọng, chúng góp phần cải thiện điều kiện vi khí hậu, kiểm soát úng ngập, tạo cảnh quan và môi trường sống cho khu vực xung quanh, đặc biệt đối với khu vực trung tâm đô thị nơi có mật độ dân cư cao. Với 122 hồ lớn nhỏ trong khu vực nội thành, Hà Nội là một đô thị có hệ sinh thái hồ phong phú. Trong những năm gần đây, nhiều hồ trong số nêu trên đã được cải tạo ở các mức độ khác nhau, tuy nhiên tình trạng ô nhiễm môi trường nước vẫn ở mức đáng báo động do ảnh hưởng của sự đô thị hóa nhanh chóng. Các giải pháp kỹ thuật để cải thiện nước hồ đô thị ngày càng trở nên phong phú hơn. Đặc biệt, gần đây một số giải pháp mới sử dụng các công trình xử lý trong điều kiện tự nhiên, tiêu tốn ít năng lượng, không sử dụng hóa chất đã được nghiên cứu và cho thấy tính khả thi, bền vững trong điều kiện Việt Nam. Bài báo này trình bày kết quả khảo sát, đánh giá hiện trạng ô nhiễm tại một số hồ bị ô nhiễm bởi nước thải đô thị trên địa bàn thành phố Hà Nội và đề xuất giải pháp phù hợp nhằm cải thiện chất lượng nước cũng như cải tạo cảnh quan sinh thái cho khu vực xung quanh các hồ.

Từ khoá: hồ đô thị; ô nhiễm nước hồ; phú dưỡng; mẫu định hình dòng chảy; bãi lọc trồng cây.

ASSESSMENT OF THE CURRENT POLLUTION STATUS OF AND PROPOSAL OF SOLUTIONS TO
IMPROVE THE WATER QUALITY OF URBAN LAKES IN HANOI

Abstract

In the urban ecosystem, lakes are an extremely important component, they contribute to improving microclimate conditions, controlling floods, creating landscape and living environment for the surrounding areas, especially the densely populated ones. With 122 large and small lakes in the inner city, Hanoi is an urban area with a rich lake ecosystem. Although many of the above lakes have been renovated to many degrees, under the impact of rapid urbanization in recent years, the lake water pollution is still at an alarming level. Technical solutions to improve urban lake water are becoming more and more diverse. In particular, recently a number of new solutions utilizing treatment processes in natural conditions, consuming less energy and no chemicals, have been studied and showed their feasibility and sustainability in Vietnam conditions. This paper presents the results of survey and assessment of pollution status in some lakes polluted by urban wastewater in Hanoi city and proposes solutions to improve water quality as well as ecological landscape for the area around the lakes.

Keywords: urban lake; lake water pollution; eutrophication; flowform; constructed wetlands.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2021-15\(4V\)-09](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(4V)-09) © 2021 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

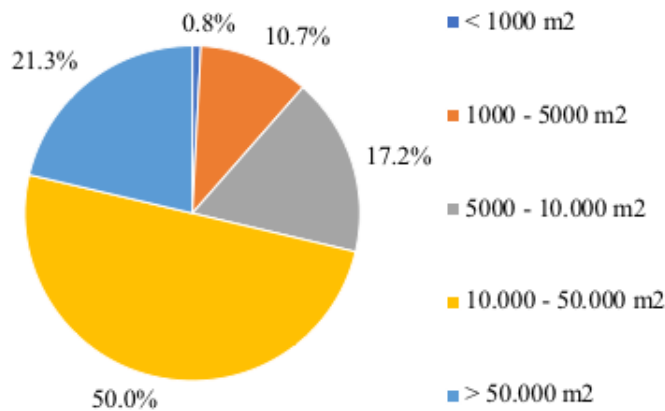
1. Mở đầu

Các hồ đô thị có nguồn gốc tự nhiên hoặc nhân tạo. Hồ tự nhiên được hình thành ngẫu nhiên, có hình dạng, độ sâu rất phong phú, phụ thuộc vào điều kiện địa chất và quá trình hình thành hồ. Hồ

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: hungpt@nuce.edu.vn (Hùng, P. T.)

nhân tạo do con người xây dựng, được sắp xếp theo chủ ý quy hoạch [1]. Song song với các chức năng chính như: tạo cảnh quan, cải thiện điều kiện vi khí hậu trong khu vực; là danh lam thắng cảnh, di tích lịch sử; cung cấp các dịch vụ vui chơi giải trí, văn hóa và du lịch, ... Do phần lớn các hồ đô thị nằm ở vùng địa hình thấp nên chúng còn đóng vai trò quan trọng trong việc điều hòa, tiêu thoát nước mưa, giảm thiểu ngập úng và trong nhiều trường hợp còn tiếp nhận nước thải ở các khu vực xung quanh.

Hệ thống hồ ở Hà Nội đóng vai trò quan trọng trong đời sống cộng đồng, là một trong những thành phần trong cấu trúc không gian cũng như môi trường của thành phố. Hồ đô thị nằm xen kẽ trong không gian xây dựng và được coi là một hệ sinh thái tự nhiên trong đô thị, góp phần hình thành hệ thống hạ tầng xanh, giúp Hà Nội thích ứng tốt hơn với biến đổi khí hậu [2]. Theo thống kê vào năm 2019, trên địa bàn thành phố Hà Nội có 122 hồ nằm rải rác tại các quận nội thành với tổng diện tích mặt nước khoảng 11,3 km². Trong đó, khoảng 50% hồ có diện tích mặt nước từ 10.000 - 50.000 m² [3–5]. Tỷ lệ phân bố theo diện tích các hồ thành phố Hà Nội được thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Tỷ lệ phân bố theo diện tích các hồ thành phố Hà Nội [3–5]

Trong số 122 hồ nêu trên có 98 hồ được kè xung quanh (chiếm 80,3% tổng số hồ), 14 hồ đang được cải tạo và 10 hồ chưa được cải tạo [6]. Số hồ đã được xây dựng hệ thống bao tách nước thải là 51 hồ, chiếm 41,8% tổng số hồ hiện có tại Hà Nội [3].

Hiện nay, theo cách quản lý của Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội, hồ đô thị trên địa bàn thành phố Hà Nội được chia thành 03 nhóm theo chức năng gồm có nhóm 1: các hồ chỉ tiếp nhận nước mưa; nhóm 2: các hồ tiếp nhận nước mưa và nước thải khi có mưa; nhóm 3: các hồ thường xuyên tiếp nhận nước thải.

Với sự nỗ lực cải tạo trong những năm gần đây, chất lượng nước tại nhiều hồ ở Hà Nội đã có chuyển biến tích cực. Tuy nhiên, ô nhiễm nước mặt tại các hồ vẫn đang là vấn đề nổi cộm, khi phần lớn các thông số chất lượng nước hồ đều không đạt yêu cầu QCVN 08-MT:2015/BTNMT, cột B. Nguyên nhân chủ yếu là do lượng nước thải sinh hoạt, nước thải từ các cơ sở sản xuất, dịch vụ xung quanh thải ra các hồ ngày càng tăng, vượt quá khả năng tự làm sạch của các hồ. Mặt khác, các hồ đô thị bị ô nhiễm nặng cũng do diện tích bị thu hẹp dần, hoạt động không đúng chức năng và vai trò. Phần lớn các hồ đô thị không đảm bảo được chức năng điều tiết nước mưa [7].

