A STUDY OF RISKS ASSOCIATED WITH SUSTAINABLE FREIGHT TRANSPORTATION SYSTEMS

DIVYA CHOUDHARY

DEPARTMENT OF MANAGEMENT STUDIES
INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

JULY, 2019

A STUDY OF RISKS ASSOCIATED WITH SUSTAINABLE FREIGHT TRANSPORTATION SYSTEMS

by

DIVYA CHOUDHARY

Department Of Management Studies

Submitted
in fulfillment of requirement of the degree of Doctor of Philosophy

to

Indian Institute of Technology Delhi

JULY, 2019

CERTIFICATE

The Thesis entitled "**A Study of Risks Associated with Sustainable Freight Transportation Systems**", being submitted by **Ms Divya Choudhary** to the Indian Institute of Technology Delhi, for the award of the degree of Doctor of Philosophy (Ph.D.) is a record bona fide research work carried out by her. She has worked under my guidance and supervision, and has fulfilled the requirements for the submission of this thesis, which has attained the standard required for a Ph.D. degree from the Indian Institute of Technology Delhi. The results presented in this thesis have not been submitted elsewhere for the award of any degree or diploma.

Prof. Ravi Shankar

Department of Management Studies

Indian Institute of Technology Delhi

Hauz Khas, New Delhi-110016

India.

ACKNOWLEDGEMENTS

It is my privilege to have worked with Professor Ravi Shankar (Sir). My profound gratitude and indebtedness goes to sir for having devoted his incredible time and relentless effort in supervising and guiding me in bringing this work to its present state of completion. I am also thankful to Dr Poonam Shankar (Mam) for her support and encouragement.

I would like to thank the members of my Student Research Committee (SRC) comprising Dr. Seema Sharma (Chairman); Dr. S. P. Singh (Internal Expert) and Abhijit Majumdar (External Expert) for giving useful comments and valuable suggestions at various stages of this study. They have devoted their valuable time and took personal care in motivating me whenever I was disheartened.

I am also deeply grateful to the entire faculty and staff of Department of Management Studies, IIT Delhi, for contributing in one way or the other in the successful completion of my research. My thanks are due to fellow research scholars especially, Devendra, Vijayata, Deendayal, Mahamaya, Rachita and Ashish for their support during the course of my research.

Words fail me while expressing my love and respect for my mother Mrs Sushma Chaudhary and my husband Mr. Suprit Wakde. They have been my true pillars of strength and support and remained a continuous source of inspiration for me.

(Divya Choudhary)

ABSTRACT

Freight Transportation (FT) sector is one of the largest contributors to the ever-rising threats of environmental degradation, resource depletion, global climate change, accidents, congestions, over-flowing waste disposal sites, health problems etc. faced by our society nowadays. Accordingly, there is an urgent need to adopt sustainable practices in freight operations to overcome the associated negative externalities. Organizations are under substantial pressure to develop sustainable freight transportation systems (SFTSs) owing to the increasing societal pressure, market awareness and government regulations. Development of SFTSs faces a major challenge due to the various inherent sustainability risks. Sustainability risks can be defined as probable threats that adversely impact the integration of triple-bottom-line framework and act as impediments in the path of sustainable systems. The domain of sustainability risks is relatively new and has recently attracted both academic and practitioner attention. Recent review papers in the area of sustainability and risk management have also acknowledged the need to investigate risk aspects in the context of sustainability. The studies focusing on sustainability risks are very limited and research papers investigating sustainability risks in the FT context are virtually non-existent. This research is quite crucial in addressing these gaps in the literature. A number of analytical models have been developed to index, quantify, profile and manage sustainability risks in freight transportation systems (FTSs) using different methodologies such as evidential reasoning algorithm (ERA), expected utility theory (EUT), neighborhood rough set theory (NRST), D-Number theory, interval two tuple linguistic representation model (ITL), intuitionistic fuzzy sets etc. This research is very significant in the current scenario as it can improve the performance of sustainable systems, which is the key requirement in many sectors.

The research proposes a sustainability risk management framework to facilitate the development of SFTSs. The entire research focusses on investigating sustainability risks in the context of FT and is basically divided into four steps namely risk identification, risk indexing, risk analysis and risk treatment. Each step contributes towards the accomplishment of underlying research objective(s) and assist in achieving the desired outcomes. In the first step, a total of 36 sustainability risks present in FT are identified and categorized under seven dimensions namely, fleet management (FM) risks, financial (FI) risks, informational (IN) risks, ecological & social (E&S) risks, market (MR) risks, operational (OP) risks and organizational & governmental (O&G) risks. Then, in the second step, a sustainability risk index (SRI) is developed to measure the risk exposure of FTSs using an integrated approach combining interval two tuple linguistic representation model (ITL) and digraph matrix approach (DMA).

