

NGHIÊN CỨU MỐI QUAN HỆ NƯỚC - NĂNG LƯỢNG - LƯỢNG THỰC PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KINH TẾ - XÃ HỘI

Andrea Casteletti⁽¹⁾, Mateo Giuliani⁽¹⁾, Trương Văn Anh⁽²⁾, Nguyễn Đình Hoàng⁽²⁾

⁽¹⁾Politecnico di Milano

⁽²⁾Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Ngày nhận bài: 7/11/2024; ngày chuyển phản biện: 8/11/2024; ngày chấp nhận đăng: 29/11/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu này tập trung vào việc quản lý tài nguyên nước tại lưu vực sông Hồng - Thái Bình, một yếu tố thiết yếu cho sự phát triển bền vững ở địa phương, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu gia tăng và nhu cầu sử dụng nước ngày càng cao. Sự phân bố không đồng đều của nguồn nước trong khu vực đã tạo ra nhiều thách thức cho an ninh nguồn nước, đặc biệt trong việc duy trì sự cân bằng giữa các nhu cầu như phát điện, cấp nước sinh hoạt và phòng chống lũ lụt. Để giải quyết các vấn đề phức tạp này, nghiên cứu đã phát triển một khung phân tích quyết định, kết hợp mô hình chiến lược DAF với mô hình đánh giá mối quan hệ giữa nước, năng lượng và lương thực (WEF). Mô hình DAF cho phép tối ưu hóa các phương án vận hành hồ chứa, qua đó đánh giá các chỉ số quan trọng liên quan đến phát điện, cung cấp nước và khả năng phòng ngừa lũ. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng cần phải có sự điều chỉnh linh hoạt trong các phương án vận hành hồ chứa nhằm đảm bảo nguồn nước đầy đủ cho mùa khô, đồng thời giảm thiểu thiệt hại do lũ lụt, từ đó hướng tới mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội bền vững trong tương lai.

Từ khóa: Tài nguyên nước, an ninh nguồn nước, phát triển bền vững, DAF, sông Hồng - Thái Bình.

1. Mở đầu

Nước là một nguồn tài nguyên thiên nhiên thiết yếu cho sự phát triển của nhân loại. Với tổng lượng nước khá dồi dào và có thể đáp ứng được về lượng các yêu cầu sử dụng nước trong hiện tại và tương lai, nhưng sự phân bố không đều theo không gian và thời gian của nước đã gây thách thức lớn cho an ninh nguồn nước quốc gia. Có rất nhiều khu vực thiếu nước để đáp ứng các nhu cầu sinh hoạt, phát triển kinh tế và bảo vệ môi trường [1], [2]. Những vùng đó, nguồn nước uống và hợp vệ sinh liên quan trực tiếp đến sức khỏe con người, phát triển kinh tế cũng như duy trì một môi trường trong sạch và một hệ sinh thái khỏe mạnh. Các nhà khoa học liên ngành đã và đang cố tìm ra các cách để loại bỏ những ràng buộc này và đang phải đối mặt với rất nhiều thách thức khi thực hiện điều đó, đặc biệt dưới tác động của sự biến đổi khí hậu và tính không chắc chắn của khí hậu tương lai,

sự gia tăng dân số dẫn đến yêu cầu một sự tăng trưởng nhanh trong phát triển kinh tế - xã hội, vấn đề về toàn cầu hóa và đô thị hóa [3].

Cùng với những thay đổi về cảnh quan, do sự gia tăng sản xuất lương thực năng lượng và sự di chuyển của con người vào các trung tâm đô thị, dẫn đến việc thay đổi số lượng và chất lượng của các nguồn nước ngọt cả về mặt vật lý và kinh tế. Do vậy, cách tiếp cận mới về phân tích và cân bằng mối quan hệ giữa Nước - Năng lượng - Lương thực đã và đang được phát triển và áp dụng ở các quốc gia phát triển, nhằm từng bước quản lý bền vững, đồng thời đảm bảo an ninh các nguồn tài nguyên thiết yếu cho sự phát triển của đất nước [4], [5], [6].

