

วิธีการจัดสรรตารางกับการแก้ปัญหการขนส่งแบบฟัซซี่สหัชญาณ

Allocation Table Method for Solving Intuitionistic Fuzzy Transportation Problem

ดร.ณิ หันวิสัย
Darunee Hunwisai

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
Department of Applied Mathematics, Faculty of Science and Technology, Walaya Alongkorn Rajabhat University
under the Royal Patronage, Pathum Thani, Thailand
Corresponding author. Tel. 08 3056 5113, E-mail: darunee.hun@vru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหการขนส่งแบบฟัซซี่สหัชญาณ (Intuitionistic fuzzy transportation) เมื่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีความคลุมเครือหรือมีความไม่แน่นอน ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหการขนส่งแบบฟัซซี่สหัชญาณ ภายใต้ตัวเลขแบบฟัซซี่สหัชญาณสามเหลี่ยม (Triangular intuitionistic fuzzy number) ใช้วิธีเซนต์รอยด์ของตัวเลขฟัซซี่ (Centroid of fuzzy number) ในการหาค่าที่เป็นตัวแทนของตัวเลขแบบฟัซซี่สหัชญาณสามเหลี่ยม จากนั้นหาผลลัพธ์เบื้องต้น (Basic feasible solution) สำหรับการหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งโดยใช้วิธีการจัดสรรตาราง (Allocation table method) นอกจากนี้ได้ทำการตรวจสอบและปรับปรุงค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้น้อยที่สุดด้วยวิธีการกระจายแบบดัดแปลง (Modified distribution method) ผลการศึกษาพบว่าวิธีที่นำเสนอภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีความคลุมเครือ สามารถหาคำตอบที่ถูกต้องและเหมาะสมได้

คำสำคัญ : ปัญหาขนส่ง, ฟัซซี่สหัชญาณ, วิธีการจัดสรรตาราง

Abstract

The objective of research is to determine a solution to the intuitionistic fuzzy transportation problem, in which transportation costs are uncertain or ambiguous. The centroid of triangular intuitionistic fuzzy number was proposed for the representative value of the intuitionistic fuzzy cost. After that, the allocation table method was used to find a basic feasible solution for the fuzzy transportation problems. Moreover, the distribution method was used to check and improve transportation costs to a minimum. According to the study's findings, the approach can produce appropriate and accurate solutions when used in an environment of ambiguity.

Keywords: Transportation problems, Intuitionistic fuzzy, Allocation table method

Received 01-03-2023

Revised 07-03-2023

Accepted 18-04-2023

1. บทนำ

ปัจจุบันจะพบว่าธุรกิจบริการขนส่งสินค้ามีแนวโน้มเติบโตมากขึ้นเรื่อย ๆ การแข่งขันด้านราคามีแนวโน้มรุนแรงขึ้นเนื่องจากผู้ประกอบการที่มีจำนวนมากและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ผู้ประกอบการที่ทำธุรกิจการขนส่งสินค้า มีความต้องการที่จะขนส่งสินค้าให้ได้ในปริมาณที่มากที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการขนส่งให้น้อยที่สุด ซึ่งจำเป็นต้องทราบข้อมูลค่าใช้จ่ายที่ชัดเจน ในการขนส่งสินค้าแต่ละเที่ยว แต่ในสถานการณ์ปัจจุบันจะพบว่าต้นทุนในการขนส่งที่เกิดขึ้นไม่คงที่ มีความผันผวน สาเหตุอาจเนื่องมาจากความผันผวนของค่าเชื้อเพลิง ระยะทางของการขนส่ง การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล หรือสถานการณ์การระบาดของโรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นส่งผลต่อการขนส่งสินค้าในปัจจุบัน ผู้ประกอบการที่มีอำนาจในการตัดสินใจขาดข้อมูลที่ชัดเจนจึงทำให้ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่ง การแก้ไขปัญหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ผ่านมาจำเป็นที่จะต้องทราบต้นทุนในการขนส่ง ความสามารถในการผลิต และความต้องการสินค้าที่มีความชัดเจน ซึ่งตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \text{Subject to } \sum_{j=1}^n x_{ij} &\leq a_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (1) \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &\geq b_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \\ x_{ij} &\geq 0, \quad \forall i, j \end{aligned}$$

โดยที่

c_{ij} แทนค่าขนส่งต่อหน่วยในการขนส่งสินค้าจากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j

x_{ij} แทนปริมาณของสินค้าที่ขนส่งจากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j

a_i แทนปริมาณของสินค้าของแหล่งต้นทางที่ i

b_j แทนปริมาณความต้องการสินค้าของจุดหมายปลายทางที่ j [1]

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ (1) มีข้อจำกัดที่ค่าขนส่งต่อหน่วยต้องเป็นค่าใช้จ่ายที่แน่นอน แต่เนื่องจากในสถานการณ์ปัจจุบันค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นมีความไม่แน่นอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาใช้กับสถานการณ์ที่มีความไม่แน่นอนที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ภายใต้สถานการณ์ที่ไม่แน่นอนและมีความคลุมเครือนี้สามารถแก้ปัญหาได้โดย

นำแนวคิดของ Bellman RE และ Zadeh LA [2] ที่เรียกว่าฟัซซี่ หรือเป็นการตัดสินใจในสภาพแวดล้อมที่คลุมเครือมาช่วยแก้ปัญหา ต่อมา Atanassov KT [3] ได้นำเสนอแนวคิดแบบเซตฟัซซี่สหัชญาณซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปหรือเป็นส่วนขยายของฟัซซี่เซตของ Zadeh LA ซึ่งในเซตฟัซซี่สหัชญาณได้มีการกำหนดระดับของการเป็นสมาชิกและระดับของการไม่เป็นสมาชิกพร้อมกัน แนวคิดการแก้ปัญหการขนส่งโดยใช้การโปรแกรมเชิงเส้นได้รับการพัฒนาเป็นครั้งแรกโดย Hitchcock FL [4] หลักการดังกล่าวได้รับการพัฒนาและวิจัยอย่างต่อเนื่อง นักวิจัยหลายคนใช้ฟัซซี่เซตและฟัซซี่สหัชญาณในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดในการวางแผน การจัดตารางเวลา การขนส่ง เป็นต้น Dinagar SD และ Palanivel K [5] ได้นำเสนอการแก้ปัญหการขนส่งในสภาพแวดล้อมที่คลุมเครือด้วยตัวเลขฟัซซี่สี่เหลี่ยมคางหมูและซึ่งได้พัฒนาวิธีการเพื่อค้นหารูปแบบแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดของตัวเลขฟัซซี่ Samuel AE และ Raja P [6] ได้ศึกษาและนำเสนอวิธีการปัญหาการขนส่งฟัซซี่ที่ไม่สมดุล ในกรณีต้นทุนการขนส่ง อุปสงค์และอุปทาน แสดงด้วยตัวเลขฟัซซี่สามเหลี่ยมและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธีอื่น ๆ Srinivas B และ Ganesan G [7] ได้นำเสนอวิธี