In the risk analysis step, three models are developed to evaluate, prioritize and profile the sustainability risks associated with FT in detail. In the first model, each identified sustainability risk is quantified to obtain the risk priority score (RPS) and accordingly categorized into very low, low, medium, high and very high priority groups for three ubiquitous risk preferences namely, risk-averse, risk-neutral and risk-taking. This model is based on fuzzy evidential reasoning algorithm (FERA) and expected utility theory. It is found in the results that lack of awareness & logistics skills is the highest priority risk all three cases. The second model analyzes sustainability risks considering both the membership and non-membership degrees to compute the D+ and D- risk scores respectively with the help of D-number theory and intuitionistic fuzzy numbers (IFNs). Sustainability risks with D+ score > D- score are classified as the high priority risks and the risks with D- score > D+ score are classified as the low priority risks. Based on the outcomes of the two

above mentioned models, 17 high priority sustainability risks are determined that require primary attention and treatment. These 17 high priority sustainability risks are further evaluated and profiled from four perspectives i.e. economic, social, environmental and overall sustainability perspective considering both long-term and short-term time frames respectively in the next model using D-number theory and IFNs. Finally, in the last step i.e. risk treatment, 22 risk treatment strategies are identified and a decision support system (DSS) is developed based on D-number theory, neighborhood rough set theory (NRST) and grey relational projection analysis (GRPA). The redundant attributes are determined by computing the significance of each sustainability risk and core attribute set is obtained. The DSS assists in the determination of the preferable set of strategies and the most suitable strategy for different scenarios considering cost, time and effectiveness as the decision attributes.

This study addresses the research gaps in the literature regarding the understanding and management of sustainability risks especially in the context of FTSs. The research offers several insights that can assist the organizations in the adoption of sustainable practices in FT. It is one of the few initial researches that investigates and quantitatively models sustainability risks in the context of FTSs. This research facilitates in the development of SFTSs by alerting the freight managers about the high priority sustainability risks that require primary attention and assisting in the pro-active strategy formulation to minimize disruptions in SFTSs. The findings indicate that unlike conventional perception, organizations need to emphasize more on the social dimension primarily on improving the behavioral and skill aspects while developing SFTSs.

सार

फ्रेट ट्रांसपोर्टेशन (एफटी) क्षेत्र हमारे समाज द्वारा सामना किए जा रहे पर्यावरणीय गिरावट, संसाधन की कमी, वैश्विक जलवायु परिवर्तन, दुर्घटनाओं, भीड़भाड़, अति-अपशिष्ट, अपशिष्ट निपटान स्थलों, स्वास्थ्य समस्याओं आदि के बढ़ते खतरों के लिए सबसे बड़ा योगदानकर्ताओं में से एक है। तदनुसार, संबंधित नकारात्मक बाहरीताओं को दूर करने के लिए माल ढुलाई कार्यों में स्थायी प्रथाओं को अपनाने की तत्काल आवश्यकता है। बढ़ते सामाजिक दबाव, बाजार जागरूकता और सरकारी नियमों के कारण सतत परिवहन प्रणालियों (एसएफटीएस) को विकसित करने के लिए संगठन काफी दबाव में हैं। एसएफटीएस का विकास विभिन्न अंतर्निहित स्थिरता जोखिमों के कारण एक बड़ी चुनौती का सामना करता है। स्थिरता के जोखिमों को संभावित खतरों के रूप में परिभाषित किया जा सकता है जो ट्रिपल-बॉटम-लाइन फ्रेमवर्क के एकीकरण पर प्रतिकूल प्रभाव डालते हैं और स्थायी प्रणालियों के मार्ग में बाधा के रूप में कार्य करते हैं। स्थिरता जोखिमों का क्षेत्र अपेक्षाकृत नया है और हाल ही में इसने अकादमिक और व्यवसायी दोनों का ध्यान आकर्षित किया है। स्थिरता और जोखिम प्रबंधन के क्षेत्र में हालिया समीक्षा पत्रों ने भी स्थिरता के संदर्भ में जोखिम पहलुओं की जांच करने की आवश्यकता को स्वीकार किया है। स्थिरता जोखिमों पर ध्यान केंद्रित करने वाले अध्ययन बहुत सीमित हैं और एफटी संदर्भ में स्थिरता जोखिमों की जांच करने वाले शोध पत्र वस्तुतः गैर-मौजूद हैं। साहित्य में इन अंतरालों को संबोधित करने में यह शोध काफी महत्वपूर्ण है। कई प्रकार के विश्लेषणात्मक मॉडल विकसित किए गए हैं, जो सतत परिवहन प्रणालियों (एफटीएस) में प्रत्यक्ष विचार एल्गोरिदम (ईआरए), अपेक्षित उपयोगिता सिद्धांत (ईयूटी), पड़ोस अपरिष्कृत समूह थ्योरी (एनआरएसटी) का उपयोग करके सूचकांक, मात्रा, प्रोफाइल और स्थिरता जोखिमों को प्रबंधित करते हैं।), डी-संख्या सिद्धांत, अंतराल टू टपल भाषाई प्रतिनिधित्व मॉडल, अंतर्ज्ञानवादी फजी समूह आदि। यह शोध वर्तमान परिदृश्य में बहुत महत्वपूर्ण है क्योंकि यह टिकाऊ प्रणालियों के प्रदर्शन में सुधार कर सकता है, जो कई क्षेत्रों में महत्वपूर्ण आवश्यकता है।

