

บทความวิจัย (Research Article)

## การปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคนิค Weighted Aggregated Sum Product Assessment โดยใช้ Gibbs Entropy สำหรับการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์

นรงค์ วิชาผา<sup>1,\*</sup> และ อนุชา ศรีบุรีรัมย์<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

\*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: narong.wi@ksu.ac.th โทรศัพท์: 0850028205

(รับบทความ: 30 มกราคม 2568; แก้ไขบทความ: 7 กุมภาพันธ์ 2568; ตอรับบทความ: 13 กุมภาพันธ์ 2568)

### บทคัดย่อ

การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making: MCDM) เป็นแนวทางสำคัญที่ใช้ในกระบวนการตัดสินใจที่มีปัจจัยหลายด้าน โดยได้รับความนิยมในสาขาต่าง ๆ เช่น วิศวกรรม การจัดการ และโลจิสติกส์ เทคนิค Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) เป็นหนึ่งในเทคนิค MCDM ที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถผสมผสานจุดแข็งของ Weighted Sum Model (WSM) และ Weighted Product Model (WPM) อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของ WASPAS คือ การกำหนดค่าพารามิเตอร์  $\lambda$  เท่ากับ 0.5 เป็นค่าคงที่ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการจัดอันดับตัวเลือก งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางใหม่โดยใช้ Gibbs Entropy เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์  $\lambda$  และใช้ค่าเอนโทรปีเป็นตัวชี้วัดในการจัดลำดับทางเลือก โดยทำการทดสอบกับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC (Computer Numerical Control Lathe) ผลการทดลองพบว่าวิธีที่นำเสนอมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน ( $r$ ) สูงมาก โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ WASPAS ( $r = 1.000$ ) และ COPRAS ( $r = 0.937$ ) แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอมีความน่าเชื่อถือสูงและให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับวิธีมาตรฐาน งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหา MCDM ที่ต้องการพิจารณาผลกระทบของพารามิเตอร์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในการตัดสินใจยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (MCDM), WASPAS, Gibbs entropy, การเลือกเครื่อง CNC

การอ้างอิงบทความ: นรงค์ วิชาผา และ อนุชา ศรีบุรีรัมย์, "การปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคนิค Weighted Aggregated Sum Product Assessment โดยใช้ Gibbs Entropy สำหรับการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 16-29, 2568.

บทความวิจัย (Research Article)

## Enhancing the Efficiency of Weighted Aggregated Sum Product Assessment Using Gibbs Entropy for Multi-Criteria Decision-Making Problems

Narong Wichapa<sup>1,\*</sup> and Anucha Sriburum<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

\* Corresponding Author: narong.wi@ksu.ac.th, Tel: 0850028205

(Received: January 30, 2025; Revised: February 7, 2025; Accepted: February 13, 2025)

### Abstract

Multi-Criteria Decision Making (MCDM) is a crucial approach in decision-making processes involving multiple factors. It is widely applied in various fields such as engineering, management, and logistics. The Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) technique is one of the most efficient MCDM methods, as it integrates the strengths of the Weighted Sum Model (WSM) and Weighted Product Model (WPM). However, a key limitation of WASPAS is the fixed assignment of the parameter  $\lambda = 0.5$ , which may impact the accuracy of ranking alternatives. This study proposes a novel approach incorporating Gibbs Entropy to analyze the sensitivity of the  $\lambda$  parameter and uses entropy values as a ranking criterion. The proposed method was tested on a Computer Numerical Control (CNC) lathe selection problem, demonstrating a high Spearman correlation coefficient ( $r$ ) when compared with WASPAS ( $r = 1.000$ ) and COPRAS ( $r = 0.937$ ). These results confirm that the proposed method is highly reliable and produces rankings consistent with established MCDM techniques. This study can be applied to MCDM problems where parameter sensitivity analysis is necessary, enhancing decision-making accuracy and reliability.

**Keywords:** Multi-criteria decision making, WASPAS, Gibbs entropy, CNC machine selection

Please cite this article as: N. Wichapa and A. Sriburum, "Enhancing the Efficiency of Weighted Aggregated Sum Product Assessment Using Gibbs Entropy for Multi-Criteria Decision-Making Problems," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 1, pp. 16-29, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

## 1. บทนำ

การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making: MCDM) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการประเมินและเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ปัจจัยหรือเกณฑ์หลายด้าน มีบทบาทสำคัญในสาขาต่าง ๆ เช่น วิศวกรรม [1] การจัดการ [2] และ โลจิสติกส์ [3] โดยช่วยให้สามารถพิจารณาข้อมูลที่ซับซ้อนและเปรียบเทียบเกณฑ์หลายข้ออย่างเป็นระบบ ลดความคลาดเคลื่อน และเพิ่มความโปร่งใสในกระบวนการตัดสินใจ MCDM ยังช่วยลดความไม่แน่นอนของข้อมูลและรองรับความแปรปรวนของปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ของการตัดสินใจ ด้วยแนวทางที่มีหลักเกณฑ์ชัดเจน ทำให้การประเมินผลมีประสิทธิภาพและสามารถอธิบายผลลัพธ์ได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ยังช่วยให้การตัดสินใจในกรณีที่ซับซ้อน เช่น การจัดสรรทรัพยากร หรือการคัดเลือกเทคโนโลยี เป็นไปอย่างเหมาะสมและรอบคอบ ด้วยข้อได้เปรียบเหล่านี้ MCDM จึงเป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ [4-6]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า หนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความนิยมสำหรับการแก้ปัญหา MCDM คือ วิธี Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) ได้รับการพัฒนาโดย Zavadskas et al. [7] ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่าง Weighted Sum Model (WSM) และ Weighted Product Model (WPM) วิธีนี้ใช้หลักการถ่วงน้ำหนักและการคูณเพื่อสร้างดัชนีที่สามารถเปรียบเทียบและจัดลำดับทางเลือก ปัญหาที่สำคัญของวิธี WASPAS คือ ค่าพารามิเตอร์  $\lambda$  ซึ่งมักถูกกำหนดเป็นค่าคงที่

