

Quản lý chất lượng nguồn nước cấp theo hướng đảm bảo cấp nước an toàn: Kinh nghiệm thế giới

Water source quality management towards water safety plan: Experiences from selected countries

> THS NGUYỄN PHƯƠNG TÚ^{1,*}, PGS.TS ĐOÀN THU HÀ²

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

²Trường Đại học Thủy lợi

*Email: nptu@hunre.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh đô thị hóa, biến đổi khí hậu và gia tăng ô nhiễm nguồn nước, chất lượng nguồn nước cấp cho các đô thị tại Việt Nam đang chịu nhiều áp lực và thách thức nghiêm trọng. Quản lý chất lượng nguồn nước theo hướng đảm bảo cấp nước an toàn (Water Safety Plan - WSP) trở thành yêu cầu cấp thiết nhằm kiểm soát rủi ro, bảo vệ sức khỏe cộng đồng và đảm bảo an ninh nguồn nước bền vững. Bài báo sử dụng phương pháp tổng hợp, phân tích tài liệu và so sánh kinh nghiệm quốc tế để nghiên cứu các mô hình quản lý chất lượng nguồn nước theo tiếp cận quản lý tổng hợp tài nguyên nước và ứng dụng công nghệ hiện đại trong giám sát, cảnh báo sớm chất lượng nước. Kết quả nghiên cứu cho thấy xu hướng quản lý hiện đại tập trung vào quản lý theo lưu vực, tăng cường phối hợp liên ngành, ứng dụng công nghệ quan trắc thời gian thực, Internet vạn vật (IoT) và trí tuệ nhân tạo (AI) trong giám sát và dự báo chất lượng nguồn nước. Trên cơ sở đánh giá thực trạng quản lý tại Việt Nam, bài báo đề xuất một số giải pháp trọng tâm về thể chế, kỹ thuật và công nghệ nhằm nâng cao hiệu quả quản lý chất lượng nguồn nước và đảm bảo cấp nước an toàn cho các đô thị trong bối cảnh phát triển bền vững.

Từ khóa: Cấp nước đô thị; kế hoạch cấp nước an toàn; quản lý chất lượng nguồn nước; quan trắc chất lượng nước; quản lý tổng hợp tài nguyên nước.

ABSTRACT

In the context of rapid urbanization, climate change, and increasing water source pollution, the quality of urban water sources in Vietnam is facing significant pressures and challenges. Water source quality management towards the Water Safety Plan (WSP) approach has become an essential requirement to control risks, protect public health, and ensure sustainable water security. This study applies literature review, synthesis, and comparative analysis methods to examine international experiences in integrated water resources management and the application of advanced technologies in water quality monitoring and early warning systems. The results indicate that modern management approaches emphasize river basin management, inter-agency coordination, real-time monitoring technologies, the Internet of Things (IoT), and artificial intelligence (AI) for water quality assessment and prediction. Based on the assessment of current management practices in Vietnam, the paper proposes several key institutional, technical, and technological solutions to improve water source quality management and enhance urban water supply safety in the context of sustainable development.

Keywords: Urban water supply; Water Safety Plan (WSP); water source quality management; water quality monitoring; integrated water resources management.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tài nguyên nước là một trong những yếu tố nền tảng của phát triển bền vững. Bên cạnh trữ lượng, chất lượng nước đóng vai trò rất quan trọng [1]. Do đó, một trong những mối quan tâm hàng đầu của các nhà quản lý và cơ quan chức năng phụ trách cung cấp nước sạch

là việc giám sát các rủi ro tiềm ẩn, xác định và kiểm soát các điểm trọng yếu và mối nguy hiểm đe dọa hệ thống cấp nước từ nguồn cấp nước đến điểm tiêu thụ [2]. Tại Việt Nam, quá trình đô thị hóa nhanh chóng đã đẩy nhu cầu sử dụng nước lên cao. Nhu cầu sử dụng nước cho sinh hoạt, công nghiệp tại các đô thị đạt khoảng 13–

