DEVELOPMENT OF AN ENTERPRISE RISK MANAGEMENT MODEL FOR RENEWABLE POWER PROJECTS IN INDIA

PADAM NARAYAN

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

JULY 2025

© Indian Institute of Technology Delhi (IITD), New Delhi, 2025

DEVELOPMENT OF AN ENTERPRISE RISK MANAGEMENT MODEL FOR RENEWABLE POWER PROJECTS IN INDIA

by

PADAM NARAYAN

Department of Civil Engineering

Submitted

In fulfilment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy

to the

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

JULY 2025

Dedicated to My Dad

CERTIFICATE

This is to certify that the thesis entitled "**Development of an enterprise risk management model for renewable power projects in India**", being submitted by **Mr. Padam Narayan** to the Indian Institute of Technology Delhi for the award of the degree of **Doctor of Philosophy** is a boanfide record of the research work carried out by him under our supervision and guidance. The thesis work, in our opinion, has reached the requisite standard, fulfilling the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.

The contents of this thesis, in full or in parts, have not been submitted to any other University or Institute for the award of any degree or diploma.

Dr. Santu Kar
(Assistant Professor)
Department of Civil Engineering
Indian Institute of Technology Guwahati
Asssam, 781039, India

Dr. Kumar Neeraj Jha
(Professor)
Department of Civil Engineering
Indian Institute of Technology Delhi
New Delhi, 110016, India

ACKNOWLEDGEMENTS

First and foremost, I would like to thank God for providing me this opportunity, granting capability to proceed successfully, and helping me to complete this thesis at its best.

I would like to extend my sincere gratitude to my supervisor, Prof. K. N. Jha, Department of Civil Engineering, IIT Delhi, and Dr. Santu Kar, Department of Civil Engineering, IIT Guwahati, for their constant support, motivation, enthusiasm, consistent and inspiring guidance, and utmost cooperation at every stage of this research. Working under their supervision has been a highly educative and memorable experience.

I am thankful to my student research committee members, Prof. J. T. Shahu and Prof. Sahil Bansal of Department of Civil Engineering, IIT Delhi, and Prof. Seema Sharma, Department of Management Studies, IIT Delhi, for providing me with their valuable inputs throughout my study.

I wish to take this opportunity to extend my sincere thanks to the faculty members of IIT Delhi with whom I interacted occasionally. I also thank all the staff members of the Department of Civil Engineering, IIT Delhi, for all the possible help rendered in administrative work. I am thankful to Dr. Ravi Kumar K., Department of Energy Science and Engineering, for the timely help and guidance rendered in my work.

As is the case with any empirical research, the respondents and interviewees played a major role in providing me with significant inputs. I am grateful to all the respondents and interviewees who contributed by filling in the questionnaires, sparing their valuable time, and giving insight into my research problem.

I am very much indebted to Dr. Y.B.K. Reddy, former Additional General Manager, Solar Energy Corporation of India Limited, without whom my doctoral research would have never seen the light of the day. My sincere thanks to all other office colleagues, especially Sh. Vineet Kumar, Sh. Ankit Agarwal, Sh. Harendra Tomar, Sh. Manohar A. Mate and Sh. C.P. Bhatnagar, for their continuous support and motivation throughout the journey.

I thank my research group colleagues and friends Dr. Sparsh Johari, Dr. Ravindranadh Chowdary Kamma, Aman Ahlawat, Pralayesh Guha, Abdul Gaffar Shaikjaan, G.S. Jagan, C. Murli Krishna, Sakshi Katiyar, Venugopal Mahajan, Amit Kumar, Sreedevi A R, Dr. Garima Bhagat, Bhavisha Thakkar, Dr. Siddharth Shankar and Dr. Sakshi Gupta with whom I have spent a considerable amount of time in technical discussions at various stages of my research. A special thanks to Mr. Randheer Jha for the cooperation he extended during my entire IITD tenure.

I would like to extend my deepest gratitude to my mother, brother, and his family, sister, and her family, as well as my in-laws, for their constant support and encouragement throughout my studies. I wholeheartedly thank my loving wife, Swati Joshi, and son Madhav Bansiwala for their unconditional love and cooperation, without which this study would not have been possible at all.

PADAM NARAYAN

ABSTRACT

Conventional resources for electricity generation produce over three-fourths of the anthropogenic emissions responsible for climate change. Therefore, the world is swiftly transitioning to embrace renewable resources, such as solar, wind, and hydropower, to control climate change and decarbonization. Further, they proved to be a potential solution to energy access and security concerns. However, developing renewable power projects imposes numerous challenges, distinct from developing projects with conventional resources, that require unique risk management strategies to ensure improved performance and sustainable development.

Risk management in practice is far from the theoretical background and is one of the primary reasons for derailed project performance, i.e., time and cost. Given the unique characteristics and the exclusive challenges it imposes, the conventional approach to risk management may not be adequate. Further, risk management is an enterprise's top management's prerogative, and the adoption of any approaches depends heavily on their risk perception. Furthermore, the perception of risks and management perspectives can significantly differ depending on the enterprise's role in the project (i.e., developer/ owner and principal contractor) and its listing types (i.e., public and private). Accordingly, the following questions arise: How do risk perceptions and approaches vary with respect to the enterprise role and listing type that influence renewable power project performance? What are the governing factors, and how do we develop a risk management model tailor-made to the renewable sector to influence their performance and sustainability parameters?