( $\lambda = 0.5$ ) เพื่อสร้างสมดุลระหว่าง WSM และ WPM อย่างไรก็ตาม การใช้ค่า  $\lambda$  ที่คงที่อาจไม่สามารถสะท้อนลักษณะเฉพาะของข้อมูลในแต่ละกรณีได้อย่างถูกต้อง ทำให้ผลลัพธ์ของการจัดลำดับอาจมีความคลาดเคลื่อนและแตกต่างจากวิธี MCDM อื่น ๆ

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการวิเคราะห์ความไวของค่าพารามิเตอร์  $\lambda$  โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Gibbs Entropy ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการคำนวณค่าเอนโทรปีของข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือ [8-10] การนำ Gibbs Entropy มาใช้ช่วยให้สามารถวัดความไม่แน่นอนของค่าคะแนน WASPAS ที่พารามิเตอร์  $\lambda$  ที่แปรค่า โดยขั้นตอนแรกจะใช้วิธี WASPAS ในการสร้างตารางวิเคราะห์ความไวของค่าคะแนนโดยการแปรค่าพารามิเตอร์  $\lambda$  จากนั้นค่าคะแนนที่ได้รับจะถูกนำไปคำนวณค่าเอนโทรปีโดยใช้ Gibbs Entropy เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดลำดับทางเลือกที่มีความเหมาะสมสูงสุด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาแนวทางใหม่สำหรับการจัดลำดับทางเลือกในปัญหาการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ โดยมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์  $\lambda$  ที่เปลี่ยนแปลงต่อผลลัพธ์ของ WASPAS และนำแบบจำลอง Gibbs Entropy มาใช้เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจ วิธีการที่นำเสนอจะถูกทดสอบผ่านตัวอย่างการคำนวณการเลือกเครื่องกลึง CNC (Computer Numerical Control Lathe) ในบทความวิจัยของ Krilomsom et al. [11] และแสดงผลลัพธ์ที่ได้รับจากแนวทางที่พัฒนาเปรียบเทียบกับวิธี MCDM อื่น ๆ เพื่อประเมิน

## บทความวิจัย (Research Article)

ประสิทธิภาพและศักยภาพของแนวทางที่เสนอในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์

โครงสร้างของบทความนี้ประกอบด้วย หัวข้อที่ 2 เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง หัวข้อที่ 3 เป็นวิธีการวิจัย ส่วนหัวข้อที่ 4 และ หัวข้อที่ 5 เป็นผลการวิจัย และสรุปผลการวิจัย ตามลำดับ

### 2. การทบทวนวรรณกรรม

วิธี WASPAS เป็นหนึ่งในเทคนิคการตัดสินใจหลายเกณฑ์ ที่ได้รับความนิยมในการแก้ปัญหาการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขหรือเกณฑ์การตัดสินใจหลายประการพร้อมกัน โดย WASPAS เป็นการผสมผสานระหว่างเทคนิคการตัดสินใจหลายเกณฑ์ดั้งเดิมสองวิธีได้แก่ WSM และ WPM ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจมากขึ้นกว่าวิธีดั้งเดิมแบบแยกกัน วิธี WASPAS ได้ถูกนำเสนอโดย Zavadskas et al. [7] ซึ่งได้นำจุดแข็งของ WSM และ WPM มาคำนวณค่าคะแนนของ WASPAS โดยกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละวิธีเท่ากันคือ 0.5 (ค่าพารามิเตอร์  $\lambda = 0.5$ ) หลักการพื้นฐานของ WASPAS ประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก

(1) WSM: วิธีนี้ใช้แนวคิดของผลรวมถ่วงน้ำหนัก โดยคำนวณค่าคะแนนของตัวเลือกแต่ละตัวจากผลรวมของค่าของเกณฑ์ที่ถูกคูณด้วยน้ำหนักที่กำหนด

(2) WPM: วิธีนี้ใช้การคูณค่าของเกณฑ์ที่ถูกยกกำลังด้วยน้ำหนักสัมพัทธ์ ทำให้สามารถประเมินตัวเลือกได้โดยคำนึงถึงสัดส่วนเชิงเปรียบเทียบของแต่ละเกณฑ์

วิธี WASPAS ได้รับการยอมรับในงานวิจัยหลายแขนง [12-14] เนื่องจากเทคนิค WASPAS เป็นการ