14 triệu m³/ngày đêm vào năm 2025 [1]. Tuy nhiên, tình trạng ô nhiễm nguồn nước mặt tại các lưu vực sông lớn (như sông Nhuệ - Đáy, sông Cầu, sông Đổng Nai - Sài Gòn), xâm nhập mặn vùng cửa sông (như sông Thái Bình, sông Đa Độ) và suy giảm chất lượng nước ngầm (thông qua một số khảo sát và báo cáo ví dụ amoni ở phía nam Hà Nội hoặc asen tại một số khu vực thuộc Đồng bằng sông Hồng) đang tạo ra áp lực khổng lồ [1]. Chính vì vậy, việc giám sát và dự báo chính xác chất lượng nguồn nước được lựa chọn là nguồn cấp cho các đô thị đóng vai trò hết sức quan trọng trong đảm bảo sức khỏe cộng đồng cũng như đảm bảo cấp nước an toàn, liên tục cho người sử dụng. Việc nghiên cứu kinh nghiệm quốc tế về quản lý chất lượng nguồn nước theo hướng đảm bảo cấp nước an toàn là yêu cầu cấp thiết nhằm hoàn thiện chiến lược quản lý tài nguyên nước tại Việt Nam. Hiện nay, các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào đánh giá hiện trạng chất lượng nước hoặc các giải pháp công nghệ xử lý nước, trong khi các nghiên cứu về quản lý chất lượng nguồn nước theo tiếp cận quản trị rủi ro, quản lý tổng hợp tài nguyên nước và Kế hoạch cấp nước an toàn còn tương đối hạn chế, đặc biệt trong bối cảnh ứng dụng công nghệ số và cảnh báo sớm chất lượng nguồn nước. Bài báo này tập trung nghiên cứu kinh nghiệm quản lý chất lượng nguồn nước thô cung cấp cho các nhà máy xử lý nước tại các đô thị ở một số quốc gia, đồng thời đề xuất một số giải pháp nâng cao hiệu quả quản lý chất lượng nguồn nước cấp tại Việt Nam.

2. QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG NGUỒN NƯỚC VÀ KẾ HOẠCH CẤP NƯỚC AN TOÀN

Quản lý chất lượng nước là một vấn đề cốt lõi trong công tác quản trị tài nguyên thiên nhiên, có sự chuyển đổi linh hoạt giữa các mô hình quản trị khác nhau; bao trùm các khía cạnh từ bảo vệ tài nguyên nước, thực thi các chỉ thị pháp lý, giám sát và duy trì các tiêu chuẩn chất lượng nước, cho đến khắc phục tình trạng ô nhiễm nước [2]. Quản lý hiệu quả chất lượng nước đòi hỏi phải có sự am hiểu toàn diện về các yếu tố tác động đến quá trình xử lý nước, từ đó làm cơ sở đưa ra những quyết định chuẩn xác nhằm đảm bảo an toàn nguồn nước và bảo vệ sức khỏe cộng đồng [3], [4], [5]. Trong đó, công tác dự báo chính xác chất lượng nước đóng vai trò then chốt, giúp các bên liên quan và các nhà hoạch định chính sách chủ động chuẩn bị ứng phó với các rủi ro tiềm ẩn; đồng thời tạo bước chuyển dịch từ việc phụ thuộc vào kinh nghiệm vận hành thủ công sang phương pháp tiếp cận dựa trên dữ liệu nhằm kiểm soát các công đoạn xử lý tới hạn.



Hình 1. Các bước thực hiện kế hoạch cấp nước an toàn [7]

Kế hoạch cấp nước an toàn đóng vai trò thiết yếu trong quản lý chất lượng nguồn nước. Theo tổng hợp và tóm tắt trong nghiên cứu

của Amin Kishipour và cộng sự, kế hoạch cấp nước an toàn là một công cụ cung cấp các nguyên tắc cho công tác quản lý rủi ro, điển hình như hệ thống phân tích mối nguy và điểm kiểm soát tới hạn (HACCP), mô hình đa rào cản, và đánh giá rủi ro [6]. Các bước thực hiện kế hoạch cấp nước an toàn nhằm đảm bảo chất lượng nguồn tài nguyên nước bao gồm tích hợp phân tích các yếu tố đặc thù tại từng địa điểm, xem xét mọi mối đe dọa tiềm ẩn có thể tồn tại trong hệ thống, đề xuất và đánh giá các biện pháp can thiệp, đồng thời xây dựng các chiến lược mới nhằm ngăn ngừa và/hoặc giảm thiểu rủi ro xuống mức tuân thủ các giới hạn quy định [7].