Prevailing literature has rarely examined the enterprise risk perception towards risk management in developing renewable power projects, especially solar power projects. Moreover, limited studies have been conducted to investigate enterprises' approach to managing risk based on their roles and listing types. Further, limited studies are available on investigating solar power project risks and their impact on project performance, primarily based on empirical evidence, while analyzing the underlying contractors' approach to addressing them. In addition, risk issues and mitigation strategies concerning the enterprises' sustainability and the precise analysis of their underlying structure and

influences in the context of renewable resources are seldom reported. Although past studies illustrated several risk management practices, their actual impact on project performance and sustainability through empirical evidence is seldom reported. Further, the aspects were rarely available in the prevailing literature, especially in the case of addressing the unique characteristics of renewable power project development.

The study aims to evaluate the risk perceptions and management approaches by an enterprise in developing a renewable power project concerning its role in the project, i.e., developer and principal contractor, and its listing types, i.e., public and private. The study also aims to identify the critical risk management practices specific to the sector and evaluate their influence in improving project performance and sustainability parameters. Moreover, the study focuses on identifying the critical risks in renewable project development and the appropriate risk mitigation strategies to control the risk impact.

To address the research objectives, it was essential to identify and understand the current state of risk management practices in renewable sector enterprises and test hypotheses for their influence on performance and sustainability parameters. Thus, pragmatism research philosophy, which combined the use of both positivism and interpretivism philosophies, was adopted in this study. Moreover, the study adopted a combination of deductive and inductive approaches to address the questions, enabling data collection through quantitative and qualitative means.

The study explored the differences in risk perceptions and management approaches concerning enterprise role in the project and listing types, as well as the governing underlying factors through case studies with similar attributes. The study revealed significant differences in the risk management approaches, primarily in risk planning, risk sharing between the stakeholders, decision-making systems, and coordination and reporting mechanisms, leading to differences in the project outcomes. While public enterprises are more process-oriented, the private sector has a result-oriented inclination. Further, public entities are document-driven, inflexible, and bound by bureaucratic decision-making systems that consume more time, thereby preferring conventional approaches to risk management. Further, developers in developing renewable projects, regardless of their listing types, prefer to transfer all the

project risks to the contractor through a lumpsum turnkey (LSTK) mechanism. In contrast, contractors, irrespective of their listing types, consciously accept the conditions. Contractor entities are result-oriented, flexible, quick in decision-making, and perform collaborative risk management. By determining and evaluating the differences in enterprises' perspectives and approaches under their listing types and role in the project, underlying factors leading to their adoption, and their efficacy in developing solar (renewable) power projects, the study fills a critical gap in the body of knowledge.

Given that when developing renewable power projects, developers prefer to transfer the risks, perceived or non-perceived, to the contractor through an LSTK contract, the risk perception and approaches of a contractor enterprise become more significant. To address the research questions, the contractors' risk perceptions in their differing listing types, i.e., public and private, were studied through case studies with similar attributes. While analyzing the contractors' management approach, the case study evaluated the risks encountered and the impact they had on the project outcome. The study outlined 16 key risk factors and their impact on project outcome, such as reworks, cost and time variance, imposition of liquidated damages, loss of revenue, and disputes and claims. Further, the discussion with the project team and functional leaders suggested potential mitigation measures. Further, the study revealed that irrespective of the contractor's listing type, the approach toward risk management remains casual, leading to derailed project outcomes. Moreover, lax planning, absence of formal risk management, and non-adherence to the risk portfolio during all project phases were revealed. By identifying the critical risks encountered and evaluating the contractors' perspective and adopted approaches in their management through empirical evidence from India, the study fills the crucial gap in the body of knowledge.

The comprehensive literature review identified limited studies that were focused on existing practices and their state of implementation, critical risk issues, and mitigation strategies in the context of the renewable industry. Further, the influence of these practices on improving the performance and sustainability objectives was rarely explored. Therefore, this study investigates the current state of practice of risk management, focusing on Indian renewable sector enterprises, based on discussions with risk management practitioners and a questionnaire survey. The first section (referred to as Q1) of the

questionnaire evaluated the influence of risk management practices on projects' performance and sustainability parameters. The analysis of Q1 survey data, using exploratory factor analysis (EFA), determined the critical risk management practices such as inclusive and long-term planning, engaging dedicated risk officers, identifying, documenting, and updating risk management policy, and systematic risk assessment, recording, and training. Further, by analyzing data using structural equation modeling (SEM), the study determined that these practices significantly and positively influence the renewable power project's performance and sustainability parameters. The study also provided comprehensive insights into the current risk management practices being followed in Indian renewable power sector enterprises. The study fills the critical gap by narrowing the vital practices and determining their level of implementation in the Indian renewable power sector. Moreover, by determining their influence on improving performance and sustainability, the study expands the existing body of knowledge.

The second section of the questionnaire survey (referred to as Q2) evaluated the influence of risk mitigation strategies in containing the risk issues. The analysis of Q2 survey data, using EFA and SEM, determined the key risk issues and mitigation strategies that were tailored for the development of renewable power projects. Critical risk issues included a lack of project management, operational issues, resource and infrastructure constraints, supply chain constraints, impractical regulations and expectations, lack of technical standards, and industry and business risks, covering the entire gamut of risks to the enterprises in the development of renewable power projects. Further, critical mitigation strategies, such as digitalization, standardization, creating databases, policy framework, proactive planning and process development, and improved stakeholder interaction and liaison, were found to have a significant positive impact in mitigating risk issues. The study would allow enterprises to recognize risks proactively, adopt an appropriate mitigation strategy, allocate risks appropriately, and avoid disputes. This study adds value to the existing body of knowledge by exploring the risk mitigation measures, their underlying structure, and their precise influence in reducing the impact on renewable sectors' sustainable development through empirical evidence.