Nghiên cứu này đề xuất phát triển một khung phân tích ra quyết định nhằm hỗ trợ việc lập kế hoạch và quản lý chiến lược đối với lưu vực sông Hồng - Thái Bình thông qua đánh giá và nâng cao hiệu quả quản lý mối quan hệ giữa Nước - Năng lượng - Lương thực trên lưu vực bằng các công cụ mô hình tổ hợp. Bốn nhóm nghiên cứu đến từ trường đại học ETH Zurich, đại học Politecnico di Milano, học viên KIT - Đức và Trường Đại

Liên hệ tác giả: Trương Văn Anh

Email: tvanh@hunre.edu.vn

học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội đã tiến hành triển khai thực hiện dự án trong 3 năm từ 2021-2023.

2. Tổng quan vùng nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu

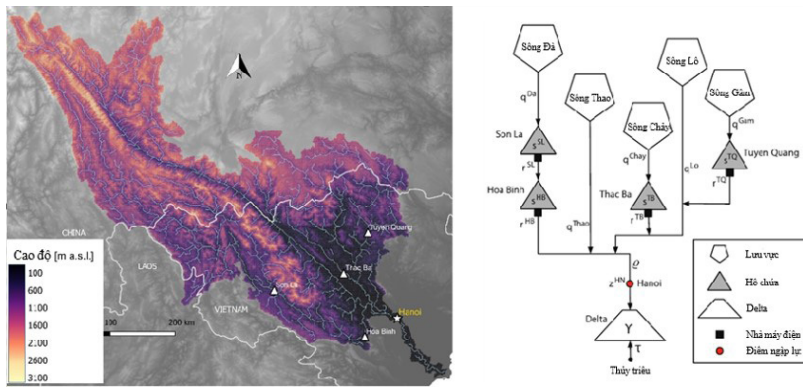
Lưu vực sông Hồng có diện tích lưu vực khoảng 169.000 km². Phần diện tích bên Trung Quốc chiếm khoảng 48%, phần diện tích phía Việt Nam chiếm khoảng 51%; phần diện tích phía bên Lào chiếm khoảng 1%.

Phần diện tích Việt Nam bao gồm vùng thượng nguồn, trung du và đồng bằng sông Hồng. Thượng nguồn hiện có 04 hồ chứa chiến lược giúp quản lý nguồn nước lưu vực sông bao gồm hồ Sơn La, Hòa Bình, Thác Bà, Tuyên Quang. Bốn hồ này đều là hồ chứa đa mục tiêu phục

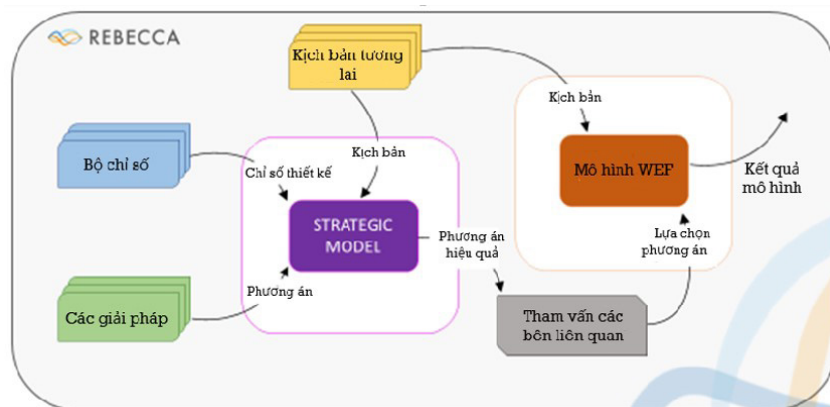
vụ phát điện, phòng lũ hạ du, cấp nước hạ du và duy trì dòng chảy môi trường. Ngoài ra còn hệ thống hồ Bản Chát, Huội Quảng và Lai Châu phục vụ chính cho phát điện và một loại các hệ thống hồ chứa vừa và nhỏ chưa được xem xét trong nghiên cứu này Sơ đồ giản lược hệ thống lưu vực được thể hiện như Hình 1.

Theo đó nghiên cứu đã thiết kế một khung phân tích quyết định bao gồm một mô hình chiến lược DAF được kết hợp với một mô hình đánh giá quan hệ Nước - Năng Lượng - Môi trường (WEF) (Hình 2).

