

Received: May 4, 2025; Revised: July 3, 2025; Accepted: August 18, 2025

การวิเคราะห์เชิงพหุปัจจัยเพื่อเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าเกษตรอย่างเหมาะสม กรณีศึกษา ทุเรียนจากจันทบุรีสู่ด่านศุลกากรเชียงของ

Multi-criteria analysis for optimal agricultural freight routing: a case study of durian transport from Chanthaburi to Chiang Khong customs house

ธนสิทธิ์ นิตยะประภา^{1*} เจษฎา โพธิ์จันทร์¹ และบุญทรัพย์ พานิชการ¹Thanasit Nitayaprapha^{1*}, Jessada Pochan¹ and Boonsub Panichakarn¹¹คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก¹Faculty of Logistics and Digital Supply Chain, Naresuan University, Phitsanulok Province^{*}Corresponding Author E-mail Address : Thanasit_n@kpru.ac.th, boonsubp@nu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าเกษตร โดยมุ่งศึกษาเฉพาะกรณีการขนส่งทุเรียนจากจังหวัดจันทบุรีไปยังด่านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย จากการทบทวนวรรณกรรมทั้งในประเทศและต่างประเทศ พบปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 35 ปัจจัย จากเทคนิคการจัดอันดับตามความถี่ (Frequency ranking) เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่สำคัญ จำนวน 9 ปัจจัย ได้แก่ เวลาในการขนส่ง ค่าใช้จ่าย ระยะทาง สภาพถนน คุณภาพพื้นผิวถนน ความกว้างของถนน ความถี่ในการเร่งความเร็ว ลักษณะของเส้นทาง และสิ่งอำนวยความสะดวก โดยใช้กระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ ด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย (Simple Additive Weighting; SAW) เพื่อประเมินความเหมาะสมของเส้นทางขนส่ง ผลการวิเคราะห์พบว่า เส้นทาง 3-1 ได้คะแนนรวมสูงสุด รองลงมาคือเส้นทาง 1-1 และ 3-2 ขณะที่เส้นทาง 2-4 และ 4-2 มีคะแนนต่ำสุด สะท้อนถึงข้อจำกัดโครงสร้างพื้นฐานและสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อคุณภาพของสินค้าและต้นทุนโลจิสติกส์ เมื่อวิเคราะห์เส้นทางที่เหมาะสม พบว่า เส้นทาง 3-1 และ 4-3 มีคะแนนรวม 7.6469 และ 5.6250 ตามลำดับ จึงสรุปว่าเป็นเส้นทางที่เหมาะสมในการขนส่งทุเรียน จากความสอดคล้องของปัจจัยด้านระยะเวลา ต้นทุน และคุณภาพเส้นทาง จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการพิจารณาหลายปัจจัยร่วมกันช่วยเพิ่มความแม่นยำในการเลือกเส้นทาง ลดความเสี่ยง และเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันของภาคเกษตรกรรมไทย

คำสำคัญ: เส้นทางที่เหมาะสม การจัดอันดับตามความถี่ การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ วิธีถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย

Abstract

This study aimed to analyze and compare the critical factors influencing the selection of optimal transportation routes for agricultural products, using a case study of durian transport from Chanthaburi province to the Chiang Khong customs house in Chiang Rai province. A comprehensive review of domestic and international studies identified 35 relevant factors. The frequency ranking technique was applied to prioritize and select 9 key factors: transportation time, cost, distance, road conditions, pavement quality, road width, frequency of acceleration, route characteristics, and facility availability. The analysis employed a multi-criteria decision-making (MCDM) approach using the simple additive weighting (SAW) method to

evaluate route suitability. The results revealed that Route 3-1 obtained the highest total score, followed by routes 1-1 and 3-2. In contrast, routes 2-4 and 4-2 received the lowest scores, indicating potential infrastructure deficiencies and environmental challenges. Routes 3-1 and 4-3, with total scores of 7.6469 and 5.6250 respectively, Therefore, it could be concluded that they were the most suitable routes for durian transport. Based on the consistency of factors of time, cost and route quality, the research shows that considering multiple factors together increases route selection accuracy, reduces risk and enhances the competitiveness of the Thai agricultural sector.

Keywords: Optimal route, Frequency ranking, Multi criteria decision making, Simple additive weighting; SAW.

บทนำ

ภายใต้บริบทของเศรษฐกิจไทยที่เผชิญกับความไม่แน่นอนและการแข่งขันที่ทวีความรุนแรง ผู้ประกอบการในภาคการผลิตและโลจิสติกส์จำเป็นต้องปรับกลยุทธ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง หนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อต้นทุน เวลา และคุณภาพของบริการโลจิสติกส์ คือ การบริหารจัดการเส้นทางการขนส่ง โดยเฉพาะในกรณีของสินค้าเกษตรประเภทผลไม้สดซึ่งมีความไวต่อระยะเวลาและสภาพแวดล้อม การเลือกเส้นทางการขนส่งจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน อาทิ ระยะทาง สภาพถนน ความหนาแน่นของการจราจร ความพร้อมของสิ่งอำนวยความสะดวก และความเสี่ยงระหว่างการเดินทาง ประเทศไทยยังคงพึ่งพาระบบการขนส่งทางถนนเป็นหลัก โดยเฉพาะเส้นทางยุทธศาสตร์จากภาคตะวันออก เช่น จังหวัดจันทบุรี ไปยังด่านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อสำคัญในการส่งออกผลไม้ไปยังประเทศจีนและกลุ่มประเทศในภูมิภาคอินโดจีน อย่างไรก็ตาม ความหลากหลายในคุณภาพของโครงสร้างพื้นฐาน ตลอดจนข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์ ส่งผลให้การวางแผนเส้นทางขนส่งที่มีประสิทธิภาพกลายเป็นความท้าทายสำคัญ

Office of the National Economic and Social Development Council (2024) ระบุว่าปริมาณการขนส่งสินค้าในปี พ.ศ. 2566 มีแนวโน้มลดลงจากปีก่อนหน้า อันเป็นผลจากภาวะเศรษฐกิจและการชะลอตัวของภาคอุตสาหกรรม แม้ว่าจะมีสัญญาณฟื้นตัวในช่วงปลายปี โดยเฉพาะการส่งออกสินค้าเกษตร เช่น ผลไม้สด ซึ่งยังคงมีปริมาณสูงอย่างต่อเนื่อง สถานการณ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาระบบวิเคราะห์และคัดเลือกเส้นทางขนส่งที่เหมาะสม เพื่อรองรับความซับซ้อนในการดำเนินงานภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากร

กระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making; MCDM) เป็นกระบวนการทางวิเคราะห์ที่ใช้ในการประเมินหรือเลือกทางเลือก (Alternatives) ที่ดีที่สุดภายใต้หลายเกณฑ์ (Criteria) ที่อาจขัดแย้งกัน โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่ไม่สามารถพิจารณาเพียงเกณฑ์เดียวได้ เช่น การเลือกเส้นทางการขนส่ง, การเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้า, การจัดซื้อจัดจ้าง, หรือการประเมินความเสี่ยงในโครงการ ซึ่งวิธีนี้มีจุดเด่น คือ ใช้เมื่อมีหลายปัจจัยในการตัดสินใจ ช่วยให้เปรียบเทียบทางเลือกต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ และสามารถใช้ได้กับข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (Kahraman, 2008) และเทคนิคการถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย (Simple Additive Weighting; SAW) เป็นวิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ โดยใช้หลักการของการให้ค่าน้ำหนักกับแต่ละเกณฑ์ แล้วรวมคะแนนของแต่ละทางเลือก จึงเหมาะสมสำหรับการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า เนื่องจากสามารถรวมข้อมูลหลายปัจจัยเข้าด้วยกันอย่างมีประสิทธิภาพ ใช้งานง่าย สามารถคำนวณบนโปรแกรม Excel ได้สะดวก และให้ผลลัพธ์ที่เปรียบเทียบได้ชัดเจน ซึ่งตอบโจทย์การตัดสินใจในระบบโลจิสติกส์ที่ต้องการความรวดเร็วและความแม่นยำ (Hwang, 1981).

เพื่อให้สามารถตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ข้อจำกัดเชิงระบบ และปัจจัยแวดล้อมที่หลากหลาย งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้กระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (MCDM) โดยเฉพาะเทคนิค Simple Additive Weighting (SAW) เพื่อเปรียบเทียบทางเลือกของเส้นทางขนส่งผลไม้สดจากจังหวัดจันทบุรีไปยังด่านศุลกากรเชียงของ โดยพิจารณาจากปัจจัยที่สำคัญในเชิงพื้นที่ โครงสร้างพื้นฐาน และความคุ้มค่าทางโลจิสติกส์อย่างเป็นระบบ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าเกษตรและการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญสำหรับการเปรียบเทียบเส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตร

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และสังเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตร โดยอาศัยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งเนื้อหาครอบคลุมระบบการขนส่งสินค้าเกษตรภายใต้บริบทของประเทศไทย ผลจากการทบทวนวรรณกรรมทำให้สามารถระบุปัจจัยที่สำคัญได้อย่างเป็นระบบ และสามารถแสดงความเชื่อมโยงของข้อมูลที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งได้อย่างชัดเจน

การวิเคราะห์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์เนื้อหาเชิงปริมาณ (Content analysis) โดยการนับความถี่ของการปรากฏของแต่ละปัจจัยในวรรณกรรม และเรียงลำดับจากค่าความถี่มากไปน้อย เพื่อสะท้อนระดับความสำคัญตามมุมมองของนักวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยใช้สมการดังนี้:

$$F_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (\text{Eq.1})$$

โดยที่ F_i คือ ความถี่ของปัจจัย i , n คือ จำนวนวรรณกรรมทั้งหมด (ในที่นี้คือ 50 วรรณกรรม) และ X_{ij} คือ ตัวแปรบ่งชี้ ($X_{ij} = 1$ หากวรรณกรรม j กล่าวถึงปัจจัย i และ $X_{ij} = 0$ หากไม่กล่าวถึง) หลังจากได้ค่า F_i สำหรับทุกปัจจัย $i \in \{1, 2, \dots, 35\}$ ให้นำมาจัดเรียงลำดับจากค่าความถี่สูงสุดไปต่ำสุด และคัดเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีค่าความถี่สูงสุด จากความถี่ $\geq 10\%$ ของจำนวนเอกสารทั้งหมด มาใช้เป็นเกณฑ์สำหรับวิเคราะห์ต่อไป

จากการวิเคราะห์ พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกเส้นทางการขนส่งสามารถจัดกลุ่มได้หลากหลายมิติ โดยปัจจัยที่ปรากฏบ่อยที่สุดได้แก่ เวลาในการขนส่ง (39 ครั้ง) ค่าใช้จ่าย/ต้นทุนการขนส่ง (28 ครั้ง) ระยะทาง (27 ครั้ง) สภาพของถนน (26 ครั้ง) และคุณภาพของพื้นผิวถนน (25 ครั้ง) แสดงข้อมูลปัจจัยได้ดัง Figure 1 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของประสิทธิภาพและความเหมาะสมของสภาพเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้าเกษตร

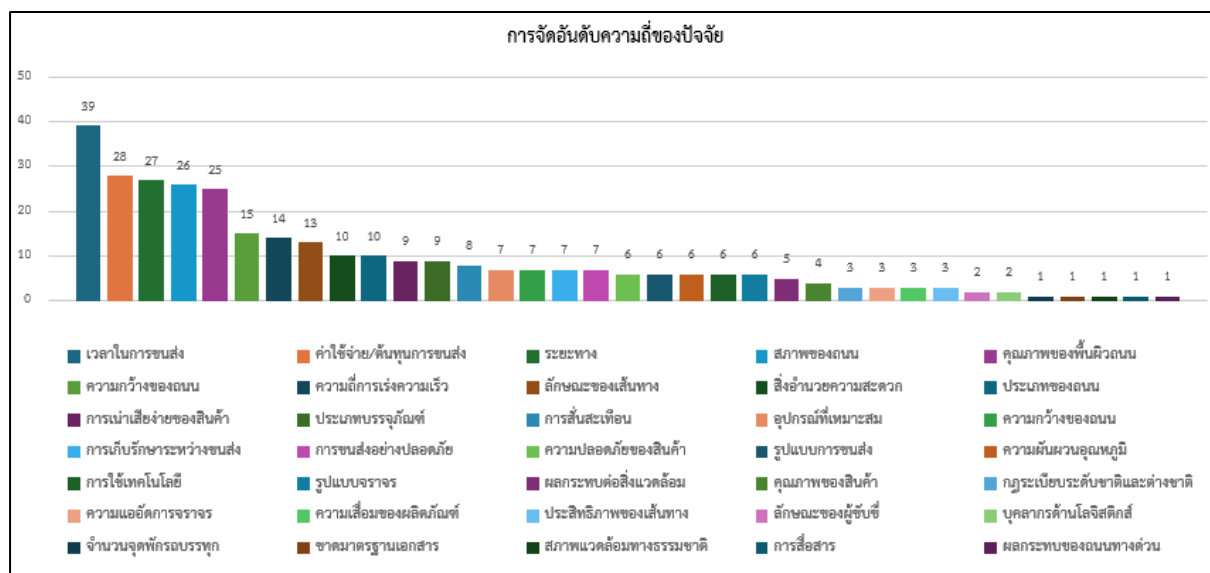


Figure 1 Frequency ranking of factors in the study.