Chất lượng nước hồ đô thị bị ô nhiễm có thể được cải thiện bằng nhiều phương pháp như sử dụng chế phẩm hóa học [9]; làm giàu ô-xy bằng đập tràn [10, 11]; các giải pháp tổng hợp như: cải tạo, tổ chức thoát nước và xử lý nước thải hợp lý cho các hồ, tăng cường quá trình tự làm sạch trong hồ, giảm thiểu nguồn ô nhiễm từ tầng đáy và bùn cặn, tổ chức quản lý hồ đô thị, ... [12]. Những năm gần đây, một số tác giả đã nghiên cứu và đề xuất một số giải pháp mới nhằm cải thiện chất lượng nước hồ với

chi phí thấp và phù hợp điều kiện Việt Nam như: kết hợp bãi lọc trồng cây với hồ sinh học để xử lý nước thải [13], kết hợp mẫu định hình dòng chảy và bãi lọc trồng cây để xử lý nước hồ bị ô nhiễm bởi nước thải đô thị [14]. Kết quả của các nghiên cứu cho thấy triển vọng áp dụng các giải pháp nêu trên trong việc xử lý ô nhiễm nước hồ đô thị tại Hà Nội có thể khả thi.

Bài báo này trình bày kết quả khảo sát, đánh giá hiện trạng tại một số hồ bị ô nhiễm bởi nước thải đô thị trên địa bàn thành phố Hà Nội và đề xuất giải pháp phù hợp nhằm cải thiện chất lượng nước cũng như cải tạo cảnh quan sinh thái cho khu vực xung quanh các hồ.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Hiện tại các hồ đô thị thành phố Hà Nội được chia thành 03 nhóm: nhóm 1, nhóm 2, nhóm 3 như đã nêu ở phần trên. Để phục vụ cho nghiên cứu khảo sát, 09 hồ được lựa chọn là các hồ có tính đại

Bảng 1. Mô tả hiện trạng các hồ ở Hà Nội [8]

TT	Tên hồ	Ký hiệu hồ	Chiều sâu hồ (m)	Diện tích hồ (m ²)	Hiện trạng hồ
1	Hồ Cẩn (1)	HC	2,0 -2,5	9.800	- Đã kè bờ xung quanh; - Đã xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải; - Nước ít đục, màu xanh, không có bèo.
2	Hồ Bảy Gian (1)	BG	1,5-2,0	8.526	- Đã kè bờ xung quanh hồ; - Đã xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải; - Nước hồ màu xanh, không có mùi tanh.
3	Hồ Cá Bác Hồ (1)	HCBH	1,5-2,0	7.800	- Chưa kè bờ xung quanh hồ; - Đã xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải; - Nước hồ có màu xanh, nhiều rau bèo trên mặt hồ.
4	Hồ Tân Mai (2)	TM	2,0 - 3,0	4.200	- Đã kè bờ xung quanh hồ; - Đã xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải; - Nước hồ màu xanh, có mùi tanh.
5	Hồ Hồ Mễ (2)	HM	1,5 - 2,0	10.061	- Đã kè bờ xung quanh; - Đã xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải; - Nước hồ màu xanh, có mùi tanh.
6	Hồ KĐT Văn Phú (2)	VP	2,0-2,5	6.900	- Đã kè bờ xung quanh hồ; - Đã xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải; - Nước hồ có màu xanh đậm, có nhiều bèo phủ trên mặt hồ, có mùi hôi thối.
7	Hồ nhỏ Kim Liên (3)	KL	1,0 -1,5	3.400	- Chưa kè bờ xung quanh hồ; - Chưa xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải; - Nước hồ màu đen sẫm, có nhiều rác trên mặt hồ, có mùi hôi thối.
8	Hồ Hai Bà Trưng (3)	HBT	1,0 -2,5	10.300	- Đã kè bờ xung quanh hồ; - Chưa xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải; - Nước hồ màu xanh, có rác trên hồ, có mùi tanh.
9	Hồ Ngọc Thụy (3)	NT	1,5-3,0	9.500	- Chưa kè bờ xung quanh hồ; - Chưa xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải; - Nước hồ có màu xanh đậm, có mùi tanh.

Ghi chú: (1) Hồ thuộc nhóm 1; (2) Hồ thuộc nhóm 2; (3) Hồ thuộc nhóm 3.

diện theo từng nhóm chức năng, có lượng dân cư đông đúc sống xung quanh và có diện tích mặt nước trong khoảng 3.000 - 10.000 m². Vị trí, hiện trạng xây dựng của các hồ khảo sát được thể hiện trong Bảng 1.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

a. Phương pháp tiếp cận

- Thu thập cơ sở dữ liệu: cập nhật thông tin chung về hiện trạng hồ với các dữ liệu cơ bản như số lượng hồ, diện tích hồ, tình trạng xây dựng, kè hồ, môi trường nước của các hồ đô thị trên địa bàn thành phố Hà Nội từ những nguồn dữ liệu tin cậy;

- Khảo sát thực địa: dựa trên cơ sở dữ liệu thu thập được, lựa chọn các hồ điển hình theo phân loại nhóm và phù hợp để khảo sát, số hồ được lựa chọn bao gồm các hồ thuộc các quận nội thành Hà Nội;

- Tổng hợp phân tích và so sánh: các kết quả khảo sát và phân tích mẫu được tổng hợp thành bảng biểu và đồ thị để so sánh, đánh giá chất lượng nước hồ đô thị, là cơ sở để đề xuất giải pháp xử lý và nâng cao chất lượng nước hồ đô thị.

b. Lấy mẫu và phân tích mẫu

- + Tần suất lấy mẫu: Các mẫu được lấy 01 tháng một lần trong thời gian từ tháng 05/2019 đến tháng 04/2020.

- + Vị trí lấy mẫu: mỗi hồ được lấy mẫu tại 3 vị trí khác nhau: 02 vị trí xung quanh hồ (không gần miệng cống vào và ra của hồ) và 01 vị trí giữa hồ (cách bờ từ 10 - 20 m). Giá trị DO được đo ở vị trí giữa hồ. Tất cả các mẫu được lấy ở độ sâu 10 cm so với mặt nước.

- + Thời điểm lấy mẫu: Các mẫu được khảo sát, đo đạc từ 08h00 đến 11h00 vào các ngày lấy mẫu và trời không mưa.

- + Lấy mẫu và bảo quản mẫu: Các mẫu nước được lấy theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5994:1995: Chất lượng nước lấy mẫu - Hướng dẫn lấy mẫu ở hồ ao tự nhiên và nhân tạo; Sau khi lấy mẫu nước hồ, mẫu nước được thực hiện bảo quản theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6663-3:2008 (ISO 5667-3:2003): Chất lượng nước - lấy mẫu - phần 3: Hướng dẫn bảo quản và xử lý mẫu.