แก้ปัญหาที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการขนส่งที่เป็นแบบฟัซซี่สหัชญาณด้วยวิธีการกระจายที่พัฒนา ขึ้นใหม่ Singh SK และ Yadaw SP [8] ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหา การขนส่งแบบฟัซซี่สหัชญาณ โดยพัฒนาวิธีการ แก้ปัญหาพื้นฐานและพัฒนาวิธีการปรับปรุงผลลัพธ์ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด Hunwisai D และ Kumam P [9] นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งที่เป็นแบบฟัซซี่ โดยเทคนิคการจัดอันดับที่แข็งแกร่งและใช้วิธี ATM เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนี้การแสดงวิธีการหา ผลลัพธ์ของการแก้ปัญหาการขนส่ง Ahmed MM, Khan AR, Uddin MS และคณะ [10] ได้แนะนำวิธีการ จัดสรรตารางสำหรับการค้นหาผลลัพธ์เบื้องต้น ซึ่งเป็น อีกวิธีหนึ่ง ที่ให้ผลลัพธ์ที่เทียบเท่าหรือดีกว่าวิธีการหา ผลลัพธ์เบื้องต้นที่มีมาก่อน

จากความไม่แน่นอนของค่าใช้จ่ายในการ ขนส่งสินค้าที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลกระทบต่อ การตัดสินใจในการขนส่งสินค้าของผู้ประกอบการ เพราะ ถ้าข้อมูลมีความไม่แน่นอนย่อมส่งผลกระทบต่อ ค่าขนส่งที่อาจมีต้นทุนที่สูงขึ้นได้ ดังนั้นในบทความนี้จึง ขอเสนอวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟัซซี่สหัช ญาณ โดยใช้วิธีเซททอเรียในการหาค่าที่เป็นตัวแทน ของตัวเลขฟัซซี่ จากนั้นวิธีการจัดสรรตารางจะถูก นำมาใช้เพื่อหาผลลัพธ์เบื้องต้นของค่าใช้จ่ายในการ ขนส่ง นอกเหนือจากนี้ได้ทำการตรวจสอบ และ ปรับปรุงผลลัพธ์ให้มีความเหมาะสมในการขนส่งที่น้อยที่สุด ด้วยวิธีการกระจายแบบดัดแปลง ประโยชน์ที่ได้จาก งานวิจัยนี้จะทำให้ได้เครื่องมือที่ช่วยในการแก้ปัญหา การขนส่งภายใต้ความไม่แน่นอนของค่าขนส่งที่อาจ เกิดขึ้นได้ และสามารถนำไปใช้ได้กับข้อมูลที่ใช้จ่าย ในการขนส่ง อุปสงค์และอุปทานมีค่าที่แน่นอนได้อีก ด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งแบบ ฟัซซี่ โดยใช้วิธีตารางการจัดสรรในการหาผลลัพธ์

เบื้องต้นและวิธีการกระจายแบบดัดแปลงในการ ปรับปรุงผลลัพธ์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ศึกษาทฤษฎี เอกสารและงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการขนส่ง และการ แก้ปัญหาการขนส่งแบบฟัซซี่
- 2) ศึกษาวิธีการหาผลลัพธ์เบื้องต้นด้วย วิธีการจัดสรรตาราง และศึกษาวิธีการตรวจสอบและ ปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้นด้วยวิธีการกระจายแบบ ดัดแปลง
- 3) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และ พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำไปใช้ในการ แก้ปัญหาการขนส่งแบบฟัซซี่
- 4) ทดสอบการหาคำตอบด้วยวิธีการจัดสรร ตาราง ตรวจสอบผลลัพธ์และปรับปรุงค่าใช้จ่ายใน การขนส่ง
- 5) นำเสนอการหาผลลัพธ์และการปรับปรุง ผลลัพธ์เบื้องต้น

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ฟัซซี่เซต (Fuzzy set)

ฟัซซี่เซตถูกคิดค้นขึ้นในปีค.ศ. 1965 โดย Zadeh [11] ฟัซซี่เซตเป็นเซตที่มีขอบเขตแบบ คลุมเครือ มีความไม่แน่นอน โดยที่ฟัซซี่เซตยอมให้ มี การกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกในเซต (Degree of membership) อยู่ระหว่าง 0 และ 1 การ กำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกลักษณะนี้ต้องอาศัย ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับฟัซซี่เซต ฟังก์ชัน μ_A เรียกว่า ฟังก์ชัน ความเป็น สมาชิก (Membership function) ของฟัซซี่เซต A นิยาม ดังต่อไปนี้

นิยาม 1 กำหนดให้ X เป็นเซตไม่ว่าง ฟัชชีเซต $\tilde{A}$ ใน X คือคู่อันดับ $(x, \mu_{\tilde{A}})$ และ $\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0, 1]$ เรียก $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ว่าระดับความเป็นสมาชิกของ x ใน ฟัชชีเซต $\tilde{A}$ ดังนั้นค่า $[0, 1]$ คือ ระดับความเป็นสมาชิกของ x ในฟัชชีเซต $\tilde{A}$ [11]

นิยาม 2 จะเรียกฟัชชีเซต $\tilde{A}$ ว่าเป็นตัวเลขฟัชชี ถ้ามีสมบัติสอดคล้องดังต่อไปนี้

- 1) เป็นเซตย่อยของจำนวนจริง
- 2) เป็นเซตปกติ (Normal set) ที่มีจำนวนจริง x ซึ่งทำให้ $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$
- 3) เป็นเซตนูน (Convex) นั่นคือ สำหรับทุกจำนวนจริง x และ y และ $\lambda \in [0, 1]$

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x + (1 - \lambda)y) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{A}}(y))$$

- 4) $\mu_{\tilde{A}} : R \rightarrow [0, 1]$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง โดยที่

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} l(x) ; x \in (-\infty, c) \\ 1 ; x = c \\ r(x) ; (c, \infty) \end{cases}$$

โดยที่ l เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอบนช่วง $(-\infty, c)$ และ r เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและลดลงอย่างสม่ำเสมอบนช่วง (c, ∞) [12]

นิยาม 3 กำหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ใช่เซตว่าง เซตฟัชชีสหัชฐาน (Intuitionistic fuzzy set) A ในเซต X เขียนแทนด้วย

$\tilde{A}^* = \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}^*}(x), \nu_{\tilde{A}^*}(x) \rangle \mid x \in X \}$ โดยที่ $\mu_{\tilde{A}^*} : X \rightarrow [0, 1]$ และ $\nu_{\tilde{A}^*} : X \rightarrow [0, 1]$ เรียก $\mu_{\tilde{A}^*}(x)$ และ $\nu_{\tilde{A}^*}(x)$ ว่าระดับความเป็นสมาชิก (Membership degree) และระดับความไม่เป็นสมาชิก (Non-membership degree) ของ x ที่ $\tilde{A}^* \subseteq X$ ตามลำดับ และสำหรับทุกจำนวน $x \in X$ จะได้ว่า $0 \leq \mu_{\tilde{A}^*}(x) + \nu_{\tilde{A}^*}(x) \leq 1$ [13]

นิยาม 4 ตัวเลขฟัชชี

$\tilde{A}^* = \langle (a_l, a_{c^*}, a_r); (a'_l, a'_{c^*}, a'_r) \rangle$ จะเรียกว่าเป็นตัวเลขฟัชชีสหัชฐานสามเหลี่ยม ถ้ามีฟังก์ชันความน่าจะเป็นดังนี้

$$\mu_{\tilde{A}^*}(x) = \begin{cases} \frac{x - a_l}{a_{c^*} - a_l} ; a_l \leq x \leq a_{c^*} \\ 1 ; x = a_{c^*} \\ \frac{a_r - x}{a_r - a_{c^*}} ; a_{c^*} \leq x \leq a_r \\ 0 ; x > a_r \text{ และ } x < a_l \end{cases}$$