ผสมผสานจุดแข็งของ WSM และ WPM เพื่อลดข้อจำกัดของแต่ละวิธีเมื่อใช้แยกกัน ทำให้สามารถลดความไม่แน่นอนและให้ผลลัพธ์ที่เสถียรมากขึ้น อีกทั้งยังมีการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย เช่น การจัดลำดับทางเลือก การคัดเลือกซัพพลายเออร์ และการบริหารจัดการทรัพยากร นอกจากนี้ WASPAS ยังมีความง่ายในการคำนวณเมื่อเทียบกับวิธี MCDM อื่น ๆ เช่น Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) [15] Complex Proportional Assessment (COPRAS) [16] หรือ Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis [17] จึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตัดสินใจหลายเกณฑ์

จากการศึกษาวรรณกรรมพบว่า วิธี WASPAS ถูกนำไปใช้ในหลายสาขา เช่น De Assis et al. [18] ได้นำเสนอบทความวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคนิค WASPAS สำหรับการคัดเลือกเฮลิคอปเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมทางอากาศของตำรวจและทหาร ในรัฐริโอเดจาเนโร Akram et al. [19] ได้นำเสนอวิธีการตัดสินใจหลายเกณฑ์ โดยใช้ Fuzzy logic ร่วมกับ วิธี WASPAS เพื่อคัดเลือกสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยในภาคอุตสาหกรรม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถจัดการกับความไม่แน่นอนในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องและเสถียรมากกว่าวิธีการเดิมที่ใช้ในการคัดเลือกสถานที่ Badalpuret al. [20] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธี WASPAS ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของความเสี่ยง โดยใช้กรณีศึกษาจากโครงการก่อสร้างถนนในประเทศอิหร่าน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวิธีนี้สามารถประเมินความเสี่ยงได้อย่างแม่นยำและมี

### บทความวิจัย (Research Article)

ประสิทธิภาพสูงในสภาพแวดล้อมการก่อสร้างจริง ซึ่งช่วยให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียสามารถจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงและปรับกลยุทธ์การจัดการความเสี่ยงได้อย่างเหมาะสม

Lukić et al. [21] ได้ประยุกต์ใช้วิธี WASPAS เพื่อประเมินประสิทธิภาพของบริษัทเกษตรกรรมในเซอร์เบีย โดยวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทเหล่านี้ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวิธี WASPAS สามารถประเมินและจัดอันดับประสิทธิภาพของบริษัทเกษตรกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทในภาคเกษตรกรรม Zavadskas et al. [22] ได้ประยุกต์ใช้วิธี WASPAS เพื่อปรับแต่งพารามิเตอร์ในกระบวนการเครื่องจักรกล โดยมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตชิ้นงานที่มีความแม่นยำสูงและรูปทรงซับซ้อน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวิธี WASPAS มีประสิทธิภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต Torkayesh et al. [23] ได้ประยุกต์ใช้วิธีการผสมผสานระหว่าง Best-Worst Method (BWM) และ WASPAS เพื่อแก้ปัญหาการคัดเลือกซัพพลายเออร์ดิจิทัลในธุรกิจค้าปลีกออนไลน์ โดยใช้ BWM เพื่อกำหนดน้ำหนักของเกณฑ์การตัดสินใจ และใช้ WASPAS เพื่อจัดอันดับซัพพลายเออร์ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวิธีการผสมผสานนี้มีประสิทธิภาพในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ดิจิทัล ช่วยให้ผู้จัดการสามารถตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในสภาพแวดล้อมการค้าปลีกออนไลน์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการประยุกต์ใช้ของ WASPAS ในการแก้ปัญหาหลายรูปแบบใน

หลากหลายอุตสาหกรรม ข้อจำกัดที่สำคัญของ WASPAS คือความอ่อนไหวต่อการกำหนดค่าพารามิเตอร์  $\lambda$  ซึ่งแม้ว่าค่าเริ่มต้นที่นิยมใช้คือ 0.5 แต่หากเลือกค่า  $\lambda$  ไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ทำให้การตัดสินใจอาจเบี่ยงเบนไปจากทางเลือกที่ดีที่สุด

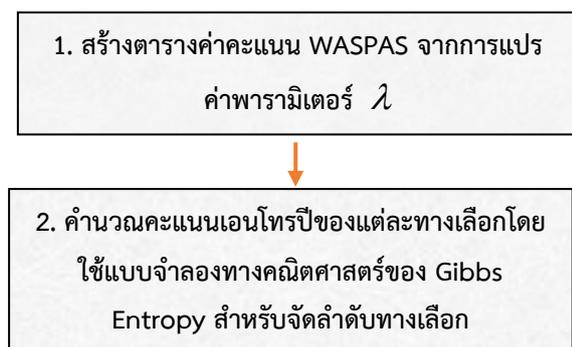
Gibbs Entropy เป็นแนวคิดสำคัญในทฤษฎีสารสนเทศและพลศาสตร์เชิงสถิติ ซึ่งถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ เพื่อช่วยลดความไม่แน่นอนในการจัดอันดับและเลือกตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด แนวทางนี้ช่วยให้สามารถบูรณาการผลลัพธ์จากข้อมูลที่ไม่แน่นอน ทำให้การจัดอันดับมีความแม่นยำขึ้น และลดปัญหาการเบี่ยงเบนของผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่แน่นอนโดยพิจารณาจากผู้วิจัยหรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้องได้ นอกจากนี้ Gibbs Entropy สามารถปรับใช้ได้กับปัญหาหลากหลายประเภทและเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพสูงในการช่วยลดความไม่แน่นอนของข้อมูลและเพิ่มความแม่นยำของการตัดสินใจ สามารถช่วยให้องค์กรและนักวิจัยสามารถตัดสินใจได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าวิธี Gibbs Entropy จะมีประโยชน์มาก แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากแบบจำลองดั้งเดิมเป็น Nonlinear Programming Model ซึ่งทำให้การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมต้องใช้เครื่องมือเชิงเพิ่มประสิทธิภาพที่มีความซับซ้อนสูง ส่งผลให้ต้องมีการพัฒนา Linear Programming Model เพื่อเพิ่มความสามารถในการคำนวณและรองรับปัญหาขนาดใหญ่ได้ดีขึ้น [8-10]

