MULTI-OBJECTIVE PARADIGM FOR INTEGRATED RIVER BASIN MANAGEMENT – A CASE STUDY OF IDAMALAYAR AND IDUKKI RESERVOIR IN PERIYAR RIVER BASIN (KERALA, INDIA)

ANIL KUMAR

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

JULY 2024

MULTI-OBJECTIVE PARADIGM FOR INTEGRATED RIVER BASIN MANAGEMENT – A CASE STUDY OF IDAMALAYAR AND IDUKKI RESERVOIR IN PERIYAR RIVER BASIN (KERALA, INDIA)

by

ANIL KUMAR

Department of Civil Engineering

Submitted

in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy

to the

Indian Institute of Technology Delhi
JULY 2024

CERTIFICATE

This is to certify that the thesis entitled "**Multi-Objective Paradigm For Integrated River Basin Management – A Case Study Of Idamalayar and Idukki Reservoir in Periyar River Basin (Kerala, India)**", being submitted by Mr. Anil Kumar to the Indian Institute of Technology, Delhi (India) for the award of the degree of **Doctor of Philosophy** in Civil Engineering, is a bonafide research work carried out by him under our joint supervision. The thesis work, in our opinion has reached the standard, fulfilling the requirements for the said degree. Further, we certify that this submission is Mr. Anil's own work and that, to the best of our knowledge and belief, it contains no material previously published or written by another person which to a substantial extent has been accepted for the award of any other degree or diploma of any University or Institute, except where due acknowledgement has been made in the text.

(Prof. Rakesh Khosa)
Professor
Department of Civil Engineering
Indian Institute of Technology Delhi
New Delhi-110016

(Prof. A.K. Gosain)
Professor
Department of Civil Engineering
Indian Institute of Technology Delhi
New Delhi-110016

ACKNOWLEDGEMENTS

I consider it a proud privilege to express my heartfelt gratitude to my supervisors, Prof. Rakesh Khosa and Prof. A.K.Gosain, Department of Civil Engineering, IIT Delhi for their excellent supervision during the course of my research work. Prof. Rakesh Khosa has been a source of vital support, constant motivation and valuable suggestions that have helped me immensely in shaping this dissertation. I would like to extend my gratitude to Prof. A.K.Gosain for providing me with his invaluable advice and feedback on my work. In addition to their technical guidance, they have set forth examples of personal attributes which I hope to emulate as a good human being.

I am thankful to Prof. A..K. Nema, Head, Department of Civil Engineering, IIT Delhi. I am also thankful to Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology, Delhi, for providing necessary facilities for education and research. It is my privilege to thank the authorities of Indian Institute of Technology, Delhi for providing me overall support during my PhD tenure in the campus.

I sincerely acknowledge my SRC members, Prof. Alok Madam, Prof. Sumedha Chakma and Prof. Saknik Dey for their valuable feedback.

This acknowledgement shall remain incomplete unless I thank my fellow research scholars in IIT Delhi – Gaurav Pakhale, Akshat, & Lohit Jain, for their help and encouragement during this study.

The friendly help provided by Professors in Dept. of Civil Engineering is duly acknowledged and I am thankful to them for all help rendered by them during my stay at IIT Delhi.

My heartfelt thanks to my parents Hari Ram and Maya Devi. It was their unconditional love, affection and encouragement that has helped me to move ahead in my difficult times and complete my work successfully.

I can’t thank enough to my beloved wife Meenu Sharma and son Aryan Kumar for not just their patience to deal with my schedule but also for the positivity they kept filling in, which motivated me to push my limits as much as possible. Thank you Meenu for your constant encouragement and moral support without which I could not have able to succeed.

July 2024 (Anil Kumar)

ABSTRACT

This doctoral thesis presents a comprehensive study on the evaluation of the operation rules of the Idamalayar and Idukki reservoirs within the Periyar river basin, focusing on flood reduction through hydrological and hydrodynamic modeling. The research is prompted by the increasing frequency of catastrophic floods globally, particularly evident in the devastating 2018 floods in Kerala, India. The Periyar River basin, home to major hydro-electric projects, faced unprecedented challenges with extreme rainfall, resulting in floods that surpassed the projected 100-year peak discharge.

