

ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG NGUỒN NƯỚC SINH HOẠT CỦA MỘT SỐ ĐƠN VỊ LỰC LƯỢNG GÌN GIỮ HÒA BÌNH LIÊN HỢP QUỐC TẠI NAM SUDAN, NĂM 2025-2026

Phan Thế Nhật¹, Nguyễn Mạnh Hiệp¹, Bùi Minh Đức¹
Lương Xuân Hội¹, Phạm Công Tình¹, Trần Đức Tài^{1*}

TÓM TẮT

Mục tiêu: Đánh giá chất lượng nguồn nước sinh hoạt của một số đơn vị thuộc Lực lượng Gìn giữ hòa bình Liên hợp quốc, đóng quân tại Bentiu, Nam Sudan, từ tháng 9/2025-02/2026.

Đối tượng và phương pháp: Nghiên cứu mô tả cắt ngang 60 mẫu nước sinh hoạt tại 10 đơn vị thuộc Lực lượng Gìn giữ hòa bình Liên hợp quốc, tại Bentiu, Nam Sudan, từ tháng 9/2025-02/2026. Phân tích mẫu nước theo 13 chỉ tiêu hóa lý, gồm các thông số giám sát thường xuyên (nhóm A) và các thông số kiểm soát định kỳ (nhóm B), theo quy chuẩn kỹ thuật quốc gia Việt Nam QCVN 01-1:2024/BYT, phù hợp với tiêu chuẩn quốc tế (ISO5667). Xử lý thống kê bằng kiểm định phi tham số.

Kết quả: Tỷ lệ mẫu nước có hàm lượng một số kim loại vượt ngưỡng cao (Mangan: 80%; Đồng: 15%). Tỷ lệ mẫu nước không đạt do ô nhiễm Nitơ và dư lượng Clo dư cao (Amoni: 71,67%, Nitrat: 75,0%, Clo dư tự do: 53,33%). Tỷ lệ mẫu nước đạt chuẩn toàn bộ ở mức rất thấp (11,67%). Tỷ lệ mẫu nước đạt chuẩn ở nhóm A dao động từ 60,0-80,0%; ở nhóm B từ 68,75-75,0%.

Kết luận: Chất lượng nước sinh hoạt tại các đơn vị đóng quân ở Bentiu, Nam Sudan tiềm ẩn rủi ro về mặt hóa sinh học do ô nhiễm Nitơ và suy giảm nồng độ Clo tự do. Định kỳ thay màng lọc hệ thống lọc RO và sục rửa đường ống dẫn có thể duy trì các chỉ số cốt lõi chất lượng nước trong giới hạn an toàn.

Từ khóa: Chất lượng nước sinh hoạt, Nam Sudan, QCVN 01-1:2024/BYT, Bệnh viện Dã chiến cấp 2.

ASSESSMENT OF DOMESTIC WATER QUALITY AMONG UNITED NATIONS PEACEKEEPING UNITS IN SOUTH SUDAN (2025-2026)

ABSTRACT

Objectives: Assessment of domestic water quality among selected united nations peacekeeping units stationed in Bentiu, South Sudan (September 2025 - February 2026)

Subjects and methods: A cross-sectional descriptive study was conducted on 60 domestic water samples collected from 10 United Nations Peacekeeping units in Bentiu, South Sudan, between September 2025 and February 2026. Water samples were analyzed for 13 physicochemical parameters, including routine monitoring parameters (Group A) and periodic control parameters (Group B), in accordance with the Vietnamese National Technical Regulation QCVN 01-1:2024/BYT and aligned with international standards (ISO 5667). Statistical analysis was performed using non-parametric tests.

Results: A high proportion of water samples exceeded the permissible limits for certain heavy metals, specifically manganese (80.0%) and copper (15.0%). Non-compliance was predominantly driven by nitrogen contamination and elevated free residual chlorine, with excess levels observed for ammonium (71.67%), nitrate (75.0%), and free residual chlorine (53.33%). Overall compliance across all evaluated parameters was remarkably low, at only 11.67%. The compliance rates for individual parameters ranged from 60.0% to 80.0% in Group A (routine monitoring) and from 68.75% to 75.0% in Group B.

Conclusions: Domestic water quality across military units stationed in Bentiu, South Sudan, poses potential biochemical risks due to nitrogen contamination and the degradation of free residual chlorine levels. Periodic replacement of reverse osmosis (RO) membranes along with flushing of distribution pipelines can effectively maintain core water quality parameters within safe limits.

Keywords: Domestic water quality; South Sudan; QCVN 01-1:2024/BYT; Level 2 Field Hospital.