บทความวิจัย (Research Article)

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเป็นการบูรณาการร่วมกันระหว่างวิธี WASPAS และ Gibbs Entropy เพื่อเพิ่มศักยภาพในการประเมินทางเลือก และจัดลำดับทางเลือกภายใต้ข้อมูลที่มีความไม่แน่นอน ทำให้วิธีที่ผสมผสานที่น่าเสนอในงานวิจัยนี้มีความเชื่อมั่นสูงขึ้น เนื่องจากพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์  $\lambda$  หรือน้ำหนักความสำคัญสำหรับเทคนิค WSM และ WPM ไปพร้อม ๆ กัน

### 3. วิธีการ

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีที่น่าเสนอสำหรับการประเมินและการจัดลำดับทางเลือก ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกสร้างตารางค่าคะแนน WASPAS ที่  $\lambda$  แตกต่างกัน จากนั้นใช้ Gibbs Entropy ในการคำนวณค่าเอนโทรปี เพื่อจัดลำดับทางเลือกของตัวอย่างการคำนวณ



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานของงานวิจัยนี้

### 3.1 สร้างตารางค่าคะแนน WASPAS จากการแปรค่าพารามิเตอร์ $\lambda$

WASPAS เป็นหนึ่งในวิธีการตัดสินใจหลายเกณฑ์ที่รวมคุณสมบัติของ WSM และ WPM เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและเชื่อถือได้มากขึ้น โดยขั้นตอนการคำนวณค่าคะแนน WASPAS มี 6 ขั้นตอนดังนี้:

1) กำหนดปัญหาและสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจ

กำหนดจำนวนทางเลือก (Alternatives) เป็น  $A_i$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) และเกณฑ์การตัดสินใจ  $C_j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) โดยมีค่าการประเมินของแต่ละทางเลือกภายใต้แต่ละเกณฑ์เป็น  $x_{ij}$  ดังนั้นสามารถสร้างตารางการตัดสินใจดังสมการที่ (1)

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2) ทำให้ข้อมูลเป็นค่ามาตรฐาน (Normalization)

2.1 สำหรับเกณฑ์ที่ต้องการค่าสูงสุด (Benefit Criteria) ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (2)$$

2.2 สำหรับเกณฑ์ที่ต้องการค่าน้อยที่สุด (Cost Criteria) ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$r_{ij} = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (3)$$

บทความวิจัย (Research Article)

ได้เมทริกซ์ที่ถูกทำให้เป็นค่ามาตรฐาน  $R$

3) คำนวณค่าตามแบบ WSM โดยใช้สมการที่ (4)

$$Q_1(i) = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (4)$$

โดยที่ค่า  $w_j$  เป็นค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์

4) คำนวณค่าตามแบบ WPM โดยใช้สมการที่ (5)

$$Q_2(i) = \prod_{j=1}^n r_{ij}^{w_j} \quad (5)$$

5) รวมค่า WSM และ WPM ด้วยพารามิเตอร์  $\lambda$  โดยใช้สมการที่ (6)

$$Q(i) = \lambda Q_1(i) + (1 - \lambda) Q_2(i) \quad (6)$$

โดยวิธี WASPAS ดังเดิม ค่าพารามิเตอร์  $\lambda$  จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 0.5 เพื่อให้ทั้งสองโมเดลมีอิทธิพลเท่ากัน อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์ความไวต่อค่าพารามิเตอร์  $\lambda$  ที่มีผลต่อค่าคะแนนของ WASPAS หรือ ค่า  $Q(i)$  ที่แตกต่างกัน จากนั้นนำข้อมูลค่า  $Q(i)$  ที่สร้างขึ้น ไปคำนวณค่าเอนโทรปีเพื่อวัดความไม่แน่นอนของระบบ ดังแสดงในหัวข้อถัดไป

### 3.2 คำนวณคะแนนเอนโทรปีของแต่ละทางเลือก โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gibbs Entropy

การคำนวณค่าคะแนนเอนโทรปีเพื่อจัดอันดับทางเลือกในงานวิจัยนี้ มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1) สร้างเมทริกซ์คะแนนของ WASPAS ดังนี้

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

โดยที่  $q_{ij}$  เป็นคะแนน WASPAS ของทางเลือก  $i$  ภายใต้ค่าพารามิเตอร์  $\lambda_j$

2) คำนวณค่าเอนโทรปีเพื่อจัดลำดับทางเลือก

Wichapa et al. [9] นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Gibbs Entropy เพื่อจัดอันดับหน่วยผลิต (DMU) ในปัญหา DEA งานวิจัยนี้พัฒนาแนวคิดของ Liu and Liu [10] จาก Non-Linear เป็น Linear Programming แบบจำลองใหม่นี้สามารถจัดอันดับหน่วยผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังสมการที่ (8)

$$\begin{aligned} \text{Min } H_i &= (-Q_i \sum_{j=1}^n t_j q_{ij} \ln t_j q_{ij}) \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n t_j q_{ij} &= 1, \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \\ t_j &> 0, \quad \forall j \end{aligned} \quad (8)$$