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ได้จากการนับความถี่ และใช้เทคนิคการจัดอันดับตามความถี่ (Frequency ranking) เพื่อเลือกปัจจัยอันดับที่ 1 ถึง 10 หลังจากนั้นทำการพิจารณาความหมายของแต่ละปัจจัย พบว่า มีปัจจัยที่มีความหมาย

เหมือนกันผู้วิจัยจึงนำปัจจัยที่มีความหมายเหมือนกันออก และสรุปปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา จำนวน 9 ปัจจัย ได้แก่ 1) เวลาในการขนส่ง 2) ค่าใช้จ่าย/ต้นทุนการขนส่ง 3) ระยะทาง 4) สภาพของถนน 5) คุณภาพของพื้นผิวถนน/ประเภทของถนน 6) ความกว้างของถนน 7) ความถี่การเร่งความเร็ว 8) ลักษณะของเส้นทาง และ 9) สิ่งอำนวยความสะดวก

2. การรวบรวมข้อมูลจากปัจจัยที่สำคัญสำหรับเลือกเส้นทางการขนส่ง

จากการสังเคราะห์วรรณกรรม ผู้วิจัยได้รวบรวมและจัดกลุ่มปัจจัย โดยพิจารณาความซ้ำซ้อนของความหมาย และความเหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ศึกษาในประเทศไทย ก่อนสรุปปัจจัยสำคัญ 9 รายการ พร้อมคำอธิบายและวิธีการวัดใน Table 1

Table 1 Factors used in selecting agricultural product transportation routes.

No.	Factor	Description	Measurement Method
1	Transportation time	The amount of time required to travel from the origin to the destination	Measured by travel time
2	Transportation cost / Expense	The amount of cost incurred for transportation, such as fuel costs, driver wages, vehicle depreciation, maintenance costs, etc.	Measured by cost per traveled distance
3	Distance	The distance from the origin to the destination	Measured by the traveled distance
4	Road condition	The importance and role of the road within the transportation network	Measured by road classification number reflecting structural level
5	Road surface quality / Road type	The characteristics of the road surface along the transportation route	Measured by the type of material used in road construction
6	Road width	The number of traffic lanes on the transportation route	Measured by the number of lanes
7	Speed frequency	The frequency or the achievable speed for trucks along the transportation route	Measured by average speed (km/h)
8	Route characteristics	The nature of the route, e.g., flat, hilly, or mountainous	Measured by the type of route
9	Facilities	The number of truck stops, convenience stores or restaurants, truck maintenance centers, roadside hotels, and fuel/gas stations along the route	Measured by the number of available facilities on the route

กรณีศึกษาคือการขนส่งทุเรียนจากจังหวัดจันทบุรี (ต้นทาง) ไปยังด่านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย (ปลายทาง) ซึ่งเป็นจุดผ่านแดนสำคัญในการส่งออกสินค้าเกษตรไปยัง สปป.ลาว และจีน โดยจำแนกเส้นทางออกเป็น 4 ชุดเส้นทาง ได้แก่ ชุดที่ 1 เส้นทางจากจันทบุรีไปยังจุดเชื่อมที่จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 3 เส้นทาง ชุดที่ 2 เส้นทางจากจุดเชื่อมที่พิษณุโลกไปยังเชียงของ จำนวน 4 เส้นทาง ชุดที่ 3 เส้นทางจากจันทบุรีไปยังจุดเชื่อมที่ตาก จำนวน 3 เส้นทาง และชุดที่ 4 เส้นทางจากจุดเชื่อมที่ตากไปยังเชียงของ จำนวน 3 เส้นทาง สามารถแสดงข้อมูลของจังหวัดที่ผ่านได้ดัง Table 2 และแสดงเส้นทางได้ดัง Figure 2

Table 2 Routes used in the study.

Route	Number of Provinces Passed	Provinces
1-1	14	Chanthaburi, Rayong, Chonburi, Chachoengsao, Samut Prakan, Bangkok, Pathum Thani, Ayutthaya, Ang Thong, Sing Buri, Chai Nat, Nakhon Sawan, Phichit, Phitsanulok
1-2	12	Chanthaburi, Sa Kaeo, Prachinburi, Nakhon Nayok, Saraburi, Ayutthaya, Ang Thong, Sing Buri, Chai Nat, Nakhon Sawan, Phichit, Phitsanulok.
1-3	10	Chanthaburi, Sa Kaeo, Prachinburi, Nakhon Ratchasima, Saraburi, Lopburi, Phetchaburi, Nakhon Sawan, Phichit, Phitsanulok.
2-1	6	Phitsanulok, Uttaradit, Phrae, Lampang, Phayao, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.
2-2	6	Phitsanulok, Uttaradit, Phrae, Lampang, Phayao, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.
2-3	7	Phitsanulok, Uttaradit, Phrae, Lampang, Lamphun, Chiang Mai, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.
2-4	5	Phitsanulok, Sukhothai, Lampang, Phayao, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.
3-1	14	Chanthaburi, Rayong, Chonburi, Chachoengsao, Prachinburi, Nakhon Nayok, Saraburi, Ayutthaya, Ang Thong, Sing Buri, Chai Nat, Nakhon Sawan, Kamphaeng Phet, Tak.
3-2	14	Chanthaburi, Rayong, Chonburi, Chachoengsao, Prachinburi, Nakhon Nayok, Saraburi, Ayutthaya, Ang Thong, Sing Buri, Chai Nat, Nakhon Sawan, Kamphaeng Phet, Tak.
3-3	12	Chanthaburi, Sa Kaeo, Prachinburi, Nakhon Nayok, Saraburi, Ayutthaya, Ang Thong, Sing Buri, Chai Nat, Nakhon Sawan, Kamphaeng Phet, Tak.
4-1	5	Tak, Lampang, Lamphun, Chiang Mai, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.
4-2	4	Tak, Lampang, Phayao, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.
4-3	6	Tak, Sukhothai, Phrae, Lampang, Phayao, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.

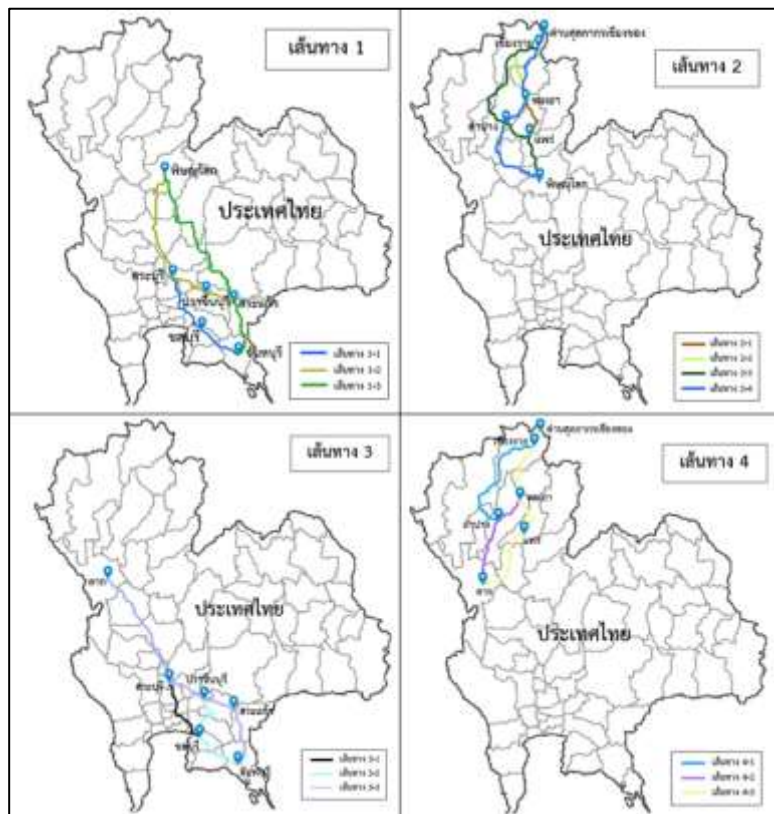


Figure 2 Study routes comprising four sets of route data.