Mô hình chiến lược DAF được sử dụng để chọn một tập hợp con các phương án vận hành hệ thống liên hồ chứa được thiết kế theo phương pháp tiếp cận tối ưu đa mục tiêu [7].



Hình 1. Lưu vực sông Hồng - Thái Bình và sơ đồ giản lược hệ thống



Hình 2. Khung phân tích ra quyết định

Các phương án vận hành này được xếp hạng dựa trên bộ chỉ số thiết kế để đáp ứng các mục tiêu về sản xuất thủy điện, phòng lũ, cấp nước hạ du. DAF bao gồm một mô hình thiết kế hệ thống (hoặc chiến lược) kết hợp với một công cụ

tối ưu hóa. Đầu vào của mô hình này bao gồm:

Bộ chỉ số đánh giá được thiết kế để đánh giá mức độ đáp ứng yêu cầu sử dụng nước của từng ngành trong hệ thống bao gồm: i) Phát điện; ii) Cấp nước; iii) Phòng lũ, chi tiết như sau:

• Chỉ số đánh giá về phòng lũ: Tối thiểu thiệt hại do lũ gây ra tại Hà Nội (Hình 3) có công thức như sau:

$$J^{flood} = \frac{1}{H} \sum_{t=0}^{H-1} F(h_{t+1}^{HN}) \quad (1)$$

Trong đó: H là số ngày trong khoảng thời gian tính toán; h_t^{HN} là mực nước tại trạm thủy văn Hà Nội trên sông Hồng ngày thứ t ; $F(h_t^{HN})$ là hàm thiệt hại theo mực nước tại trạm thủy văn Hà Nội trên sông Hồng ngày thứ t .

• Chỉ số đánh giá về cấp nước: Tối thiểu lượng thiếu hụt nước cấp bình quân ngày so với tổng nhu cầu nước vùng Đồng bằng Sông Hồng

$$J^{supply} = \frac{1}{H} \sum_{t=0}^{H-1} (f(q_{t+1}^{delta}, W_t, tide_{t-1}, CWV_t))^2 \quad (2)$$

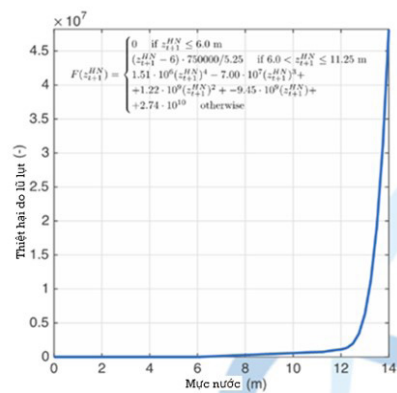
Trong đó: H là số ngày trong khoảng thời gian tính toán; q_t^{delta} là lượng nước xả về vùng đồng bằng trong ngày t ; W_t là nhu cầu dùng nước vùng đồng bằng ngày t ; $tide_t$ là mực nước triều đại diện tại ngày t ; CWV_t là lượng trữ trong hệ thống kênh tưới vùng đồng bằng ngày thứ t .

• Chỉ số đánh giá về sản lượng thủy điện: Sản lượng điện bình quân ngày của 4 nhà máy thủy điện.

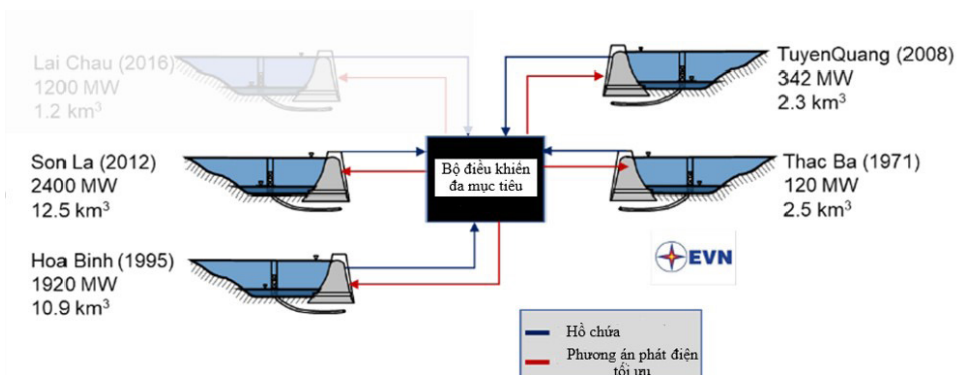
$$J^{hyd} = \sum_{j=1}^3 \left(\frac{1}{H} \sum_{t=0}^{H-1} HP_{t+1}^j \right) \quad (3)$$

Trong đó: H là số ngày trong khoảng thời gian tính toán; P_t^j là lượng điện sản xuất được của nhà máy j tại ngày thứ t .