เมื่อ  $H_i$  คะแนนเอนโทรปี

$t_j$  เป็นตัวแปรตัดสินใจที่มีค่ามากกว่าศูนย์

บทความวิจัย (Research Article)

$Q_i$  เป็นคะแนน WASPAS ของทางเลือก  $i$  ภายใต้ค่าพารามิเตอร์  $\lambda = 0.5$

จากนั้นนำค่าคะแนนเอนโทรปีของแต่ละทางเลือกมาทำการจัดลำดับความสำคัญของทางเลือก โดยที่ค่าคะแนนเอนโทรปีมากกว่าจะมีลำดับดีกว่า

#### 4. ผลการวิจัย

วิธีการที่นำเสนอสำหรับการจัดอันดับทางเลือกในงานวิจัยนี้จะถูกทดสอบกับปัญหาการจัดลำดับเครื่องกลึง CNC ซึ่งนำเสนอในงานวิจัยของ Krilomsom et al. [11] โดยทางเลือกเป็นชนิดของเครื่องกลึง CNC จำนวน 12 ทางเลือก ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ จำนวน 7 เกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางนิยามของเกณฑ์การตัดสินใจ

เกณฑ์	ความหมาย	ชนิด
$C_1$	ราคา	ต้นทุน
$C_2$	ความเร็วรอบ	ผลประโยชน์
$C_3$	ความจุของเครื่องมือ	ผลประโยชน์
$C_4$	อัตราการเคลื่อนที่ของแกน X	ผลประโยชน์
$C_5$	อัตราการเคลื่อนที่ของแกน Z	ผลประโยชน์
$C_6$	เส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด	ผลประโยชน์
$C_7$	ความยาวสูงสุดของการกลึง	ผลประโยชน์

โดยตารางการตัดสินใจสำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางการตัดสินใจสำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
CNC1	36,900	3000	16	165	600	750	1860
CNC2	30,400	4000	12	180	465	266	700
CNC3	88,900	3500	8	250	760	165	2440
CNC4	20,000	1600	6	330	1500	300	500
CNC5	10,000	1600	8	240	1050	400	850
CNC6	89,200	6000	12	215	605	340	554
CNC7	120,000	5000	12	215	605	340	535
CNC8	86,150	4000	12	140	305	250	264
CNC9	129,200	4000	12	215	1155	340	1055
CNC10	50,400	2500	4	160	550	145	750
CNC11	39,800	4000	6	165	600	275	600
CNC12	50,400	2500	8	250	760	400	900

สำหรับน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ถูกคำนวณโดยใช้วิธี BWM ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$w_1^* = 0.1169, w_2^* = 0.1669, w_3^* = 0.1889, w_4^* = 0.1218, w_5^* = 0.1155, w_6^* = 0.1599 \text{ และ } w_7^* = 0.1302.$$

จากข้อมูลในตารางที่ 2 นำมาคำนวณค่ามาตรฐานโดยใช้สมการที่ (2) และ สมการที่ (3) สามารถสร้างตารางการตัดสินใจมาตรฐานสำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางการตัดสินใจมาตรฐานสำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
CNC1	0.271	0.500	1.000	0.848	0.508	1.000	0.762
CNC2	0.329	0.667	0.750	0.778	0.656	0.355	0.287
CNC3	0.112	0.583	0.500	0.560	0.401	0.220	1.000

บทความวิจัย (Research Article)

**ตารางที่ 3** ตารางการตัดสินใจมาตรฐานสำหรับ  
ปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC (ต่อ)

ทางเลือก	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
CNC4	0.500	0.267	0.375	0.424	0.203	0.400	0.205
CNC5	1.000	0.267	0.500	0.583	0.290	0.533	0.348
CNC6	0.112	1.000	0.750	0.651	0.504	0.453	0.227
CNC7	0.083	0.833	0.750	0.651	0.504	0.453	0.219
CNC8	0.116	0.667	0.750	1.000	1.000	0.333	0.108
CNC9	0.077	0.667	0.750	0.651	0.264	0.453	0.432
CNC10	0.198	0.417	0.250	0.875	0.555	0.193	0.307
CNC11	0.251	0.667	0.375	0.848	0.508	0.367	0.246
CNC12	0.198	0.417	0.500	0.560	0.401	0.533	0.369

จากข้อมูลในตารางที่ 3 นำมาคำนวณ ตารางการตัดสินใจถ่วงน้ำหนักของ WSM และ WPM ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4 และ ตารางที่ 5 ตามลำดับ

**ตารางที่ 4** ตารางการตัดสินใจถ่วงน้ำหนักของ WSM  
สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
CNC1	0.032	0.083	0.189	0.061	0.046	0.160	0.099
CNC2	0.038	0.111	0.142	0.066	0.036	0.057	0.037
CNC3	0.013	0.097	0.094	0.092	0.058	0.035	0.130
CNC4	0.058	0.045	0.071	0.122	0.115	0.064	0.027
CNC5	0.117	0.045	0.094	0.089	0.081	0.085	0.045
CNC6	0.013	0.167	0.142	0.079	0.047	0.072	0.030
CNC7	0.010	0.139	0.142	0.079	0.047	0.072	0.029
CNC8	0.014	0.111	0.142	0.052	0.023	0.053	0.014
CNC9	0.009	0.111	0.142	0.079	0.089	0.072	0.056
CNC10	0.023	0.070	0.047	0.059	0.042	0.031	0.040
CNC11	0.029	0.111	0.071	0.061	0.046	0.059	0.032
CNC12	0.023	0.070	0.094	0.092	0.058	0.085	0.048