3. การวิเคราะห์และคำนวณด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making; MCDM) ด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย (SAW)

3.1 การกำหนดค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย

กระบวนการตัดสินใจแบบ SAW ใช้เพื่อประเมินความสำคัญของแต่ละปัจจัย โดยอ้างอิงการให้ค่าน้ำหนักจากกระบวนการ Analytic Hierarchy Process (AHP) ซึ่งมีระดับความสำคัญ 9 ระดับ แสดงระดับการเปรียบเทียบได้ดัง Table 3 ตามแบบจำลองของ Saaty (Brunelli, 2014)

Table 3 Levels of importance comparison.

Level of Importance	Meaning	Description
1	Equal importance	Both factors are equally important.
3	Moderate importance of one over another	One factor is moderately preferred over the other.
5	Strong or essential importance	One factor is strongly preferred over the other.
7	Very strong or demonstrated importance	One factor is very strongly preferred over the other.
9	Extreme importance	There is conclusive evidence that one factor is of the highest possible importance over the other.
2, 4, 6, 8	Intermediate values	Used as compromise values to reduce the gap between levels; indicate partial or intermediate preference between two factors.

3.2 กำหนดค่าคะแนนด้วยวิธีการเปรียบเทียบเชิงคู่ (Pairwise comparison matrix)

ในขั้นตอนนี้ นำข้อมูลจากปัจจัยต่าง ๆ ได้รับการวิเคราะห์และประเมินค่าคะแนนโดยใช้วิธีเปรียบเทียบเชิงคู่ (Pairwise comparison matrix) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยแต่ละรายการได้อย่างแม่นยำ โดยการสร้างเมทริกซ์ขนาด $n \times n$ ซึ่ง n คือจำนวนปัจจัยที่ต้องการเปรียบเทียบ หลังจากนั้นคำนวณผลรวมในแนวนอนเพื่อปรับค่าความสำคัญให้อยู่ในช่วง 0–1 ซึ่งจะทำให้สามารถเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับหน่วยวัดและขนาดของค่าที่ได้ (Fan, 2010) ดังนี้

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (\text{Eq.2})$$

โดยที่ a_{ij} คือ ค่าความสำคัญของปัจจัย i เทียบกับปัจจัย j ตาม Saaty's Scale และ a_{ij} เท่ากับ $\frac{1}{a_{ji}}$ (หากปัจจัย i มีค่าความสำคัญมากกว่า j , ค่าของ j เทียบกับ i จะเป็นส่วนกลับ)

จากนั้นสร้างตารางเมทริกซ์การตัดสินใจ เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่กำหนดทุกปัจจัย แล้วทำการหาความสำคัญของแต่ละปัจจัย และหาผลการคำนวณของแต่ละปัจจัยรวมถึงผลรวมในแนวนอน (Fan, 2010) จากแบบจำลองนี้

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (\text{Eq.3})$$

โดยที่ a_{ij} คือ ค่าของทางเลือกที่ i ภายใต้หลักเกณฑ์ที่ j , m คือ จำนวนทางเลือก, และ n คือ จำนวนหลักเกณฑ์ หลังจากที่ได้ผลรวมของแนวนอนแล้ว ให้ดำเนินการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยประเมินโดยการปรับผลรวมของแต่ละปัจจัยให้เท่ากับ 1 และทำการคำนวณการหาค่าผลรวมแนวนอน เพื่อหาค่าน้ำหนักของเกณฑ์พิจารณาโดยการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย

3.3 การวิเคราะห์และสรุปความสำคัญของปัจจัยที่ใช้สำหรับการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตร

สำหรับการวิเคราะห์และสรุปความสำคัญของปัจจัยเพื่อการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตรดำเนินการโดยการคำนวณค่าความสำคัญแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalization) ซึ่งเป็นการปรับค่าของแต่ละเกณฑ์ให้อยู่ในช่วง 0–1 ตามสูตร normalization เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างเท่าเทียมกัน ทั้งนี้ มีกรณีที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ 2 กรณี (Triantaphyllou & Mann, 1995) ดังนี้

กรณีที่ 1 เป็นเกณฑ์ที่ต้องการค่าสูงสุด (Benefit criteria) มีสมการในการคำนวณดังนี้

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (\text{Eq.4})$$

กรณีที่ 2 เป็นเกณฑ์ที่ต้องการค่าต่ำสุด (Cost criteria) มีสมการในการคำนวณดังนี้

$$r_{ij} = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (\text{Eq.5})$$

ภายใต้หลักเกณฑ์ที่ j , $\max(x_{ij})$ คือ ค่าสูงสุดของเกณฑ์ที่ j และ $\min(x_{ij})$ คือ ค่าต่ำสุดของเกณฑ์ที่ j

เมื่อคำนวณค่านอร์มัลไลซ์เมทริกซ์การตัดสินใจ (Normalization) แล้วทำการคำนวณค่าผลรวมแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted sum calculation) นำค่าที่ผ่านการการตัดสินใจ แล้วมาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละหลักเกณฑ์ (w_j) แล้วรวมผลลัพธ์ (Triantaphyllou & Mann, 1995) ดังสมการนี้

$$s_i = \sum_{j=1}^n (w_j \times r_{ij}) \quad (\text{Eq.6})$$

โดยที่ s_i คือ ค่าคะแนนรวมของทางเลือกที่ i และ w_j คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของหลักเกณฑ์ที่ j ซึ่งต้องมีค่าอยู่ในช่วง $0 \leq w_j \leq 1$ และผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักต้องเท่ากับ 1

ทำการจัดลำดับทางเลือก (Ranking) เรียงลำดับค่าของ s_i จากมากไปน้อย ทางเลือกที่มีค่ามากที่สุดคือทางเลือกที่ดีที่สุด และทำการเปรียบเทียบและจัดลำดับทางเลือก (Ranking the alternatives) จัดเรียงลำดับของคะแนน s_i จากมากไปน้อย และทางเลือกที่มีคะแนนรวมสูงสุด คือ ตัวเลือกที่ดีที่สุด

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์ปัจจัยที่ใช้สำหรับการเลือกเส้นทางในการขนส่งสินค้าเกษตร

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการจัดอันดับตามความถี่ (Frequency ranking) พบว่า "ระยะเวลาในการขนส่ง" เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุดและถูกกล่าวถึงมากที่สุดในวรรณกรรม เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของสินค้า ความรวดเร็วในการส่งมอบ และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของกระบวนการขนส่ง รองลงมา ได้แก่ "ต้นทุนการขนส่ง" และ "ระยะทาง" ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบหลักที่สะท้อนถึงประสิทธิภาพโดยรวมของระบบขนส่งสินค้าเกษตร นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของปัจจัยรอง ได้แก่ สภาพของถนน คุณภาพของพื้นผิวถนน และสิ่งอำนวยความสะดวกระหว่างทาง ซึ่งล้วนมีบทบาทในการส่งเสริมความปลอดภัย ลดความเสี่ยงในการขนส่ง โดยเฉพาะในกรณีของสินค้าเกษตรที่ไวต่อแรงกระแทก เช่น ผลไม้สด สารสำคัญเหล่านี้ได้นำมาสู่การกำหนดตัวแปรหลักเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์เส้นทางที่เหมาะสมตามรายละเอียดใน Table 4

Table 4 Assignment of variable values for factors used in agricultural product transportation route selection.