- + Các chỉ tiêu đo nhanh tại hiện trường gồm: pH, DO, nhiệt độ. Phương pháp đo pH: sử dụng thiết bị đo pH cầm tay Hanna HI 98107 của Mỹ. Phương pháp đo DO, nhiệt độ: sử dụng thiết bị đo DO meter, Hanna HI 9142 của Đức.

- + Các chỉ tiêu phân tích trong phòng thí nghiệm gồm: TSS, COD, NH₄⁺ - N, NO₃⁻ - N, TN, TP. Việc phân tích mẫu được tiến hành theo các phương pháp TCVN tương ứng.

c. Đánh giá chất lượng nước hồ

Chất lượng nước các hồ khảo sát và kết quả phân tích được so sánh với quy chuẩn quốc gia về chất lượng nước mặt QCVN 08:2015/BTNMT (mức B1) - Dùng cho mục đích tưới tiêu, thủy lợi hoặc các mục đích sử dụng như loại B2 - dùng cho hoạt động giao thông thủy và các mục đích khác với yêu cầu nước chất lượng thấp.

3. Kết quả và thảo luận

Kết quả đo đạc và phân tích các thông số hóa lý của mẫu nước 09 hồ trong thời gian khảo sát từ tháng 05/2019 đến tháng 04/2020, được thể hiện trong Bảng 2.

- Nhiệt độ: Nhiệt độ trung bình năm của 09 hồ không có sự chênh lệch nhiều, tất cả các hồ có nhiệt độ nước nằm trong khoảng từ 24,8 - 26,0 °C. Nhiệt độ trung bình của các hồ vào mùa mưa là 30,0 °C và mùa khô là 20,4 °C. Kết quả đo nhiệt độ của các hồ được thể hiện trong Hình 2(a).

Bảng 2. Các chỉ tiêu hóa lý của mẫu nước quan trắc tại 09 hồ ở Hà Nội

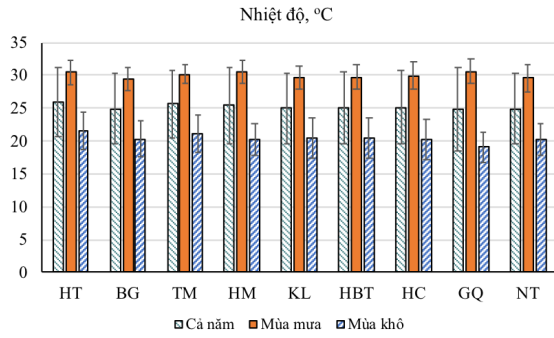
Chỉ tiêu	Thời gian	HC	BG	TM	HM	KL	HBT	HCBH	VP	NT	QCVN 08 -MT:2015 (B1)
		Hồ nhóm 1			Hồ nhóm 2			Hồ nhóm 3			
T (°C)	CN	26,0 ± 5,2	24,9 ± 5,3	25,6 ± 5,2	25,4 ± 5,8	25,0 ± 5,4	25,1 ± 5,4	25,1 ± 5,6	24,8 ± 6,3	24,8 ± 5,5	-
	MM	30,5 ± 1,8	29,5 ± 1,8	30,2 ± 1,4	30,6 ± 1,7	29,6 ± 1,7	29,7 ± 1,8	30,0 ± 2,0	30,6 ± 1,8	29,6 ± 2,1	
	MK	21,5 ± 2,8	20,3 ± 2,7	21,1 ± 2,8	20,2 ± 2,5	20,4 ± 3,1	20,4 ± 3,1	20,3 ± 3,1	19,1 ± 2,2	20,0 ± 2,6	
pH	CN	7,1 ± 0,6	8,1 ± 0,5	6,8 ± 0,6	7,6 ± 0,6	7,2 ± 0,9	6,9 ± 0,6	7,2 ± 0,7	7,3 ± 0,5	7,1 ± 0,5	5,5-9,0
	MM	6,6 ± 0,3	8,3 ± 0,3	7,3 ± 0,4	8,0 ± 0,5	6,6 ± 0,6	6,5 ± 0,3	7,6 ± 0,6	7,0 ± 0,4	7,3 ± 0,4	
	MK	7,6 ± 0,4	7,9 ± 0,6	6,3 ± 0,3	7,1 ± 0,3	7,8 ± 0,6	7,4 ± 0,5	6,7 ± 0,3	7,7 ± 0,5	7,0 ± 0,5	
DO (mg/L)	CN	3,8 ± 0,4	3,8 ± 0,4	2,6 ± 0,5	2,8 ± 0,7	0,1 ± 0,1	2,7 ± 0,4	4,5 ± 0,4	3,8 ± 0,4	3,6 ± 0,3	≥ 4
	MM	3,9 ± 0,4	4,0 ± 0,2	2,5 ± 0,4	2,3 ± 0,6	0,1 ± 0,1	3,0 ± 0,4	4,4 ± 0,4	3,6 ± 0,4	3,9 ± 0,2	
	MK	3,6 ± 0,4	3,6 ± 0,4	2,7 ± 0,7	3,3 ± 0,3	0,1 ± 0,1	2,4 ± 0,3	4,6 ± 0,4	4,0 ± 0,4	3,4 ± 0,2	
TSS (mg/L)	CN	49,7 ± 4,9	52,4 ± 3,6	54,5 ± 11,3	50,3 ± 6,7	79,9 ± 7,5	62,3 ± 4,4	49,6 ± 5,2	51,9 ± 3,7	57,1 ± 6,3	50
	MM	53,5 ± 2,5	54,9 ± 2,9	44,5 ± 4,6	44,4 ± 3,7	74,0 ± 3,7	59,0 ± 3,2	53,9 ± 1,9	52,5 ± 3,2	52,4 ± 4,0	
	MK	45,9 ± 3,3	50,0 ± 2,4	64,4 ± 4,7	56,1 ± 1,9	85,8 ± 5,2	65,5 ± 2,7	45,3 ± 3,5	51,3 ± 4,4	61,8 ± 4,2	
COD (mg/L)	CN	57,5 ± 8,8	53,8 ± 7,3	75,6 ± 5,4	68,0 ± 7,0	188,3 ± 32,4	83,1 ± 14,1	46,1 ± 6,8	60,3 ± 5,8	74,6 ± 7,6	30
	MM	50,6 ± 4,5	47,9 ± 3,4	71,9 ± 2,7	62,8 ± 4,9	192,2 ± 10,6	73,0 ± 8,4	40,6 ± 2,5	57,4 ± 4,3	68,8 ± 4,4	
	MK	64,4 ± 6,1	59,8 ± 4,7	79,2 ± 5,1	73,3 ± 4,2	184,5 ± 46,4	93,1 ± 2,7	51,7 ± 4,5	63,1 ± 5,9	80,5 ± 5,0	
NH ₄ ⁺ - N (mg/L)	CN	1,5 ± 0,5	1,4 ± 0,4	4,5 ± 0,8	3,9 ± 0,7	23,5 ± 4,9	6,3 ± 1,9	1,1 ± 0,2	2,0 ± 0,5	4,0 ± 0,9	0,9
	MM	1,9 ± 0,3	1,7 ± 0,3	3,9 ± 0,3	3,6 ± 0,6	23,1 ± 1,4	4,6 ± 1,0	1,0 ± 0,1	1,7 ± 0,3	3,5 ± 0,7	
	MK	1,0 ± 0,2	1,1 ± 0,4	5,1 ± 0,7	4,3 ± 0,5	24,0 ± 7,1	7,9 ± 0,9	1,3 ± 0,2	2,3 ± 0,5	4,5 ± 0,9	
NO ₃ ⁻ - N (mg/L)	CN	1,1 ± 0,4	1,3 ± 0,6	0,6 ± 0,3	0,6 ± 0,2	0,4 ± 0,2	1,0 ± 0,3	1,3 ± 0,3	1,7 ± 0,4	0,9 ± 0,3	10
	MM	1,4 ± 0,2	1,7 ± 0,5	0,7 ± 0,4	0,6 ± 0,3	0,5 ± 0,2	1,1 ± 0,2	1,5 ± 0,4	1,8 ± 0,4	1,1 ± 0,2	
	MK	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,6 ± 0,2	0,5 ± 0,2	0,3 ± 0,1	0,8 ± 0,2	1,1 ± 0,2	1,6 ± 0,4	0,7 ± 0,2	
TN (mg/L)	CN	3,5 ± 0,8	4,0 ± 0,9	6,7 ± 0,7	6,1 ± 0,8	25,9 ± 5,0	8,9 ± 1,8	3,3 ± 0,3	4,8 ± 0,4	5,9 ± 0,9	-
	MM	4,1 ± 0,6	4,7 ± 0,6	6,2 ± 0,3	5,5 ± 0,7	25,8 ± 1,6	7,3 ± 0,9	3,3 ± 0,4	4,7 ± 0,5	5,7 ± 0,8	
	MK	3,0 ± 0,5	3,4 ± 0,6	7,1 ± 0,7	6,6 ± 0,4	26,1 ± 7,3	10,5 ± 0,7	3,4 ± 0,3	4,9 ± 0,3	6,1 ± 1,0	
TP (mg/L)	CN	2,5 ± 1,0	1,7 ± 0,5	1,9 ± 0,3	2,6 ± 0,7	3,4 ± 0,6	2,1 ± 0,6	1,6 ± 0,5	2,3 ± 0,4	2,6 ± 0,6	-
	MM	3,3 ± 0,6	2,1 ± 0,4	2,2 ± 0,2	2,7 ± 0,6	3,9 ± 0,4	2,5 ± 0,6	2,1 ± 0,2	2,6 ± 0,4	2,9 ± 0,4	
	MK	1,7 ± 0,5	1,3 ± 0,2	1,7 ± 0,2	2,5 ± 0,8	3,0 ± 0,4	1,8 ± 0,5	1,2 ± 0,3	2,1 ± 0,3	2,3 ± 0,6	