The risk professionals and enterprises can adopt the output of the study to modify/ adopt appropriate approaches to address risk issues and enhance performance and sustainability. Further,

practitioners can plan the identified risks in this study proactively and adopt appropriate mitigation strategies to minimize the impact. Proactive action from decision-makers can provide a pronounced understanding of risks and their impact. Further, it allows the timely deployment of appropriate mitigation measures, thereby minimizing threats and maximizing opportunities. Moreover, enterprises and practitioners can adopt the identified critical risk management practices to align project objectives with the enterprise's long-term goals.

सार

जलवायु परिवर्तन के लिए जिम्मेदार मानव-जनित उत्सर्जन के तीन-चौथाई से अधिक का उत्पादन बिजली उत्पादन के लिए किये जाने वाले पारंपरिक संसाधन द्वारा होता हैं। इसलिए, जलवायु परिवर्तन और विवर्तन को नियंत्रित करने के लिए एक संकल्प के रूप में दुनिया तेजी से अक्षय संसाधनों, जैसे कि सौर, हवा और जलविद्युत, द्वारा बिजली उत्पादन पर जोर दे रही है। इसके अतिरिक्त, अक्षय उर्जा संसाधनों को ऊर्जा पहुंच और सुरक्षा चिंताओं के लिए एक संभावित समाधान के रूप में भी स्थापित किया जा रहा है। हालांकि, नवीकरणीय बिजली परियोजनाओं को विकसित करने में कई प्रकार की चुनौतियों का सामना करता है, जो की पारंपरिक संसाधनों के साथ विकासशील परियोजनाओं से भिन्न है, तदन्तर जिसमें बेहतर प्रदर्शन और सतत विकास सुनिश्चित करने के लिए अद्वितीय जोखिम प्रबंधन रणनीतियों की आवश्यकता होती है।

प्रभावी जोखिम प्रबंधन के द्वारा परियोजना के प्रदर्शन में सुधार किया जा सकता है और स्थिरता को बढ़ावा मिलता है। हालाँकि, व्यवहार में जोखिम प्रबंधन सैद्धांतिक पृष्ठभूमि से बहुत दूर है और परियोजना के ख़राब प्रदर्शन के लिए ज़िम्मेदार प्राथमिक कारणों में से एक है। नवीकरणीय उर्जा संसाधनों की अनूठी विशेषताओं और इसके परियोजना प्रबंधन में पाई जाने वाली विशेष चुनौतियों को देखते हुए, जोखिम प्रबंधन के लिए पारंपरिक दृष्टिकोण पर्याप्त नहीं है। इसके अतिरिक्त, उद्यमों में जोखिम प्रबंधन उसके शीर्ष प्रबंधन का विशेषाधिकार है, और जोखिम प्रबंधन दृष्टिकोणों को अपनाना शीर्ष प्रबंधन की जोखिम धारणा पर बहुत अधिक निर्भर करता है। जोखिम और उनके प्रबंधन के लिए उचित दृष्टिकोण की धारणा परियोजना में उद्यम की भूमिका (यानी, डेवलपर अथवा प्रमुख ठेकेदार) और इसके लिस्टिंग प्रकार (यानी, सार्वजनिक अथवा निजी) के आधार पर काफी भिन्न हो सकती है। तदनुसार, निम्नलिखित प्रश्न उत्पन्न होते हैं: जोखिम धारणाएं और दृष्टिकोण कैसे उद्यम की भूमिका और लिस्टिंग प्रकार के संबंध में भिन्न होते हैं जो अक्षय बिजली परियोजना के प्रदर्शन को प्रभावित करते हैं? प्रभावी कारक क्या हैं, और हम अपने प्रदर्शन और स्थिरता मापदंडों को प्रभावित करने के लिए अक्षय क्षेत्र के लिए एक जोखिम प्रबंधन मॉडल दर्जी कैसे विकसित करते हैं?

प्रचलित साहित्य ने अक्षय बिजली परियोजनाओं, विशेष रूप से सौर ऊर्जा परियोजनाओं, को विकसित करने में जोखिम प्रबंधन के प्रति उद्यम जोखिम धारणा और दृष्टिकोण की शायद ही कभी जांच की है। इसके अलावा, परियोजनाओं में उनकी भूमिकाओं और लिस्टिंग प्रकारों के आधार पर जोखिम प्रबंधन के लिए दृष्टिकोण की जांच करने के लिए अत्यंत सीमित अध्ययन ही उपलब्ध हैं। सौर ऊर्जा परियोजना जोखिमों और परियोजना के प्रदर्शन पर उनके प्रभाव की जांच करने हेतु और अंतर्निहित ठेकेदारों द्वारा उन्हें संबोधित करने के लिए उपयुक्त दृष्टिकोण का विश्लेषण करते हुए, मुख्य रूप से अनुभवजन्य साक्ष्य पर आधारित, अध्ययन की उपलब्धता अत्यंत सीमित हैं। उद्यमों की स्थिरता और अक्षय संसाधनों के संदर्भ में उनके अंतर्निहित संरचना और प्रभावों के सटीक विश्लेषण से संबंधित जोखिम मुद्दों और शमन रणनीतियों को शायद ही कभी रिपोर्ट किया गया था। हालांकि, पिछले अध्ययनों ने कई जोखिम प्रबंधन प्रथाओं को चित्रित किया, लेकिन अनुभवजन्य साक्ष्य के माध्यम से परियोजना के प्रदर्शन और स्थिरता पहलुओं पर उनका वास्तविक प्रभाव शायद ही कभी रिपोर्ट किया गया है। इसके अलावा, विशेष रूप से नवीकरणीय बिजली परियोजना के विकास की अनूठी विशेषताओं को संबोधित करने के मामले में यह पहलू शायद ही कभी प्रचलित साहित्य में उपलब्ध थे।

