

TRÍCH YẾU LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

I. Thông tin

- Họ và tên NCS: Mai Thị Thùy Dương
- Ngành: Kỹ thuật Môi trường; Mã số: 9520320
- Người hướng dẫn khoa học:
 - PGS.TS. Võ Ngọc Dương
 - GS.TS. Trần Thị Việt Nga
- Tên luận án: *"Xây dựng mô hình tích hợp chỉ số căng thẳng nguồn nước và phương pháp đánh giá vòng đời hỗ trợ quản lý bền vững hệ thống cấp nước thành phố Đà Nẵng"*
- Cơ sở đào tạo: Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

II. Tóm tắt nội dung luận án:

1. Tính cấp thiết

Nước là tài nguyên thiết yếu, gắn liền với sự sống, sản xuất và phát triển kinh tế – xã hội. Tuy nhiên, nhu cầu sử dụng nước ngày càng tăng cùng với sự gia tăng dân số toàn cầu, quá trình đô thị hóa nhanh và tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) đã làm gia tăng nguy cơ mất an ninh nguồn nước. Đây là một trong những thách thức nghiêm trọng nhất của thế kỷ 21. Liên Hợp Quốc đã khẳng định tầm quan trọng của nước thông qua việc đề cập đến “Nước sạch và vệ sinh” trong Mục tiêu phát triển bền vững số 6 (SDG 6) nhằm bảo đảm tính sẵn có và quản lý bền vững nguồn nước cho mọi người vào năm 2030. Theo Báo cáo Nước Thế giới 2023 của UNESCO [1], nhu cầu nước toàn cầu dự kiến tăng trung bình 1%/năm, tương đương mức tăng tổng cộng 20–30% vào năm 2050. Mặt khác, BĐKH đang làm thay đổi mạnh mẽ chu trình thủy văn, gây bất ổn trong phân bố và khả năng tiếp cận nguồn nước giữa các khu vực và thời điểm khác nhau. Vì vậy, việc xây dựng các mô hình đánh giá và quản lý tài nguyên nước khoa học, thích ứng với BĐKH là yêu cầu cấp bách để bảo đảm phát triển bền vững.

Tại Việt Nam, các đô thị ven biển như Đà Nẵng đang đối mặt với thách thức xâm nhập mặn do suy giảm dòng chảy mùa kiệt và nước biển dâng. Các tác động này không chỉ ảnh hưởng đến nguồn cung cấp nước thô mà còn làm tăng rủi ro, chi phí khi vận hành hệ thống cấp nước, đồng thời gây thêm áp lực môi trường. Trong khi đó, nhu cầu sử dụng nước phục vụ đô thị hóa và phục hồi du lịch gia tăng, làm mất cân bằng giữa cung và cầu trong hệ thống cấp nước đô thị. Hoạt động sản xuất và cung cấp nước, từ khai thác, xử lý, vận chuyển đến sử dụng và xả thải, đều tiêu tốn năng lượng, hóa chất và tài nguyên, đồng thời phát sinh các tác động môi trường ở nhiều mức độ

khác nhau. Trong bối cảnh toàn cầu hóa các công cụ đánh giá môi trường, phương pháp đánh giá vòng đời (Life Cycle Assessment – LCA) ngày càng được coi là công cụ hữu hiệu để lượng hóa và theo dõi tác động môi trường xuyên suốt toàn bộ chuỗi hoạt động liên quan đến nước. Cùng với đó, các nghiên cứu quốc tế cũng đã nhấn mạnh vai trò của chỉ số căng thẳng nguồn nước (Water Stress Index – WSI) trong phản ánh mức độ khai thác vượt ngưỡng chịu tải sinh thái tại từng địa phương. Tuy nhiên, ở Việt Nam hiện nay, việc ứng dụng LCA trong ngành nước còn sơ khai, chủ yếu dựa trên các hệ số phát thải mặc định của quốc tế, chưa có tính địa phương hóa để phản ánh đúng tác động của xâm nhập mặn và biến động dòng chảy đặc thù của lưu vực miền Trung. Đồng thời, chưa có một mô hình định lượng tích hợp có khả năng đánh giá đồng thời áp lực tài nguyên nước tại nguồn và tác động môi trường của dây chuyền xử lý để hỗ trợ ra quyết định quy hoạch.