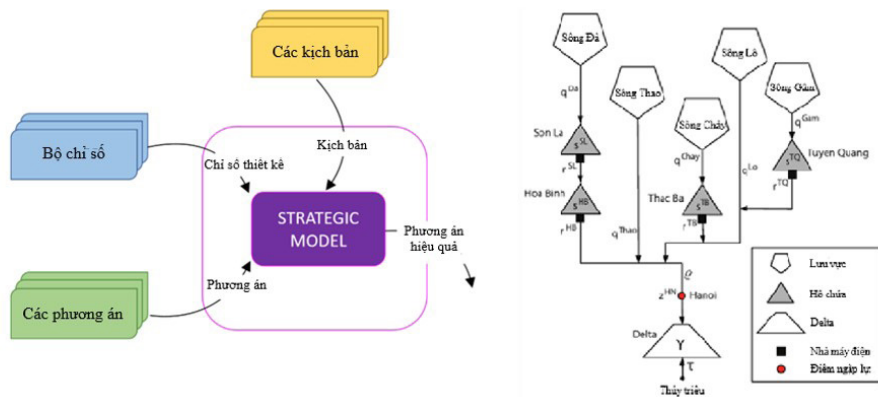
Các hành động là các can thiệp mong muốn được áp dụng trên hệ thống để cải thiện tính hiệu quả sử dụng nước của toàn vùng (Hình 4).



Hình 3. Chỉ số đánh giá thiệt hại do lũ thiết kế cho lưu vực sông Hồng - Thái Bình



Hình 4. Hệ thống hồ chứa đa mục tiêu và hành động can thiệp và phương án vận hành hệ thống để đạt được các mục tiêu thể hiện qua bộ chỉ số thiết kế



Hình 5. Mô hình chiến lược DAF cho lưu vực sông Hồng

Bộ kịch bản tương lai bao gồm kịch bản về khí hậu và nhu cầu sử dụng nước tương lai.

Đầu ra của DFA sẽ bao gồm:

Một tập hợp các phương án vận hành được lựa chọn để vận hành và quản lý hệ thống trong tương lai. Tập hợp này sau đó được đánh giá bởi các bên liên quan bao gồm các nhà ra quyết định, các hộ dùng nước trên hệ thống để lựa chọn được phương án vận hành phù hợp nhất trên quan điểm quản lý tổng hợp nguồn nước toàn vùng và đưa vào mô hình tổng hợp WEF để đánh giá hiệu quả đối với từng vùng theo không gian hệ thống (Hình 5).

3. Kết quả và thảo luận

Trong nghiên cứu này, 3 mục tiêu được xem xét đồng thời bao gồm phát điện, cấp nước và phòng lũ hạ du. Mặt Pareto chứa các phương án vận hành thiết kế (mỗi phương án là một điểm chấm trên Hình 6), trong đó thang màu thể hiện giá trị của chỉ số thiết kế cho cấp nước (Phương trình 2), theo chiều mũi tên, giá trị càng nhỏ, phương án càng cho mức độ thiếu hụt nước cấp ít và ngược lại, do đó, điểm có màu càng nhạt càng tốt cho cấp nước; trục hoành thể hiện giá trị của chỉ số thiết kế cho phòng lũ (Phương trình 1) do vậy có giá trị càng nhỏ, càng tốt; trục tung thể hiện giá trị của chỉ số đánh giá cho phát điện (Phương trình 3) do vậy, có giá trị càng lớn càng tốt.

Phương án lý tưởng nằm ở điểm vàng góc trái bên trên của hình thể hiện không có mâu thuẫn giữa 3 ngành sử dụng nước. Tuy nhiên đó là phương án giả tưởng và không thể xảy ra với trong quản lý nguồn tài nguyên hữu hạn.