इस अध्ययन का उद्देश्य अक्षय ऊर्जा परियोजना के विकास में उद्यमों द्वारा परियोजना में उनकी भूमिका, अर्थात्, डेवलपर या प्रमुख ठेकेदार, और इसके लिस्टिंग प्रकार, अर्थात्, सार्वजनिक या निजी, के आधार पर जोखिम धारणाओं और प्रबंधन दृष्टिकोणों का मूल्यांकन करना है। अध्ययन का उद्देश्य नवीकरणीय उर्जा क्षेत्र के लिए विशिष्ट महत्वपूर्ण जोखिम प्रबंधन प्रथाओं की पहचान करना और परियोजना के प्रदर्शन और स्थिरता मापदंडों में सुधार करने में उनके प्रभाव का मूल्यांकन करना है। इसके अतिरिक्त, यह अध्ययन अक्षय परियोजना विकास में महत्वपूर्ण

जोखिमों और उनके दुष्प्रभावों को नियंत्रित करने के लिए उचित जोखिम शमन रणनीतियों की पहचान करने पर भी केंद्रित है।

शोध उद्देश्यों को संबोधित करने के लिए, अक्षय क्षेत्र के उद्यमों में जोखिम प्रबंधन प्रथाओं की वर्तमान स्थिति की पहचान करना और समझना तथा प्रदर्शन और स्थिरता मापदंडों पर उनके प्रभाव के लिए परिकल्पनाओं का परीक्षण करना आवश्यक था। इस प्रकार, इस अध्ययन में व्यावहारिकता अनुसंधान दर्शन को अपनाया गया, जिसमें प्रत्यक्षवाद और व्याख्यावाद दोनों दर्शनों का उपयोग किया गया। इसके अलावा, अध्ययन ने प्रश्नों को संबोधित करने के लिए निगमनात्मक और आगमनात्मक दृष्टिकोणों के संयोजन को अपनाया, जिससे मात्रात्मक और गुणात्मक साधनों के माध्यम से डेटा संग्रह संभव हो सका।

इस अध्ययन ने परियोजना में उद्यम की भूमिका और लिस्टिंग प्रकारों से संबंधित जोखिम धारणाओं और प्रबंधन दृष्टिकोणों में अंतर का पता लगाया, साथ ही साथ अंतर्निहित कारकों को भी अध्ययन किया। इस अनुसन्धान ने समान विशेषताओं वाले उपयोगिता-पैमाने पर सौर ऊर्जा परियोजनाओं, लेकिन विभिन्न डेवलपर और प्रमुख ठेकेदार संयोजनों के साथ, अर्थात्, निजी-निजी और सार्वजनिक-सार्वजनिक, क्रमशः, से केस प्रोजेक्ट्स की पहचान की। परियोजना दस्तावेज, समाचार लेख और प्रकाशित रिपोर्टों का अध्ययन किया गया, इसके बाद इन परियोजनाओं के डेवलपर और ठेकेदार के वरिष्ठ अधिकारियों के साथ एक असंरचित चर्चा भी हुई। अध्ययन में जोखिम प्रबंधन दृष्टिकोणों में महत्वपूर्ण अंतर का पता चला, जो की परियोजना के परिणामों में अंतर के लिए अग्रणी हैं, इनमें मुख्य रूप से जोखिम योजना, हितधारकों के बीच जोखिम साझाकरण, निर्णय लेने की प्रणाली, और समन्वय और रिपोर्टिंग तंत्र शामिल हैं। जहाँ सार्वजनिक उद्यम अधिक प्रक्रिया-उन्मुख हैं, निजी क्षेत्र में परिणाम-उन्मुख झुकाव है। इसके अलावा, सार्वजनिक संस्थाएं दस्तावेज़-संचालित, अनम्य और नौकरशाही निर्णय लेने वाली प्रणालियों द्वारा बाध्य हैं जो अधिक समय का उपभोग करते हैं, जिससे जोखिम प्रबंधन के लिए पारंपरिक दृष्टिकोण को अधिक पसंद किया जाता है। इसके अलावा, नवीकरणीय परियोजनाओं को विकसित करने में डेवलपर्स, चाहे वह किसी भी लिस्टिंग प्रकार के हों, एक लम्पसम टर्नकी (LSTK) तंत्र के माध्यम से ठेकेदार को सभी परियोजना जोखिमों को स्थानांतरित करना पसंद करते हैं। इसके विपरीत, ठेकेदार, चाहे वह किसी भी लिस्टिंग प्रकार के हों, सचेत रूप से इन शर्तों को स्वीकार करते हैं। ठेकेदार संस्थाएं परिणाम-उन्मुख, लचीले, निर्णय लेने में त्वरित होते हैं, और सहयोगी जोखिम प्रबंधन करते हैं। उद्यमों के दृष्टिकोणों में अंतर का निर्धारण और मूल्यांकन करके परियोजना में उनकी लिस्टिंग प्रकारों और भूमिका के तहत दृष्टिकोण, उनके उपयोग लेने के लिए अंतर्निहित कारक, और सौर (नवीकरणीय) बिजली परियोजनाओं को विकसित करने में उनकी प्रभावकारिता का अध्ययन करके, यह अध्ययन ज्ञान के मोजुदा निकाय में निहित एक महत्वपूर्ण अंतर को भरता है।