และ

$$\nu_{\tilde{A}^*}(x) = \begin{cases} \frac{a_{c^*} - x}{a_{c^*} - a'_l} ; a'_l \leq x \leq a_{c^*} \\ 0 ; x = a_{c^*} \\ \frac{x - a_{c^*}}{a'_r - a_{c^*}} ; a_{c^*} \leq x \leq a'_r \\ 1 ; x > a'_r \text{ และ } x < a'_l \end{cases}$$

$$\text{เมื่อ } a'_l \leq a_l \leq a_{c^*} \leq a_r \leq a'_r \quad [14]$$

จากนิยาม 4 ตัวเลขฟัชชีสหัชฐานสามเหลี่ยม

$$\tilde{A}^* = \langle (a_l, a_{c^*}, a_r); (a'_l, a'_{c^*}, a'_r) \rangle \text{ ถ้า}$$

$a_l = a'_l$ และ $a_r = a'_r$ แล้วจะได้ว่า

$\tilde{A}^* = (a_l, a_{c^*}, a_r)$ เรียกว่าเป็นตัวเลขฟัชชีสามเหลี่ยม (Triangular fuzzy number)

นิยาม 5 ตัวเลขฟัชชี

$$\tilde{A}^* = \langle (a_l, a_{c^*}, a_r); (a'_l, a'_{c^*}, a'_r) \rangle \text{ และ}$$

$$\tilde{A}^* = \langle (b_l, b_{c^*}, b_r); (b'_l, b'_{c^*}, b'_r) \rangle \text{ เป็นตัวเลข}$$

ฟัชชีสหัชฐานสามเหลี่ยม และ $\xi \neq 0$ การ

ดำเนินการระหว่างตัวเลขฟัชชีและการคูณเชิง

สเกลาร์บนตัวเลขฟัชชี เป็นดังนี้

1. $\tilde{A}^* \oplus \tilde{B}^* = \langle (a_l + b_l, a_{c^*} + b_{c^*}, a_r + b_r); (a'_l + b'_l, a'_{c^*} + b'_{c^*}, a'_r + b'_r) \rangle$
2. $\tilde{A}^* \ominus \tilde{B}^* = \langle (a_l - b_l, a_{c^*} - b_{c^*}, a_r - b_r); (a'_l - b'_l, a'_{c^*} - b'_{c^*}, a'_r - b'_r) \rangle$
3. $\xi \tilde{A}^* = \begin{cases} \langle (\xi a_l, \xi a_{c^*}, \xi a_r); (\xi a'_l, \xi a'_{c^*}, \xi a'_r) \rangle, & \xi > 0 \\ \langle (\xi a_r, \xi a_{c^*}, \xi a_l); (\xi a'_r, \xi a'_{c^*}, \xi a'_l) \rangle, & \xi < 0 \end{cases}$

[14]

นิยาม 6 กำหนดให้ (α, λ) - เซตตัด (Cut set) ของ ตัวเลขฟัซซี่สหัชญาณสามเหลี่ยม

$\tilde{A}^* = \langle (a_l, a_{c^*}, a_r); (a'_l, a'_{c^*}, a'_r) \rangle$ เป็นเซตย่อยชัดแจ้ง (Crisp subset) บนจำนวนจริง ซึ่งนิยามโดย

$$\tilde{A}^*_{\alpha}^{\lambda} = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}^*}(x) \geq \alpha, v_{\tilde{A}^*}(x) \leq \lambda\}$$

และ $\alpha, \lambda \in [0, 1]$ [14]

3.2 เซนทรอยด์ของตัวเลขฟัซซี่

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอเซนทรอยด์ของ ตัวเลขฟัซซี่ คัดค้นโดย Wang YM, Yang J, Xu DL และคณะ [15]

นิยาม 7 ให้ $\tilde{A}^*$ เป็นตัวเลขฟัซซี่สหัชญาณ เซนทรอยด์ของ $\tilde{A}^*$ คือ $\frac{D}{N}$ โดยที่

$$D = \int_{a_l}^{a_l} \frac{1-f(x)}{2} x dx + \int_{a_l}^{a_{c^*}} \frac{g(x)-f(x)+1}{2} x dx + \int_{a_{c^*}}^{a_r} \frac{h(x)-k(x)+1}{2} x dx + \int_{a_r}^{a'_r} \frac{1-k(x)}{2} x dx$$

และ

$$N = \int_{a_l}^{a_l} \frac{1-f(x)}{2} dx + \int_{a_l}^{a_{c^*}} \frac{g(x)-f(x)+1}{2} dx + \int_{a_{c^*}}^{a_r} \frac{h(x)-k(x)+1}{2} dx + \int_{a_r}^{a'_r} \frac{1-k(x)}{2} dx$$

กำหนดให้ $g: R \rightarrow [0, 1]$, $h: R \rightarrow [0, 1]$

$f: R \rightarrow [0, 1]$ และ $k: R \rightarrow [0, 1]$

โดยที่ f และ g เป็นฟังก์ชันเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และ h และ k เป็นฟังก์ชันลดอย่างสม่ำเสมอ [15]

จากนิยาม 4 โดยการแทนค่าตัวเลขฟัซซี่

สหัชญาณสามเหลี่ยม

$\tilde{A}^* = \langle (a_l, a_{c^*}, a_r); (a'_l, a'_{c^*}, a'_r) \rangle$ ในนิยาม 7

จะได้เซนทรอยด์ของตัวเลขฟัซซี่ จัดรูปใหม่ได้ ดังนี้

$$\frac{1}{3} \left[\frac{(a'_r - a_l)(a_{c^*} - 2a'_r - 2a_l) + (a_r - a_l)(a_l + a_{c^*} + a_r) + 3(a_r^2 - a_l^2)}{a'_r - a_l + a_r - a_l} \right] \quad (2)$$

ข้อสังเกต จากตัวเลขฟัซซี่สหัชญาณสามเหลี่ยม

$\tilde{A}^* = \langle (a_l, a_{c^*}, a_r); (a'_l, a'_{c^*}, a'_r) \rangle$ ถ้า

$a_l = a'_l$ และ $a_r = a'_r$ แล้วจะได้ว่า

$\tilde{A}^* = (a_l, a_{c^*}, a_r)$ ดังนั้นเซนทรอยด์ของตัวเลขฟัซซี่

สามเหลี่ยม $\tilde{A}^*$ จะได้เป็น $\frac{a_l + a_{c^*} + a_r}{3}$

ในบทความนี้กำหนดให้สัญลักษณ์ $C(\tilde{A}^*)$ แทนเซนทรอยด์ของตัวเลขฟัซซี่ $\tilde{A}^* C(\tilde{A}^*)_{ij}$ แทน

ค่าขนส่งแบบฟัซซี่ต่อหน่วยในการขนส่งทรัพยากร จากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j

3.3 การแก้ปัญหาเส้นทางขนส่ง

ปัญหาการขนส่ง (Transportation problems) เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรทรัพยากร สินค้าหรือวัตถุดิบ จากแหล่งผลิตที่ เป็น