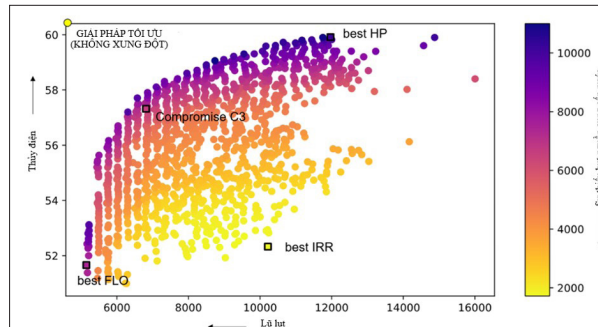
Vai trò của các bên liên quan (hộ dùng nước, nhà ra quyết định) trong hệ thống là lựa chọn tập hợp các phương án phù hợp. Các phương án này nằm ở đường biên của mặt Pareto và cải thiện hơn so với quy trình hiện tại. Có 3 phương án được lựa chọn để có thể tiến hành phân tích sâu hơn là phương án tốt nhất cho tưới (best IRR), phương án tốt nhất cho phát điện (Best HP), phương án tốt nhất cho phòng lũ (best FLO) và một phương án thỏa hiệp (Compromise C3) phân tích.

Hình 7 thể hiện dung tích bình quân nhiều năm tại 4 hồ Sơn La, Hòa Bình, Tuyên Quang và Thác Bà và mực nước trung bình nhiều năm tại Hà Nội theo 4 phương án vận hành được trích xuất và phân tích. Dung tích hồ Sơn La do ở bậc thang trên, ít biến động, nhưng các hồ nhỏ và Hòa Bình, dao động dung tích là tương đối lớn, phục vụ phát điện (đường màu cam), dung tích hồ luôn lớn để duy trì cột nước phát điện cao trong khi phòng lũ, dung tích hồ luôn ở thấp vào mùa lũ do đó có nguy cơ không tích được nước đủ đến dung tích của mực nước dâng bình thường cho sử dụng trong mùa khô. Đối với phương án vận hành tốt cho cấp nước (lượng thực, sinh hoạt, sản xuất) (đường màu vàng), mực nước các hồ sẽ được dâng lên nhanh vào cuối mùa lũ đến tháng 9 hoặc tháng 10, để nhanh chóng đạt đến mực nước dâng bình thường, duy trì và cấp nước cho sản xuất lương thực và dân sinh ở hạ du (đỉnh mực nước vào tháng 2 tại Hà Nội). Phương án thỏa hiệp (đường màu tím) thể hiện sự tráo đổi lợi ích của 3 mục tiêu kể trên, sẽ có thể là phương án được chấp nhận bởi các bên

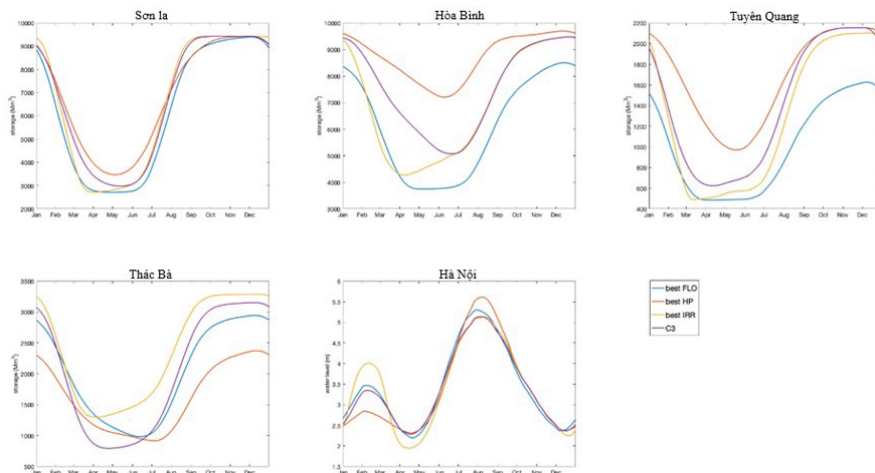
liên quan.