यह देखते हुए कि अक्षय बिजली परियोजनाओं को विकसित करते समय, डेवलपर्स एक LSTK अनुबंध के माध्यम से ठेकेदार को कथित या गैर-कथित जोखिमों को स्थानांतरित करना पसंद करते हैं, एक ठेकेदार उद्यम के जोखिम धारणा और दृष्टिकोण और अधिक महत्वपूर्ण हो जाते हैं। शोध के सवालों को संबोधित करने के लिए, डेवलपर लिस्टिंग प्रकार (यानी, सार्वजनिक) सहित समान विशेषताओं के साथ उपयोगिता-पैमाने पर सौर ऊर्जा परियोजनाओं में से दो केस परियोजनाएं, जहाँ ठेकेदारों के लिस्टिंग प्रकार क्रमशः सार्वजनिक और निजी थे, के रूप में पहचानी गयीं। जोखिम की धारणा और दृष्टिकोण का अध्ययन किया गया, जिनमें जोखिमों का सामना करने में ठेकेदारों के प्रबंधन दृष्टिकोण का विश्लेषण करते हुए परियोजना के परिणाम पर उनका प्रभाव अध्ययन किया गया। अध्ययन में परियोजना के अनुमानों में त्रुटियों, गलत साइट मूल्यांकन, वैधानिक और नियामक अनुपालन में देरी, प्रबंधन में परिवर्तन, अप्रभावी संचार और नियंत्रण, कार्यों का अनुचित वितरण, अपर्याप्त कार्यबल, और गुणवत्ता नियंत्रण तंत्र की कमी सहित 16 प्रमुख जोखिम कारकों की पहचान किया गया। इन प्रमुख जोखिमों के प्रभाव में कार्य पुनरावृत्ति, लागत और समय विचरण, परिसमापित नुकसान, राजस्व की हानि, और विवाद और दावे शामिल हैं। इसके अलावा, परियोजना टीम और कार्यात्मक प्रबंधकों के साथ चर्चा ने संभावित शमन उपायों का सुझाव दिया, जैसे कि सक्रिय और समावेशी योजना, परियोजना विशेषताओं का एक गहन अध्ययन, IT का उपयोग

करना, प्रशिक्षण और विकास, और निरंतर निगरानी और नियंत्रण, जो जोखिम प्रभावों को कम कर सकते थे। इसके अलावा, अध्ययन से पता चला है कि ठेकेदार, चाहे वह किसी भी लिस्टिंग प्रकार के हों, जोखिम प्रबंधन की ओर दृष्टिकोण आकस्मिक रहता है, जिससे परियोजना के परिणामों पर नकारात्मक प्रभाव पड़ता है। इसके अलावा, योजना के प्रति ढीला रवैया, औपचारिक जोखिम प्रबंधन की अनुपस्थिति, और सभी परियोजना चरणों के दौरान जोखिम पोर्टफोलियो के गैर-उन्मूलन का पता चलता है। महत्वपूर्ण परियोजना जोखिमों, जो की बिगड़े हुए परियोजना प्रदर्शन का कारण बनता है, की पहचान करके और भारत से अनुभवजन्य साक्ष्यों के माध्यम से ठेकेदारों के प्रबंधन परिप्रेक्ष्य और उनके दृष्टिकोणों का मूल्यांकन करके, यह अध्ययन ज्ञान के मोजुदा निकाय में निहित एक महत्वपूर्ण अंतर को भरता है।