Variable	Factor
X1	Transportation time.
X2	Transportation cost / Expense.
X3	Distance.
X4	Road condition.
X5	Road surface quality / Road type.
X6	Infrastructure / Road width.
X7	Speed frequency.
X8	Route characteristics.
X9	Facilities.

2. การวิเคราะห์และการคำนวณโดยกระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย (Simple Additive Weighting; SAW)

ในการศึกษานี้ ได้ดำเนินการวิเคราะห์เส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตร โดยใช้กรณีศึกษาการขนส่งทุเรียนจากจังหวัดจันทบุรี (ต้นทาง) ไปยังด่านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย (ปลายทาง) เพื่อหาทางเลือกที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยใช้ปัจจัยจำนวน 9 ปัจจัยที่กำหนดไว้เบื้องต้น และวิเคราะห์ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. การประเมินค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงคุณภาพแบบหลายเกณฑ์ (SAW) โดยสร้างตารางเปรียบเทียบเชิงคู่ (Pairwise comparison matrix) เพื่อวิเคราะห์ความสำคัญของเกณฑ์แต่ละปัจจัย ซึ่งคะแนนน้ำหนักมาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณของแต่ละปัจจัยในทุกเส้นทางที่ศึกษาที่ได้มาจากการวิธีการวัดตาม Table 1 โดยที่ผู้วิจัยจะทำการแปลงข้อมูลเชิงปริมาณดังกล่าวให้เป็นไปตามลำดับชั้น 1 ถึง 9 และทำตารางการตัดสินใจ (Decision matrix) เพื่อเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละปัจจัยต้องดำเนินการเปรียบเทียบกับทุกปัจจัย แสดงตัวอย่างตารางการเปรียบเทียบได้ดัง Table 5

Table 5 Example of pairwise comparison of factor importance.

Factor	Rating																		Factor	
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X2
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X3
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X4
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X5
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X6
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X7
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X8
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X9
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X1
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X3
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X4
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X5
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X6
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X7
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X8
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X9

2. การสร้างตารางเมทริกซ์ เพื่อแสดงผลลัพธ์ค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์จากการเปรียบเทียบเชิงคู่ โดยอาศัยข้อมูลใน Table 6

Table 6 Weights of each factor criterion.

Factor	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
X1	1	3	3	3	3	5	5	5	7
X2	1/3	1	1	1	1	3	3	3	5
X3	1/3	1	1	1	1	3	3	3	5
X4	1/3	1	1	1	1	3	3	3	5
X5	1/3	1	1	1	1	3	3	3	5
X6	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	3
X7	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	3
X8	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	3
X9	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1

3. การคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์โดยการปรับผลรวมของแต่ละปัจจัย (คอลัมน์) ให้เท่ากับ 1 และสร้างปัจจัย (คอลัมน์) น้ำหนักโดยการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละแถว และสรุปผลการคำนวณโดยรวมผลรวมแนวตั้งและแนวนอนของค่าความสำคัญ เพื่อคำนวณค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เส้นทางในขั้นตอนต่อไป ซึ่งแสดงใน Table 7

Table 7 Weights of criteria used in the SAW technique and total weights.

Factor	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Horizontal Sum	Weight	% of Weight
X1	0.3251	0.3659	0.3659	0.3659	0.3659	0.2459	0.2459	0.2459	0.1892	2.7154	0.3017	30.17
X2	0.1084	0.1220	0.1220	0.1220	0.1220	0.1475	0.1475	0.1475	0.1351	1.1739	0.1304	13.04
X3	0.1084	0.1220	0.1220	0.1220	0.1220	0.1475	0.1475	0.1475	0.1351	1.1739	0.1304	13.04
X4	0.1084	0.1220	0.1220	0.1220	0.1220	0.1475	0.1475	0.1475	0.1351	1.1739	0.1304	13.04
X5	0.1084	0.1220	0.1220	0.1220	0.1220	0.1475	0.1475	0.1475	0.1351	1.1739	0.1304	13.04

Factor	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Horizontal Sum	Weight	% of Weight
X6	0.0650	0.0407	0.0407	0.0407	0.0407	0.0492	0.0492	0.0492	0.0811	0.4562	0.0507	5.06
X7	0.0650	0.0407	0.0407	0.0407	0.0407	0.0492	0.0492	0.0492	0.0811	0.4562	0.0507	5.06
X8	0.0650	0.0407	0.0407	0.0407	0.0407	0.0492	0.0492	0.0492	0.0811	0.4562	0.0507	5.06
X9	0.0464	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244	0.0164	0.0164	0.0164	0.0270	0.2202	0.2202	2.43
Vertical Sum	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	9.0000	1.0000	100

4. การปรับค่ามาตรฐานการตัดสินใจ (Normalization) ให้สอดคล้องกับช่วงค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยจะมีข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยทั้ง 9 ปัจจัยเป็นข้อมูลที่มี 2 กรณี คือ กรณีที่เป็นเกณฑ์ต้องการค่าสูงสุด และกรณีที่เป็นเกณฑ์ต้องการค่าต่ำสุด เช่น ปัจจัยด้านเวลาในการขนส่งค่าต่ำสุด คือ ค่าที่ดีที่สุด หรือปัจจัยด้านความกว้างของถนนค่าสูงสุด คือ ค่าที่ดีที่สุด และนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ในการเตรียมข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจะทำให้เห็นว่าปัจจัยบางปัจจัยจะมีค่าเท่ากันในหลาย ๆ เส้นทาง แต่ถ้าข้อมูลของปัจจัยมีความต่างกันผลลัพธ์ที่ได้จะแตกต่างกัน ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องห้ามมีข้อผิดพลาด หรือมีข้อผิดพลาดที่น้อยมาก ดัง Table 8

Table 8 Normalized decision matrix of each factor.