**ตารางที่ 5** ตารางการตัดสินใจถ่วงน้ำหนักของ WPM  
สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
CNC1	0.858	0.891	1.000	0.919	0.900	1.000	0.965
CNC2	0.878	0.935	0.947	0.929	0.874	0.847	0.850
CNC3	0.775	0.914	0.877	0.967	0.925	0.785	1.000
CNC4	0.922	0.802	0.831	1.000	1.000	0.864	0.814
CNC5	1.000	0.802	0.877	0.962	0.960	0.904	0.872
CNC6	0.774	1.000	0.947	0.949	0.900	0.881	0.824
CNC7	0.748	0.970	0.947	0.949	0.900	0.881	0.821
CNC8	0.777	0.935	0.947	0.901	0.832	0.839	0.749
CNC9	0.741	0.935	0.947	0.949	0.970	0.881	0.897
CNC10	0.828	0.864	0.770	0.916	0.891	0.769	0.858
CNC11	0.851	0.935	0.831	0.919	0.900	0.852	0.833
CNC12	0.828	0.864	0.877	0.967	0.925	0.904	0.878

จากนั้นนำข้อมูลในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 มาคำนวณค่าคะแนน WSM ( $Q_1$ ) และ WPM ( $Q_2$ ) โดยใช้สมการที่ (4) และ สมการที่ (5) ตามลำดับ โดยการแปรค่า  $\lambda$  ตั้งแต่  $\lambda = 0.50$ ,  $\lambda = 0.40$ ,  $\lambda = 0.30$ ,  $\lambda = 0.20$ ,  $\lambda = 0.1$  และ  $\lambda = 0.0$  เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาแนะนำให้ค่า  $\lambda$  ควรน้อยกว่า 0.5 ซึ่งสามารถสร้างตารางการตัดสินใจค่าคะแนน WASPAS ที่ค่าพารามิเตอร์  $\lambda$  ที่แตกต่าง ดังแสดงในตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** ตารางคะแนน WASPAS สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
CNC1	0.640	0.634	0.628	0.622	0.616	0.610
CNC2	0.471	0.468	0.464	0.461	0.458	0.454
CNC3	0.478	0.470	0.461	0.453	0.444	0.436
CNC4	0.467	0.460	0.453	0.446	0.439	0.432
CNC5	0.534	0.530	0.525	0.521	0.516	0.512

บทความวิจัย (Research Article)

**ตารางที่ 6** ตารางคะแนน WASPAS สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC (ต่อ)

ทางเลือก	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
CNC6	0.502	0.493	0.484	0.474	0.465	0.455
CNC7	0.471	0.462	0.453	0.443	0.434	0.425
CNC8	0.366	0.358	0.349	0.341	0.332	0.324
CNC9	0.518	0.510	0.502	0.494	0.486	0.478
CNC10	0.304	0.303	0.301	0.299	0.298	0.296
CNC11	0.398	0.396	0.394	0.392	0.390	0.388
CNC12	0.458	0.456	0.453	0.451	0.448	0.445

นำข้อมูลในตารางที่ 6 มาคำนวณโดยใช้สมการที่ 8 ซึ่งสมการที่ 8 จะถูกนำไปเขียนโค้ดโดยใช้ซอฟต์แวร์ Lingo เพื่อคำนวณค่าเอนโทรปีของแต่ละทางเลือก โดยวิธีการคำนวณเอนโทรปีนี้จะช่วยให้ได้ข้อมูลเชิงลึกเพิ่มเติมเกี่ยวกับการกระจายตัวของข้อมูลและความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกเครื่องกลึง CNC ผลการคำนวณที่ได้จะถูกนำมาแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งจะแสดงค่าเอนโทรปีของแต่ละทางเลือก ซึ่งถ้าค่าเอนโทรปีมากกว่าจะมีลำดับที่ดีกว่า

**ตารางที่ 7** ตารางคะแนน WASPAS สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	H	ลำดับ
CNC1	1.147	1
CNC2	0.844	7
CNC3	0.857	5
CNC4	0.836	8
CNC5	0.957	2
CNC6	0.900	4
CNC7	0.844	6
CNC8	0.656	11
CNC9	0.928	3
CNC10	0.545	12

**ตารางที่ 7** ตารางคะแนน WASPAS สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC (ต่อ)

ทางเลือก	H	ลำดับ
CNC11	0.714	10
CNC12	0.821	9

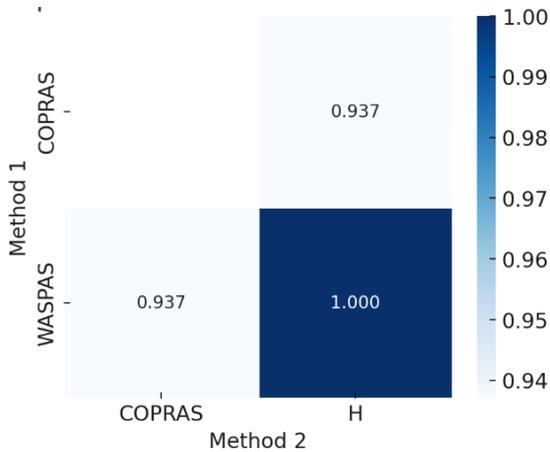
จากนั้นนำผลการจัดอันดับทางเลือกเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8