แหล่งต้นทาง (Sources) ไปยังจุดหมายปลายทาง (Destinations) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสียค่าใช้จ่าย ในการขนส่งให้น้อยที่สุดภายใต้ ความ

ต้องการสินค้าและข้อจำกัดในการผลิตสินค้า การใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง จำเป็นที่จะต้องทราบต้นทุน ในการขนส่ง ความสามารถในการผลิต และ ความต้องการสินค้าที่มีความชัดเจน ซึ่งสามารถ คำนวณต้นทุนค่าขนส่งทั้งหมดได้จากสมการและ ข้อจำกัดต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \text{Subject to } \sum_{j=1}^n x_{ij} &\leq a_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &\geq b_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \\ x_{ij} &\geq 0, \quad \forall i, j \end{aligned} \quad (1)$$

โดยกำหนดให้

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} &\text{ แทนต้นทุนการขนส่งทั้งหมด} \\ c_{ij} &\text{ แทนค่าขนส่งต่อหน่วยในการขนส่งสินค้าจาก} \\ &\text{แหล่งต้นทางที่ } i \text{ ไปยังจุดหมายปลายทางที่ } j \\ x_{ij} &\text{ แทนปริมาณของสินค้าที่ขนส่งจากแหล่งต้น} \\ &\text{ทางที่ } i \text{ ไปยังจุดหมายปลายทางที่ } j \\ a_i &\text{ แทนปริมาณของสินค้าของแหล่งต้นทางที่ } i \\ b_j &\text{ แทนปริมาณความต้องการสินค้าของจุดหมาย} \\ &\text{ปลายทางที่ } j \end{aligned}$$

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ (1) มีข้อจำกัดที่ค่าขนส่งต่อหน่วยต้องเป็นตัวเลขที่แน่นอน แต่เนื่องจากสถานการณ์ในปัจจุบัน ค่าใช้จ่ายมีความไม่แน่นอนหรือเป็นแบบฟัซซี่ จึงต้องมีการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาเพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำที่สุด ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Minimize } \tilde{Z} &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij} \\ \text{Subject to } \sum_{j=1}^n x_{ij} &\leq \alpha_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &\geq \beta_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \\ x_{ij} &\geq 0, \quad \forall i, j \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{โดยที่ } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij} \text{ แทนต้นทุนการขนส่งฟัซซี่}$$

ทั้งหมด

$\tilde{c}_{ij}$ แทนค่าขนส่งต่อหน่วยในการขนส่งสินค้าจากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j
 x_{ij} แทนปริมาณของสินค้าที่ขนส่งจากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j

α_i แทนปริมาณของสินค้าของแหล่งต้นทางที่ i

β_j แทนปริมาณความต้องการสินค้าของจุดหมายปลายทางที่ j

ถ้า $\sum_{i=1}^m \alpha_i = \sum_{j=1}^n \beta_j$ แล้วกล่าวได้ว่าเป็นปัญหาการ

ขนส่งฟัซซี่สมดุล และถ้า $\sum_{i=1}^m \alpha_i \neq \sum_{j=1}^n \beta_j$ แล้ว

กล่าวได้ว่าเป็นปัญหาการขนส่งฟัซซี่ไม่สมดุล

3.4 วิธีการแก้ปัญหาการขนส่ง

3.4.1 การหาผลลัพธ์เบื้องต้น

วิธีการหาผลลัพธ์เบื้องต้นในที่นี้ เลือกใช้วิธีการจัดสรรตารางของ Ahmed MM, Khan AR, Uddin MS และคณะ [10] มีขั้นตอนดังนี้
ขั้นตอนที่ 1: สร้างตารางการขนส่งจากปัญหาการขนส่งฟัซซี่ที่กำหนด จากนั้นนำตัวเลขที่ได้จากการใช้เซนทรอยด์ ใส่ลงในตารางให้ครบทุกช่อง

ขั้นตอนที่ 2: จากตารางในขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบดูว่าปัญหาการขนส่งมีความสมดุลหรือไม่ ถ้าไม่สมดุลต้องทำให้สมดุลก่อน

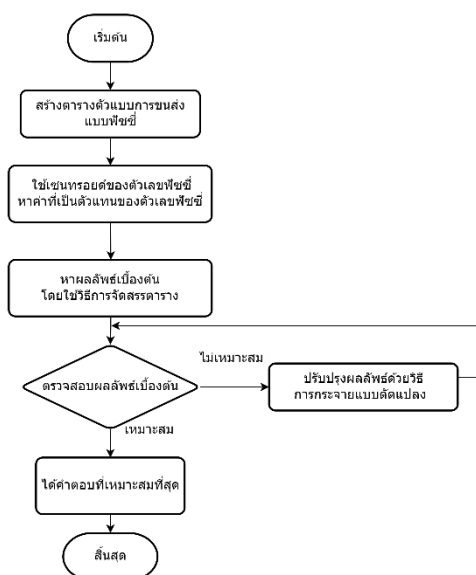
ขั้นตอนที่ 3: จากตารางในขั้นตอนที่ 1 เลือกค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่เป็นจำนวนคี่ต่ำสุด (ตัวเลขอาจเป็นจำนวนเต็ม / ทศนิยม / เศษส่วน) จากทุกช่องของตารางการขนส่ง ในกรณีที่ค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนคี่ทั้งหมด ให้นำ 2 หาค่าใช้จ่ายในทุกช่องของตารางการขนส่ง จนสามารถได้ค่าใช้จ่ายที่เป็นจำนวน

คือ ตารางใหม่ที่ได้จะเรียกว่าตารางการจัดสรร โดยมีค่าใช้จ่ายที่เป็นจำนวนคี่ปรากฏอยู่

ขั้นตอนที่ 4: จากตารางการจัดสรร ในครั้งแรกจะเริ่มต้นโดยการเลือกจัดสรรให้กับค่าใช้จ่ายที่เป็นจำนวนคี่ที่ต่ำที่สุดจากตารางการจัดสรรในขั้นตอนที่ 3 ทำการขนส่งให้มากที่สุด โดยเป็นไปตามเงื่อนไขและข้อจำกัดของอุปสงค์และอุปทาน จากนั้นลบแถวหรือคอลัมน์ที่จัดสรรให้เสร็จสมบูรณ์

ขั้นตอนที่ 5: ต่อมาให้พิจารณาทำการขนส่งในช่องที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดในอันดับถัดไป ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนจัดสรรครบทั้งทางด้านอุปสงค์และอุปทาน

ขั้นตอนที่ 6: คำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งในทุกเส้นทาง หลังจากการจัดสรรตารางเสร็จเรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ 1 การแสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาการขนส่งแบบพีซีซี

3.4.2. การตรวจสอบผลลัพธ์เบื้องต้นและการปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้น

ในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจสอบผลลัพธ์เบื้องต้นที่คำนวณได้ และทำการปรับปรุงผลลัพธ์ โดยใช้วิธีการกระจายแบบดัดแปลง มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: จากตารางแสดงผลลัพธ์เบื้องต้นด้วยวิธีการจัดสรรตาราง พิจารณาช่องที่ถูกจัดสรร (Basic cell) และไม่ถูกจัดสรร (Non basic cell) ทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2: คำนวณค่า $\tilde{C}_{ij} = R_i + K_j$ เมื่อ $\tilde{C}_{ij}$ คือ ค่าใช้จ่ายของช่องที่ ij , R_i คือสัมประสิทธิ์ของแถวแนวนอนที่ i , K_j คือสัมประสิทธิ์ของแถวตั้งที่ j และกำหนดให้ $R_1 = 0$