Chịu trách nhiệm nội dung: Trần Đức Tài, Email: ductai1904@gmail.com

Ngày nhận bài: 16/6/2026; mời phản biện khoa học: 7/2026; chấp nhận đăng: 21/8/2026.

¹Bệnh viện Dã chiến cấp 2 số 7 Việt Nam tại Nam Sudan.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nước sạch đóng vai trò nền tảng không thể thay thế đối với sự sinh tồn, duy trì sức khỏe và phát triển bền vững của con người. Nước là nguồn tài nguyên bao phủ phần lớn bề mặt trái đất. Tuy nhiên, lượng nước ngọt có khả năng tiếp cận và sử dụng an toàn cho mục đích ăn uống, sinh hoạt chỉ chiếm một tỉ lệ rất nhỏ. Theo thống kê của Tổ chức Y tế thế giới và Quỹ Nhi đồng Liên hợp quốc, khả năng tiếp cận nguồn nước sạch và điều kiện vệ sinh cơ bản đóng góp trực tiếp vào tỉ lệ bệnh tật toàn cầu, là nguyên nhân gây ra các bệnh lý truyền nhiễm đường tiêu hóa, làm gia tăng thách thức về thực trạng tiếp cận và sử dụng nước sạch tại cộng đồng [1], [2].

Nam Sudan chịu ảnh hưởng của xung đột và biến đổi khí hậu, với tình hình dịch bệnh phức tạp và môi trường ô nhiễm. Khu vực này đặc trưng bởi các vùng ngập nước theo mùa, đan xen với các vùng khô hạn cằn cỗi, cùng với sự tập trung đông đảo của các trại tị nạn xung quanh căn cứ đóng quân. Hệ thống hạ tầng cơ sở dân sự tại đây sơ sài, khiến nguồn cung cấp nước sinh hoạt cho toàn bộ lực lượng phụ thuộc hoàn toàn vào việc khai thác nước ngầm có cấu trúc thủy văn phức tạp [3]. Lực lượng Gìn giữ hòa bình (GGHB) Liên hợp quốc đóng quân tại khu vực Bentiu, Nam Sudan đến từ nhiều quốc gia, vùng lãnh thổ, trong đó có Bệnh viện Dã chiến cấp 2 số 7 (BVDC2.7) Việt Nam. Không chỉ thực hiện nhiệm vụ tại chỗ trong điều kiện thực địa khắc nghiệt; khi hành quân, các đơn vị phải sử dụng nước bề mặt được xử lý thông qua các trạm lọc dã chiến cơ động [4]. Các trạm cấp nước được thiết kế theo tiêu chuẩn với hệ thống lọc thẩm thấu ngược và khử trùng bằng hóa chất, hoạt động liên tục với cường độ cao, trong điều kiện nhiệt độ môi trường khắc nghiệt, mức độ bụi bẩn cao và thiếu hụt về vật tư, linh kiện thay thế. Đặc tính thủy văn thay đổi theo mùa và thực trạng vệ sinh môi trường từ khu vực dân cư lân cận tiềm ẩn nguy cơ cao thẩm thấu các chất ô nhiễm hữu cơ và vô cơ vào mạch nước ngầm. Những yếu tố này tạo ra áp lực lên hệ thống xử lý nước, khiến chất lượng nước đầu ra có nguy cơ biến động.

Việc sử dụng nguồn nước không đạt chuẩn không chỉ gây ra các bệnh lý cấp tính (như tiêu chảy, lỵ, thương hàn, tả...) làm giảm ngay tỉ lệ quân số khỏe mạnh, mà còn tiềm ẩn nguy cơ rủi ro sức khỏe mạn tính nghiêm trọng do phơi nhiễm kéo dài với các hợp chất hóa học độc hại, nguyên tố kim loại. Việc tổ chức đánh giá, giám sát và phân tích định kỳ chất lượng nguồn nước là yêu cầu bắt buộc và cấp thiết đối với các đơn vị thuộc Lực lượng GGHB Liên hợp quốc đóng quân tại khu vực Bentiu, Nam Sudan.

Nghiên cứu này được tiến hành nhằm mục tiêu đánh giá chất lượng nguồn nước sinh hoạt tại các đơn vị thuộc Lực lượng GGHB Liên hợp quốc, đóng quân tại Bentiu, Nam Sudan, làm cơ sở đề xuất giải pháp bảo đảm chất lượng nguồn nước sinh hoạt.

