

ปัญหาร่วมการแบ่งเขตพื้นที่และปริมาณการขนส่งสำหรับระบบการจัดการอ้อยโดยใช้ อัลกอริทึมการจำลองการอบเหินียว

สุดที่รัก ป้องแก้ว¹ และ กัญชลา สุดตาชาติ²

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

Received: 22 September 2023; Revised: 08 February 2024; Accepted: 09 February 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองการจัดการการส่งอ้อยจากพื้นที่เพาะปลูกสู่โรงงานน้ำตาลให้ได้ปริมาณอ้อยที่เหมาะสมต่อกำล้างการผลิตและตรงต่อความต้องการในแต่ละช่วงเวลา โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ค่าคาดหวังต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด โดยมีสมมติฐานของแบบจำลองเป็นการวางแผนในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก ฤดูกาลเก็บเกี่ยว และการขนส่ง ผู้วิจัยได้พัฒนาการตัดสินใจปัญหาร่วมการแบ่งเขตพื้นที่และปริมาณการขนส่ง สำหรับการจัดการในช่วงฤดูกาลเพาะปลูกเป็น การตัดสินใจการแบ่งเขตพื้นที่ เริ่มที่เสนอให้แบ่งพื้นที่เขตเพาะปลูกอ้อยโดยแบ่งพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดออกเป็นสองพื้นที่ คือ พื้นที่ในเขตและพื้นที่นอกเขตส่งเสริม การตัดสินใจเป็นการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกและสถานีรถบรรทุกให้กับพื้นที่ในเขตหรือพื้นที่นอกเขตส่งเสริม สำหรับฤดูกาลเก็บเกี่ยว และการขนส่ง ตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือกพื้นที่เพาะปลูก สถานีรถบรรทุกที่ใช้ขนส่ง และปริมาณการขนส่ง ภายใต้ความไม่แน่นอนของผลผลิตอ้อยในแต่ละช่วงเวลา วิธีดำเนินการได้นำเสนออัลกอริทึมการจำลองการอบเหินียวร่วมกับวิธีสถิติในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมกับวิธีการตัดสินใจในปัจจุบันซึ่งใช้แบบจำลองแบบแยกปัญหา ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมการจำลองการอบเหินียวร่วมกับวิธีสถิติให้ผลเฉลยที่ทำให้ค่าคาดหวังต้นทุนรวมต่ำกว่าแบบจำลองแบบแยกปัญหาคิดเป็นค่าเฉลี่ย 11.45% ของค่าคาดหวังต้นทุนรวมของแบบจำลองแบบแยก คิดเป็นจำนวนเงินทั้งหมด 2,826,598 บาท

คำสำคัญ: ปัญหาการแบ่งเขตพื้นที่, ปัญหาปริมาณการขนส่ง, เมตาฮิวริสติก, อัลกอริทึมการจำลองการอบเหินียว

* Corresponding author. E-mail: kanchala@g.sut.ac.th

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Joint Districting and Transportation Lot-Sizing for A Sugarcane Management System using A Simulated Annealing Algorithm

Sutthirak Pongkaew¹ and Kanchala Sudtachat^{*2}

Suranaree University of Technology, 111 University Avenue, Muange, Nakhon Ratchasima, 30000,
Thailand

Received: 22 September 2023; Revised: 08 February 2024; Accepted: 09 February 2024

Abstract

In this paper, we develop the model of the delivery management to transport sugarcane from the cane fields to sugar mill based on the right quantity and right demand for each period. The objective is to minimize the total expected cost. The assumptions of the model are to operate planning in cultivation, harvesting, and transportation. We formulated the decision model of districting and transportation lot sizing problems. In cultivation planning, we propose partitioning the entire sugarcane region by assigning the cane fields and the truck stations into two districts, an inside area, or an outside area. In harvesting, and transportation, we also make decisions of selecting the cane fields, truck stations used to transport, lot sizing during harvesting and transportation under the uncertainty of sugarcane yields for each period. In methodology, we propose the combined simulated annealing algorithm and heuristic (CSAH) to obtain near-optimal solutions. We compare the efficiency of our model with separated models (SM) of districting and transportation lot sizing. The numerical results show the benefits of our model over the separate model based on average total expected cost with 11.45%, savings amounting to 2,826,598 baht.