ขั้นตอนที่ 3: กำหนดให้ $E_{ij} = \tilde{C}_{ij} - R_i - K_j$ หา E_{ij} ของช่องที่ไม่ถูกจัดสรร (Non basic cell) ทุกช่อง

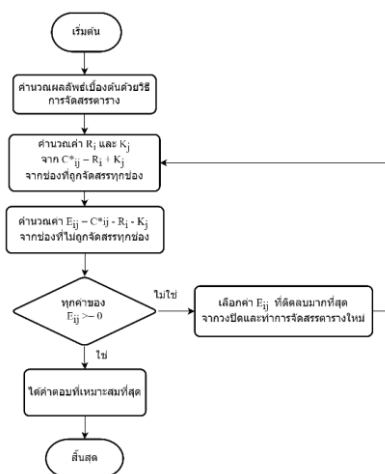
ขั้นตอนที่ 4: พิจารณาค่าของ E_{ij} ถ้า $E_{ij} \geq 0$ แสดงว่าผลลัพธ์ที่ได้เบื้องต้นเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด หากค่า E_{ij} ที่คำนวณได้มีค่า $E_{ij} < 0$ (ทุกช่องหรือบางช่อง) แสดงว่ามีช่องที่สามารถจัดสรรและลดค่าขนส่งให้น้อยลงกว่าเดิมได้อีก

ขั้นตอนที่ 5: ในกรณีที่มีค่า $E_{ij} < 0$ จะทำการเลือกช่องที่ให้ ค่า E_{ij} เป็นลบมากที่สุด จากขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 6: ทำการจัดสรรค่าใหม่ โดยการสร้าง วงปิด (Closed loop) โดยในตอนแรกเริ่มต้น วงปิดด้วยการเลือกช่องว่างและเคลื่อนที่ในแนวตั้งและแนวนอนด้วยช่องมุมที่ถูกเลือกและกลับมาที่ช่องว่างในตอนเริ่มต้นเพื่อทำวงปิดให้สมบูรณ์ ใช้เครื่องหมาย “+” และ “-” ที่มุมของวงปิดในช่องว่างแรกที่เลือกไว้จะกำหนดให้ใช้เครื่องหมาย “+”

ขั้นตอนที่ 7: หาค่าการจัดสรรต่ำสุดจากช่องที่มีเครื่องหมาย “-” หลังจากนั้นนำค่าที่ถูกเลือกไปจัดสรรในช่องที่เลือกไว้ โดยนำค่านี้นี้ไปบวกเข้ากับช่องที่มีเครื่องหมาย “+” และนำค่านี้นี้ไปลบออกจากช่องที่มีเครื่องหมาย “-” จะส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ที่จะต้องทำการปรับปรุง

ขั้นตอนที่ 8: หลังจากทำการจัดสรรในขั้นตอนที่ 7 แล้ว ให้ทำการตรวจสอบค่าที่ได้จากตารางอีกครั้ง ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนสุดท้าย จนได้ค่า $E_{ij} \geq 0$ ทุกค่า หากพบว่ายังมีค่าลบเหลืออยู่จะต้องทำการปรับปรุง ผลลัพธ์และตรวจสอบผลลัพธ์ จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด นั่นคือต้องได้ $E_{ij} \geq 0$ ทุกค่า



ภาพที่ 2 การแสดงการตรวจสอบผลลัพธ์เบื้องต้น และการปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้น

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ค่าใช้จ่ายในการขนส่งภายใต้สถานการณ์ที่ต้นทุนค่าขนส่งมีความไม่แน่นอน โดยในสถานการณ์จริงข้อมูล ที่นำมาคำนวณจะได้มาจากการเก็บข้อมูลค่าใช้จ่าย ในการขนส่ง อุปสงค์และอุปทาน ซึ่งเป็นการนำข้อมูล ย้อนหลังมาพิจารณาว่าตัวเลขที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงใด แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์ ในตัวอย่างนี้กำหนด ปัญหาให้อยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่า ค่าใช้จ่ายในการ ขนส่งเป็นแบบพีชชีสหัญฐานสามเหลี่ยม ดังตัวอย่าง ต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1 บริษัทต้องการขนส่งสินค้าจากโรงงาน ไปยังศูนย์กระจายสินค้า โดยที่ให้มีค่าใช้จ่ายในการ ขนส่งสินค้าให้น้อยที่สุด โดยมีการขนส่งสินค้าจาก โรงงาน 3 แห่งคือ F_1 , F_2 และ F_3 ไปสู่ศูนย์กระจาย สินค้า 3 แห่งคือ W_1 , W_2 และ W_3 แสดงข้อมูลดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการขนส่งแบบพีชชี (ค่าขนส่งมีหน่วยเป็นบาท)

	W_1	W_2	W_3	กำลังการผลิต (α_i)
F_1	$\langle(5,7,10);(4,7,12)\rangle$	$\langle(9,10,12);(8,10,14)\rangle$	$\langle(3,5,7);(1,5,10)\rangle$	160
F_2	$\langle(7,10,12);(5,10,13)\rangle$	$\langle(4,6,10);(3,6,13)\rangle$	$\langle(10,12,13);(8,12,16)\rangle$	180
F_3	$\langle(6,8,10);(4,8,11)\rangle$	$\langle(7,8,13);(5,8,15)\rangle$	$\langle(7,11,13);(4,11,15)\rangle$	175
ความต้องการ (β_j)	155	190	170	515

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่าขนส่งสินค้าแสดงเป็นตัวเลขแบบพีชชีสหัชฐานสามเหลี่ยม ดังนั้นหากต้องการหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุดจำเป็นต้องหาค่าที่เป็นตัวแทนของตัวเลขพีชชีสหัชฐานสามเหลี่ยมก่อน ในที่นี้จะใช้วิธีเซนทรอยด์เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งใหม่ดังนี้

พิจารณาเส้นทาง F_1 ไปยัง W_1 คือ $\langle(5,7,10);(4,7,12)\rangle$ หาค่าใช้จ่ายในการขนส่งใหม่โดยการแทนค่าลงในสมการ

$$\frac{1}{3} \left[\frac{(a'_r - a'_l)(a_{c*} - 2a'_r - 2a'_l) + (a_r - a_l)(a_l + a_{c*} + a_r) + 3(a_r^2 - a_l^2)}{a'_r - a'_l + a_r - a_l} \right]$$

คำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งใหม่ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} C(\tilde{c}_{11}^*) &= C(\langle(5,7,10);(4,7,12)\rangle) \\ &= \frac{1}{3} \left[\frac{(12-4)(7-2(12)-2(4)) + (10-5)(5+7+10) + 3(12^2-4^2)}{12-4+10-5} \right] \\ &= 7.54 \end{aligned}$$