Để có cái nhìn tổng thể về hệ thống cấp nước, việc kết hợp các phương pháp nhằm đánh giá ảnh hưởng của quá trình khai thác nước thô và các tác động từ hoạt động của NMN đến môi trường, hệ sinh thái và con người là hết sức cần thiết. Nhu cầu xây dựng một hệ thống cấp nước an toàn, bền vững, thích ứng với BĐKH và giảm phát thải khí nhà kính (KNK) ngày càng trở nên cấp thiết, nhất là trong điều kiện tài nguyên nước ngày càng khan hiếm. Do đó, việc phát triển mô hình tích hợp chỉ số WSI và phương pháp LCA cho hệ thống cấp nước đô thị mang ý nghĩa chiến lược cả trước mắt lẫn lâu dài.

Trên cơ sở đó, việc thực hiện luận án tiến sĩ **“Xây dựng mô hình tích hợp chỉ số căng thẳng nguồn nước và phương pháp đánh giá vòng đời hỗ trợ quản lý bền vững hệ thống cấp nước thành phố Đà Nẵng”** mang ý nghĩa chiến lược, nhằm lấp đầy các khoảng trống nghiên cứu và cung cấp một hệ phương pháp luận mới cho quản trị nước đô thị bền vững. Mô hình tích hợp này không chỉ cung cấp cái nhìn toàn diện về tác động môi trường mà còn tạo cơ sở khoa học để lựa chọn kịch bản cấp nước tối ưu, hướng đến phát triển hệ thống cấp nước đô thị thân thiện với môi trường, an toàn và bền vững.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Thiết lập mô hình tích hợp chỉ số căng thẳng nguồn nước và phương pháp đánh giá vòng đời (mô hình tích hợp WSI - LCA) nhằm đánh giá toàn diện các tác động môi trường và mức độ khan hiếm nguồn nước trong quá trình khai thác và sản xuất nước sạch cho hệ thống cấp nước đô thị. Kết quả luận án làm luận cứ khoa học cho việc tối ưu hóa các kịch bản khai thác và sản xuất nước sạch đô thị trong điều kiện biến đổi khí hậu.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- **Đối tượng nghiên cứu:** Đối tượng nghiên cứu của luận án là chỉ số WSI, phương pháp LCA, quá trình khai thác, vận chuyển nước thô và sản xuất nước sạch. Nghiên cứu được thực hiện tại NMN lớn nhất miền Trung - NMN Cầu Đỏ, nơi chịu ảnh hưởng mạnh của xâm nhập mặn và biến động dòng chảy trong mùa kiệt.

- **Phạm vi nghiên cứu:**

+ *Phạm vi nghiên cứu theo không gian:* Nghiên cứu tập trung ở khâu khai thác, truyền tải nước thô và sản xuất nước sạch tại nhà máy lớn nhất miền Trung – Nhà máy nước (NMN) Cầu Đỏ, nơi chịu ảnh hưởng mạnh của xâm nhập mặn và biến động dòng chảy trong mùa kiệt.

+ *Phạm vi nghiên cứu theo thời gian:* Đối với dòng chảy, dữ liệu được lấy theo chuỗi dữ liệu lịch sử tại các trạm đo trên lưu vực sông Vu Gia – Thu Bồn từ 1980-2023. Các chỉ số WSI tính toán dựa trên giá trị trung bình mùa khô. Dữ liệu hoạt động của NMN được thu thập từ nhật ký hoạt động của NMN tại Đà Nẵng trong 365 ngày của năm 2023. Các kịch bản cấp nước dựa trên quy hoạch đến năm 2030, tầm nhìn 2045, xét trong điều kiện BĐKH theo kịch bản RCP 8.5.

+ *Phạm vi về nội dung nghiên cứu:* Việc giới hạn phạm vi đánh giá vào công đoạn khai thác, truyền tải nước thô và sản xuất nước sạch cho hệ thống cấp nước đô thị là một quyết định phù hợp và có cơ sở cho mục tiêu của luận án, cho phép phân tích sâu về các phương án công nghệ và quản lý tại nguồn. Kết quả của luận án là cơ sở khoa học vững chắc để tối ưu hóa khâu khai thác và sản xuất và các nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng phạm vi để đánh giá toàn diện cả chu trình nước đô thị tại Đà Nẵng.