Ghi chú: Các giá trị trong bảng thể hiện giá trung bình và độ lệch chuẩn ứng với các khung thời gian lấy mẫu: CN - Cả năm, $n = 12$; MM - Mùa mưa (từ 5/2019 đến 10/2019), $n = 6$; MK - Mùa khô (11/2019 đến 4/2020), $n = 6$.

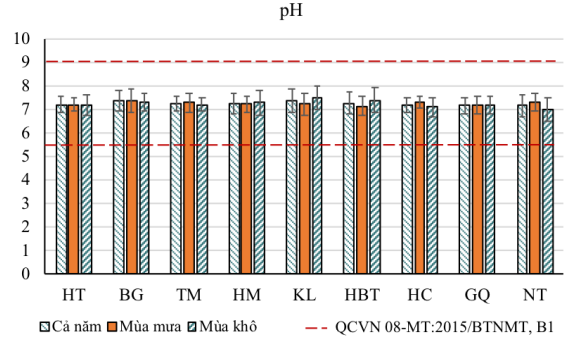
- pH: giá trị pH trung bình năm của 09 hồ khảo sát dao động từ 6,8 - 8,1. Sự thay đổi pH trong các hồ là không rõ rệt, tất cả giá trị pH trung bình năm của các hồ đều nằm trong giới hạn cho phép của QCVN 08 - MT:2015 (cột B1). Giá trị pH trung bình năm của hồ Tân Mai và hồ Hai Bà Trưng là thấp nhất, đạt giá trị tương đương 6,8 và 6,9. Các hồ còn lại đạt giá trị pH từ 7,1 - 8,1, chủ yếu là nước hồ mang tính chất kiềm tính và cho thấy đây có thể là môi trường thích hợp thúc đẩy quá trình giải phóng Photpho và gây hiện tượng nở hoa của tảo [15, 16]. Kết quả đo chỉ số pH của các hồ được thể hiện trong Hình 2(b).

- Giá trị DO: giá trị DO trung bình năm của 09 hồ khảo sát dao động từ 0,1 - 4,5 mg/L, kết quả này cho thấy hàm lượng DO trong các hồ có sự chênh lệch lớn. Trong đó, hàm lượng DO trung bình năm của Hồ Cá Bức Hồ là 4,5 mg/L, đạt yêu cầu, còn lại 08 hồ khác đều có giá trị DO trung bình năm

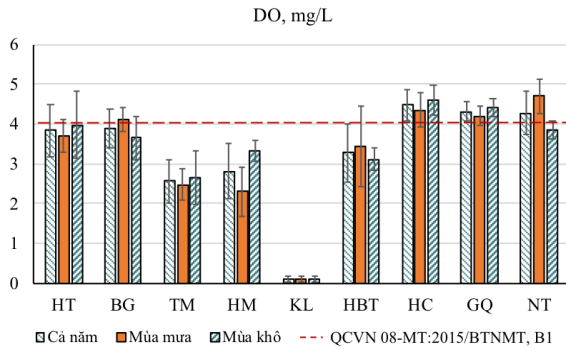
- Chỉ tiêu COD: Kết quả quan trắc các hồ cho thấy giá trị COD trung bình năm của các hồ có sự dao động đáng kể, Hồ Cá Bức Hồ có giá trị thấp nhất là 46,1 mg/L và giá trị cao nhất là hồ nhỏ Kim Liên với hàm lượng 188,3 mg/L, các giá trị này vượt quy chuẩn QCVN 08 - MT:2015 (cột B1) từ 1,54 đến 6,28 lần. Kết quả này cho thấy, tất cả các nhóm hồ đều bị ô nhiễm bởi thành phần hữu cơ. Các hồ ở nhóm 1 có giá trị COD thấp hơn so với các hồ ở nhóm 2 và 3 do các hồ nhóm 1 chỉ tiếp nhận nước mưa và hồ bị ô nhiễm do nước mưa cuốn trôi chất ô nhiễm trên bề mặt và chảy vào hồ. Giá trị COD có xu thế giảm vào mùa mưa nhưng tăng dần vào mùa khô ở tất cả các hồ. Nguyên nhân do thể tích