ค่าขนส่งสินค้าจากเส้นทาง F_1 ไปยัง W_1 เขียนแทนด้วย $C(\tilde{c}_{11}^*)$ จากการคำนวณโดยวิธีเซนทรอยด์จะได้ว่า $C(\tilde{c}_{11}^*) = 7.54$ บาทต่อหน่วย ในทำนองเดียวกันในเส้นทางอื่น ๆ จะได้ค่าขนส่งใหม่ดังนี้ คือ $C(\tilde{c}_{12}^*) = 10.56$, $C(\tilde{c}_{13}^*) = 5.23$,

$$C(\tilde{c}_{21}^*) = 19.46, C(\tilde{c}_{22}^*) = 7.08$$

$$C(\tilde{c}_{23}^*) = 11.91, C(\tilde{c}_{31}^*) = 7.79,$$

$$C(\tilde{c}_{32}^*) = 9.33 \text{ และ } C(\tilde{c}_{33}^*) = 10.12$$

นำค่าขนส่งใหม่ที่ได้ออกในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าขนส่งใหม่โดยวิธีเซนทรอยด์

	W_1	W_2	W_3	กำลังการผลิต (α_i)
F_1	7.54	10.56	5.23	160
F_2	9.46	7.08	11.91	180
F_3	7.79	9.33	10.12	175
ความต้องการ (β_j)	155	190	170	515

จากตารางที่ 2 พบว่า $\sum_{i=1}^3 \alpha_i = \sum_{j=1}^3 \beta_j = 515$

นั่นคือเป็นปัญหาการขนส่งพีชชีแบบสมดุล

ขั้นตอนต่อไปจะทำการคำนวณผลลัพธ์เบื้องต้นโดยใช้วิธีการจัดสรรตารางดังนี้

จากตารางที่ 2 พบว่าเส้นทางจาก F_1 ไปยัง W_3 เป็นเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนคี่ต่ำสุด

คือ 5.23 บาทต่อหน่วย ดังนั้นเลือกเส้นทางนี้เป็นเส้นทางเริ่มต้นในการจัดสรร โดยจะจัดสรรบนเส้นทางนี้ให้มากที่สุด จากโรงงาน F_1 มีสินค้า 160 หน่วย และศูนย์กระจายสินค้า W_3 รับสินค้าได้ 170 หน่วย ดังนั้นจัดสรรให้ขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_1 ไปยัง W_3 จำนวน 160 หน่วย ซึ่งทำให้สินค้าจากโรงงาน F_1 ส่งสินค้าครบเต็มจำนวนแล้ว ไม่สามารถส่งให้กับศูนย์กระจายสินค้าอื่นได้ ทำให้เหลือโรงงานที่จะทำการจัดส่งสินค้าต่อไปอีก 2 โรงงาน ในขณะที่ศูนย์กระจายสินค้า W_3 ยังสามารถรับสินค้าได้อีก 10 หน่วย จากนั้นเลือกเส้นทางที่เหลือคือ โรงงาน F_1 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_1 , W_2 และ W_3 โรงงาน F_2 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_1 , W_2 และ W_3 จากเส้นทางดังกล่าวมาพบว่า เส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดรองลงมาคือ โรงงาน F_2 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_2 ดังนั้น จาก F_2 ไปยัง W_2 จัดสรรสินค้าเป็นจำนวน 180 หน่วย ซึ่งทำให้สินค้าจากโรงงาน F_2 ส่งสินค้าครบเต็มจำนวนแล้ว ไม่สามารถส่งให้กับศูนย์กระจายสินค้าอื่นได้ ในขณะที่ศูนย์กระจาย

ตารางที่ 3 การหาผลลัพธ์เบื้องต้นด้วยวิธีการจัดสรรตาราง

	W_1	W_2	W_3	กำลังการผลิต (α_i)
F_1	7.54	10.56	5.23	160
F_2	9.46	7.08	11.91	180
F_3	7.79	9.33	10.12	175
ความต้องการ (β_j)	155	190	170	515

จากตารางที่ 3 จะได้ว่า โรงงาน F_1 ส่งสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_3 เป็นจำนวน 160 หน่วย เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $x_{13}=160$ โรงงาน F_2 ส่งสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_2 เป็นจำนวน

ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566

สินค้า W_2 ยังสามารถรับสินค้าได้อีก 10 หน่วย ในตอนนี้เหลือเส้นทางที่ต้องพิจารณาอีก 3 เส้นทาง คือการขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_1 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_1 , W_2 และ W_3 เลือกเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดลำดับถัดไปคือ โรงงาน F_1 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_1 จัดสรรสินค้าเป็นจำนวน 155 หน่วย ทำให้สินค้าจากโรงงาน F_3 มีสินค้าเหลืออีก 20 หน่วย ดังนั้นพิจารณาเส้นทางที่ยังเหลืออยู่อีก 2 เส้นทาง คือขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_3 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_2 และ W_3 ดังนั้นเลือกเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดลำดับถัดไปคือ จากโรงงาน F_3 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_2 จัดสรรสินค้าจำนวน 10 หน่วย ทำให้ศูนย์กระจายสินค้า W_2 รับสินค้าครบตามจำนวน และในลำดับสุดท้ายขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_3 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_3 จัดสรรสินค้าจำนวน 10 หน่วย ทำให้โรงงาน F_3 ส่งสินค้าได้ครบตามจำนวนและ W_3 ได้รับสินค้าเต็มจำนวน แสดงผลการจัดสรรการขนส่งสินค้าในแต่ละเส้นทาง ดังตารางที่ 3

180 หน่วย เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $x_{22}=180$ โรงงาน F_{31} ส่งสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า W_1 , W_2 และ W_3 เป็นจำนวน 155, 10, และ 10 หน่วย ตามลำดับ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์

$x_{31}=155$, $x_{32}=10$ และ $x_{33}=10$ ตามลำดับ

ดังนั้นคำนวณค่าขนส่งรวมทั้งหมดที่ได้จากวิธีการ
จัดสรรตาราง ดังนี้

$$\begin{aligned}\tilde{Z} &= \tilde{C}_{13}^* \times x_{13} + \tilde{C}_{22}^* \times x_{22} + \tilde{C}_{31}^* \times x_{31} + \tilde{C}_{32}^* \times x_{32} \\ &\quad + \tilde{C}_{33}^* \times x_{33} \\ &= (5.23 \times 160) + (7.07 \times 180) + (7.79 \times 155) \\ &\quad + (9.33 \times 10) + (10.12 \times 10) \\ &= 3,513.15 \text{ บาท}\end{aligned}$$

จากผลลัพธ์เบื้องต้นที่คำนวณได้ ขั้นตอนต่อไปจะ
ทำการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้ว่าเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด
หรือไม่ และทำการปรับปรุงผลลัพธ์ดังกล่าวด้วย
วิธีการกระจายแบบดัดแปลง ดังนี้

ตารางที่ 4 ค่า R_i และ K_j

	W_1	W_2	W_3	กำลังการผลิต (α_i)	R_i
F_1	7.54	10.56	5.23	160	$R_1=0$
F_2	9.46	7.08	11.91	180	$R_2=2.64$
F_3	7.79	9.33	10.12	175	$R_3=4.89$
ความต้องการ (β_j)	155	190	170	515	
K_j	$K_1=2.9$	$K_2=4.44$	$K_3=5.23$		

ขั้นตอนต่อไปคำนวณหาค่า E_{ij} จากช่องที่ไม่ถูก
จัดสรร (Non basic cell) หาได้จาก

$$\begin{aligned}E_{ij} &= \tilde{C}_{ij}^* - R_i - K_j \text{ พิจารณา } E_{11} \\ E_{11} &= \tilde{C}_{11}^* - R_1 - K_1 \\ &= 7.54 - 0 - 2.9 \\ &= 4.64\end{aligned}$$