2. ĐỐI TƯỢNG, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

60 mẫu nước sinh hoạt của 10 đơn vị thuộc Lực lượng GGHB Liên hợp quốc, đóng quân tại Bentiu, Nam Sudan. Mẫu nước được lựa chọn:

- Lấy mẫu tại 10 điểm cấp nước cho các đơn vị thuộc Phái bộ UNMISS, Liên hợp quốc, đóng quân rải rác xung quanh căn cứ chính tại Bentiu, Nam Sudan (gồm các phân khu của Ghana, Pakistan, Mông Cổ và BVDC2.7 Việt Nam).

- Nguồn nước tại mỗi điểm đã được xử lý theo quy trình nội bộ của các trạm lọc dã chiến (lọc thô, lọc tinh, màng lọc thẩm thấu ngược và khử trùng bằng hóa chất) trước khi bơm trực tiếp ra vòi sử dụng.

- Mẫu nước được thu thập liên tục, định kỳ mỗi tháng lấy 1 mẫu tại mỗi điểm, trong thời gian từ tháng 9/2025 đến tháng 02/2026 (là giai đoạn chuyển tiếp giữa các chu kỳ biến đổi thời tiết mùa mưa và mùa khô tại khu vực này).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Thiết kế nghiên cứu: mô tả cắt ngang.

- Quy trình lấy mẫu và bảo quản tuân thủ kỹ thuật theo các hướng dẫn chuyên môn của Việt Nam (TCVN 6663), phù hợp với tiêu chuẩn quốc tế (ISO5667) [5]:

- + Lấy mẫu trực tiếp tại các vòi nước sinh hoạt đầu cuối chỉ định: sát trùng đầu vòi; xả bỏ liên tục nước trong 5 phút để làm sạch nước đọng trong đường ống. Súc rửa các bình chứa mẫu chuyên dụng 3 lần bằng chính nguồn nước tại vòi lấy mẫu. Thu thập mẫu nước vào đầy bình chứa, đậy kín, niêm phong, dán nhãn.

- + Mẫu nước đặt trong thùng bảo quản lạnh (từ 2-8°C), vận chuyển về phòng xét nghiệm nước của BVDC2.7, thực hiện trong thời gian quy định.

- Các thông số phân tích và nhóm chỉ tiêu: phân tích 13 chỉ tiêu hóa lý và phân loại thành 2 nhóm chính theo chuẩn phân định của Bộ Y tế [5]:

- + Nhóm A (các thông số giám sát thường xuyên): độ đục, chỉ số pH, Clo dư tự do.

- + Nhóm B (các thông số kiểm soát định kỳ): độ cứng tổng, Amoni, Nitrit, Nitrat, Sunfat, Sắt, Mangan, Đồng, Nhôm.

- Tiêu chuẩn đánh giá: áp dụng hệ thống tiêu chuẩn theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt (QCVN 01-1:2024/BYT), gồm:

+ Mẫu nước đạt tổng thể: khi toàn bộ các chỉ tiêu thành phần phân tích đều có giá trị nằm trong khoảng tham chiếu hoặc dưới mức giới hạn tối đa cho phép, gồm: độ đục ≤ 2 NTU; pH từ 6,0-8,5; Amoni (tính theo Nitơ) ≤ 1 mg/L; Nitrit (tính theo Nitơ) $\leq 0,9$ mg/L; Nitrat (tính theo Nitơ) ≤ 11 mg/L; Clo dư tự do từ 0,2-1,0 mg/L; độ cứng tổng ≤ 300 mg/L; Sunfat ≤ 250 mg/L; Sắt $\leq 0,3$ mg/L; Mangan $\leq 0,1$ mg/L; Đồng $\leq 1,0$ mg/L; Nhôm $\leq 0,2$ mg/L.

+ Mẫu nước không đạt: khi có bất kỳ một thông số hóa lí nào vượt ngoài khoảng tham chiếu.

- Xử lý số liệu: dữ liệu được nhập vào Microsoft

Excel, phân tích bằng phần mềm thống kê R. Các biến số không tuân theo quy luật phân bố chuẩn được trình bày dưới dạng giá trị trung vị và khoảng tứ phân vị. Các biến số tuân theo quy luật phân bố chuẩn được trình bày dưới dạng giá trị trung bình và độ lệch chuẩn. Các biến phân loại trình bày chi tiết dưới dạng tần số tuyệt đối và tỉ lệ phần trăm. So sánh sự khác biệt bằng kiểm định phi tham số Kruskal-Wallis. Khác biệt có ý nghĩa thống kê khi giá trị $p < 0,05$.