Factor Route	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
1-1	0.7231	1,200.54	47.5462	8.1538	9.00	8.3077	66.5654	10.00	3.5385
1-2	0.9182	1,445.22	57.2364	7.3636	9.00	7.0909	62.9877	10.00	3.7273
1-3	1.2513	1,850.26	73.2778	6.4444	9.00	5.8889	59.3670	10.00	3.6667
2-1	1.4400	2,111.32	83.6167	7.4450	9.00	6.1667	58.1729	8.67	4.1667
2-2	1.4247	1,959.82	77.6167	6.4450	9.00	5.8333	54.8363	8.67	3.6667
2-3	1.6467	2,184.13	86.5000	7.2857	9.00	6.0000	56.4194	7.43	3.5714
2-4	2.1510	2,864.36	113.4400	6.3340	9.00	5.6000	52.8418	9.20	3.6000
3-1	0.7508	1,257.45	49.8000	8.7692	9.00	8.4615	66.9156	10.00	4.1538
3-2	0.8262	1,280.18	50.7000	7.6923	9.00	7.0000	61.2314	10.00	4.0769
3-3	0.9509	1,512.48	59.9000	8.0909	9.00	7.2727	63.4015	10.00	4.0909
4-1	2.0093	2,779.52	110.0800	7.6000	9.00	6.4000	58.2916	8.00	4.0000
4-2	2.1558	2,966.24	117.4750	7.0000	9.00	6.2500	53.1784	9.50	4.0000
4-3	1.6556	2,219.05	87.8833	6.3333	9.00	5.6667	53.7813	9.00	3.6667

5. การคำนวณคะแนนสำหรับการคัดเลือกเส้นทางโดยใช้กระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making; MCDM) ด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย โดยนำค่าความสำคัญที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้าและค่ามาตรฐานการตัดสินใจมารวมกัน เพื่อกำหนดระดับคะแนนในแต่ละเส้นทาง โดยใช้การทำการแบ่งช่วงชั้นของข้อมูลของแต่ละปัจจัยให้แต่ละช่วงครอบคลุมค่าที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดสำหรับการนำผลไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล แบ่งระดับออกเป็น 9 ชั้น ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบและคำนวณคะแนนในแต่ละเส้นทางตามข้อมูลใน Table 9

Table 9 Results of scores using the SAW method.

Factor	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Total
Weight	0.3017	0.1304	0.1304	0.1304	0.1304	0.0507	0.0507	0.0507	0.0245	1
1-1	7.875	7.875	7.875	6.75	7.875	6.75	2.25	9	5.625	
1-2	7.875	6.75	6.75	5.625	7.875	4.5	3.375	9	6.75	
1-3	6.75	5.625	5.625	3.375	7.875	2.25	4.5	9	5.625	
SAW 1-1	2.3760	1.0272	1.0272	0.8804	1.0272	0.3422	0.1141	0.4562	0.1376	7.3881
SAW 1-2	2.3760	0.8804	0.8804	0.7337	1.0272	0.2281	0.1711	0.4562	0.1652	6.9183

Factor	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Total
SAW 1-3	2.0365	0.7337	0.7337	0.4402	1.0272	0.1141	0.2281	0.4562	0.1376	5.9074
2-1	5.6250	5.625	5.625	5.625	7.875	3.375	4.5	7.875	7.875	
2-2	6.7500	5.625	5.625	3.375	7.875	2.25	4.5	7.875	5.625	
2-3	5.6250	5.625	5.625	4.5	7.875	2.25	5.625	6.75	5.625	
2-4	4.5	3.375	3.375	3.375	7.875	2.25	6.75	9	5.625	
SAW 2-1	1.6971	0.7337	0.7337	0.7337	1.0272	0.1711	0.2281	0.3992	0.1927	5.9165
SAW 2-2	2.0365	0.7337	0.7337	0.4402	1.0272	0.1141	0.2281	0.3992	0.1376	5.8504
SAW 2-3	1.6971	0.7337	0.7337	0.5870	1.0272	0.1141	0.2851	0.3422	0.1376	5.6577
SAW 2-4	1.3577	0.4402	0.4402	0.4402	1.0272	0.1141	0.3422	0.4562	0.1376	4.7556
3-1	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	6.75	3.375	9	7.875	
3-2	7.875	7.875	7.875	5.625	7.875	4.5	4.5	9	6.75	
3-3	7.875	6.75	6.75	6.75	7.875	3.375	3.375	9	6.75	
SAW 3-1	2.3760	1.0272	1.0272	1.0272	1.0272	0.3422	0.1711	0.4562	0.1927	7.6469
SAW 3-2	2.3760	1.0272	1.0272	0.7337	1.0272	0.2281	0.2281	0.4562	0.1652	7.2688
SAW 3-3	2.3760	0.8804	0.8804	0.8804	1.0272	0.1711	0.1711	0.4562	0.1652	7.0080
4-1	4.5	4.5	4.5	5.625	7.875	3.375	4.5	6.75	6.75	
4-2	4.5	3.375	3.375	4.5	7.875	3.375	6.75	9	6.75	
4-3	5.625	5.625	5.625	3.375	7.875	2.25	6.75	7.875	5.625	
SAW 4-1	1.3577	0.5870	0.5870	0.7337	1.0272	0.1711	0.2281	0.3422	0.1652	5.1990
SAW 4-2	1.3577	0.4402	0.4402	0.5870	1.0272	0.1711	0.3422	0.4562	0.1652	4.9869
SAW 4-3	1.6971	0.7337	0.7337	0.4402	1.0272	0.1141	0.3422	0.3992	0.1376	5.6250

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย (SAW) แสดงให้เห็นว่า เส้นทางที่มีคะแนนสูงที่สุดในแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วย เส้นทางกลุ่มที่ 1 คือ เส้นทาง 1-1 ด้วยคะแนน 7.3881 เส้นทางกลุ่มที่ 2 คือ เส้นทาง 2-1 ด้วยคะแนน 5.9165 เส้นทางกลุ่มที่ 3 คือ เส้นทาง 3-1 ด้วยคะแนน 7.6469 และเส้นทางกลุ่มที่ 4 คือ เส้นทาง 4-3 ด้วยคะแนน 5.6250 ซึ่งนำไปสู่การสรุปเส้นทางที่เหมาะสมในการขนส่งจากจุดต้นทางไปยังปลายทาง โดยสามารถแบ่งกลุ่มเส้นทางได้จากคะแนนที่มีค่าการคำนวณมากที่สุด ดังนี้ เส้นทางชุดที่ 1 ประกอบไปด้วยเส้นทาง 3-1 และ 4-3 และเส้นทางชุดที่ 2 ประกอบไปด้วยเส้นทาง 1-1 และ 2-1 เป็นเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการขนส่งสินค้าเกษตรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

การอภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบเส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตร โดยเฉพาะในกรณีศึกษาการขนส่งทุเรียนจากจังหวัดจันทบุรีไปยังด่านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นจุดผ่านแดนสำคัญของประเทศไทยในการส่งออกสินค้าเกษตรไปยังประเทศเพื่อนบ้าน ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นถึงประโยชน์ของการบูรณาการระหว่างเทคนิคการจัดอันดับความถี่ กับเทคนิคการถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่ายสำหรับการวิเคราะห์เลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตร

การใช้เทคนิคการจัดอันดับความถี่ทำให้สามารถจำแนกปัจจัยสำคัญจากกลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างเป็นระบบ จากการรวบรวมข้อมูลปัจจัยทั้งหมด 35 ปัจจัย พบว่ามีเพียง 9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกเส้นทางอย่างเด่นชัด และมีความครอบคลุมทั้งด้านต้นทุน ระยะทาง สภาพเส้นทาง และสิ่งอำนวยความสะดวก ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสำคัญในระบบโลจิสติกส์ของสินค้าที่มีความเปราะบางโดยเฉพาะสินค้าเกษตร