Trong điều kiện BĐKH, mặt Pareto được mô phỏng dưới tác động của sự thay đổi nhiệt độ, lượng mưa cùng yêu cầu dùng nước tương lai (Hình 8). Có thể nhận thấy, trong bối cảnh BĐKH, lợi ích của thủy điện tăng lên trong khi thiệt hại của lũ cũng có nguy cơ tăng lên (Hình 8a).

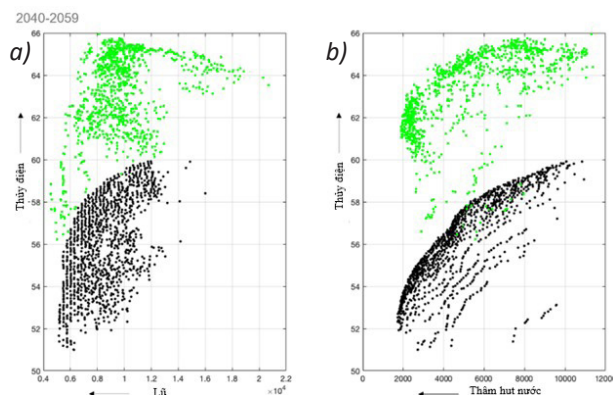
Thay vì sử dụng các phương án vận hành được lựa chọn trong giai đoạn hiện trạng, thử nghiệm điều chỉnh chính sách vận hành để xem xét khả năng thích ứng trong điều kiện BĐKH và phát triển kinh tế - xã hội. Kết quả được thể hiện ở Hình 9. Có thể nhận thấy trong trường hợp này, mục tiêu về phòng lũ đã cải thiện lên rất nhiều.



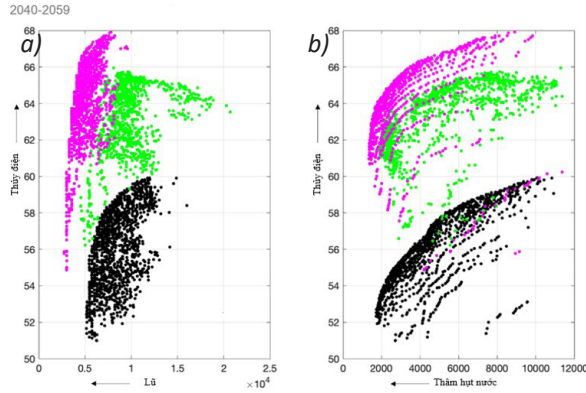
Hình 6. Mặt Pareto các phương án vận hành thiết kế cho lưu vực sông Hồng



Hình 7. Dung tích trung bình nhiều năm của 4 hồ chiến lược và mực nước tại trạm thủy văn Hà Nội giai đoạn (1995-2020) theo bốn phương án vận hành khác nhau



Hình 8. Mặt Pareto các phương án vận hành trong điều kiện hiện trạng (chấm đen) và BĐKH giai đoạn 2040-2059 (màu xanh) thể hiện trong quan hệ phòng lũ và thủy điện (Hình a) và cấp nước với thủy điện (Hình b)



Hình 9. Một Pareto các phương án vận hành trong điều kiện hiện trạng (chấm đen) và BĐKH giai đoạn 2040-2059 theo các mục tiêu hiện trạng (màu xanh), theo các mục tiêu thích nghi trong tương lai (màu tím) và thể hiện trong quan hệ phòng lũ và thủy điện (Hình a) và cấp nước với thủy điện (Hình b)

4. Kết luận và kiến nghị

Nghiên cứu này đã khám phá mối quan hệ giữa nước - năng lượng - lương thực thông qua quản lý tổng hợp tài nguyên nước, cho thấy mỗi quyết định về phương án vận hành có thể là sự đánh đổi lợi ích của 3 đối tượng này. Do vậy, an ninh của nước, năng lượng hay lương thực không thể xem xét một cách độc lập và đơn ngành, mà cần phải xem xét tổng thể dựa trên

hướng tiếp cận liên ngành.