- Đạo đức nghiên cứu: mọi thông tin chi tiết được bảo mật và chỉ phục vụ cho mục đích nghiên cứu. Số liệu nghiên cứu được BVDC2.7 Việt Nam cho phép sử dụng và công bố. Nhóm tác giả cam kết không có xung đột về lợi ích.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Bảng 1. Đặc điểm các chỉ tiêu chất lượng nước và tỉ lệ mẫu nước đạt/không đạt

Chỉ tiêu	Ngưỡng QCVN	Trung vị (Q1-Q3)	Min-Max	Không đạt (n = 60) (n, %)
Độ đục (NTU)	$\leq 2,0$	0,00 (0,00-0,00)	0,00-7,20	5 (8,33)
pH	6,0-8,5	7,08 (6,53-7,25)	5,20-8,11	4 (6,67)
Amoni (mg/L)	$\leq 1,0$	2,00 (0,20-2,00)	0,02-2,00	43 (71,67)
Nitrit (mg/L)	$\leq 0,9$	0,20 (0,20-0,20)	0,02-9,60	2 (3,33)
Nitrat (mg/L)	$\leq 11,0$	23,50 (11,50-26,00)	1,62-38,00	45 (75,00)
Sulfat (mg/L)	$\leq 250,0$	47,10 (16,28-280,00)	2,30-427,00	17 (28,33)
Clo dư (mg/L)	0,2-1,0	0,19 (0,07-0,32)	0,00-0,91	32 (53,33)
Độ cứng (mg/L)	≤ 300	104,50 (39,35-250,00)	4,90-350,00	7 (11,67)
Sắt (mg/L)	$\leq 0,3$	0,20 (0,20-0,20)	0,03-0,50	1 (1,67)
Nhôm (mg/L)	$\leq 0,2$	0,10 (0,08-0,10)	0,01-0,60	1 (1,67)
Mangan (mg/L)	$\leq 0,1$	0,20 (0,20-0,20)	0,01-0,20	48 (80,00)
Đồng (mg/L)	$\leq 1,0$	0,20 (0,11-1,00)	0,04-4,00	9 (15,00)
Mùi	Không mùi	-	-	0 (0,00)

Phần lớn các chỉ tiêu như pH, độ đục, Sắt và Nhôm có tỉ lệ không đạt thấp (dưới 10%). Ngược lại, tỉ lệ không đạt cao ghi nhận được ở các chỉ tiêu Amoni (71,67%), Nitrat (75,00%), Mangan (80,00%) và Clo dư tự do (53,33%). Các chỉ tiêu Nitrit, Sulfat và độ cứng có tỉ lệ không đạt ở mức trung gian.

Bảng 2. Các biến tổng hợp phản ánh chất lượng nước của mẫu nghiên cứu

Biến tổng hợp		Giá trị
Tỉ lệ đạt chung (%), trung vị đạt (Q1-Q3)		69,23 (63,46-76,92)
Số chỉ tiêu không đạt, trung vị (Q1-Q3)		4,00 (3,00-4,75)
Mức độ không đạt (n, %)	Mức nhẹ (1-2 chỉ tiêu)	11 (18,33)
	Không đạt mức vừa (3-4 chỉ tiêu)	34 (56,67)
	Không đạt mức nặng (≥ 5 chỉ tiêu)	15 (25,00)
Có ô nhiễm hợp chất Nitơ (n, %)		52 (86,67)
Có ô nhiễm kim loại (n, %)		51 (85,00)
Không đạt chỉ tiêu xử lý nước (n, %)		37 (61,67)
Tỉ lệ đạt nhóm A (%), trung vị (Q1-Q3)		80,00 (60,00-80,00)
Tỉ lệ đạt nhóm B (%), trung vị (Q1-Q3)		75,00 (62,50-75,00)

Tỉ lệ đạt chung của các mẫu nước có trung vị là 69,23% (Q1-Q3: 63,46-76,92). Số chỉ tiêu không đạt của các mẫu nước trung vị là 4,00 (Q1-Q3: 3,00-4,75). Phân loại theo mức độ không đạt, thấy phần lớn mẫu nước ở mức không đạt vừa (56,67%), tiếp đến là không đạt nặng (25,00%) và không đạt nhẹ (18,33%). Tỉ lệ mẫu có ô nhiễm hợp chất Nitơ là 86,67% và ô nhiễm kim loại là 85,00%. Có 61,67% mẫu không đạt các chỉ tiêu xử lý nước. Tỉ lệ đạt nhóm A và nhóm B lần lượt là 80,00% và 75,00%.