3. KINH NGHIỆM QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG NGUỒN NƯỚC CẤP TỪ MỘT SỐ NƯỚC TRÊN THẾ GIỚI

3.1. Kinh nghiệm quản lý tổng hợp tài nguyên nước tại Trung Quốc

Trung Quốc là một trong những quốc gia đối mặt với thách thức nghiêm trọng nhất về tài nguyên nước trên thế giới, bên cạnh tình trạng khan hiếm nước, quá trình công nghiệp hóa và đô thị hóa kéo dài nhiều thập kỷ đã gây ô nhiễm nghiêm trọng các lưu vực sông và hồ lớn. Trước áp lực đó, Trung Quốc buộc phải chuyển đổi từ mô hình quản lý nước phân tán, thiên về khai thác sang mô hình quản lý tổng hợp, nhấn mạnh bảo vệ, sử dụng hiệu quả và tái tạo tài nguyên nước. Cải cách thể chế là một trụ cột trung tâm trong quản lý tài nguyên nước ở Trung Quốc, trong đó Nhà nước giữ vai trò chủ đạo trong hoạch định chiến lược, ban hành tiêu chuẩn và điều phối liên vùng, liên lưu vực. Vai trò này được thể hiện rõ trong khung pháp luật quốc gia, đặc biệt là Luật Phòng chống ô nhiễm nước, theo đó trách nhiệm quản lý chất lượng nước được giao cụ thể cho chính quyền địa phương và gắn với mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội. Một chuyển đổi quan trọng là việc từng bước chuyển từ quản lý theo địa giới hành chính sang quản lý theo lưu vực sông, tiêu biểu thông qua việc triển khai cơ chế “Trường sông” trên phạm vi toàn quốc (Hình 2). Theo cơ chế này, lãnh đạo các cấp được giao trách nhiệm trực tiếp đối với giám sát chất lượng nước, kiểm soát ô nhiễm và phối hợp liên địa phương, qua đó góp phần cải thiện các chỉ tiêu chất lượng nước. Song song với đó, trách nhiệm giải trình được tăng cường thông qua việc gắn các chỉ tiêu môi trường liên quan đến nước với đánh giá kết quả công tác của cán bộ, đồng thời thúc đẩy công khai thông tin và sự tham gia của cộng đồng. Các công cụ kinh tế theo nguyên tắc “người gây ô nhiễm phải trả tiền” cũng ngày càng được áp dụng, buộc các chủ thể gây ô nhiễm phải nội hóa chi phí môi trường và qua đó nâng cao hiệu quả thực thi chính sách quản lý tài nguyên nước [8].



Hình 2. Mối tương quan giữa cơ cấu quản lý hành chính và hệ thống “Trường sông” [9]

Kinh nghiệm của Trung Quốc cho thấy quản lý chất lượng nguồn nước hiệu quả cần được thực hiện theo tiếp cận quản lý tổng hợp lưu vực sông thay vì phân chia theo địa giới hành chính. Đồng thời, việc gắn trách nhiệm cụ thể cho người đứng đầu địa phương trong kiểm soát ô nhiễm nguồn nước và tăng cường chia sẻ dữ liệu giữa các cơ quan quản lý là những yếu tố quan trọng nhằm nâng cao hiệu quả giám sát và điều phối liên ngành trong bảo vệ nguồn nước cấp.

3.2. Kinh nghiệm quản lý tổng hợp nguồn nước lưu vực sông Minnesota-Mỹ

Tại lưu vực sông Minnesota, chính quyền đưa ra giải pháp quản lý tổng hợp chất lượng nước sông do vấn đề ô nhiễm nước nghiêm trọng. Các nhà quản lý cho rằng, lưu vực sông Minnesota không thể giải quyết triệt để nếu chỉ quan tâm đến việc kiểm soát nguồn thải tập trung mà bỏ qua nguồn thải phân tán. Bởi vậy, cần phải hiểu rõ mức độ, phạm vi ô nhiễm, thời gian xuất hiện ô nhiễm của nguồn nước. Qua phân tích, đánh giá, nguồn nước sông Minnesota đang bị ô nhiễm bởi vi khuẩn, phốt pho, nitơ cũng như có sự biến đổi chu kỳ dòng chảy trong hệ thống sông, hồ. Sự suy giảm chất lượng nước của lưu vực sông Minnesota là nguyên nhân gây ra những vấn đề về chất lượng nước ở hạ lưu như hiện tượng phú dưỡng hồ chứa Pepin, đặc biệt vào mùa khô khi mà dòng chảy trong sông nhỏ. Để phục hồi chất lượng nước sông Minnesota, cơ quan quản lý lưu vực sông Minnesota tập trung vào quản lý các nguồn thải có hàm lượng và tải lượng nitơ, phốt pho và vi khuẩn lớn. Kết quả là vấn đề đã được giải quyết, đem lại sự phục hồi cho lưu vực sông [5].