Keywords: districting problem, lot sizing problem, meta-heuristic, simulated annealing algorithms

* Corresponding author. E-mail: kanchala@g.sut.ac.th

¹ School of Manufacturing Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

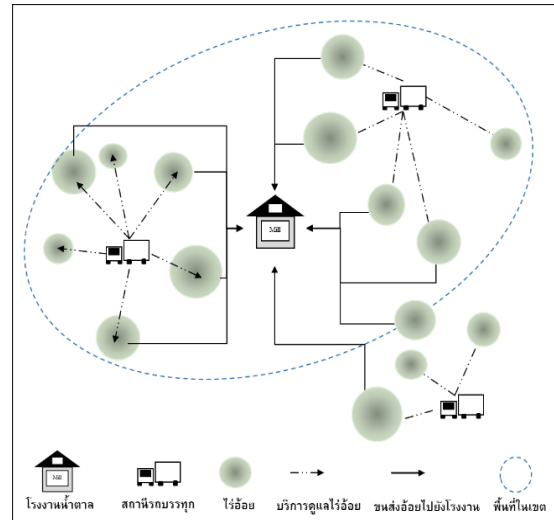
² Assistant Professor in School of Manufacturing Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยถือเป็นประเทศที่มีการส่งออกน้ำตาลรายใหญ่อันดับสองของโลกรองจากบราซิล [1] ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีการขยายตัวเพิ่มจำนวนของโรงงานน้ำตาลอย่างรวดเร็ว การเพิ่มประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทานกลุ่มอุตสาหกรรมน้ำตาลมุ่งเน้นไปที่การลดต้นทุนรวม ได้แก่ ต้นทุนการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว และการขนส่ง โดยงานวิจัยที่แสดงให้เห็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อต้นทุนรวมของโรงงานน้ำตาลเกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกและการขนส่งอ้อย ได้แก่ งานวิจัยของ Aliano et al. [2] เสนองานวิจัยที่มุ่งเน้นไปที่กำหนดแผนการเพาะปลูกและแผนกำหนดการเก็บเกี่ยว Thuankaewsing et al. [3] นำเสนอแผนการเก็บเกี่ยวอ้อยและแผนกำลังการผลิตน้ำตาล

การดำเนินการของโรงงานน้ำตาลในประเทศไทยในปัจจุบันจะรับซื้ออ้อยดิบจากเกษตรกรโดยแบ่งพื้นที่เพาะปลูกออกเป็น 2 พื้นที่ คือ พื้นที่ในเขตและพื้นที่นอกเขตส่งเสริม โดยใช้วิธีการแบ่งเขตพื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกรตามระยะรัศมีจากโรงงานตามที่กำหนด ทางโรงงานจะดำเนินการวางแผนการแบ่งพื้นที่เขตก่อนฤดูกาลเพาะปลูก ช่วงฤดูกาลเพาะปลูกจะมีการจัดการดูแลพื้นที่เพาะปลูกแตกต่างกันตามพื้นที่เขตที่กำหนด นั่นคือ พื้นที่ในเขตจะได้รับการส่งเสริมพันธุ์อ้อยและการดูแลจากเจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญในความรู้มากกว่าพื้นที่นอกเขต รวมทั้งการให้กู้ยืมเงินลงทุนในอัตราดอกเบี้ยต่ำในปริมาณเงินกู้ยืมที่มากกว่าพื้นที่นอกเขตส่งเสริม เมื่อถึงช่วงฤดูเก็บเกี่ยวและขนส่ง เกษตรกรแต่ละรายจะขนส่งอ้อยไปยังโรงงานน้ำตาลตามกำหนดช่วงเวลาและโควตาที่ได้รับ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณขนส่งอ้อยอาจเกิดความไม่สอดคล้องกับแผนกำลังการผลิตของโรงงานน้ำตาล ซึ่งอาจส่งผลให้โรงงานไม่สามารถจัดการหีบอ้อยที่เข้ามาจำนวนมากในคราวเดียวได้ จึงเกิดอ้อยค้างและทำให้ปริมาณน้ำหนักรวมของอ้อยลดลง Pongwanich-anan [4] พบว่าต้นทุนการขนส่งอ้อยเป็นองค์ประกอบที่แพงที่สุด สาเหตุหนึ่งคือขาดการจัดการวางแผนการดำเนินงานระหว่างโรงงานและเกษตรกร รูปที่ 1 แสดงถึงระบบการจัดการอ้อย มีโรงงานน้ำตาลเป็นศูนย์กลาง โดยที่พื้นที่เพาะปลูกมีการกระจายตัวรอบโรงงาน มีการแบ่งพื้นที่เขตตามระยะรัศมีจากโรงงานตามที่กำหนด และมีสถานี