**ตารางที่ 8** ตารางคะแนน WASPAS สำหรับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC

ทางเลือก	WASPAS	อันดับ	COPRAS	อันดับ	H	อันดับ
CNC1	0.640	1	1.000	1	1.147	1
CNC2	0.471	7	0.701	7	0.844	7
CNC3	0.478	5	0.764	4	0.857	5
CNC4	0.467	8	0.756	5	0.836	8
CNC5	0.534	2	0.922	2	0.957	2
CNC6	0.502	4	0.743	6	0.900	4
CNC7	0.471	6	0.698	8	0.844	6
CNC8	0.366	11	0.550	11	0.656	11
CNC9	0.518	3	0.776	3	0.928	3
CNC10	0.304	12	0.460	12	0.545	12
CNC11	0.398	10	0.594	10	0.714	10
CNC12	0.458	9	0.681	9	0.821	9

นำข้อมูลในตารางที่ 8 ไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน (Spearman's Rank Correlation Coefficient) ของวิธีการที่นำเสนอเทียบกับวิธีการอื่น ดังรูปที่ 2

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมนของวิธีการที่นำเสนอเทียบกับวิธีการอื่น

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน ( $r$ ) แสดงให้เห็นว่าทั้งสามวิธี ได้แก่ WASPAS, COPRAS และวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ มีความสัมพันธ์สูงในการจัดอันดับตัวเลือกเครื่อง CNC โดยเฉพาะ WASPAS กับวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ที่มีค่าความสัมพันธ์สมบูรณ์แบบ ( $r = 1.000$ ) ซึ่งหมายความว่าวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ให้ผลลัพธ์การจัดอันดับที่เหมือนกับ WASPAS อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่ COPRAS กับ WASPAS และ COPRAS กับวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ มีค่าความสัมพันธ์ที่  $r = 0.937$  ซึ่งยังคงสูงและบ่งบอกว่าทั้งสามวิธีมีแนวโน้มการตัดสินใจที่คล้ายคลึงกันอย่างมาก แม้ว่าจะมีความแตกต่างเล็กน้อยในอันดับที่ COPRAS กำหนด ดังนั้นหากต้องการเลือกใช้เพียงวิธีเดียวสำหรับกระบวนการตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือกเครื่อง CNC วิธี WASPAS หรือวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ อาจเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากให้ลำดับตัวเลือกที่เหมือนกันโดย

สมบูรณ์ ขณะที่ COPRAS ยังคงเป็นแนวทางที่ใกล้เคียงและสอดคล้องกับสองวิธีแรกในระดับสูง

### 5. สรุปผล

การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (MCDM) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการเลือกตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ปัจจัยหลายประการ ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ในหลากหลายสาขา เช่น วิศวกรรม การบริหารจัดการ และโลจิสติกส์ วิธี WASPAS เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมใน MCDM เนื่องจากสามารถผสมผสานจุดแข็งของ WSM และ WPM อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของ WASPAS คือ การกำหนดค่าพารามิเตอร์  $\lambda=0.5$  เป็นค่าคงที่ ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับปัญหาทั้งหมด และอาจส่งผลให้ผลลัพธ์การจัดลำดับมีความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับวิธี MCDM อื่น ๆ งานวิจัยนี้แนะนำแนวทางใหม่ที่ใช้ Gibbs Entropy เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของ WASPAS โดยการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์  $\lambda$  ที่แตกต่างกัน จากนั้นใช้ค่าเอนโทรปีเป็นตัวชี้วัดในการจัดอันดับตัวเลือก ในการทดลองกับปัญหาการเลือกเครื่องกลึง CNC พบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถให้ลำดับที่สอดคล้องกับ WASPAS และ COPRAS อย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน ( $r$ ) ระหว่าง WASPAS กับวิธีที่นำเสนอ เท่ากับ 1.000 และระหว่าง COPRAS กับวิธีที่นำเสนอ เท่ากับ 0.937 แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความเสถียรสูง อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือการใช้ Gibbs Entropy อาจต้องอาศัยการปรับแต่งพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาเฉพาะด้าน และอาจต้องมีการศึกษา

#### บทความวิจัย (Research Article)

ความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ในปัญหา MCDM ประเภทอื่น ๆ ในอนาคตควรมีการพัฒนาแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้กับการตัดสินใจเชิงปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น การประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธี Machine Learning หรือ Deep Learning หรือ Meta heuristic Optimization เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์  $\lambda$  โดยอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มศักยภาพของระบบการตัดสินใจแบบอัตโนมัติ

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์สำหรับการสนับสนุนบทความวิจัยนี้ และผู้แต่งขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์สำหรับการปรับปรุงคุณภาพของบทความวิจัยนี้ให้ดียิ่งขึ้น

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. S. Goswami and D. K. Behera, "Solving material handling equipment selection problems in an industry with the help of entropy integrated COPRAS and ARAS MCDM techniques," *Process Integration and Optimization for Sustainability*, vol. 5, pp. 947–973, 2021.  
DOI: 10.1007/s41660-021-00192-5.
- [2] I. Ajripour, M. Asadpour, and L. Tabatabaie, "A model for organization performance management applying MCDM and BSC: A case study," *Journal of Applied Research on Industrial*

*Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 52–70, 2019.