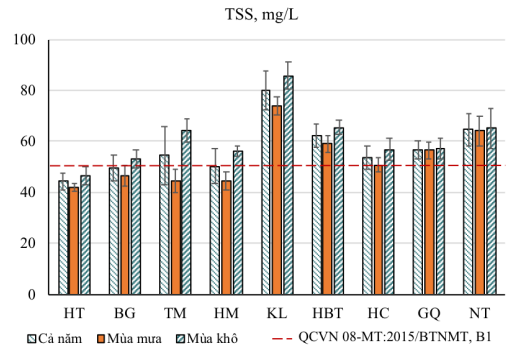
(a) Nhiệt độ trung bình của các hồ



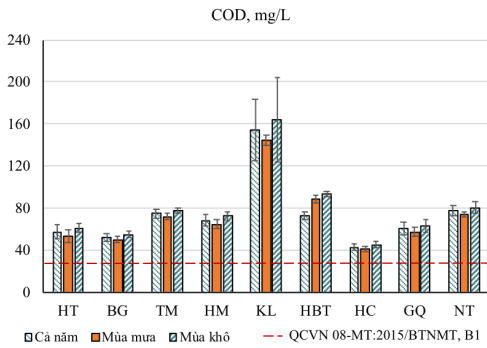
(b) Giá trị pH trung bình của các hồ



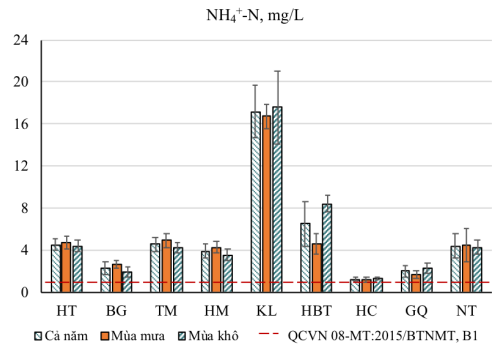
(c) Giá trị DO trung bình của các hồ



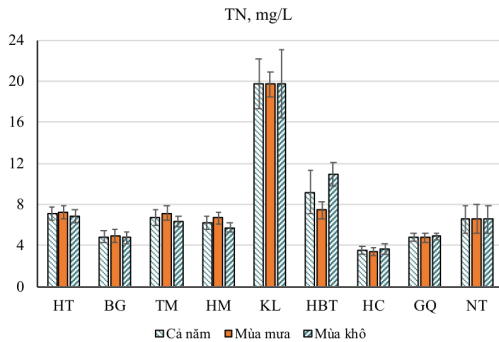
(d) Giá trị TSS trung bình của các hồ



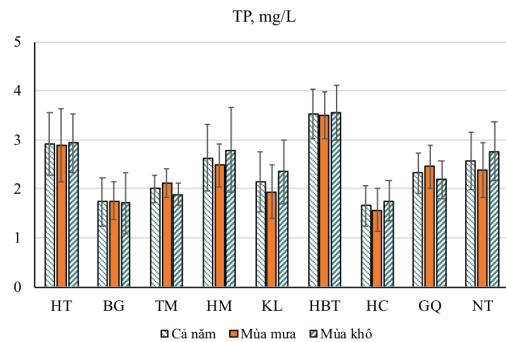
(e) Giá trị COD trung bình của các hồ



(f) Giá trị $\text{NH}_4^+\text{-N}$ trung bình của các hồ



(g) Giá trị TN trung bình của các hồ



(h) Giá trị TP trung bình của các hồ

Hình 2. Biểu đồ thông số chất lượng nước tại các hồ khảo sát

nước hồ tăng lên vào mùa mưa bởi nước mưa, dẫn đến nước hồ được pha loãng và giá trị COD thấp nhất trong các tháng mùa mưa. Duy nhất có hồ nhỏ Kim Liên có giá trị COD vào mùa mưa cao hơn mùa khô. Điều này có thể được giải thích do thời gian quan trắc chính là đợt dịch Covid 19, các hoạt động của nhà hàng và khách sạn bị đóng cửa, trong khi đó hồ nhỏ Kim Liên là hồ tiếp nhận nước thải từ khách sạn Kim Liên, vì vậy nước hồ có sự thay đổi đáng kể về giá trị COD trong giai đoạn tháng 3,4/2020. Kết quả phân tích giá trị COD của các hồ được thể hiện trong Hình 2(e).

- Chỉ tiêu $\text{NH}_4^+ - \text{N}$: Giá trị $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ trung bình năm của các hồ quan trắc có sự dao động và chênh lệch giữa các hồ và các nhóm hồ. Trong đó, Hồ cá Béc Hồ có giá trị thấp nhất là 1,1 mg/L và giá trị cao nhất là hồ nhỏ Kim Liên đạt 23,5 mg/L. Các giá trị này đều vượt quy chuẩn QCVN 08 - MT:2015 (cột B1) từ 1,22 đến 26,1 lần. Các hồ thuộc nhóm 1 có giá trị thấp hơn so với các hồ thuộc nhóm 2 và nhóm 3. Theo kết quả quan trắc và phân tích, hai hồ thuộc nhóm 3 là hồ nhỏ Kim Liên và hồ Hai Bà Trưng có giá trị $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ trung bình năm cao hơn nhiều lần so với các hồ thuộc nhóm khác, do các hồ này thường xuyên phải tiếp nhận nước thải sinh hoạt ở các khu dân cư xung quanh hồ, ngoài ra hồ nhỏ Kim Liên còn phải tiếp nhận nước thải từ nhà hàng khách sạn. Giá trị $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ở hầu hết các hồ có xu thế giảm vào mùa mưa nhưng tăng dần vào mùa khô. Nguyên nhân do thể tích nước hồ tăng lên vào mùa mưa bởi nước mưa, dẫn đến nồng độ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ trong hồ được pha loãng và có giá trị nhỏ hơn trong các tháng mùa mưa. Tuy nhiên, theo kết quả phân tích được, hai hồ thuộc nhóm 1 là hồ Cần và hồ Bảy gian có giá trị $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ở mùa mưa cao hơn mùa khô. Điều này có thể do nguyên nhân chỉ tiếp nhận nước mưa, vì vậy khi trời mưa sẽ cuốn theo nhiều chất ô nhiễm trên bề mặt xuống hồ làm cho giá trị $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ tăng cao hơn. Kết quả phân tích giá trị $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ của các hồ được thể hiện trong Hình 2(f).

- Chỉ tiêu $\text{NO}_3^- - \text{N}$: Kết quả quan trắc các hồ cho thấy giá trị $\text{NO}_3^- - \text{N}$ trung bình năm của các hồ có sự dao động không đáng kể, trong đó hồ nhỏ Kim Liên có giá trị thấp nhất là 0,4 mg/L và cao nhất là hồ Văn Phú với giá trị 1,7 mg/L. Có thể thấy, giá trị $\text{NO}_3^- - \text{N}$ trung bình năm của các hồ thuộc các nhóm đều nằm trong giới hạn cho phép của quy chuẩn QCVN 08 - MT:2015 (cột B1) và có xu thế cao hơn vào mùa mưa ở tất cả các hồ.