รถบรรทุกที่จัดส่งรถบรรทุกขนส่งอ้อยจากพื้นที่เพาะปลูกไปยังโรงงานน้ำตาลในฤดูกาลเก็บเกี่ยว



รูปที่ 1 ระบบการจัดการอ้อยของโรงงานน้ำตาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย

สำหรับวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการแบ่งเขตพื้นที่ Hess et al. [5] และ Gass [6] สร้างแบบจำลองที่พิจารณาการลดระยะทางการเดินทางทั้งหมดระหว่างสถานีและพื้นที่ให้บริการให้น้อยที่สุด ขณะทำงานวิจัยของ Hojati [7] ประยุกต์ใช้ปัญหาการแบ่งเขตพื้นที่เพื่อกำหนดแบ่งเขตพื้นที่เหมาะสมที่สุดของพื้นที่ลงคะแนนเสียงทางการเมือง จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการแบ่งเขตพื้นที่ นำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ โดยมีแนวความคิดการตัดสินใจปัญหาการแบ่งเขตพื้นที่และปริมาณการขนส่ง ในช่วงก่อนฤดูกาลเพาะปลูก ด้วยกลยุทธ์การกำหนดเขตพื้นที่สำหรับพื้นที่เพาะปลูก และสถานีรถบรรทุกที่ใช้ขนส่งอ้อยไปยังโรงงาน โดยจัดสรรให้เป็นพื้นที่ในเขตหรือนอกเขตส่งเสริม สำหรับช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวและขนส่ง การตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือกพื้นที่เพาะปลูก สถานีรถบรรทุกที่ใช้ขนส่ง และปริมาณการขนส่ง พิจารณาภายใต้ความไม่แน่นอนของผลผลิตอ้อยในแต่ละช่วงเวลา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ค่าคาดหวังต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด Khamjan et al. [8] จัดสรรและปรับปรุงตำแหน่งของสถานีขนส่งอ้อย เพื่อแก้ปัญหาการหยุดชะงักในการผลิตน้ำตาล ทำให้มีอ้อยดิบคง