अक्षय क्षेत्र के उद्यमों के लिए विशिष्ट एक जोखिम प्रबंधन मॉडल के विकास को एक व्यापक साहित्य समीक्षा की आवश्यकता होती है, जिसमें क़ानून और उसके नियम, सार्वजनिक रूप से उपलब्ध उद्यम दस्तावेज, जैसे कि वार्षिक रिपोर्ट, स्थिरता रिपोर्ट और जोखिम प्रबंधन नीतियों और प्रकाशित शोध लेख निहित हैं। एक व्यापक साहित्य समीक्षा ने सीमित अध्ययनों की पुष्टि की जिनके द्वारा मौजूदा प्रथाओं और उनके कार्यान्वयन की स्थिति, महत्वपूर्ण जोखिम के मुद्दों और भारतीय नवीकरणीय उद्योग के संदर्भ में शमन रणनीतियों, पर विवेचना की जा सके। इसके अलावा, प्रदर्शन और स्थिरता के उद्देश्यों में सुधार पर इन प्रथाओं के प्रभाव को शायद ही कभी पता लगाया गया था। इसलिए, यह अध्ययन जोखिम प्रबंधन व्यवसायियों के साथ चर्चा के आधार पर और एक प्रश्नावली सर्वेक्षण द्वारा भारतीय अक्षय उर्जा क्षेत्र के उद्यमों में जोखिम प्रबंधन के अभ्यास की वर्तमान स्थिति की जांच करता है। प्रश्नावली के पहले खंड (Q1 के रूप में संदर्भित) ने परियोजनाओं के प्रदर्शन और स्थिरता मापदंडों पर जोखिम प्रबंधन प्रथाओं के प्रभाव का मूल्यांकन किया। Q1 सर्वेक्षण डेटा का विश्लेषण को खोजपूर्ण कारक विश्लेषण (EFA) का उपयोग करते हुए, समावेशी और दीर्घकालिक योजना, समर्पित जोखिम अधिकारियों को उलझाने, जोखिम प्रबंधन नीति की पहचान करने, दस्तावेजीकरण और अद्यतन करने, और व्यवस्थित जोखिम मूल्यांकन, रिकॉर्डिंग और प्रशिक्षण जैसे महत्वपूर्ण जोखिम प्रबंधन प्रथाओं को निर्धारित किया। इसके अलावा, संरचनात्मक समीकरण मॉडलिंग (SEM) का उपयोग करके डेटा का विश्लेषण के द्वारा, अध्ययन ने निर्धारित किया कि ये प्रथाएं अक्षय ऊर्जा परियोजना के प्रदर्शन और स्थिरता मापदंडों को महत्वपूर्ण रूप से और सकारात्मक रूप से प्रभावित करती हैं। इस अध्ययन ने भारतीय नवीकरणीय बिजली क्षेत्र के उद्यमों में वर्तमान जोखिम प्रबंधन प्रथाओं में व्यापक अंतर्दृष्टि प्रदान की। यह अध्ययन महत्वपूर्ण प्रथाओं को संकुचित करके और भारतीय अक्षय बिजली क्षेत्र में कार्यान्वयन के उनके स्तर का निर्धारण करके मोजुदा निकाय में निहित एक महत्वपूर्ण अंतर को भरता है। इसके अलावा, प्रदर्शन और स्थिरता में सुधार पर जोखिम प्रबंधन प्रथाएं के प्रभाव का निर्धारण करके, अध्ययन मोजुदा निकाय में ज्ञान के मौजूदा स्तर का विस्तार करता है।

प्रश्नावली सर्वेक्षण का दूसरा खंड (Q2 के रूप में संदर्भित) जोखिम के मुद्दों को सीमित करने में जोखिम शमन रणनीतियों के प्रभावों का मूल्यांकन करता है। EFA और SEM का उपयोग करते हुए Q2 सर्वेक्षण डेटा के विश्लेषण ने प्रमुख जोखिम मुद्दों और शमन रणनीतियों को निर्धारित किया जो नवीकरणीय बिजली परियोजनाओं के विकास के लिए अपयुक्त हैं। महत्वपूर्ण जोखिम के मुद्दों में परियोजना प्रबंधन,परिचालन मुद्दों,संसाधन और बुनियादी ढांचे की कमी,आपूर्ति श्रृंखला की कमी,अव्यावहारिक नियमों और अपेक्षाओं, तकनीकी मानकों की कमी, और उद्योग और व्यावसायिक जोखिम शामिल हैं, जो अक्षय बिजली परियोजनाओं के विकास में उद्यमों के लिए जोखिमों को देखता है। इसके अलावा, महत्वपूर्ण शमन रणनीतियाँ, जैसे कि डिजिटलाइजेशन, मानकीकरण, डेटाबेस बनाना, नीति ढांचा, सक्रिय योजना और प्रक्रिया विकास, और बेहतर हितधारक बातचीत और संपर्क,द्वारा जोखिम के मुद्दों को कम करने में एक महत्वपूर्ण सकारात्मक प्रभाव पाया गया। यह अध्ययन उद्यमों के जोखिमों को लगातार पहचानने, एक उपयुक्त शमन रणनीति को अपनाने, जोखिमों को उचित रूप से आवंटित करने और विवादों से बचने की दिशा में कारगर कदम है। यह अध्ययन जोखिम शमन उपायों, उनकी अंतर्निहित संरचना,

और अनुभवजन्य साक्ष्य के माध्यम से अक्षय क्षेत्रों के सतत विकास पर जोखिम के प्रभाव को कम करने में उनके सटीक प्रभाव की खोज करके ज्ञान के मौजूदा निकाय को और भी अधिक मूल्यवान बनाता है।

जोखिम व्यवसाइयों और उद्यमों को जोखिम के मुद्दों को संबोधित करने और प्रदर्शन और स्थिरता को बढ़ाने के लिए उपयुक्त दृष्टिकोणों को संशोधित/ अपनाने के लिए अध्ययन में निहित सिफारिशों को अपना सकते हैं। इसके अलावा, जोखिम व्यवसायी इस अध्ययन में पहचान किए गए जोखिमों की योजना बना सकते हैं और जोखिम प्रभाव को कम करने के लिए उचित शमन रणनीतियों को अपना सकते हैं। निर्णय लेने वालों से सक्रिय कार्रवाई जोखिमों और उनके प्रभाव की स्पष्ट समझ प्रदान कर सकती है। इसके अलावा, यह उचित शमन उपायों की समय पर तैनाती की अनुमति देता है,जिससे खतरों को कम किया जाता है और अवसरों को अधिकतम किया जाता है। इसके अतिरिक्त, उद्यम और जोखिम व्यवसायी उद्यम के दीर्घकालिक लक्ष्यों के साथ परियोजना के उद्देश्यों को संरेखित करने में पहचाने गए महत्वपूर्ण जोखिम प्रबंधन प्रथाओं को अपना सकते हैं।