Kinh nghiệm từ lưu vực sông Minnesota cho thấy việc kiểm soát chất lượng nguồn nước cần đồng thời quản lý cả nguồn thải tập trung và nguồn thải phân tán trong lưu vực. Cách tiếp cận quản lý dựa trên đánh giá tổng hợp mức độ, phạm vi và thời gian xuất hiện ô nhiễm là cơ sở quan trọng để xây dựng các giải pháp kiểm soát chất lượng nước phù hợp với đặc điểm từng lưu vực sông tại Việt Nam.

3.3. Kinh nghiệm áp dụng các mô hình học máy (ML) và Internet vạn vật (IoT) trong giám sát và dự báo chất lượng nước tại Ấn Độ và Malaysia

Các phương pháp đánh giá chất lượng nước truyền thống thường dựa vào việc lấy mẫu thủ công và xét nghiệm trong phòng thí nghiệm. Mặc dù đảm bảo độ chính xác, quy trình này tiêu tốn nhiều thời gian và không thể cung cấp dữ liệu theo thời gian thực, làm cản trở việc phát hiện kịp thời các sự cố ô nhiễm cũng như tính chủ động trong các quyết định quản lý. Để giải quyết bài toán này, sự tích hợp giữa IoT, điện toán đám mây và các mô hình Học máy cung cấp một cơ sở hạ tầng tự động, liên tục và có khả năng dự báo cao [10].

Tích hợp IoT trong thu thập và xử lý dữ liệu thời gian thực. Hệ thống giám sát hiện đại vận hành dựa trên nền tảng IoT, trong đó các thiết bị cảm biến được triển khai để liên tục thu thập dữ liệu về các thông số hóa lý cốt lõi của nước như độ pH, nhiệt độ, lượng oxy hòa tan (DO), và độ đục. Khối dữ liệu này sau đó được truyền trực tiếp đến một hệ thống cơ sở dữ liệu đám mây để lưu trữ và xử lý bởi các mô hình học máy [10]. Một số các mô hình học máy được nghiên cứu áp dụng trong giám sát và dự báo chất lượng nguồn nước ở lưu vực sông Kelantan (Malaysia) như Random Forest, Gradient Boosting... đã cho thấy được những ưu việt trong dự báo chất lượng nước. Đặc biệt, thuật toán Gradient Boosting mang lại độ chính xác tổng thể lên tới 94,90%, với độ nhạy 80,00% và chỉ số f-measure đạt 86,49%, đồng thời duy trì tỷ lệ phân loại sai ở mức thấp nhất. Dựa trên các dự báo chuẩn xác về chất lượng nước, kết quả thu được có thể góp phần hoàn thiện Chính sách môi trường quốc gia về tài nguyên nước thông qua việc không ngừng nâng cao chất lượng nguồn nước [11].

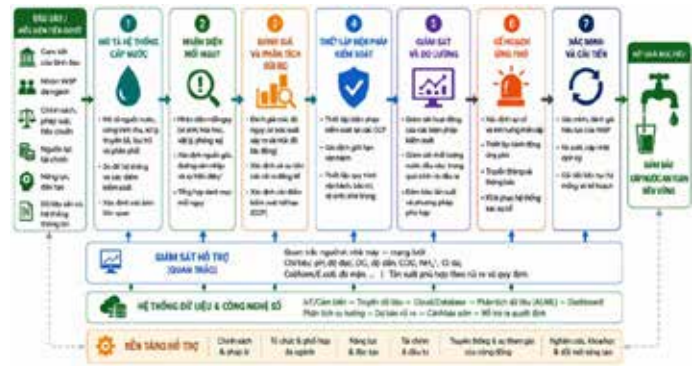
Việc ứng dụng công nghệ IoT, dữ liệu thời gian thực và các mô hình trí tuệ nhân tạo trong giám sát và dự báo chất lượng nước cho thấy tiềm năng lớn trong cảnh báo sớm các sự cố ô nhiễm nguồn nước. Đây là định hướng quan trọng để Việt Nam từng bước hiện đại hóa hệ thống quan trắc chất lượng nước, nâng cao khả năng dự báo và chủ động ứng phó với các rủi ro môi trường trong hệ thống cấp nước đô thị.