Bảng 3. So sánh chất lượng nước tại BVDC2.7 Việt Nam với các đơn vị còn lại

Biến	BVDC2.7 (n = 6)	Đơn vị khác (n = 54)	p
Tỉ lệ đạt chung (%), trung vị (Q1-Q3)	92,31 (84,62-100,00)	69,23 (61,54-76,92)	< 0,001*
Số chỉ tiêu không đạt, trung vị (Q1-Q3)	1,00 (0,00-2,00)	4,00 (3,00-5,00)	< 0,001*
Tỉ lệ đạt nhóm B (%), trung vị (Q1-Q3)	100,00 (87,50-100,00)	75,00 (62,50-75,00)	< 0,001*
Có ô nhiễm Nitơ (n, %)	2 (33,3)	50 (92,6)	0,002**
Có ô nhiễm kim loại (n, %)	0 (0,0)	51 (94,4)	< 0,001**
Mẫu đạt toàn bộ 13 chỉ tiêu (n, %)	2 (33,3)	1 (1,9)	0,024**
Không đạt chỉ tiêu xử lý nước (n, %)	4 (66,7)	33 (61,1)	1,000**

*Phép kiểm Mann - Whitney U; **Phép kiểm Fisher exact.

Nguồn nước sinh hoạt của BVDC2.7 Việt Nam có tỉ lệ đạt chung (92,31%) cao hơn và số chỉ tiêu không đạt (1,00) thấp hơn so với các đơn vị còn lại (lần lượt là 69,23% và 4,00), khác biệt với $p < 0,001$. Nguồn nước sinh hoạt tại BVDC2.7 Việt Nam có tỉ lệ mẫu đạt ở nhóm B cao hơn ($p < 0,001$), tỉ lệ mẫu có ô nhiễm hợp chất Nitơ và ô nhiễm kim loại thấp hơn (lần lượt với $p = 0,002$ và $p < 0,001$). Tỉ lệ mẫu nước đạt toàn bộ 13 chỉ tiêu của BVDC2.7 Việt Nam (33,3%) cao hơn ở đơn vị khác (1,9%), với $p = 0,024$. Không ghi nhận sự khác biệt về tỉ lệ không đạt chỉ tiêu xử lý nước giữa mẫu nước tại BVDC2.7 Việt Nam so với các đơn vị khác ($p > 0,05$).

Bảng 4. So sánh các biến số tổng hợp theo tháng lấy mẫu

Biến số	Tháng lấy mẫu						p
	9/2025	10/2025	11/2025	12/2025	01/2026	02/2026	
Số chỉ tiêu xử lý không đạt (0-4)	0.0 (0.0-1.0)	0.5 (0.0-1.0)	1.0 (1.0-1.0)	1.0 (1.0-1.0)	1.0 (0.0-1.0)	0.5 (0.0-1.0)	0,009*
Không đạt chỉ tiêu xử lý nước (n, %) (n = 10)	3 (30.0)	5 (50.0)	9 (90.0)	9 (90.0)	6 (60.0)	5 (50.0)	0,033**

*Phép kiểm Kruskal-Wallis; **Phép kiểm Fisher exact.

Không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các tháng đối với hầu hết các chỉ tiêu ($p > 0,05$). Số chỉ tiêu xử lý nước không đạt khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các tháng ($p = 0,009$). Tỉ lệ mẫu không đạt chỉ tiêu xử lý nước cũng khác biệt giữa các tháng ($p = 0,033$).

4. BÀN LUẬN

4.1. Đánh giá chất lượng nước chung theo tiêu chuẩn QCVN 01-1:2024/BYT

Kết quả đánh giá tổng thể chỉ ra thực trạng đáng lo ngại khi chỉ có 11,67% tổng số mẫu nước nghiên cứu đáp ứng đầy đủ các tiêu chuẩn an toàn sinh hoạt. Tỉ lệ này thấp hơn so với kì vọng đối với một hệ thống cấp nước được đầu tư vận hành cho lực lượng quân đội; đồng thời thấp hơn so với các báo cáo đánh giá chất lượng nước sinh hoạt quy mô nhỏ tại Việt Nam [6]. Tỉ lệ đạt chuẩn thấp này không

phân bổ đều trên toàn bộ các yếu tố, mà khu trú vào một số khía cạnh cụ thể. Một chỉ số quan trọng là pH trung vị đạt 7,08 (nằm trong khoảng tham chiếu tối ưu 6,5-8,5). Đây là chỉ số kỹ thuật hết sức quan trọng, giúp bảo vệ hệ thống cơ sở hạ tầng đã chiến. Nguồn nước có pH trung tính giúp triệt tiêu hiện tượng ăn mòn điện hóa học trên bề mặt đường ống dẫn nước kim loại và các thiết bị bơm, trực tiếp ngăn chặn sự hòa tan ngược trở lại của kim loại từ đường ống vào nước.