4. Nội dung nghiên cứu

Nội dung 1: Xây dựng mô hình tích hợp WSI - LCA phục vụ đánh giá mức độ khan hiếm nguồn nước và các tác động môi trường của quá trình khai thác và xử lý nước sạch cho hệ thống cấp nước đô thị.

Nội dung 2: Ứng dụng mô hình tích hợp WSI - LCA đánh giá hiện trạng: Thực nghiệm định lượng mức độ khan hiếm nguồn nước và các gánh nặng môi trường của hệ thống cấp nước đô thị Đà Nẵng giai đoạn hiện tại.

Nội dung 3: Xây dựng các kịch bản khai thác và sản xuất nước sạch cho Đà Nẵng đến năm 2045 dựa trên định hướng quy hoạch phát triển đô thị, xét trong bối cảnh BĐKH và xâm nhập mặn.

Nội dung 4: Sử dụng mô hình tích hợp WSI - LCA định lượng để so sánh và nhận diện kịch bản tối ưu đáp ứng đồng thời tiêu chí an ninh nguồn nước và phát thải thấp cho hệ thống cấp nước đô thị Đà Nẵng.

5. Phương pháp nghiên cứu

Các phương pháp nghiên cứu được áp dụng cho các nội dung luận án bao gồm: phương pháp tổng quan tài liệu và thu thập số liệu thứ cấp; phương pháp khảo sát thực địa; phương pháp bố trí thí nghiệm; phương pháp phân tích mẫu và đánh giá kết quả phân tích; phương pháp tính toán và xử lý số liệu; phương pháp đánh giá; phương pháp dự báo; phương pháp tham vấn.

6. Cấu trúc của luận án

Mở đầu

Chương 1. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu.

Chương 2. Đối tượng và cơ sở lý thuyết của các phương pháp nghiên cứu.

Chương 3. Thiết lập và kiểm định mô hình tích hợp chỉ số căng thẳng nguồn nước và phương pháp đánh giá vòng đời.

Chương 4. Đánh giá hiệu quả cho các kịch bản khai thác, sản xuất nước sạch tại Đà Nẵng thông qua mô hình tích hợp WSI - LCA.

Kết luận và kiến nghị.

7. Các kết quả nghiên cứu và công bố liên quan đến luận án

- Các kết quả nghiên cứu

Luận án đã thiết lập thành công mô hình tích hợp giữa chỉ số căng thẳng nguồn nước (WSI) và phương pháp đánh giá vòng đời (LCA), trong đó chỉ số WSI được sử dụng để đặc trưng hóa mức độ căng thẳng nguồn nước theo không gian và thời gian. Điểm mới của mô hình là khả năng kết nối dữ liệu thủy văn với dữ liệu kiểm kê vòng đời (LCI), cho phép lượng hóa đồng thời cả áp lực lên tài nguyên nước địa phương lẫn các tác động môi trường toàn cầu. Kết quả kiểm chứng cho thấy mô hình có độ tin cậy cao, đảm bảo tính khoa học và có khả năng lặp lại để áp dụng cho các hệ thống cấp nước đô thị có đặc thù lưu vực tương tự.

Thông qua mô hình tích hợp, luận án đã định lượng được đồng thời hai khía cạnh quan trọng của hệ thống cấp nước Đà Nẵng, bao gồm mức độ căng thẳng nguồn nước và các tác động môi trường phát sinh trong quá trình khai thác và sản xuất nước sạch. Kết quả cho thấy các "điểm nóng" môi trường tập trung chủ yếu ở giai đoạn vận