DOI: 10.22105/jarie.2019.171886.1080.

- [3] Z. Wen *et al.*, "Cold chain logistics management of medicine with an integrated multi-criteria decision-making method," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, no. 23, p. 4843, 2019.  
DOI: 10.3390/ijerph16234843.
- [4] D. G. B. de Souza, E. A. dos Santos, N. Y. Soma, and C. E. S. da Silva, "MCDM-based R&D project selection: A systematic literature review," *Sustainability*, vol. 13, no. 21, p. 11626, 2021.  
DOI: 10.3390/su132111626.
- [5] S. K. Sahoo and S. S. Goswami, "A comprehensive review of multiple criteria decision-making (MCDM) methods: Advancements, applications, and future directions," *Decision Making Advances*, vol. 1, no. 1, pp. 25–48, 2023.  
DOI: 10.31181/dma1120237.
- [6] S. Alvarez Gallo and J. Maheut, "Multi-criteria analysis for the evaluation of urban freight logistics solutions: A systematic literature review," *Mathematics*, vol. 11, no. 19, p. 4089, 2023. DOI: 10.3390/math11194089.
- [7] E. K. Zavadskas, Z. Turskis, J. Antucheviciene, and A. Zakarevicius,

บทความวิจัย (Research Article)

- "Optimization of weighted aggregated sum product assessment," *Elektronika ir Elektrotechnika*, vol. 122, no. 6, pp. 3–6, 2012. DOI: 10.5755/j01.eee.122.6.1810.
- [8] N. Thongmual, C. Laoha, and N. Wichapa, "An optimistic-pessimistic game cross-efficiency method based on a Gibbs entropy model for ranking decision making units," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 13, no. 2, pp. 1411–1423, 2024. DOI: 10.11591/eei.v13i2.5747.
- [9] N. Wichapa, W. Khanthirat, and T. Sudsuansee, "A novel Gibbs entropy model based upon cross-efficiency measurement for ranking decision making units," *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, vol. 9, no. 2, pp. 390–396, 2022. DOI: 10.18280/mmep.090212.
- [10] T. Lu and S. T. Liu, "Ranking DMUs by comparing DEA cross-efficiency intervals using entropy measures," *Entropy*, vol. 18, no. 12, p. 452, 2016. DOI: 10.3390/e18120452.
- [11] P. Kailomsom, P. Nasawat, W. Khunthirat, and W. Phuangpornpitak, "A hybrid method based on BWM and TOPSIS-LP model to assess computer numerical control machines," *Engineering Access*, vol. 11, no. 1, pp. 108–118, 2025. DOI: 10.14456/mijet.2025.9.
- [12] M. Zolfani, A. Zavadskas, M. Turskis, and Z. L. Saparauskas, "A hybrid MCDM model encompassing SWARA and WASPAS methods for supporting the contractor selection," *Applied Soft Computing*, vol. 25, pp. 1–9, 2014. DOI: 10.1016/j.asoc.2014.07.014.
- [13] S. Chakraborty, R. D. Raut, T. M. Rofin, and S. Chakraborty, "A narrative literature review on optimization of manufacturing processes using weighted aggregated sum product assessment (WASPAS) method," *OPSEARCH*, vol. 61, no. 4, pp. 1001–1022, 2024. DOI: 10.1007/s12597-024-00858-x.
- [14] I. Otay *et al.*, "Multi-criteria oil station location evaluation using spherical AHP & WASPAS: A real-life case study," in *Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions*, In C. Kahraman *et al.*, Eds., *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1197, Springer, Cham, 2020, pp. 591–598. DOI: 10.1007/978-3-030-51156-2\_68.
- [15] C. L. Wang and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer, Berlin Heidelberg, 1981.

บทความวิจัย (Research Article)

- [16] E. K. Zavadskas, A. Kaklauskas, and V. Šarka, "The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 1, pp. 131–139, 1994.  
DOI: 10.5937/ekopolj2102375l.
- [17] W. K. Brauers and E. K. Zavadskas, "The MOORA method and its application to privatization in a transition economy," *Control and Cybernetics*, vol. 35, no. 2, pp. 445–469, 2006.
- [18] G. S. de Assis, M. dos Santos, and M. P. Basilio, "Use of the WASPAS method to select suitable helicopters for aerial activity carried out by the military police of the state of Rio de Janeiro," *Axioms*, vol. 12, no. 1, p. 77, 2023.  
DOI: 10.3390/axioms12010077.
- [19] M. Akram *et al.*, "2-tuple linguistic Fermatean fuzzy MAGDM based on the WASPAS method for selection of solid waste disposal location," *Mathematical Biosciences and Engineering*, vol. 20, no. 2, pp. 3811–3837, 2023.  
DOI: 10.3934/mbe.2023179.
- [20] R. Lukić *et al.*, "Application of WASPAS method in the evaluation of efficiency of agricultural enterprises in Serbia," *Economics of Agriculture*, vol. 68, no. 2, pp. 375–388, 2021.
- [21] E. K. Zavadskas *et al.*, "Application of WASPAS method as an optimization tool in non-traditional machining processes," *Information Technology and Control*, vol. 44, no. 1, pp. 77–88, 2015.  
DOI: 10.5755/j01.itc.44.1.7124.