Tuy nhiên, nguồn nước lại bộc lộ rủi ro ô nhiễm kim loại và các hợp chất Nitơ nghiêm trọng, như số mẫu không đạt chuẩn đối với nguyên tố kim loại còn khá cao: Mangan 48 mẫu (chiếm 80,0%), Đồng 9 mẫu (chiếm 15,0%). Sự hiện diện của nguyên tố kim loại vượt ngưỡng đòi hỏi phương pháp xử lý triệt để, đưa nồng độ về ngưỡng an toàn [8]. Hệ thống lọc cũng thể hiện sự hạn chế trước sự

xâm nhập của các hợp chất hữu cơ chứa Nitơ, với tỉ lệ trượt chuẩn do dư thừa Amoni (71,67%) và Nitrat (75,00%). Điều này cảnh báo về tình trạng ô nhiễm của tầng nước ngầm ban đầu - thường xuất phát từ chất thải sinh hoạt thẩm thấu qua các tầng nước nông, đặc biệt tại khu vực có mật độ tập trung đông đúc các khu trại tị nạn như ở Bentiu. Việc phơi nhiễm liên tục với nguồn nước có nồng độ Nitrat cao (có mẫu lên tới 38 mg/L so với ngưỡng 11 mg/L) có khả năng gây ra tình trạng thiếu oxy mô mạn tính mức độ nhẹ, làm suy giảm sức bền thể lực của quân nhân.

Ngoài ra, chỉ tiêu Clo dư tự do chính là nguyên nhân cơ học lớn nhất kéo tỉ lệ đạt chuẩn tổng thể xuống thấp (tỉ lệ không đạt lên tới 53,33%, có thời điểm lên đến 88,33%). Hàm lượng Clo dư trung vị chỉ dao động quanh mức 0,19 mg/L, xấp xỉ ngưỡng tối thiểu yêu cầu (0,2 mg/L). Việc nồng độ Amoni trong nước đầu vào rất cao đã tạo ra phản ứng hóa học “cướp” đi lượng Clo tự do để tạo thành Cloramin, làm cạn kiệt Clo dư có khả năng tấn công vi khuẩn, từ đó tạo ra các vùng mù khuẩn trùng ở các khu vực vòi nước phía cuối đường ống dẫn [9].

4.2. So sánh chất lượng nước giữa các nhóm thông số giám sát (nhóm A và nhóm B)

Việc phân chia và đối chiếu chất lượng giữa hai nhóm thông số A và B cho phép đánh giá độc lập giữa quy trình vận hành bảo dưỡng hàng ngày (nhóm A) và năng lực xử lý cốt lõi của hệ thống màng lọc (nhóm B). Theo kết quả nghiên cứu, tỉ lệ đạt của nhóm A (bao gồm độ đục, pH, Clo dư) có trung vị 80,00%, cao hơn so với tỉ lệ đạt của nhóm B (bao gồm độ cứng tổng, nguyên tố kim loại và các hợp chất chứa Nitơ) với trung vị là 75,00%. Nhóm A là các thông số giám sát thường xuyên, phản ánh tính chất vật lý cơ bản và động lực học của quá trình vận hành hàng ngày. Việc nhóm A duy trì được tỉ lệ đạt tương đối khả quan chủ yếu nhờ vào các chỉ số pH và độ đục luôn được kiểm soát tốt (tỉ lệ không đạt rất thấp, chỉ từ 6,67-8,33%). Điều này chứng tỏ khâu xử lý thô và cân bằng tính chất vật lý của nước tại các trạm lọc đã chiến đang hoạt động hiệu quả. Điểm yếu duy nhất kéo sụt chất lượng nhóm A chính là sự hụt chuẩn của nồng độ Clo dư tự do do tốc độ bốc hơi nhanh và phản ứng hóa học với tạp chất hữu cơ. Ngược lại, sự suy giảm chất lượng ở nhóm B (75,00%) lại phản ánh một lỗ hổng mang tính hệ thống hơn. Nhóm B quy tụ các chỉ tiêu phức tạp như Nitrat, Amoni, Mangan, Đồng... đòi hỏi hiệu năng khắt khe từ màng lọc thẩm thấu ngược (Reverse Osmosis - RO). Phân tử Nitrat và Amoni có kích thước rất nhỏ; việc các chỉ số này và nguyên tố kim loại vượt ngưỡng

với tần suất dày đặc chứng tỏ các module màng lọc RO tại nhiều phân khu đã vượt quá giới hạn công suất, chịu tổn thương vi thể hoặc vật liệu lọc đã đến thời hạn bảo trì [10].