- Chỉ tiêu TN: Tương tự như chỉ tiêu $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, giá trị TN trung bình năm của các hồ quan trắc có sự dao động lớn giữa các hồ. Trong đó, Hồ cá Béc Hồ có giá trị thấp nhất là 3,3 mg/L và giá trị cao nhất là hồ nhỏ Kim Liên với hàm lượng 25,9 mg/L. Giá trị TN ở hầu hết các hồ có xu thế giảm vào mùa mưa nhưng tăng dần vào mùa khô. Tuy nhiên, có hai hồ thuộc nhóm 1 là hồ Cần và hồ Bảy gian có giá trị TN ở mùa mưa cao hơn mùa khô. Điều này có thể được giải thích tương tự như giá trị $\text{NH}_4^+ - \text{N}$. Kết quả phân tích giá trị TN của các hồ được thể hiện trong Hình 2(g).

- Chỉ tiêu TP: Kết quả quan trắc các hồ cho thấy giá trị TP trung bình năm của các hồ có sự dao động không đáng kể. Hai hồ thuộc nhóm 1 là hồ Bảy Gian và Hồ Cá Béc Hồ có giá trị thấp nhất là 1,6 mg/L và giá trị cao nhất là hồ nhỏ Kim Liên thuộc nhóm 3 với hàm lượng 3,4 mg/L. Giá trị TP có xu thế giảm vào mùa khô nhưng tăng dần về mùa mưa ở tất cả các hồ. Nguyên nhân có thể do thể tích nước hồ tăng lên vào mùa mưa, vì vậy hồ phải tiếp nhận nước mưa chảy tràn có chứa Phốt pho từ các khu vực xung quanh, dẫn đến nồng độ TP trong hồ có giá trị cao hơn trong các tháng mùa mưa. Ngược lại vào mùa khô, do không phải tiếp nhận nước mưa, một phần TP được lắng đọng tự nhiên xuống đáy hồ nên giá trị TP có xu hướng giảm vào mùa khô. Kết quả phân tích giá trị TP của các hồ được thể hiện trong Hình 2(h).

4. Đề xuất giải pháp cải thiện và nâng cao chất lượng nước hồ đô thị

Kết quả khảo sát và phân tích chất lượng nước của 09 hồ đô thị thuộc 3 nhóm hồ tại khu vực Hà Nội cho thấy, tất cả các hồ đều bị ô nhiễm từ mức độ nhẹ đến mức độ nặng theo QCVN 08 - MT:2015

(cột B1), các giá trị DO, COD, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ trung bình năm không đạt quy chuẩn cho phép. Theo quan sát, các hồ được quan trắc đều là những hồ nằm trong khu dân cư, vì vậy có chức năng cũng như vai trò rất quan trọng trong việc điều hòa không khí, kiểm soát úng ngập, ổn định chất lượng nước, tạo cảnh quan và môi trường sống cho các khu vực xung quanh. Với vai trò và chức năng như vậy, các hồ đô thị cần thiết phải có các biện pháp xử lý hoặc nâng cao chất lượng nước hồ để đảm bảo chất lượng cuộc sống cho cư dân đô thị. Hiện nay, hệ thống hồ đô thị ở Hà Nội được quản lý theo hình thức đầu tư công, vì vậy biện pháp xử lý và tăng cường nâng cao chất lượng nước hồ đô thị cần phải lựa chọn với chi phí đầu tư, vận hành thấp, tạo được mỹ quan và thân thiện với môi trường. Với các tiêu chí như trên, một số biện pháp cải tạo, tổ chức thoát nước và kỹ thuật được đề xuất nhằm xử lý và nâng cao chất lượng nước hồ đô thị.

4.1. Biện pháp chung đối với các hồ đô thị

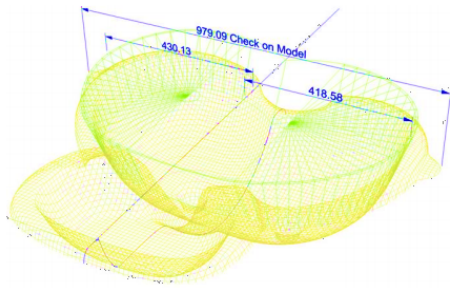
Theo kết quả phân tích, 09 hồ được khảo sát đều bị ô nhiễm bởi các chất dinh dưỡng, chất hữu cơ, đặc biệt là hàm lượng DO, có 08/9 hồ quan trắc không đạt quy chuẩn cho phép. Trong các thủy vực, ô-xy hòa tan là một trong những thông số quan trọng được sử dụng để đánh giá tình trạng chất lượng nước. Khi nước mưa từ bề mặt và nước thải sinh hoạt được thải vào hồ, các chất hữu cơ và chất dinh dưỡng có trong nước thải sẽ bị vi khuẩn và các loài sinh vật khác như tảo sử dụng ô-xy hòa tan để hấp thụ trong các quá trình trao đổi [17]. Khi DO trong hồ bị thiếu, cường độ hô hấp của các sinh vật và vi sinh vật bị hạn chế, nguy cơ mất ổn định của hệ sinh thái thủy vực nước sẽ tăng lên, chất lượng nước sẽ bị suy giảm [13]. Trong hồ, một lượng ô-xy được cung cấp từ bề mặt do gió thổi trên bề mặt và khuấy trộn nước hồ. Chế độ ô-xy trong hồ đô thị có thể được tăng cường bằng biện pháp làm thoáng nhân tạo hoặc cấp ô-xy cưỡng bức. Quá trình này sẽ bổ sung thêm ô-xy để vi khuẩn tiếp tục ô-xy hóa các chất hữu cơ trong hồ [1].

Hiện nay, hồ đô thị được xây dựng, kè bờ taluy 1 đến 2 cấp bằng hình thức kè đá học hoặc đổ bê tông để tạo độ dốc. Bờ dốc taluy có thể được tận dụng bố trí hệ thống tăng cường làm thoáng bằng mẫu định hình dòng chảy (ĐHDC) [18–20] kết hợp với hệ thống bãi lọc trồng cây (BLTC) bố trí theo viền dọc hoặc ven các bờ hồ, vừa phù hợp với địa hình, vừa khôi phục lại tự nhiên, tạo được cảnh quan đồng thời có chức năng xử lý làm sạch và nâng cao chất lượng nước hồ đô thị.

BLTC là một hệ thống kỹ thuật kết hợp các loại thực vật trồng trong bãi lọc, đất hoặc vật liệu lọc cùng với hệ VSV hoạt động trong bãi tạo thành một hệ thống trong điều kiện tự nhiên để xử lý nước bị ô nhiễm [21]. Quá trình xử lý các chất ô nhiễm trong BLTC nhờ vào các cơ chế vật lý, hóa học và quá trình sinh học diễn ra trong bãi lọc.