4. MỘT SỐ THÁCH THỨC TRONG QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG NGUỒN NƯỚC CẤP TẠI VIỆT NAM

Quản lý tài nguyên nước tại Việt Nam đang gặp tình trạng "phân mảnh" quyền lực. Theo quy định hiện hành, Bộ Nông nghiệp và Môi trường chịu trách nhiệm quản lý nhà nước về tài nguyên nước, trong đó có quản lý quy hoạch, khai thác, sử dụng và bảo vệ nguồn nước; trong khi Bộ Xây dựng quản lý nhà nước về lĩnh vực cấp nước, trong đó bao gồm từ quy hoạch cấp nước, định hướng, hoạt động xây dựng, sản xuất, cung cấp và tiêu thụ nước sạch, trong đó có quản lý hoạt động của các công ty cấp nước. Sự phân vai này dẫn đến hiện tượng đùn đẩy trách nhiệm khi xảy ra sự cố ô nhiễm nguồn nước. Quá trình chia sẻ dữ liệu giữa các sở, ban, ngành còn chậm trễ, thiếu một hệ thống cơ sở dữ liệu chung về tài nguyên nước được cập nhật theo thời gian thực. Tại nhiều thành phố, chẳng hạn như TP Hải Phòng, hiện chưa có nghiên cứu xây dựng mô hình quản lý chất lượng nước nguồn cho các nhà máy nước đô thị lớn theo tiếp cận rủi ro và phối hợp liên ngành trong bối cảnh quản lý lưu vực liên tỉnh.

Hạn chế về năng lực quan trắc chất lượng nguồn nước: Hệ thống trạm quan trắc nước mặt tự động, liên tục đã được đầu tư nhưng mật độ còn thưa thớt, chưa bao phủ hết các điểm nóng về xả thải. Phần lớn dữ liệu vẫn phụ thuộc vào quan trắc thủ công định kỳ, dẫn đến độ trễ trong việc phát hiện và cảnh báo sớm các sự cố môi trường (ví dụ: xâm nhập mặn đột ngột hoặc xả thải trái phép vào ban đêm). Nhiều trạm cấp nước vẫn thiếu thiết bị quan trắc tự động, chủ yếu dựa vào kinh nghiệm vận hành và các phép thử nhanh đơn giản đối với một số chỉ tiêu như độ đục. Những hạn chế này khiến các nhà máy xử lý nước thường ở thế bị động trước các sự cố.

5. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP CHIẾN LƯỢC CHO QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG NGUỒN NƯỚC CẤP ĐÔ THỊ TẠI VIỆT NAM HƯỚNG TỚI ĐẢM BẢO CẤP NƯỚC AN TOÀN



Hình 3. Khung quản lý chất lượng nguồn nước cấp đô thị theo tiếp cận kế hoạch cấp nước an toàn

Để đảm bảo cấp nước an toàn và đạt mục tiêu SDG 6 (Nước sạch và Vệ sinh), Việt Nam cần đồng bộ hóa các giải pháp. Nghiên cứu tập trung đề xuất một số giải pháp liên quan đến thể chế, kỹ thuật và công nghệ như sau:

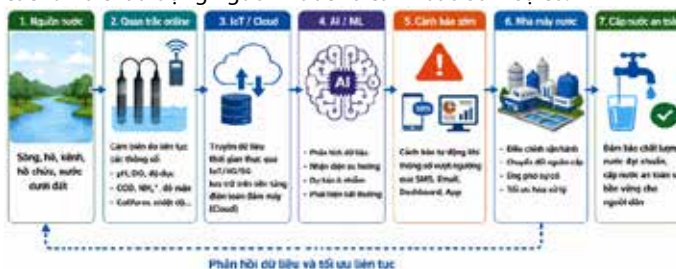
- Hoàn thiện thể chế và quản lý tổng hợp tài nguyên nước: Cần đẩy nhanh tiến độ ban hành Luật Cấp thoát nước để đồng bộ với Luật Tài nguyên nước. Học tập kinh nghiệm của Mỹ (sông Minnesota) và Trung Quốc (sông Dương Tử), cần thiết lập cơ quan quản lý lưu vực sông với sự hợp tác đa ngành nhằm kiểm soát nguồn xả thải phân tán từ nông nghiệp và nguồn xả thải tập trung từ công nghiệp. Hiện nay, Bộ Xây dựng đang xây dựng Luật Cấp thoát nước đầu tiên ở Việt Nam và dự kiến trình Chính phủ vào tháng 10/2026 [12].