Có sự khác biệt đáng kể khi đối chiếu chất lượng nước ở BVDC2.7 Việt Nam (nơi quy trình bảo trì, thay thế màng lọc RO được thực hiện nghiêm ngặt) với các đơn vị còn lại trong nghiên cứu. Tại BVDC2.7 Việt Nam, tỉ lệ mẫu nước đạt nhóm B lên tới 100% so với mức trung vị 75,0% của các đơn vị khác ($p < 0,001$); đồng thời, tỉ lệ ô nhiễm kim loại là 0% và ô nhiễm Nitơ ở mức khá thấp (33,3%). Điều này khẳng định rằng, sự trượt chuẩn của nhóm B ở bình diện chung không phải là yếu tố bất khả kháng của tự nhiên, mà hoàn toàn phụ thuộc vào năng lực bảo dưỡng, tần suất thay thế màng RO định kì, và quy trình sục rửa đường ống của từng đơn vị đóng quân.

Bên cạnh đó, sự biến thiên về tỉ lệ không đạt các tiêu chí xử lý nước qua các tháng ($p = 0,033$) cũng bộc lộ sự thiếu ổn định mang tính chu kì của hệ thống. Tỉ lệ mẫu trượt chuẩn có xu hướng gia tăng rõ rệt vào giai đoạn chuyển mùa (từ tháng 11 đến tháng 12). Theo các báo cáo về thủy văn học, sự thay đổi đột ngột về lượng mưa và nhiệt độ trong thời kỳ giao mùa tại Nam Sudan làm thay đổi áp lực thẩm thấu, gia tăng tải lượng chất ô nhiễm bề mặt ngấm vào tầng chứa nước nông [3]. Sự gia tăng đột biến của nồng độ chất ô nhiễm này tạo ra áp lực quá tải cục bộ lên các màng lọc RO. Do đó, lực lượng hậu cần kỹ thuật cần thiết lập kế hoạch dự phòng vật tư và tăng cường tần suất thay thế màng lọc ngay trước thềm chuyển mùa nhằm duy trì độ an toàn của nguồn nước [4].

Hạn chế của nghiên cứu:

Thời gian nghiên cứu 6 tháng chưa thực sự bao quát trọn vẹn một chu kỳ sinh thái khí hậu đầy đủ (mùa mưa ngập lụt và mùa khô hạn đỉnh điểm) tại Nam Sudan để có thể đánh giá toàn diện sự thay đổi dòng chảy mạch nước ngầm. Do rào cản về trang thiết bị sinh học phân tử tại phòng thí nghiệm dã chiến (BVDC2.7. thời điểm này chưa triển khai được xét nghiệm định tính *Coliform* và *E. coli* trong nước), nghiên cứu mới chỉ tập trung phân tích sâu các chỉ tiêu hóa lí mà chưa đưa được các chỉ tiêu vi sinh vật đặc hiệu (định tính hoặc định lượng vi khuẩn *Coliform*, *E. coli*) vào đánh giá đồng bộ, làm giảm khả năng đo lường chính xác và toàn diện. Cỡ mẫu nhỏ và chênh lệch lớn giữa nhóm Việt Nam ($n = 6$) với nhóm các đơn vị bạn ($n = 54$) nên trong trường hợp này làm giảm sức mạnh thống kê, dễ dẫn đến sai lầm loại 2 (không phát hiện sự khác biệt thực sự nếu có) và tính đại diện cho kiểu giá trị

cũng sẽ thấp vì thể khoảng từ phân vị (Q1-Q3) của Việt Nam sẽ rất rộng, thể hiện độ biến động dữ liệu lớn và độ tin cậy nội bộ chưa cao.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Chất lượng nguồn nước sinh hoạt tại các đơn vị thuộc Lực lượng Gìn giữ hòa bình Liên hợp quốc tại phân khu Bentiu, Nam Sudan thời điểm nghiên cứu đang đối mặt với những thách thức về tính toàn vẹn hóa sinh học, với tỉ lệ đạt chuẩn tổng thể theo Quy chuẩn QCVN 01-1:2024/BYT ở mức thấp (11,67%). Một số nguyên tố kim loại trong nước có tỉ lệ vượt ngưỡng cho phép của QCVN khá cao: Mangan vượt ngưỡng ở 80% mẫu (ngưỡng $\leq 0,1$ mg/L), Đồng vượt ngưỡng ở 15,0% mẫu (ngưỡng $\leq 1,0$ mg/L). Nguồn nước không đạt chuẩn do tồn dư vượt ngưỡng QCVN về các hợp chất ô nhiễm chứa Nitơ có tỉ lệ cao: Amoni không đạt 71,67% (ngưỡng ≤ 1 mg/L), Nitrat không đạt 75% (ngưỡng ≤ 11 mg/L). Kết quả xử lý nguồn nước sinh hoạt tại BVDC2.7 Việt Nam (bằng định kỳ thay màng lọc RO và súc rửa đường ống) có tác động tốt đến chất lượng nước sinh hoạt so với các đơn vị khác.