ในทำนองเดียวกันช่องที่ไม่ถูกจัดสรรอื่น ๆ จะ
สามารถหาค่า E_{ij} ได้ดังนี้ $E_{12}=6.12$, $E_{21}=3.92$

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่ามีช่องที่ถูก
จัดสรร (Basic cell) เรียบร้อยแล้วนำมาคำนวณหา
ค่า R_i และ K_j ซึ่งคำนวณได้จาก $\tilde{C}_{ij}^* = R_i + K_j$

โดยที่ $\tilde{C}_{ij}^*$ คือ ค่าใช้จ่ายของช่องที่ ij , R_i คือ
สัมประสิทธิ์ของแถวแนวนอนที่ i , K_j คือ
สัมประสิทธิ์ของแถวตั้งที่ j และกำหนดให้
 $R_1 = 0$ คำนวณ $\tilde{C}_{13}^*$ จากสูตร $\tilde{C}_{ij}^* = R_i + K_j$

$$\tilde{C}_{13}^* = R_1 + K_3$$

$$5.23 = 0 + K_3$$

$$K_3 = 5.23$$

ในทำนองเดียวกันในช่องที่ถูกจัดสรรอื่น ๆ หาค่า R_i
และ K_j ได้ดังนี้ $R_2=2.64$, $R_3=4.89$, $K_1=2.9$
และ $K_2=4.44$ แสดงดังตารางที่ 4

และ $E_{23}=4.04$ จากผลลัพธ์ที่ได้จะพบว่า ค่า E_{ij}
มีค่าเป็นจำนวนบวกทุกค่า นั่นคือ $E_{ij} \geq 0$ แสดง
ว่าในการคำนวณผลลัพธ์เบื้องต้นด้วยวิธีการจัดสรร
ตารางได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้ว จึงไม่ต้องทำการ
ปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้นใหม่ ดังนั้นได้ค่าขนส่งรวม
ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 3,513.15 บาท

ตัวอย่างที่ 2 กำหนดให้มีการกระจายสินค้าจาก
โรงงาน 3 แห่งคือ F_1 , F_2 และ F_3 ไปสู่ศูนย์กระจาย

สินค้า 4 แห่งคือ W_1, W_2, W_3 และ W_4

แสดงข้อมูลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลการขนส่งแบบฟิชชี (ค่าขนส่งมีหน่วยเป็นบาท)

	W_1	W_2	W_3	W_4	กำลังการผลิต (α_i)
F_1	$\langle(10,15,20);$ $(6,15,21)\rangle$	$\langle(13,20,30);$ $(8,20,35)\rangle$	$\langle(30,38,45);$ $(27,38,50)\rangle$	$\langle(35,40,50);$ $(23,40,55)\rangle$	80
F_2	$\langle(53,55,60);$ $(50,55,63)\rangle$	$\langle(30,35,47);$ $(28,35,50)\rangle$	$\langle(40,45,55);$ $(38,45,61)\rangle$	$\langle(10,25,40);$ $(8,25,43)\rangle$	75
F_3	$\langle(12,24,35);$ $(10,24,35)\rangle$	$\langle(40,50,60);$ $(35,50,65)\rangle$	$\langle(35,45,50);$ $(30,45,65)\rangle$	$\langle(10,25,37);$ $(9,25,40)\rangle$	95
ความต้องการ (β_j)	50	90	60	50	250

จากตารางที่ 5 ใช้วิธีเซทรอยด์คำนวณค่าขนส่งใหม่ (ทำเช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1)

กำหนดค่าขนส่งใหม่ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลค่าขนส่งใหม่โดยวิธีเซทรอยด์

	W_1	W_2	W_3	W_4	กำลังการผลิต (α_i)
F_1	14.4	21	38.07	40.08	80
F_2	56	37.52	47.47	25.18	75
F_3	23.32	50	45.67	24.36	95
ความต้องการ (β_j)	50	90	60	50	250

จากตารางที่ 6 พบว่า $\sum_{i=1}^3 \alpha_i = \sum_{j=1}^4 \beta_j = 250$

กล่าวได้ว่าเป็นปัญหาการขนส่งฟิชชีสมดุล
ขั้นตอนต่อไปจะต้องหาผลลัพธ์เบื้องต้น โดยใช้วิธี

ตารางการจัดสรรเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 1 ซึ่งใน
ที่นี้จะแสดงเฉพาะผลลัพธ์เบื้องต้นที่ได้หาผลลัพธ์ไว้
แล้ว ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การหาผลลัพธ์เบื้องต้นด้วยวิธีการจัดสรรตาราง

	W_1	W_2		W_3	W_4		กำลังการผลิต (α_i)	
F_1	14.4	21	80	38.07	40.08		80	
F_2	56	37.52	10	47.47	60	25.18	5	75
F_3	23.32	50	50	45.67	24.36	45	95	
ความต้องการ (β_j)	50	90		60	50		250	

จากตารางที่ 7 คำนวณค่าขนส่งรวมทั้งหมดที่ได้จากวิธีการจัดสรรตาราง ดังนี้

$$\begin{aligned} \tilde{Z} &= \tilde{C}_{12}^* \times_{12} + \tilde{C}_{22}^* \times_{22} + \tilde{C}_{23}^* \times_{23} + \tilde{C}_{24}^* \times_{24} \\ &\quad + \tilde{C}_{31}^* \times_{31} + \tilde{C}_{34}^* \times_{34} \\ &= (21 \times 80) + (37.52 \times 10) + (47.47 \times 60) \\ &\quad + (25.18 \times 5) + (23.32 \times 50) + (24.36 \times 45) \\ &= 7,291.50 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ขั้นตอนต่อไปจะทำการตรวจสอบผลลัพธ์เบื้องต้นที่ได้ด้วยวิธีการกระจายแบบดัดแปลง ดังนี้

จากตารางที่ 7 คำนวณค่า R_i และ K_j ได้เป็น $R_1=0$, $R_2=16.52$, $R_3=15.7$, $K_1=7.62$, $K_2=21$, $K_3=30.95$ และ $K_4=8.66$ แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่า R_i และ K_j

	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	กำลังการผลิต (α_i)	R _i		
F ₁	14.4	21	80	38.07	40.08	80	R ₁ =0	
F ₂	56	37.52	10	47.47	60	25.18	5	R ₂ =16.52
F ₃	23.32	50	50	45.67	24.36	45	95	R ₃ =15.7
ความต้องการ (β_j)	50	90	60	50	250			
K _j	K ₁ =7.62	K ₂ =21	K ₃ =30.95	K ₄ =8.66				

จากตารางที่ 8 คำนวณค่า E_{ij} จาก
ช่องที่ไม่ถูกจัดสรร ได้เป็น $E_{11}=6.78$, $E_{13}=7.12$,
 $E_{14}=31.42$, $E_{21}=31.86$, $E_{32}=13.3$ และ
 $E_{33}=-0.98$

จากการคำนวณค่า E_{ij} พบว่าค่า E_{ij} ที่
ติดลบคือ E_{33} ดังนั้นเริ่มต้นที่ช่อง (3,3) (แถวที่ 3
คอลัมน์ที่ 3) ทำวงปิดที่ช่อง (3,3) ไปยัง (3,4)
ไปยัง (2,4) ไปยัง (2,3) และกลับมาที่ (3,3)