- Áp dụng công nghệ tiên tiến trong quản lý chất lượng nguồn nước cấp: Cần đầu tư hệ thống quan trắc chất lượng nước tự động, liên tục theo thời gian thực tại các nguồn nước cấp chính, công trình

thu nước và nhà máy xử lý nước. Các thông số cần được giám sát online bao gồm pH, độ đục, độ dẫn điện, DO, COD, amoni, độ mặn, Chlorophyll-a và Coliform tại các vị trí có nguy cơ ô nhiễm cao. Dữ liệu quan trắc cần được truyền liên tục về trung tâm điều hành thông qua nền tảng IoT và tích hợp vào hệ thống cơ sở dữ liệu dùng chung phục vụ quản lý nguồn nước theo lưu vực. Trên cơ sở dữ liệu thời gian thực, các mô hình trí tuệ nhân tạo (AI) và học máy (ML) có thể được áp dụng để phân tích xu hướng biến động chất lượng nước, dự báo sớm nguy cơ ô nhiễm, xâm nhập mặn hoặc sự cố bất thường tại nguồn nước cấp. Khi các thông số vượt ngưỡng cho phép, hệ thống sẽ tự động phát cảnh báo cho đơn vị quản lý nhằm chủ động điều chỉnh chế độ vận hành, chuyển đổi nguồn cấp hoặc triển khai các biện pháp ứng phó kịp thời để đảm bảo cấp nước an toàn. Một số thuật toán học máy như CNN, SVM, Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost được ứng dụng để dự báo chỉ số chất lượng nước và phân loại nguồn nước có thể dùng cho mục đích ăn uống, sinh hoạt với độ chính xác lên tới 94-95%.

- Giải pháp kỹ thuật thích ứng biến đổi khí hậu: Quy hoạch xây dựng hệ thống hồ trữ nước mưa, dời điểm thu nước thô lên thượng nguồn và nghiên cứu công nghệ xử lý nước lợ trước tình hình các nguồn nước cấp bị nhiễm mặn.

- Đẩy mạnh hợp tác công tư trong quản lý chất lượng nguồn nước: Nhà nước cung cấp các gói vay ưu đãi, miễn giảm thuế để các doanh nghiệp tư nhân mạnh dạn đầu tư vào công nghệ, lắp đặt các trạm quan trắc tự động và kết nối dữ liệu thời gian thực với trung tâm kiểm soát của các nhà máy xử lý nước, Sở Nông nghiệp và Môi trường, Sở Y tế, Sở Xây dựng nhằm tự động hóa quá trình kiểm soát các rủi ro chất lượng nguồn nước và cảnh báo sớm sự cố.



Hình 4. Khung ứng dụng IoT và AI trong giám sát, cảnh báo sớm chất lượng nguồn nước cấp đô thị

6. KẾT LUẬN

Quản lý chất lượng nguồn nước cấp đô thị là nền tảng cốt lõi để đảm bảo sức khỏe cộng đồng và mục tiêu phát triển bền vững. Trong bối cảnh nguồn nước mặt tại các lưu vực sông lớn ở Việt Nam đang đối mặt với sự suy thoái nghiêm trọng do ô nhiễm hữu cơ, vi sinh và tình trạng xâm nhập mặn, việc triển khai toàn diện Kế hoạch Cấp nước an toàn từ nguồn đến điểm tiêu thụ trở nên cấp thiết hơn bao giờ hết. Bài học từ các quốc gia trên thế giới chỉ ra rằng một chiến lược quản lý hiệu quả đòi hỏi sự kết hợp đồng bộ giữa thể chế và công nghệ. Cụ thể, việc xóa bỏ sự phân mảnh quản lý thông qua cơ chế "Trường sông" tại Trung Quốc hay quản lý các nguồn tập trung và phân tán như tại Mỹ là tiền đề mang tính quyết định. Bên cạnh đó, việc chuyển đổi từ phương thức lấy mẫu thủ công sang hệ thống giám sát tự động theo thời gian thực (IoT) kết hợp thuật toán Học máy (ML) như kinh nghiệm tại Malaysia và Ấn Độ đã minh chứng được khả năng cảnh báo sớm vượt trội.