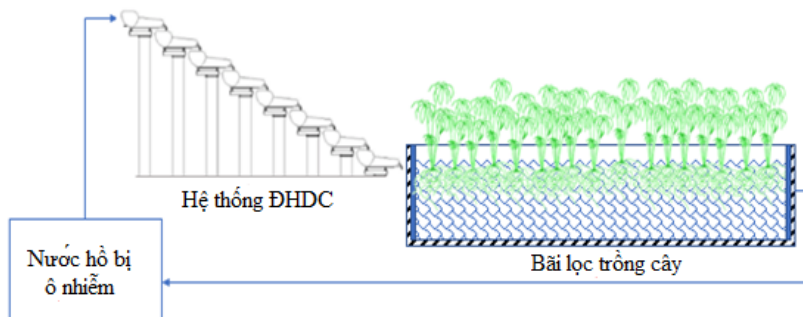
Hệ thống ĐHDC là hệ thống làm thoáng tự nhiên gồm nhiều mẫu ĐHDC xếp liên nhau có dạng bậc thang (Hình 3) với chức năng chính là cung cấp ô-xy cho nguồn nước thông qua các quá trình (1) trộn không khí với nước để tăng nồng độ ô-xy hòa tan và (2) loại bỏ một phần khí hòa tan trong nước. So với các giải pháp sục khí tự nhiên truyền thống như đập tràn, đài phun nước, ... thì hệ thống ĐHDC có những ưu điểm sau: hiệu suất truyền ô-xy và tách khí cao hơn; thân thiện với môi trường, dễ hòa quyện cùng cảnh quan xung quanh và đặc biệt hệ thống này tạo ra dòng chảy có nhịp điệu nhịp nhàng, giúp tăng cường hoạt động của các sinh vật trong nước [22].

Mẫu ĐHDC có nhiều kích thước và hình dạng khác nhau nhưng có đặc điểm chung: có một dòng vào nhỏ (giống như hình dạng cái “bát”), là nơi nhận nước từ các nguồn hoặc các mẫu định hình từ phía trên, từ đó chia thành hai dòng lớn, nơi mà có dòng chảy xoáy hình số tám hình thành, sau đó qua một lối thoát để dòng chảy đi xuống mẫu ĐHDC tiếp theo. Qua bề mặt của các mẫu định hình, ô-xy được khuếch tán từ không khí vào trong nước, do đó tạo ra các điều kiện lý tưởng về hàm lượng ô-xy cho vi sinh vật để phân hủy chất thải một cách tự nhiên và hiệu quả.



Hình 3. Hệ thống định hình dòng chảy

Việc ứng dụng công nghệ kết hợp BLTC (sử dụng các loại thực vật như cây thủy trúc, cỏ vetiver, cỏ nền, ... vừa có vai trò xử lý chất ô nhiễm, vừa có vai trò làm đẹp cảnh quan xung quanh) và hệ thống ĐHDC để xử lý nước bị ô nhiễm đã được nghiên cứu và ứng dụng nhằm ngăn chặn ô nhiễm nguồn nước bởi nước rỉ rác từ các bãi chôn lấp rác thải đô thị cho hiệu quả xử lý khá tốt [22]. Giải pháp này không chỉ có hiệu quả xử lý tốt mà còn tiết kiệm được chi phí so với các công nghệ xử lý khác như: không gây ô nhiễm thứ cấp (không tạo bùn trong lòng hồ), tiết kiệm chi phí xử lý (do chi phí đầu tư ban đầu thấp vì tận dụng được độ dốc của hồ thông qua hệ thống kê hồ, tiết kiệm diện tích không gian, sử dụng ít năng lượng), bền vững và thân thiện với môi trường, ngoài ra còn góp phần tạo cảnh quan cho môi trường xung quanh hồ, nâng cao giá trị của hồ đô thị. Mô hình công nghệ kết hợp BLTC và hệ thống ĐHDC được mô tả ở Hình 4.



Hình 4. Mô hình công nghệ kết hợp BLTC và hệ thống ĐHDC

4.2. Biện pháp đối với từng nhóm hồ

- Đối với các hồ thuộc nhóm 1: chỉ tiếp nhận nước mưa, phần lớn các hồ đã được cải tạo và không tiếp nhận nước thải, nhưng thực tế, các hồ vẫn bị ô nhiễm bởi chất dinh dưỡng do các hồ nhóm 1 phải tiếp nhận lượng nước mưa có cuốn theo chất ô nhiễm từ bề mặt, mặt khác các hồ thuộc nhóm 1 thường là hồ không có dòng vào và dòng ra, vì vậy không tạo được dòng chảy lưu thông trong hồ, làm cho khả năng tự làm sạch của hồ kém, dẫn đến các chất gây ô nhiễm tích tụ trong hồ ngày càng nhiều và một lượng lớn bùn đáy được hình thành kéo theo lượng ô-xy hòa tan trong nước hồ giảm. Đối với những hồ thuộc nhóm này, cần phải có biện pháp tạo dòng chảy luân chuyển trong hồ, định kỳ nạo vét lượng bùn đáy trong hồ từ 12 tháng đến 24 tháng/lần, vớt rác thải trên mặt hồ, bổ cập nước để pha

loãng nồng độ ô nhiễm trong hồ, sau đó áp dụng kết hợp với các biện pháp xử lý thân thiện với môi trường bằng các loại thực vật thủy sinh, ...

- *Đối với các hồ thuộc nhóm 2:* tiếp nhận hỗn hợp nước mưa và nước thải khi có mưa, các hồ thuộc nhóm này là những hồ đã được cải tạo và xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải. Dòng chảy trong các hồ nhóm 2 là dòng chảy lưu thông, có dòng tiếp nhận vào hồ và dòng thoát ra khỏi hồ. Tuy nhiên, do hồ phải tiếp nhận nước thải sinh hoạt và đô thị có tải lượng ô nhiễm cao, vì vậy hầu hết các hồ thuộc nhóm này bị ô nhiễm bởi các chất hữu cơ và đặc biệt có hàm lượng ô-xy hòa tan trong hồ thấp dẫn đến tình trạng thiếu ô-xy cho các động vật thủy sinh. Để khắc phục tình trạng ô nhiễm cho những hồ thuộc nhóm 2, có thể thực hiện các biện pháp như: hạn chế tiếp nhận lượng nước thải vào hồ, cải thiện chất lượng nước hồ thông qua việc tăng cường quá trình chuyển hóa các chất ô nhiễm trong hồ bằng thực vật thủy sinh, bổ sung chế phẩm vi sinh theo định kỳ.

- *Đối với các hồ thuộc nhóm 3:* thường xuyên tiếp nhận nước thải, các hồ thuộc nhóm này là các hồ đã được kè bờ hoặc chưa được kè bờ và chưa xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải. Các loại nước thải đô thị khi xả trực tiếp vào hồ sẽ gây lắng cặn, ô nhiễm hữu cơ, tích tụ các chất dinh dưỡng gây ra hiện tượng phú dưỡng làm giảm lượng ô-xy hòa tan trong nước. Vì vậy các loại nước thải này cần được tách ra khỏi hồ bằng cách xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải hoặc nước thải phải được xử lý trước khi xả vào hồ. Sau khi được xây dựng hệ thống cống bao tách nước thải thì hồ sẽ được quản lý giống như các hồ thuộc nhóm 1 và nhóm 2.