hành, gắn liền với việc tiêu thụ điện năng tại các trạm bơm nước thô (như trạm bơm An Trạch) và sử dụng hóa chất xử lý, phát thải từ việc sử dụng điện đóng góp hơn 90% tổng lượng phát thải carbon từ NMN. Với việc sử dụng hiệu quả năng lượng và hóa chất ở dây chuyền sản xuất mới, có thể giảm 11-13% các chỉ số phát thải so với các dây chuyền cũ. Nghiên cứu cũng xác định rõ mức độ căng thẳng nguồn nước tại điểm thu (NMN Cầu Đỏ) biến động mạnh theo mùa, làm nổi bật sự đánh đổi giữa việc đảm bảo an ninh nguồn nước và gia tăng gánh nặng môi trường. Trong tháng 5, tháng cao điểm về nhu cầu của mùa khô, tháng cao điểm về khai thác nước tại đập dâng An Trạch, lượng phát thải KNK cao hơn gần 70% so với tháng 12 – tháng mùa mưa. Chỉ số WSI mùa khô (tháng 3 - tháng 8) tại nhà máy Cầu Đỏ ở mức cao (1,035), mỗi 1 m³ nước sạch được sản xuất tại nhà máy Cầu Đỏ trong mùa khô sẽ gây ra tác động môi trường tương đương với việc tiêu thụ 1,17 m³ nước trong điều kiện khan hiếm (WSF).

Luận án cũng đã mô phỏng và phân tích so sánh 05 kịch bản cấp nước cho TP. Đà Nẵng theo định hướng đến năm 2045. Kết quả chứng minh rằng: Kịch bản dịch chuyển cấu trúc nguồn về phía thượng lưu (tại đập An Trạch) là phương án tối ưu và bền vững nhất, giúp giảm thiểu chỉ số WSI trong khi vẫn kiểm soát tốt phát thải carbon và tiêu thụ năng lượng. So với kịch bản cơ sở, kịch bản mở rộng hạ tầng tại đập dâng An Trạch đã giải quyết được bài toán khan hiếm nước trong mùa khô tại điểm khai thác nước Cầu Đỏ (giảm 78% gánh nặng tài nguyên). Đáng chú ý, nỗ lực giải tỏa áp lực tại nguồn này không làm gia tăng phát thải carbon, khi chỉ số phát thải carbon của S4 đạt 0,207 kg CO₂ tđ (thấp hơn S1). Ngược lại, kịch bản sử dụng công nghệ khử mặn (RO) dù giải quyết được vấn đề an ninh nguồn nước (chỉ số WSI giảm hơn 40% so với kịch bản cơ sở) nhưng lại gây gánh nặng lớn về môi trường do tiêu thụ năng lượng cao (phát thải carbon cao gấp 2,7 lần). Đây chính là luận cứ khoa học quan trọng để hỗ trợ chính quyền TP lựa chọn phương án cấp nước thích ứng với BĐKH và xâm nhập mặn.

- Các công bố liên quan đến luận án

03 bài báo đăng trên kỷ yếu Hội thảo Quốc tế trong danh mục Scopus.

03 bài báo đăng trên các Tạp chí uy tín trong nước.

8. Những đóng góp mới của luận án

Luận án đóng góp một cách tiếp cận phương pháp luận mới trong đánh giá vòng đời hệ thống cấp nước đô thị thông qua việc tích hợp chỉ số WSI vào phương pháp LCA, nhằm phản ánh đồng thời tác động môi trường và mức độ căng thẳng tài nguyên nước theo điều kiện địa lý, xã hội cụ thể của từng địa phương.

- Luận án lần đầu tiên xây dựng và kiểm chứng một mô hình tích hợp giữa chỉ số căng thẳng nguồn nước (WSI) và phương pháp đánh giá vòng đời (LCA) dành riêng

cho hệ thống cấp nước đô thị trong điều kiện biến động nguồn nước và xâm nhập mặn. Cách tiếp cận này có tính khái quát và có thể mở rộng áp dụng cho các đô thị khác ở Việt Nam.

- Luận án áp dụng mô hình tích hợp WSI–LCA để đánh giá và so sánh các kịch bản cấp nước giai đoạn 2030–2045, từ đó xác định các phương án tối ưu về môi trường và an ninh nguồn nước trong điều kiện BĐKH.

Đà Nẵng, ngày.....tháng.....năm 2026

Người hướng dẫn khoa học

Nghiên cứu sinh

\PGS.TS. Võ Ngọc Dương

GS.TS. Trần Thị Việt Nga

Mai Thị Thùy Dương