Tại Việt Nam, dấu đã có hành lang pháp lý cơ bản, hệ thống quản lý vẫn bộc lộ nhiều bất cập do sự chồng chéo trách nhiệm giữa các bộ ngành và mạng lưới trạm quan trắc tự động còn thưa thớt, khiến các đơn vị cấp nước luôn ở thế bị động trước sự cố về chất lượng nguồn nước thô. Nhằm khắc phục những hạn chế này, Việt Nam cần

khẩn trương thực thi đồng bộ ba nhóm giải pháp về mặt thể chế, kỹ thuật và công nghệ. Việc hiện thực hóa các giải pháp này sẽ thiết lập hệ thống phòng vệ đa lớp, tạo lập nền tảng vững chắc cho quản lý chất lượng các nguồn nước cấp cho các đô thị tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] PGS.TS Nguyễn Hồng Tiến. Quản lý sử dụng nước hiệu quả, hướng tới phát triển bền vững. Tạp chí Xây dựng, 3/2022.
 [2] E. R. Kelly, R. Cronk, E. Kumpel, G. Howard and J. Bartram. How we assess water safety: A critical review of sanitary inspection and water quality analysis. Science of The Total Environment, vol. 718, p. 137237, May 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137237.
 [3] R. Bain, R. Johnston and T. Slaymaker. Drinking water quality and the SDGs. NPJ Clean Water, vol. 3, no. 1, p. 37, Aug. 2020, doi: 10.1038/s41545-020-00085-z.
 [4] P. J. Ferraro and C. Prasse. Reimagining safe drinking water on the basis of twenty-first-century science. Nat. Sustain., vol. 4, no. 12, pp. 1032-1037, Aug. 2021, doi: 10.1038/s41893-021-00760-0.
 [5] P. Li and J. Wu. Drinking Water Quality and Public Health. Expo. Health, vol. 11, no. 2, pp. 73-79, Jun. 2019, doi: 10.1007/s12403-019-00299-8.
 [6] A. Kishipour, R. Mostafaloo, M. M. Rabori, E. Ghordouei-Milan, F. Hosseini and R. Aali. Experience of Implementing Water Safety Plan in Iran: A Systematic Review. Journal of Environmental Health and Sustainable Development, vol. 6, no. 2, pp. 1243-1255, 2021, doi: 10.18502/jehsd.v6i2.6536.
 [7] M. Y. D. Alazaiza, A. Albahnasawi, T. Almaskari, and D. E. Nassani. Benefits, challenges and success factors of water safety plan implementation: A review. Oct. 01, 2022, Global NEST. doi: 10.30955/gnj.004284.
 [8] P. V. Bộ. Quản lý tài nguyên nước bền vững ở trung quốc: Tiếp cận tổng hợp về thể chế, công nghệ và kinh tế tuần hoàn. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng - Bộ Xây dựng, vol. 16, no. 01, Jan. 2026, doi: 10.54772/jomc.01.2026.1221.
 [9] H. Liu, Y. D. Chen, T. Liu, and L. Lin. The river chief system and river pollution control in China: A case study of Foshan. Water (Switzerland), vol. 11, no. 8, 2019, doi: 10.3390/w11081606.
 [10] A. Patak, O. Hulawale, A. Lahane, T. Aswar, and A. Ganore. IoT-Based Indian River Water Quality Prediction Model. Internet: www.ijfmr.com (accessed: 19/5/2026).
 [11] N. H. A. Malek, W. F. Wan Yaacob, S. A. Md Nasir, and N. Shaadan. Prediction of Water Quality Classification of the Kelantan River Basin, Malaysia, Using Machine Learning Techniques. Water (Basel), vol. 14, no. 7, p. 1067, Mar. 2022, doi: 10.3390/w14071067.
 [12] https://moc.gov.vn/_layouts/15/NCS.Webpart.MOC/mt_poup/Intrangweb.aspx?dNews=91879 (accessed: 4/5/2026).