TABLE OF CONTENTS

CERTIFICATE……….. i
ACKNOWLEDGEMENTS ii
ABSTRACT……………... iv
सार……………………………………………………………………………………..ix
TABLE OF CONTENTS xiii
LIST OF FIGURES…… xvii
LIST OF TABLES……. xviii
1. INTRODUCTION…. 1
1.1 Background.. 1
1.1.1 Significance of Renewable Resources 2
1.1.2 State of Global Renewable Installations 3
1.2 Motivation of the Study.. 4
1.3 Research Aim 9
1.4 Research Questions 9
1.5 Research Objectives 10
1.6 Research Scope.. 10
1.7 Organization of the Thesis... 11
1.8 Summary.. 14
2. OVERVIEW OF RISK MANAGEMENT IN CONSTRUCTION 15
2.1 Introduction……….. 15
2.2 Overview of Risk and Risk Management 15
2.2.1 Definition 15
2.2.2 Importance of Risk Management.. 18
2.3 Approach to Risk Management and Process 19
2.3.1 Risk Management Planning 20
2.3.2 Risk Identification.. 20
2.3.3 Risk Assessment and Analysis 20
2.3.4 Risk Response Planning... 21
2.3.5 Risk Monitoring and Control 21
2.3.6 Risk Closure... 22
2.4 Risk Management in the Construction Industry 22
2.4.1 Risk Management as a Process 22
2.4.2 Risk Analysis Methodologies 25

2.5 Risk Management Implementation 28
2.5.1 Project Appraisal and Pre-Construction Phase 29
2.5.2 Project Procurement Stage 30
2.5.3 Project Implementation stage 31
2.5.4 Project Closure Stage 32
2.6 Efficacies of Risk Management Practices 39
2.6.1 Enablers of Risk Management Implementation 41
2.6.2 Barriers to Risk Management Implementation 43
2.7 Regulations in Risk Management 46
2.7.1 Provision for Risk Management in Indian Enterprises 47
2.7.2 Typical Constituents of a Risk Management Policy 49
2.8 Theoretical Limitation 50
2.9 Summary 51
3. RISK MANAGEMENT IN INDIAN POWER SECTOR ENTERPRISES 52
3.1 Introduction 52
3.2 Overview of the Indian Power Sector 53
3.3 Overview of the Indian Renewable Power Sector 56
3.4 Construction Environment for Developing Renewable Projects 59
3.5 Risk Management Practices in the Indian Power Sector Enterprises 63
3.5.1 Risk Management in Public Sector Enterprises 64
3.5.2 Risk Management in Private Sector Enterprises 69
3.6 Literature Gaps 73
3.7 Summary 75
4. RESEARCH METHODOLOGY 76
4.1 Introduction 76
4.2 Research Design 76
4.3 Data Collection Techniques 80
4.3.1 Data Collection for Objectives 1 and 2 82
4.3.2 Data Collection for Objectives 3 and 4 84
4.4 Data Analysis 90
4.4.1 Data Analysis for Objectives 1 and 2 90
4.4.2 Data Analysis for Objectives 3 and 4 91
4.5 Data Validation 98
4.6 Summary 98
5. EXAMINING PRINCIPAL STAKEHOLDERS' RISK PERCEPTION AND APPROACHES BASED ON THEIR LISTING TYPES 100

5.1 Introduction 100
5.2 Case Project Selection Criteria 101
5.3 Risk Management Approaches Adopted by Developer and Contractor 101
5.3.1 Case Study Project I: Private Entities as both Developer and Contractor 102
5.3.2 Case Study Project-II: Public Entities as both Developer and Contractor 106
5.4 Critical Differences in Risk Management Approaches 110
5.4.1 Risk Planning 110
5.4.2 Risk Sharing Between the Stakeholders 111
5.4.3 Decision-making System 112
5.4.4 Coordination and Reporting 113
5.5 Key Factors to Risk Management Approaches 114
5.6 Discussion 116
5.7 Conclusion 119
5.8 Summary 120
6. ANALYZING RISKS AND THEIR IMPACTS ON SOLAR POWER PROJECT DEVELOPMENT FROM PRINCIPAL CONTRACTORS' PERSPECTIVES BASED ON THEIR LISTING TYPES 121
6.1 Introduction 121
6.2 Case Project Selection Criteria 122
6.3 Domestic Private-Sector Entity as the Contractor 123
6.3.1 Case Study Project Description 123
6.3.2 Critical Risks Encountered 124
6.3.3 Impact of Risks Encountered on Performance 127
6.4 Domestic Public Sector Entity as the Contractor 128
6.4.1 Case Study Project Description 128
6.4.2 Critical Risks Encountered 129
6.5 Impact of Risks Encountered on Project Performance 132
6.6 Results and Discussion 133
6.7 Mitigation Measures and Solar Project Risk Framework 134
6.8 Conclusion 137
6.9 Summary 139
7. RISK MANAGEMENT PRACTICES AND THEIR INFLUENCE ON ENTERPRISE PERFORMANCE AND SUSTAINABILITY 140
7.1 Introduction 140
7.2 Exploring Risk Management Practices 141
7.3 Relationship between Risk Management Practices with Performance and Sustainability 144