अनुसंधान एसएफटीएस के विकास को सुविधाजनक बनाने के लिए एक स्थिरता जोखिम प्रबंधन ढांचे का प्रस्ताव करता है। संपूर्ण शोध एफटी के संदर्भ में स्थिरता जोखिमों की जांच पर केंद्रित है और मूल रूप से जोखिम की पहचान, जोखिम अनुक्रमण, जोखिम विश्लेषण और जोखिम उपचार के चार चरणों में विभाजित है। प्रत्येक चरण अंतर्निहित अनुसंधान उद्देश्यों की उपलब्धि में योगदान देता है और वांछित परिणामों को प्राप्त करने में सहायता करता है। पहले चरण में, एफटी में मौजूद कुल 36 स्थिरता जोखिमों की पहचान की जाती है और उन्हें सात आयामों के अंतर्गत वर्गीकृत किया जाता है, जैसे कि बेड़े प्रबंधन जोखिम, वित्तीय जोखिम, सूचनात्मक जोखिम, पारिस्थितिक और सामाजिक जोखिम, बाजार जोखिम, परिचालन जोखिम

और संगठनात्मक और सरकारी जोखिम। फिर, दूसरे चरण में, एक निरंतरता जोखिम सूचकांक (एसआरआई) को एफटीएस के जोखिम जोखिम को मापने के लिए विकसित किया गया है जो एक एकीकृत दृष्टिकोण का उपयोग करके अंतराल दो ट्यूपल भाषाई प्रतिनिधित्व मॉडल (आईटीएल) और डिग्राफ आव्यूह दृष्टिकोण (डीएमए) का संयोजन करता है।