ผลการวิเคราะห์และการประเมินเส้นทางด้วยเทคนิคการถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย (SAW) พบว่าเส้นทาง 3-1 ได้คะแนนรวมสูงสุด (7.6469) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของเส้นทางที่สามารถรองรับการขนส่งได้ดี ทั้งในด้านคุณภาพของถนน ระยะทาง และต้นทุนรวม รองลงมาคือเส้นทาง 1-1 (7.3881) และ 3-2 (7.2688) ซึ่งยังคงแสดงศักยภาพในระดับสูงมีคะแนนใกล้เคียงกันและอาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในบางบริบท ขณะที่เส้นทางที่ได้คะแนนต่ำที่สุด ได้แก่ 2-4 (4.7556) และ 4-2 (4.9869) สะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพการขนส่ง อาทิ ความแคบของถนน พื้นผิวที่ขรุขระ และการขาดสิ่งอำนวยความสะดวกระหว่างทาง

ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า การพิจารณาเพียงตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง เช่น ระยะทางหรือค่าใช้จ่าย อาจนำไปสู่การตัดสินใจที่ไม่เหมาะสมได้ โดยเฉพาะในกรณีของสินค้าเกษตรที่ต้องอาศัยการรักษาคุณภาพอย่างเข้มงวด จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เชิงพหุปัจจัยที่ครอบคลุมทั้งด้านกายภาพ เศรษฐกิจ และโลจิสติกส์ เพื่อให้ได้ทางเลือกของเส้นทางที่เหมาะสมอย่างแท้จริง

บทสรุป

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอแนวทางการวิเคราะห์และคัดเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าเกษตร โดยใช้เทคนิคการจัดอันดับความถี่ เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุด และเทคนิคการถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย สำหรับการประเมินความเหมาะสมของทางเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าเกษตรในเชิงปริมาณ โดยมุ่งเน้นกรณีศึกษาการขนส่งทุเรียนจากต้นทาง คือ จังหวัดจันทบุรีไปยังปลายทาง คือ ด้านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย

จากผลการศึกษา พบว่าเส้นทาง 3-1 (7.6469) เป็นเส้นทางที่มีความเหมาะสมสูงสุด ทั้งในด้านระยะเวลา ต้นทุน และสภาพแวดล้อมการขนส่ง รองลงมาคือเส้นทาง 1-1 (7.3881) และ 3-2 (7.2688) ขณะที่เส้นทาง 2-4 (4.7556) และ 4-2 (4.9869) ได้คะแนนต่ำที่สุด แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐาน คุณภาพของถนน และความปลอดภัยในการขนส่ง โดยที่เส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการขนส่งสินค้าเกษตรจากภาคตะวันออกไปยังภาคเหนือ คือ เส้นทาง 3-1 เป็นเส้นทางที่ได้คะแนนรวมมากที่สุดสำหรับการประเมินคะแนนจากต้นทางไปยังจุดเชื่อมต่อที่จะต่อไปยังปลายทาง และเส้นทาง 4-3 เป็นเส้นทางที่ได้คะแนนมากที่สุดสำหรับการประเมินคะแนนจากจุดเชื่อมต่อของเส้นทางไปยังปลายทาง คือ ด้านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย โดยเส้นทางทั้ง 2 เส้นทางนี้จะเชื่อมต่อกันเป็นเส้นทางจากต้นทางไปยังปลายทางผ่านจังหวัดสำคัญหลายแห่ง และเชื่อมต่อไปยังด้านศุลกากรเชียงของได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเส้นทางจะเริ่มต้นจากจังหวัดจันทบุรี ผ่านจังหวัดระยอง ชลบุรี ฉะเชิงเทรา นครนายก สระบุรี ออยุธยา อ่างทอง สิงห์บุรี ชัยนาท นครสวรรค์ กำแพงเพชร ตาก ลำปาง ลำพูน และเชียงใหม่ ไปยังปลายทางที่ด้านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย

ผลการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนเส้นทางของผู้ประกอบการ ตลอดจนใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการกำหนดนโยบายด้านโลจิสติกส์เกษตรในระดับพื้นที่และระดับประเทศ อันจะช่วยลดต้นทุนการดำเนินงาน คงคุณภาพสินค้า และเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของภาคการเกษตรอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับข้อเสนอแนะและคำแนะนำอันมีคุณค่าจากผู้ทรงคุณวุฒิ และขอขอบคุณการสนับสนุนจากคณะโลจิสติกส์และซัพพลายเชนดิจิทัล มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ และขอขอบคุณแหล่งข้อมูลที่เปิดเผยทางราชการ ศูนย์ข้อมูลการขนส่งด้วยรถบรรทุก กรมการขนส่งสินค้า กรมการขนส่งทางบก, ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม, สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) และกรมทางหลวง ประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- Al-Dairi, M., Pathare, P. B., Al-Yahyai, R., & Opara, U. L. (2022). Mechanical damage of fresh produce in postharvest transportation: Current status and prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 195-207.
- Asawakulchai, S. (2017). Traffic route for the shortest path travelling using Dijkstra algorithm. *Association of Private Higher Education Institutions of Thailand under the Patronage of Her Royal Highness Princess Mahachakri Sirindhorn*, 6(1), 5-14. (In Thai)
- Bigaran Aliotte, J. T., & Ramos de Oliveira, A. L. (2022). *Multicriteria decision analysis for fruits and vegetables routes based on the food miles concept*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*.