The study employs a hybrid model, coupling 1D–2D river modeling, to assess inundation extents and flooding depths, addressing the deficiency of continuous time series monitored data. The developed iRIC 2D model, implemented under controlled and uncontrolled conditions, exhibits satisfactory performance during calibration and validation against observed field data. The integrated SWAT-iRIC model proves effective as a flood simulator in the flood-prone Periyar river basin. The study highlights the well-managed operation policies of the Idamalayar and Idukki reservoirs, as evidenced by controlled flooding depths below 3m. The developed framework, a valuable tool for flood reduction, offers insights into reservoir operation policies on a larger scale, contributing to flood reduction planning and natural disaster management. The study showcases the applicability of the SWAT model for assessing flow in the Periyar river basin, demonstrating superior performance in calibration and validation processes.

The research extends its scope to habitat suitability for fish using remote sensing, GIS, and AHP, offering insights applicable not only in India but also in other countries facing increased pressure on water resources due to population growth. The integrated modeling process

identifies ecological optimum discharge values and least suitable discharge based on habitat suitability, environmental standards, hydrological water availability, and legal constraints.

Furthermore, the study introduces an integrated model for optimal reservoir scheduling, considering water demand factors, environmental baseflow, flood management, and competing water demands. The combined reservoir operating method prioritizes planned hydropower reliability and safeguards downstream ecosystems. Improved rule curves for the Idukki and Idamalayar reservoirs aim to minimize annual water shortages and enhance flood management capabilities. The new curves, resembling existing patterns, emphasize the significance of increased reservoir volume during the monsoon season. Future research could derive optimal operating policies at daily time steps, offering a more detailed understanding of reservoir dynamics.

From the above discussion, it can be said that the present doctoral thesis significantly advances the scientific understanding of reservoir operations, flood reduction strategies, and habitat suitability assessments. The proposed framework and models offer practical applications for effective planning, management of natural disasters, and sustainable utilization of water resources, especially in the face of escalating global challenges. The study's multidimensional approach, spanning hydrological modeling, reservoir operation policies, and ecological assessments, positions it as a comprehensive and valuable contribution to the field. The findings not only deepen our understanding of the Periyar River basin dynamics but also provide transferable insights with broader implications for regions worldwide facing similar water-related challenges.

सारांश

यह डॉक्टोरल थीसिस पेरियार नदी बेसिन के भीतर इडामलयार और इडुक्की जलाशयों के परिचालन नियमों के मूल्यांकन पर केंद्रित है, जो हाइड्रोलॉजिकल और हाइड्रोडायनामिक मॉडलिंग के माध्यम से बाढ़ में कमी पर जोर देती है। यह शोध वैश्विक स्तर पर विनाशकारी बाढ़ की बढ़ती आवृत्ति, विशेष रूप से 2018 में केरल, भारत में हुई विनाशकारी बाढ़ के संदर्भ में प्रेरित है। पेरियार नदी बेसिन, जो प्रमुख हाइड्रो-इलेक्ट्रिक परियोजनाओं का घर है, को अत्यधिक वर्षा के साथ अभूतपूर्व चुनौतियों का सामना करना पड़ा, जिससे बाढ़ की स्थिति उत्पन्न हुई जो अनुमानित 100-वर्षीय चरम निर्वहन को पार कर गई।

अध्ययन 1D–2D नदी मॉडलिंग को जोड़ने वाले एक हाइब्रिड मॉडल का उपयोग करता है, जो सतत समय श्रृंखला निगरानी डेटा की कमी को संबोधित करते हुए जलमग्नता की हदों और बाढ़ की गहराई का आकलन करता है। नियंत्रित और अनियंत्रित परिस्थितियों के तहत कार्यान्वित iRIC 2D मॉडल, अवलोकित फील्ड डेटा के विरुद्ध अंशांकन और मान्यकरण के दौरान संतोषजनक प्रदर्शन प्रदर्शित करता है। एकीकृत SWAT-iRIC मॉडल बाढ़-प्रवण पेरियार नदी बेसिन में एक प्रभावी बाढ़ सिम्युलेटर साबित होता है। अध्ययन इडामलयार और इडुक्की जलाशयों की अच्छी प्रबंधित परिचालन नीतियों पर प्रकाश डालता है, जैसा कि 3 मीटर से कम गहराई वाली नियंत्रित बाढ़ से सिद्ध होता है। विकसित ढांचा, बाढ़ में कमी के लिए एक मूल्यवान उपकरण है, जो बड़े पैमाने पर जलाशय संचालन नीतियों पर अंतर्दृष्टि प्रदान करता है, बाढ़ में कमी योजना और प्राकृतिक आपदा प्रबंधन में योगदान देता है। अध्ययन पेरियार नदी बेसिन में प्रवाह के आकलन के लिए SWAT मॉडल की प्रयोज्यता को प्रदर्शित करता है, जो अंशांकन और मान्यकरण प्रक्रियाओं में श्रेष्ठ प्रदर्शन दिखाता है।