जोखिम विश्लेषण चरण में, एफटी के साथ जुड़े स्थिरता जोखिमों का मूल्यांकन, प्राथमिकता और बाह्य रूपरेखा करने के लिए तीन मॉडल विकसित किए गए हैं। पहले मॉडल में, प्रत्येक पहचाने गए स्थिरता जोखिम को जोखिम प्राथमिकता स्कोर (आरपीएस) प्राप्त करने के लिए निर्धारित किया गया है और तदनुसार तीन सर्वव्यापी जोखिम वरीयताओं के लिए बहुत ही कम, निम्न, मध्यम, उच्च और बहुत उच्च प्राथमिकता वाले समूहों में वर्गीकृत किया गया है, जोखिम-विपरीत, जोखिम- तटस्थ और जोखिम लेने वाला। यह मॉडल फ़ज़ी प्रत्यक्ष विचार अल्गोरिथम और अपेक्षित उपयोगिता सिद्धांत पर आधारित है। परिणामों में यह पाया गया है कि जागरूकता और रसद कौशल की कमी तीनों मामलों में सर्वोच्च प्राथमिकता वाला जोखिम है। दूसरा मॉडल D- संख्या सिद्धांत और अंतर्ज्ञानवादी फजी संख्या की मदद से क्रमशः D + और D- जोखिम स्कोर की गणना करने के लिए सदस्यता और गैर-सदस्यता दोनों डिग्री पर विचार करते हुए स्थिरता जोखिमों का विश्लेषण करता है। D + स्कोर के साथ स्थिरता जोखिम> D- स्कोर को उच्च प्राथमिकता वाले जोखिमों के रूप में वर्गीकृत किया गया है और D- स्कोर> D + स्कोर के साथ जोखिमों को निम्न प्राथमिकता वाले जोखिमों के रूप में वर्गीकृत किया गया है। दो उपर्युक्त मॉडल के परिणामों के आधार पर, 17 उच्च प्राथमिकता स्थिरता जोखिम निर्धारित किए जाते हैं जिन्हें प्राथमिक ध्यान और समाधान की आवश्यकता होती है। इन 17 उच्च प्राथमिकता स्थिरता जोखिमों का मूल्यांकन और विश्लेषण चार दृष्टिकोणों से किया गया है, यानी कि आर्थिक, सामाजिक, पर्यावरण और समग्र स्थिरता के परिप्रेक्ष्य में डी-नंबर सिद्धांत और आईएफएफएस का उपयोग करके अगले मॉडल में क्रमशः दीर्घकालिक और अल्पकालिक दोनों समय के फ्रेम पर विचार किया गया है। अंत में, अंतिम चरण यानी जोखिम उपचार में, 22 जोखिम उपचार रणनीतियों की पहचान की जाती है और एक निर्णय समर्थन प्रणाली (डीएसएस) को डी-संख्या सिद्धांत, पड़ोस अपरिष्कृत समूह सिद्धांत (एनआरएसटी) और ग्रे संबंधित प्रक्षेप विश्लेषण (जीआरपीए) के आधार पर विकसित किया जाता है। निरर्थक विशेषताओं को प्रत्येक स्थिरता जोखिम के महत्व की गणना करके निर्धारित किया जाता है और कोर विशेषता समूह प्राप्त किया जाता है। डीएसएस रणनीतियों के बेहतर समूह और निर्णय लेने की विशेषताओं के अनुसार लागत, समय और प्रभावशीलता पर विचार करने वाले विभिन्न परिदृश्यों के लिए सबसे उपयुक्त रणनीति के निर्धारण में सहायता करता है।

यह अध्ययन विशेष रूप से एफटीएस के संदर्भ में स्थिरता जोखिमों की समझ और प्रबंधन के बारे में साहित्य में शोध अंतराल को संबोधित करता है। अनुसंधान कई अंतर्दृष्टि प्रदान करता है जो एफटी में टिकाऊ प्रथाओं को अपनाने में संगठनों की सहायता कर सकते हैं। यह कुछ प्रारंभिक शोधों में से एक है जो एफटीएस के संदर्भ में जांच और मात्रात्मक रूप से स्थिरता के जोखिमों को दर्शाता है। यह शोध उच्च प्राथमिकता स्थिरता जोखिमों के बारे में माल प्रबंधकों को सचेत करके एसएफटीएस के विकास में सुविधा प्रदान करता है, जिन्हें एसएफटीएस में व्यवधानों को कम करने के लिए प्राथमिक सक्रियता और समर्थक सक्रिय रणनीति तैयार करने में सहायता की आवश्यकता होती है। निष्कर्ष बताते हैं कि पारंपरिक धारणा के विपरीत, संगठनों को मुख्य रूप से एसएफटीएस विकसित करते समय व्यवहार और कौशल पहलुओं में सुधार पर सामाजिक आयाम पर अधिक जोर देने की आवश्यकता है।

TABLE OF CONTENTS

LIST OF FIGURES

LIST OF TABLES

LIST OF ABBREVIATIONS

AHP	Analytical Hierarchy Process
DMA	Digraph Matrix Approach
DSS	Decision Support System
ECI	Economic Impact
ECP	Economic Perspective
ENI	Environmental Impact
ENP	Environmental Perspective
ERA	Evidential Reasoning Approach
EUT	Evidential Reasoning Approach
FERA	Fuzzy Evidential Reasoning Approach
FMEA	Failure Mode Effect Analysis
FT	Freight Transportation
GHG	Greenhouse Gas
GRPA	Grey Relational Projection Analysis
FTSs	Freight Transportation Systems
ICT	Information & Communication Technology
IFS	Intuitionistic Fuzzy Set
IFN	Intuitionistic Fuzzy Number
ITL	Interval Two-Tuple Linguistic Representation Model
NRST	Neighborhood Rough Set Theory
OSP	Overall Sustainability Perspective
RPS	Risk Priority Score

SFT	Sustainable Freight Transportation
SFTSs	Sustainable Freight Transportation Systems
SI	Social Impact
SP	Social Perspective
TBL	Triple-Bottom Line Framework
TFN	Triangular Fuzzy Number
US	United States
UK	United Kingdom
CO_2	Carbon dioxide