หลังจากนั้นใส่เครื่องหมาย “+” และ “-” สลับกัน
ตามลำดับ ขั้นตอนต่อไปหาคำตอบที่น้อยที่สุดใน
วงปิดที่มีเครื่องหมาย “-” ปรากฏอยู่ในที่นี้จะ
พบว่า ตัวเลข 45 เป็นตัวเลขที่น้อยที่สุดที่มี
เครื่องหมาย “-” ลำดับต่อไปให้นำค่า 45 ไปบวก
เข้ากับค่าในช่องที่มีเครื่องหมาย “+” และนำ 45
ไปลบออกจากช่องที่มีเครื่องหมาย “-” ทำเช่นนี้จน
ครบวงปิด แสดงดังตารางที่ 9 และ 1

ตารางที่ 9 การสร้างวงปิด

	W_1	W_2	W_3	W_4	กำลังการผลิต (α_i)		
F_1	14.4	21	80	38.07	40.08	80	
F_2	56	37.52	10	- 47.47	+ 25.18	5	75
F_3	23.32	50	50	+ 45.67	- 24.36	45	95
ความต้องการ (β_j)	50	90	60	50	250		

ตารางที่ 10 การปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้น

	W_1	W_2	W_3	W_4	กำลังการผลิต (α_i)			
F_1	14.4	21	80	38.07	40.08	80		
F_2	56	37.52	10	47.47	15	25.18	50	75
F_3	23.32	50	50	45.67	45	24.36	95	
ความต้องการ (β_j)	50	90	60	50	250			

จากตารางที่ 10 ทำการตรวจสอบค่า E_{ij} อีกครั้งพบว่าค่า $E_{ij} \geq 0$ ทุกค่า นั่นคือได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแล้ว (หากยังพบว่ามีค่า ติดลบอยู่จะต้องปรับปรุงผลลัพธ์และตรวจสอบผลลัพธ์ใหม่อีกครั้งจนกว่าจะได้ค่า $E_{ij} \geq 0$ ทุกค่า) นำค่าที่ได้จากตารางไปคำนวณค่าขนส่งที่น้อยสุด ดังนี้

$$\begin{aligned} \tilde{Z} &= \tilde{C}_{12}^* \times_{12} + \tilde{C}_{22}^* \times_{22} + \tilde{C}_{23}^* \times_{23} + \tilde{C}_{24}^* \times_{24} \\ &\quad + \tilde{C}_{31}^* \times_{31} + \tilde{C}_{33}^* \times_{33} \\ &= (21 \times 80) + (37.52 \times 10) + (47.47 \times 15) \\ &\quad + (25.18 \times 50) + (23.32 \times 50) + (45.67 \times 45) \\ &= 7,247.40 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่า จากการปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้นทำให้มีการปรับปริมาณสินค้า และเส้นทางในการขนส่งใหม่ในบางเส้นทาง ซึ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในการขนส่งลดลงจากเดิมจาก 7,291.50 บาท ลดลงเหลือ 7,247.40 บาท

การเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งแบบฟัซซี่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเป็นเครื่องมือหรือวิธีการในการหาค่าขนส่งที่ดีที่สุดหรือน้อยที่สุดภายใต้ข้อจำกัดที่ข้อมูลมีความไม่แน่นอนหรือมีความคลุมเครือ [4-8] งานวิจัยนี้ได้แสดงถึงวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟัซซี่ โดยการกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเป็นแบบฟัซซี่สามเหลี่ยมสหัชญาณ จากนั้นใช้วิธีเซนทรอยด์ [15] เพื่อหาค่าที่เป็นตัวแทนของตัวเลขฟัซซี่ และนำเทคนิคการจัดสรรตาราง [10] ที่มีประสิทธิภาพมาใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์เบื้องต้น ทำการตรวจสอบผลลัพธ์และปรับปรุงค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้

5. สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟัซซี่ โดยใช้วิธีการ

จัดสรรตารางและ วิธีการกระจายแบบดัดแปลงในการปรับปรุงผลลัพธ์ จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟัซซี่สหัชญาณได้ ซึ่งวิธีการที่ได้นำเสนอนี้ จะทำให้ผู้ประกอบการทางธุรกิจการขนส่งสินค้ามีเครื่องมือที่ช่วยในการแก้ปัญหาการขนส่ง เป็นประโยชน์สำหรับการคาดการณ์ต้นทุนการขนส่งภายใต้สถานการณ์ที่ข้อมูลมีความไม่แน่นอนหรือมีความคลุมเครือ นอกจากนี้ยังสามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ได้กับสถานการณ์ปัญหาที่ข้อมูลค่าใช้จ่ายมีความชัดเจนได้เช่นเดียวกัน ซึ่งหากข้อมูลมีความชัดเจนขั้นตอนของการหาค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมจะเริ่มต้นตั้งแต่การคำนวณหาผลลัพธ์เบื้องต้นโดยใช้วิธีการจัดสรรตาราง จนกระทั่งถึงขั้นตอนของการตรวจสอบและปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้นโดยใช้วิธีการกระจายแบบดัดแปลง ซึ่งวิธีการที่นำเสนอจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dantzig GB. Linear Programming and Extensions. New Jersey. Princeton university press; 1963.
- [2] Bellman RE, Zadeh LA. Decision making in a fuzzy environment. Manage Sci. 1970; 17(4):141-64.
- [3] Atanassov KT. Intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Set Syst. 1986; 20(1):87-96.
- [4] Hitchcock FL. The distribution of a product several sources to numerous localities. J Math Phys. 1941; 20(1-4):224-30.

- [5] Dinagar SD, Palanivel K. The transportation problem in fuzzy environment. International Journal of Algorithms Computing and Mathematics. 2009; 2(3):65-71.
- [6] Samuel AE, Raja P. Optimization of Unbalanced Fuzzy Transportation Problem. International Journal of Contemporary Mathematical Sciences. 2016; 11(11):533-40.
- [7] Srinivas B, Ganesan G. Optimal solution for intuitionistic fuzzy transportation problem via revised distribution method. Int J Math Tends Technol. 2015; 19(2):150-61.
- [8] Singh SK, Yadav SP. A new approach for solving intuitionistic fuzzy transportation problem of type-2. Ann Oper Res. 2016;243: 349-63.
- [9] Hunwisai D, Kumam P. A method for solving a fuzzy transportation problem via robust ranking technique and ATM. Cogent Math. 2017; 4:1–11.
- [10] Ahmed MM, Khan AR, Uddin MS, et al. A new approach to solve transportation problems. Open J. Optim. 2016; 5(1):22–30.
- [11] Zadeh LA. Fuzzy sets. Inf Control. 1965; 8(3):338-56.
- [12] Dubois D, Prad H. Operation on fuzzy numbers. Int J Syst Sci. 1978; 9(6):613-26.
- [13] Atanassov KT. Intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Set Syst. 1986; 20(1):87–96.
- [14] Mondal SP, Roy TK. First order non homogeneous ordinary differential equation with initial value as triangular intuitionistic fuzzy number. Journal of Uncertain Systems. 2015; 9(4):274-85.
- [15] Wang YM, Yang J., Xu DL, et al. On the centroids of fuzzy numbers. Fuzzy Sets Syst. 2006; 157:919-26.