- Bitzios, D., & Ferreira, L. (1993). Factors affecting route choice of commercial vehicle drivers. In *Proceedings of the 18th Australasian Transport Research Forum (ATRF)* (Vol. 18, Part 1, pp. 27–40). Australasian Transport Research Forum.
- Brunelli, M. (2014). *Introduction to the analytic hierarchy process*. Springer.
- Chiang Khong Customs. (2023). *Top 10 export commodity values at Chiang Khong Customs*. Chiang Rai, Thailand: Chiang Khong Customs. (In Thai)
- Fernando, I., Fei, J., Stanley, R., & Enshaei, H. (2018). Measurement and evaluation of the effect of vibration on fruits in transit. *Packaging Technology and Science*, 31(11), 723-738.
- Fulzele, V., Shankar, R., & Choudhary, D. (2019). A model for the selection of transportation modes in the context of sustainable freight transportation. *Industrial Management & Data Systems*, 119(8), 1764-1784.
- Goodwin, P., & Khachaturov, T. (1983). *The Economics of Long-Distance Transportation: Proceedings of a Conference held by the International Economic Association*. Springer.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag.
- Ilgilar, C. (2023). Analysis of Perishable Goods Transportation. *European Journal of Business and Innovation Research*, 11(7), 35-72.
- Issa, I. M., Munishi, E. J., & Mubarak, K. (2022). Challenges facing transportation of urban fruits and vegetables supply chain continuum in Dar Es Salaam, Tanzania. *Business Education Journal*, 10(3). Retrieved from <https://www.ajol.info/index.php/bej/article/view/234744>
- Jaimook, S. (2017). *Factors effecting the development of the logistics system on road goods transportation in Chiang Mai province* (Unpublished master's thesis). Maejo University. (In Thai)
- Jantawong, P. (2021). Transport Route Selection for transporting products to China with TOPSIS-ROC Technique. *MUT Journal of Business Administration*, 18(2), 130-155. (In Thai)
- Jarimopas, B., Singh, S. P., & Saengnil, W. (2005). Measurement and analysis of truck transport vibration levels and damage to packaged tangerines during transit. *Packaging Technology and Science: An International Journal*, 18(4), 179-188. (In Thai)
- Jun, Y., & Wei, C. (2010). AHP application in the selection of routes for hazardous materials transportation. In *2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing (ICOIP 2010)* (pp. 189–191).
- Kahraman, C. (Ed.). (2008). *Multi-criteria decision making: Fuzzy sets and applications*. Springer: Berlin, Germany.
- Karimi, D., Rashvand, M., & Shokrian, A. (2019). Effect of road vibrations on the mechanical properties of olive fruit during transport. *Am. J. Mechan. Appl*, 7, 30-34.
- Khanai, A. (2008). *Transportation management (2nd ed.)*. Vision Prepress. (In Thai)
- Kim, G.-S., Jung, H.-M., Kim, K.-B., & Kim, M.-S. (2008). Vibration Measurement and Analysis During Fruits Distribution for Optimum Packaging Design. *Journal of Biosystems Engineering*, 33(1), 38-44.
- Lü, E., Lu, H., Zhang, D., Yang, Z., & Liu, Y. (2010). Investigation and analysis of fruits and vegetables transportation. In *Proceedings of the 2010 Pittsburgh, Pennsylvania Conference on Agricultural and Biological Engineering* (Paper No. 1009660).
- MacCrimmon, K. R. (1968). *Decision making among multiple-attribute alternatives: A survey and consolidated approach*. RAND Memorandum, RM-4823-ARPA, 1-21.

- Meethom & Pornchaivivat. (2011). Design of decision support system for multimodal transportation route selecting between Thailand and Vietnam. *Engineering and Applied Science Research*, 38(2), 187–195. (In Thai)
- Namfon, P., & Phatranit, K. (2020). *Transportation route planning using the saving algorithm: A case study of a plastic pellet factory* (Unpublished bachelor's thesis). Dhurakij Pundit University, College of Innovation in Technology and Engineering. (In Thai)
- Nasution, S. M., Husni, E., Kuspriyanto, K., & Yusuf, R. (2022). Personalized route recommendation using F-AHP-Express. *Sustainability*, 14(17), 10831.
- Negi, S., & Wood, L. C. (2019). Transportation lead time in perishable food value chains: an Indian perspective. *International Journal of Value Chain Management*, 10(4), 290-315.
- Nitidetch Koohathongsumrit. (2017). Optimal selection of transportation routes using a 0–1 goal programming model. *Phranakhon Rajabhat Research Journal*, 12(2). (In Thai)
- Office of the National Economic and Social Development Council. (2024). *Thailand's logistics report 2023*. NESDC. (In Thai)
- Orjuela-Castro, J. A., Orejuela-Cabrera, J. P., & Adarme-Jaimes, W. (2019). Last mile logistics in mega-cities for perishable fruits. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(2), 318-327.
- Osvald, A., & Stirn, L. Z. (2008). A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food. *Journal of food engineering*, 85(2), 285-295.
- Pamučar, D., & Čirović, G. (2018). Vehicle route selection with an adaptive neuro fuzzy inference system in uncertainty conditions. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(1), 13-37.
- Peterson, E. B., Grant, J. H., & Rudi-Poloshka, J. (2018). Survival of the fittest: Export duration and failure into united states fresh fruit and vegetable markets. *American Journal of Agricultural Economics*, 100(1), 23-45.
- Pretorius, C. J. (2016). *The influence of road condition on the shelf-life of tomatoes*. In Functional Pavement Design (pp. 1381-1389). CRC Press.
- Rahul, J. K., Khayer, N., Uddin, M. F., Chakraborty, S., & Haque, M. R. (2022, December). Considerations in the design of an efficient network to transport perishable crops. In *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial & Mechanical Engineering and Operations Management (IMEOM 2022)*. IEOM Society International.
- Ren, Q. (2022). The Optimal Route Selection Model of Fresh Agricultural Products Transportation Based on Bee Colony Algorithm. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(12).
- Sarjono, H. (2014). Determination of best route to minimize transportation costs using nearest neighbor procedure. *Applied Mathematical Sciences*, 8(62), 3063-3074.
- Schoorl, D., & Holt, J. (1982). Road-vehicle-load interactions for transport of fruit and vegetables. *Agricultural systems*, 8(2), 143-155.
- Soleimani, B., & Ahmadi, E. (2015). Evaluation and analysis of vibration during fruit transport as a function of road conditions, suspension system and travel speeds. *Engineering in agriculture, environment and food*, 8(1), 26-32.
- Sungtrisearn, P., & Ponanan, K. (2022). *Measurement model of rail freight performance indicator: Case study Mae Sot–Tak–Kamphaeng Phet–Nakhon Sawan double-track railway* (Unpublished master's thesis). Naresuan University, Faculty of Logistics and Digital Supply Chain. (In Thai)

- Taki, S. (2023). Optimizing the transportation route in the distribution network using Fuzzy AHP multi-criteria decision making. *Journal of New Research Approaches in Industrial & Management Sciences*, 9(29).
- Thakur, K., Maji, S., Maity, S., Pal, T., & Maiti, M. (2023). Multiroute fresh produce green routing models with driver fatigue using Type-2 fuzzy logic-based DFWA. *Expert Systems with Applications*, 229, 120300.
- Tidatip & Piyamas. (2024). *Factors affecting choice of Rom Klao truck terminal services of goods transport operators*. Ramkhamhaeng University Journal: Graduate School, 7(2), 43–58. (In Thai)
- Tirkolaee, E. B., Hadian, S., Weber, G. W., & Mahdavi, I. (2020). A robust green traffic-based routing problem for perishable products distribution. *Computational Intelligence*, 36(1), 80-101.
- Triantaphyllou, E., & Mann, S. H. (1995). Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges. *International journal of industrial engineering: applications and practice*, 2(1), 35-44.
- Wang, Y., Zhang, Q., & Liu, X. (2018). Application of AHP method in agricultural product logistics: A study on export routes from China to Vietnam. *Journal of Transport and Supply Chain Management*, 12(1), 1–9.
- Wu, M. Y., Ke, C. K., & Lai, S. C. (2022). Optimizing the routing of urban logistics by context-based social network and multi-criteria decision analysis. *Symmetry*, 14(9), 1811.
- Zheng, D., Chen, J., Lin, M., Wang, D., Lin, Q., Cao, J., Yang, X., Duan, Y., Ye, X., & Sun, C. (2022). Packaging design to protect Hongmeiren orange fruit from mechanical damage during simulated and road transportation. *Horticulturae*, 8(3), 258.