Từ kết quả nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một số giải pháp kỹ thuật nhằm bảo đảm chất lượng nguồn nước sinh hoạt cho các đơn vị thuộc Lực lượng Gìn giữ hòa bình Liên hợp quốc trên địa bàn Bentiu, Nam Sudan như sau:

- Khắc phục triệt để ô nhiễm Nitơ: các bộ phận kỹ thuật thường xuyên rà soát, đánh giá tính toàn vẹn cơ học đối với hệ thống màng lọc RO trong hệ thống xử lý nguồn nước sinh hoạt tại các phân khu có chỉ số Nitrat và Amoni cao; có kế hoạch và thực hiện việc định kỳ bảo dưỡng, thay thế các màng lọc, cột lọc trong hệ thống lọc nước RO tại đơn vị; thiết kế bổ sung các cột lọc chứa hạt nhựa trao đổi anion chuyên biệt hoặc vật liệu lọc khử Nitrat chuyên dụng vào hệ thống xử lý nước hiện hữu để bóc tách triệt để phân tử ô nhiễm có kích thước nhỏ.

- Chuẩn hóa quy trình khử trùng Clo: nên trang bị và lắp đặt hệ thống bơm châm hóa chất định lượng tự động. Căn cứ vào nồng độ Amoni tồn dư cao, tính toán toán học để tăng liều lượng Clo châm ban đầu vượt qua điểm rẽ, nhằm bề gãy hoàn toàn liên kết Cloramin. Từ đó, bảo đảm nguồn nước sau phản ứng vẫn còn duy trì được lượng Clo tự do tiêu chuẩn từ 0,2-1,0 mg/L tại các vòi nước cuối nhánh.

- Thiết lập giám sát thời gian thực: nên trang bị và sử dụng bộ dụng cụ kiểm tra nhanh đo Clo dư và thiết bị đo Nitrate điện tử cầm tay cho các tổ quân y; định kỳ thực hiện lấy mẫu đo lường chỉ số Clo dư tại vòi nước sinh hoạt để đánh giá chính

xác tốc độ bốc hơi hóa chất Clo dư, cung cấp tham số chính xác cho việc điều chỉnh thiết bị châm Clo tự động.

- Định kỳ vệ sinh hạ tầng cấp nước sinh hoạt: xây dựng và định kỳ thực hiện đúng kế hoạch tổng thau rửa, súc xả, tiết trùng toàn bộ hệ thống bồn chứa nước, đường ống dẫn nước nội bộ đơn vị nhằm phá vỡ cấu trúc và tiêu diệt hoàn toàn các màng sinh học (Biofilm) đã hình thành và bám trong lòng ống do thời gian dài nguồn nước không duy trì được ngưỡng Clo dư bảo vệ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) & Quỹ Nhi đồng Liên hợp quốc (UNICEF) (2015), *Tiến trình về nước uống và vệ sinh*.
2. Viện Y học lao động và Vệ sinh môi trường (2020), *Báo cáo thực trạng tiếp cận và sử dụng nước sạch tại cộng đồng*.
3. W.K. Deng et al. (2021), "Groundwater quality and hydrogeochemistry in South Sudan: A comprehensive review", *Journal of African Earth Sciences*, 178, 104169.
4. Liên hợp quốc (2020), *Sổ tay hướng dẫn quản lý môi trường tại các Phái bộ Gìn giữ hòa bình (UN Environmental Guidelines for Peacekeeping Operations)*.
5. Bộ Y tế (2024), *QCVN 01-1:2024/BYT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt*.
6. Nguyễn Thị Hải Hà và cộng sự (2022), "Thực trạng chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt của một số cơ sở cung cấp nước tại Việt Nam", *Tạp chí Y học Việt Nam*, tập 514.
7. Đặng Xuân Thư và cộng sự (2016), "Xác định hàm lượng Cu, Pb, Cd, Mn trong nước thải và nước sinh hoạt bằng phương pháp quang phổ hấp thụ nguyên tử", *Tạp chí khoa học Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh*, số 6 (84).
8. Nguyễn Việt Kỳ và cộng sự (2018), "Diễn biến ô nhiễm kim loại trong nước dưới đất các tầng Pleistocene ở Thành phố Hồ Chí Minh", *Science & Technology Development Journal*.
9. WHO (2022), *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*, Geneva.
10. Trần Thị Bích và cộng sự (2021), "Đánh giá hiệu quả xử lý Amoni và Nitrat trong nước ngầm bằng công nghệ màng lọc thẩm thấu ngược (RO)", *Tạp chí Môi trường*, số 4, trang 25-29. □