शोध अपने दायरे को मछलियों के लिए निवास स्थान की उपयुक्तता तक विस्तारित करता है, जो रिमोट सेंसिंग, जीआईएस, और एएचपी का उपयोग करते हुए, ऐसे अंतर्दृष्टि प्रदान करता है जो न केवल भारत

में बल्कि जनसंख्या वृद्धि के कारण जल संसाधनों पर बढ़ते दबाव का सामना कर रहे अन्य देशों में भी लागू होते हैं। एकीकृत मॉडलिंग प्रक्रिया पर्यावरण मानकों, हाइड्रोलॉजिकल जल उपलब्धता, और कानूनी बाधाओं के आधार पर निवास स्थान की उपयुक्तता के लिए पारिस्थितिक इष्टतम निर्वहन मूल्य और सबसे कम उपयुक्त निर्वहन की पहचान करती है।

इसके अतिरिक्त, अध्ययन जल की मांग कारकों, पर्यावरणीय आधार प्रवाह, बाढ़ प्रबंधन, और प्रतिस्पर्धी जल मांगों पर विचार करते हुए एकीकृत मॉडल पेश करता है। संयुक्त जलाशय संचालन विधि नियोजित जलविद्युत विश्वसनीयता को प्राथमिकता देती है और डाउनस्ट्रीम पारिस्थितिक तंत्रों की सुरक्षा करती है। इडुक्की और इडामलयार जलाशयों के लिए सुधारित नियम वक्र वार्षिक जल की कमी को कम करने और बाढ़ प्रबंधन क्षमताओं को बढ़ाने का लक्ष्य रखते हैं। नए वक्र, मौजूदा पैटर्न के समान, मानसून के मौसम के दौरान जलाशय की मात्रा में वृद्धि के महत्व पर जोर देते हैं। भविष्य के अनुसंधान दैनिक समय कदमों पर इष्टतम संचालन नीतियों को व्युत्पन्न कर सकते हैं, जो जलाशय गतिकी की अधिक विस्तृत समझ प्रदान करते हैं।

उपरोक्त चर्चा से यह कहा जा सकता है कि वर्तमान डॉक्टोरल थीसिस जलाशय संचालन, बाढ़ में कमी रणनीतियों, और निवास स्थान उपयुक्तता आकलन की वैज्ञानिक समझ को महत्वपूर्ण रूप से आगे बढ़ाती है। प्रस्तावित ढांचा और मॉडल प्रभावी योजना, प्राकृतिक आपदाओं के प्रबंधन, और जल संसाधनों के सतत उपयोग के लिए व्यावहारिक अनुप्रयोग प्रदान करते हैं, विशेष रूप से बढ़ती वैश्विक चुनौतियों का सामना करते हुए। अध्ययन का बहुआयामी दृष्टिकोण, जो हाइड्रोलॉजिकल मॉडलिंग, जलाशय संचालन नीतियों, और पारिस्थितिक आकलनों को शामिल करता है, इसे क्षेत्र में एक व्यापक और मूल्यवान योगदान के रूप में स्थापित करता है। निष्कर्ष न केवल पेरियार नदी बेसिन की गतिशीलता की हमारी समझ को गहरा करते हैं बल्कि समान जल-संबंधी चुनौतियों का सामना कर रहे क्षेत्रों के लिए व्यापक प्रभावों के साथ स्थानांतरण योग्य अंतर्दृष्टि भी प्रदान करते हैं।

TABLE OF CONTENTS

LIST OF TABLES

LIST OF FIGURES