7.3.1 Factor Extracted from Risk Management Practices 144
7.3.2 Theoretical Framework and Establishing Hypotheses 146
7.3.3 PLS-SEM Analysis 147
7.4 Discussion 151
7.5 Conclusion 155
7.6 Summary 156
8. INVESTIGATING THE INFLUENCE OF RISK MITIGATION STRATEGIES IN MINIMIZING RISK ISSUES IN RENEWABLE POWER PROJECTS 157
8.1 Introduction 157
8.2 Exploring Risk Issues and Mitigation Strategies in Renewable Project Development 158
8.3 Influence of Mitigation Strategies in Reducing Risk Issues 165
8.3.1 Exploring Critical Risk Issues and Mitigation Strategies 165
8.3.2 Hypothesis Development 168
8.3.3 Data Analysis and Results 169
8.4 Discussion 173
8.4.1 Critical Risk Issues in Renewable Power Projects 173
8.4.2 Critical Risk Mitigation Measures in Renewable Power Project 176
8.5 Conclusion 177
8.6 Summary 179
9. SUMMARY AND CONCLUSION 180
9.1 Introduction 180
9.2 Summary of the Study 180
9.3 Conclusions 184
9.4 Research Contribution to Theory 185
9.5 Research Contribution to Practice 187
9.6 Limitations of this Study 188
9.7 Future Scope of Work 189
APPENDIX-A 213
PUBLICATIONS/ SUBMISSIONS BASED ON THIS RESEARCH 226
BIO DATA OF THE AUTHOR 227

LIST OF FIGURES

Fig. 1: Advantages of implementing risk management (Caltrans 2022; PMI 2019) 17

Fig. 2: General risk governance framework (SEBI 2015) 48

Fig. 3: Risk management framework for enterprises in power sector (SEBI 2015) 66

Fig. 4: Research onion (Saunders et al. 2016) 77

Fig. 5: Overall research methodology 81

Fig. 6: Project organization chart (Case Study II) 109

Fig. 7: Critical risk factors impacting the project performance and mitigation measures 136

Fig. 8: Structural equation model for risk management practices 150

Fig. 9: Structural equation model for risk management issues and mitigation strategies 172

LIST OF TABLES

Table 1:Managing risks – approaches (Burchett et al. 1999; Gupta 2011) 25

Table 2: Methods/ tools used in literature for risk analysis 27

Table 3: Critical literature in the construction risk management domain 33

Table 4: Typical risk exposure-based risk categorization (NHDC 2017; SECI 2018) 67

Table 5: A typical risk register format for equipment unloading 68

Table 6: Data collection and analysis techniques for different research objectives 80

Table 7: List of enterprises surveyed for attributes 87

Table 8: Respondents profile 90

Table 9: Differences in developers' risk management approach per their listing types 115

Table 10: Differences in contractors' risk management approach per listing types 115

Table 11: Key findings on the study objective 118

Table 12: Risk management practices and their sources 142

Table 13: Factors and associated variables 145

Table 14: Reliability and validity of measurement model 148

Table 15: HTMT ratios 149

Table 16: Hypothesis test results 151

Table 17: Risk issues in developing renewable power projects 159

Table 18: Risk mitigation strategies in developing renewable power projects 163

Table 19: Factors (r-factors) and associated variables 165

Table 20: Factors (m-factors) and associated variables 167

Table 21:Measurement model - Reliability and validity 170

Table 22: HTMT ratios 171

Table 23: Hypothesis test results 171

LIST OF ABBREVIATIONS

APTEL	Appellate tribunal
BESS	Battery energy storage system
BoD	Board of directors
CAPEX	Capital expenditure
CEA	Central electricity authority
CERC	Central electricity regulatory authority
COSO	Committee of sponsoring organization of the treadway commission
CPSU	Central public sector undertaking
CRMS	Construction risk management system
CRO	Chief risk officer
CUF	Capacity utilization factor
CV	Contract value
DISCOM	Distribution company
DPE	Department of public enterprise
EFA	Exploratory factor analysis
EPC	Engineering, procurement, and construction
ERM	Enterprise risk management
FY	Financial year
GDP	Gross domestic product
GHG	Greenhouse gases
GW	Giga watt
HDI	Human development index
IEA	International energy agency
IIP	Index of industrial production
IPCC	Intergovernmental Panel on climate change

IPP	Independent power producers
IRA	Independent regulatory agency
IRENA	International renewable energy agency
ISO	International standards organization
IT	Information technology
JERC	Joint electricity regulatory authority
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
KPMG	Klynveld Peat Marwick Goerdeler
kWh	kilo-Watt hour
LCOE	Levelized cost of generation
LSTK	Lumpsum turnkey
MNRE	Ministry of new and renewable energy
MoEF	Ministry of environment and forest
MoF	Ministry of finance
MoP	Ministry of power
MOSPI	Ministry of statistics and program implementation
NAPCC	National action plan on climate change
NEEPCO	North-eastern electric power corporation
NHPC	National hydropower corporation
NPCI	Nuclear power corporation of India
NSM	National solar mission
NTPC	National thermal power corporation
OECD	Organization for economic co-operation and development
PAT	Profit after tax
PIB	Press information bureau
PLF	Plant load factor
PLI	Production-linked incentive

PLS	Partial least squares
PMI	Project management institute
PPA	Power purchase agreement
PPP	Public-private partnership
PV	Photo-voltaic
RM	Risk management
RMC	Risk management committee
SEB	State electricity boards
SECI	Solar energy corporation of India
SEM	Structural equation modeling
SERC	State electricity regulatory authority
SJVN	Satluj jal vidhyut nigam
THDC	Tehri hydroelectric power corporation
TRANSCO	Transmission company
UN	United Nation
UNFCCC	United Nations for climate change control
VGF	Viability gap funding
WTO	World trade organization