5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu quan trắc môi trường nước tại 09 hồ đô thị ở Hà Nội trong thời gian từ tháng 5/2019 đến tháng 4/2020 đã chỉ ra hiện trạng ô nhiễm của các hồ đô thị tại Hà Nội. Kết quả phân tích cho thấy giá trị trung bình năm của các thông số vượt ngưỡng quy chuẩn QCVN QCVN 08-MT:2015 (cột B1): COD vượt từ 1,54 đến 6,28 lần; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ vượt từ 1,22 đến 26,1 lần; TSS vượt từ 1,1 đến 1,6 lần. Thông số DO chỉ có 01 hồ (Hồ Cá Béc Hồ) đạt quy chuẩn cho phép, các hồ còn lại cũng giống như thông số $\text{NO}_3^- - \text{N}$ đều không đạt yêu cầu so với quy chuẩn cho phép.

Nguyên nhân gây ô nhiễm các hồ đô thị là do các chất ô nhiễm trên bề mặt bị cuốn trôi theo nước mưa chảy xuống hồ; nước thải đô thị và nước thải sinh hoạt của các khu dân cư sống xung quanh xả xuống hồ khi chưa được xử lý. Đặc biệt một số hồ còn phải tiếp nhận lượng nước thải của nhà hàng, khách sạn xung quanh. Vì vậy, hàm lượng các chất gây ô nhiễm cũng có giá trị thay đổi, mặt khác mức độ ô nhiễm giữa các hồ còn phụ thuộc vào chức năng của từng nhóm hồ và sự khác biệt về vị trí và các nguồn thải xung quanh hồ.

Dựa trên kết quả đánh giá về tình trạng ô nhiễm của các hồ, bài báo đề xuất các nhóm giải pháp có thể khả thi để áp dụng cải tạo và nâng cao chất lượng hồ đô thị. Trong đó giải pháp công nghệ kết hợp BLTC và hệ thống ĐHDC có tiềm năng áp dụng rất lớn, phù hợp với bối cảnh thực tế và hiện trạng của các hồ đô thị.

Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Bộ Giáo dục và đào tạo, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội trong khuôn khổ Đề tài cấp Bộ GD&ĐT “Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật định hình dòng chảy trong xử lý nâng cao chất lượng nước và tạo cảnh quan tại các hồ đô thị bị ô nhiễm”, mã số B2020-XDA-03.

Tài liệu tham khảo

- [1] Hạ, T. Đ. (2016). *Hồ đô thị - Quản lý kỹ thuật và kiểm soát ô nhiễm*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [2] Nam, N. (2017). Hồ Hà Nội - Bản sắc đô thị. *Tạp chí Kiến trúc*, (08):61–65.
- [3] Ban Duy tu các Công trình Hạ tầng Kỹ thuật Đô thị (2019). *Công tác quản lý các hồ khu vực Nội thành Hà Nội*. Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội.
- [4] Tổng cục Môi trường (2019). *Khảo sát đánh giá, xây dựng Đề án bảo vệ môi trường, cảnh quan sinh thái hồ, ao tại các khu đô thị và khu dân cư*. Nhiệm vụ Môi trường 2019 do Tổng cục Môi trường - Bộ Tài nguyên và Môi trường thực hiện.
- [5] Lý, N. N. (2015). *Báo cáo Hồ Đô thị*. Trung tâm Nghiên cứu Môi trường và Cộng đồng, Hà Nội, Nhà xuất bản Phụ Nữ.
- [6] Hà, C. M., 2019. *Quản lý tốt hồ đô thị trong cải tạo cảnh quan và giảm thiểu úng ngập*. Truy cập ngày 28 tháng 6 năm 2021.
- [7] Hạ, T. Đ. (2019). *Các giải pháp tổng hợp và cải thiện môi trường nước hồ đô thị*. *Tạp chí Công nghệ Xây dựng*, (4).
- [8] Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội (2019). *Báo cáo tổng hợp hiện trạng hồ*. Phụ lục - Vị trí và hiện trạng hồ quản lý.
- [9] Hạ, T. Đ., cs. (2017). Cải thiện chất lượng môi trường nước hồ đô thị bằng phương pháp Riplox kết hợp chế phẩm hóa học LOLO - pH104. *Tạp chí Môi trường*, Chuyên đề 1:6–10.
- [10] Hạ, T. Đ. (2019). Nghiên cứu làm giàu oxy cho nước thải sau xử lý bằng đập tràn bản rộng dòng chảy rối. *Tạp chí Xây Dựng*, (07):86–89.
- [11] Hạ, T. Đ. (2018). *Làm giàu oxy qua các đập tràn trên hồ Yên Sở*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 3(2).
- [12] Hạ, T. Đ. (2010). *Các giải pháp tổng hợp cải thiện môi trường nước hồ đô thị*. Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường (IESE) - Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.
- [13] Hương, V. M. (2019). *Nghiên cứu mô hình kết hợp giữa bãi lọc trồng cây và hồ sinh học để xử lý nước thải khu dân cư ven đô lưu vực sông Cầu*. Luận án Tiến sỹ. Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.
- [14] Ung, T. T. H., Pham, T. H., Leu, T. B., Tran, T. H. H., Chu, H. N. (2019). *Research on application of flowforms in combination with planted constructed wetland for improving water quality of urban polluted lakes*. *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer Singapore, 489–494.
- [15] Zhao, S. C. (2004). Mechanisms of Lake Eutrophication and technologies for controlling in China. *Advances in Earth Sciences*, 19(1):138–140.
- [16] Wu, Y., Wen, Y., Zhou, J., Wu, Y. (2013). *Phosphorus release from lake sediments: Effects of pH, temperature and dissolved oxygen*. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(1):323–329.
- [17] Hoang, T.-H. T., Nguyen, V. D., Van, A. D., Nguyen, H. T. T. (2019). *Decision tree techniques to assess the role of daily DO variation in classifying shallow eutrophicated lakes in Hanoi, Vietnam*. *Water Quality Research Journal*, 55(1):67–78.
- [18] Ung, T. T. H., Pham, T. H., Leu, T. B. (2019). *Research on fabricating flowforms from ultra-high performance concrete with local admixtures for use in processing contaminated water*. *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer Singapore, 483–488.
- [19] Hà, U. T. T., Bach, L. T. (2017). An overview of studies on application of flowform for wastewater treatment. *Proceeding of International Workshop on “Environmental & Architectural Design for Sustainable Development Jointly”*, 62–73.
- [20] Bách, L. T., Hà, U. T. T. (2016). Nghiên cứu ứng dụng các mẫu định hình dòng chảy kết hợp với bãi lọc trồng cây nhằm ngăn chặn ô nhiễm bởi nước rỉ rác từ các bãi chôn lấp rác thải đô thị. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, (27):104–112.
- [21] Kadlec, R. H., Wallace, S. (2008). *Treatment wetlands*. CRC press.
- [22] Wilkes, A. J. (2003). *Flowforms the rhythmic power of water*. Floris Books, Edinburgh.