Trong điều kiện hiện trạng, các phương án vận hành có thể được lựa chọn với các mục tiêu hiện trạng. Tuy nhiên trong bối cảnh BĐKH và phát triển kinh tế - xã hội, cần thiết phải thay đổi phương án vận hành, để có thể vừa tận dụng được lợi ích cho phát điện, lại vừa đảm bảo công tác phòng lũ và an ninh lương thực trong điều kiện mới.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo: Xây dựng ý tưởng: Trương Văn Anh, Andrea Casteletti; Xử lý số liệu: Mateo Giuliani; Tổng quan nghiên cứu: Nguyễn Đình Hoàng.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả của bài báo mang tiêu đề "Nghiên cứu mối quan hệ nước - năng lượng - lương thực phục vụ phát triển bền vững kinh tế xã hội", xin cam đoan rằng: 1) Tất cả dữ liệu và thông tin được trình bày trong bài báo này là chính xác và đầy đủ; 2) Các số liệu và kết quả trong bài báo này là trung thực và hoàn toàn không sao chép hoặc sử dụng kết quả của đề tài nghiên cứu nào tương tự; 3) Chúng tôi không có xung đột lợi ích nào liên quan đến bài báo này; 4) Bài báo đã tuân thủ các quy định đạo đức trong nghiên cứu, bao gồm việc xin phép từ các cơ quan có thẩm quyền và sự đồng ý của các đối tượng tham gia (nếu có); 5) Tập thể tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về nội dung của bài báo.

Ghi chú: Kết quả trình bày trong bài báo được trích từ kết quả nghiên cứu của REBECCA và NCKH TNMT2021.04.05. kết hợp giữa Viện ETH Zurich, Trường đại học Politecnico di Milano, Viện KIT, Đức và trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội,

Tài liệu tham khảo

1. MONRE (2018), Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia 2018, Bộ Tài nguyên và Môi trường.
2. Mậu Trường (2024), "Miền Tây chật vật thiếu nước sinh hoạt", Tuổi trẻ, truy cập ngày 02/10/2024. Trực tuyến: <https://tuoitre.vn/mien-tay-chat-vat-thieu-nuoc-sinh-hoat-20240402075445044.htm>
3. NAWAPI, (2023), Quy hoạch tổng hợp lưu vực sông Hồng - Thái Bình thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, Trung tâm Quy hoạch và Điều tra TNN Quốc Gia.
4. Embid A., M. L. (2018), "Defining priority interconnections in Latin America and the Caribbean", Proceedings of EC work- shop on WEF Nexus, Brussels.
5. Carmona-Moreno, C. (2019), Position Paper on Water, Energy, Food and Ecosystems (WEFE) Nexus

and Sustainable Development Goals (SDGs). European Commission .

6. C. Dondeynaz, M. P.-M. (2021), "Assessing the WEF Nexus and finding optimal solutions in the Mékrou trans-boundary river basin", IWA publishing, 70-80. Retrieved from <http://iwaponline.com/ebooks/book-pdf/948241/wio9781789062595.pdf>
7. Andrea Castelletti, R. S.-S. (2008), *Integrated and Participatory Water Resources Management: Theory*. Elsevier.

RESEARCH ON THE WATER - ENERGY - FOOD RELATIONSHIP SERVING SUSTAINABLE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT

Andrea Casteletti⁽¹⁾, Mateo Giuliani⁽¹⁾, Truong Van Anh⁽²⁾, Nguyen Dinh Hoang⁽²⁾

⁽¹⁾Politecnico di Milano

⁽²⁾Hanoi University of Natural Resources and Environment

Received: 7/11/2024; Accepted: 29/11/2024

Abstract: *This study focuses on water resource management in the Red River - Thai Binh basin, an essential factor for sustainable development in the region, particularly in the context of increasing climate change and rising water demand. The uneven distribution of water resources in the area has created numerous challenges for water security, especially in maintaining a balance between various needs such as electricity generation, domestic water supply, and flood prevention. To address these complex issues, the research has developed a decision analysis framework, combining the DAF strategic model with the Water-Energy-Food (WEF) nexus assessment model. The DAF model allows for the optimization of reservoir operation options, thereby evaluating key indicators related to electricity generation, water supply, and flood prevention capabilities. The research results indicate the necessity for flexible adjustments in reservoir operation strategies to ensure adequate water supply during the dry season while minimizing flood damage, thus aiming towards the goal of sustainable socio-economic development in the future.*

Keywords: *Water resources, water security, sustainable development, DAF, Red River - Thai Binh River.*