คลังที่สถานีจำนวนมากเป็นเวลานานก่อนขนส่งไปยังโรงงาน อาจส่งผลต่อปริมาณน้ำหนักรถของอ้อย ดังนั้นการเกิดความล่าช้าในการป้อนอ้อยดิบสู่โรงงาน จะทำให้อ้อยที่ถูกตัดแต่ไม่ได้ส่งไปโรงงานทันที ปริมาณน้ำหนักรถของอ้อยลดลงตามเวลาที่ผ่านไป วรรณกรรมก่อนหน้าไม่ได้คำนึงถึงปัญหาการตัดสินใจร่วมของการแบ่งเขตพื้นที่และปริมาณขนส่ง ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงพิจารณาปัญหาร่วมดังกล่าว ซึ่งเป็นกลยุทธ์ที่จะช่วยให้ระบบการจัดการการดำเนินการขนส่งอ้อยมีประสิทธิภาพมากขึ้น พิจารณาการตัดสินใจในสถานการณ์ของผลผลิตอ้อยที่คาดการณ์ไว้แต่ละพื้นที่เพาะปลูกมีความไม่แน่นอนในแต่ละปี แต่ช่วงเวลา ปริมาณผลผลิตอ้อยมีโอกาสลดลงจากที่กำหนดในแผนเพาะปลูก เนื่องจากสถานการณ์ภัยแล้ง อาจส่งผลกระทบต่อทำให้ได้ปริมาณอ้อยส่งไปยังโรงงานไม่เป็นไปตามแผนกำลังการผลิต ปัจจุบันมีวิธีการค้นหาผลเฉลยที่ดีที่สุดหลากหลายวิธี และวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing, SA) [9] เป็นหนึ่งในวิธีการเมตาฮิวริสติก (Meta-heuristic Method) [10] ซึ่งการหาผลเฉลยของกลุ่มคำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดได้รับความนิยมในการแก้ปัญหาต่าง ๆ เช่น ปัญหาการขนส่ง ปัญหาการวางแผนผลิต เป็นต้น Gutiérrez-Andrade et al. [11] ใช้ SA เพื่อแก้ไขปัญหาการแบ่งเขตสำหรับกระบวนการกำหนดเขตพื้นที่ใหม่ของขอบเขตพื้นที่ทางการเมือง Mishra et al. [12] ใช้ SA และอัลกอริทึมทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เพื่อกำหนดลำดับที่เหมาะสมหรือใกล้เคียงที่สุดในขณะเดียวกันก็คำนึงถึงขนาดรุ่นสินค้าสำหรับปัญหาการกำหนดขนาดรุ่นและกำหนดตารางเวลาลงสินค้า Cheng & Li [13] ได้ออกแบบอัลกอริทึม SA เพื่อแก้ปัญหาการขนส่งแบบบูรณาการหลายช่วงเวลาหลายผลิตภัณฑ์และการเพิ่มประสิทธิภาพสินค้าคงคลังสำหรับผู้ค้าปลีกในระบบออนไลน์ วรรณกรรมก่อนหน้าแสดงให้เห็นว่า SA มีประสิทธิภาพสูงที่นำไปใช้กับปัญหาการแบ่งเขตพื้นที่และการขนส่ง งานวิจัยฉบับนี้จึงพิจารณา SA เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้พัฒนาอัลกอริทึมโดยใช้การจำลองการอบเหนียวร่วมกับฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาค้นหาผลเฉลยโดยทดสอบแบบจำลองกับขนาดปัญหาจริงจากโรงงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวร่วมกับฮิวริสติกกับแบบจำลองแบบ

แยกปัญหา (Separated model (SM)) ซึ่งพิจารณาปัญหาการแบ่งเขตพื้นที่ และปัญหาปริมาณขนส่งแยกกัน โดยนำผลเฉลยของปัญหาการแบ่งเขตพื้นที่มาเป็นเงื่อนไขการพิจารณาปัญหาปริมาณขนส่ง

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 สมมติฐานของปัญหา

งานวิจัยฉบับนี้จะพิจารณาการจัดการอ้อยในช่วงฤดูการเพาะปลูก ฤดูกาลเก็บเกี่ยว และการขนส่ง เพื่อที่จะจัดสรรผลผลิตอ้อยในแต่ละพื้นที่เพาะปลูกไปโรงงานน้ำตาลให้ตรงกับแผนกำลังการผลิตน้ำตาลในแต่ละช่วงเวลา พร้อมกับการจัดสรรสถานีรถบรรทุกสำหรับขนส่งอ้อยไปยังโรงงานดำเนินการภายใต้กลยุทธ์การแบ่งเขตพื้นที่เป็นสองพื้นที่ ในช่วงก่อนฤดูกาลเพาะปลูก คือ พื้นที่ในเขตส่งเสริม เป็นพื้นที่ที่ได้รับการส่งเสริมการเกษตรจากทางโรงงานน้ำตาล เช่น บริการเงินกู้ลงทุน ค่าเช่าพื้นที่เพาะปลูก ค่าเพาะปลูก ค่าเมล็ดพันธุ์อ้อย ค่าयरักษาโรค และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ รวมถึงการลงพื้นที่ของเจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญเข้าไปให้คำแนะนำและดูแลในการเพาะปลูกอ้อยแก่เกษตรกรตลอดช่วงฤดูกาลเพาะปลูก เพื่อให้พื้นที่เพาะปลูกแต่ละแห่งที่อยู่ภายในพื้นที่ในเขตส่งเสริมมีผลผลิตที่มากขึ้น ส่วนพื้นที่นอกเขตส่งเสริมเป็นพื้นที่ที่ได้รับการบริการต่าง ๆ จากทางโรงงานน้ำตาลที่น้อยกว่าพื้นที่ในเขต เมื่อถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวจะพิจารณาผลผลิตอ้อยแต่ละพื้นที่เพาะปลูกตามความน่าจะเป็น โอกาสที่จะเกิดสถานการณ์ต่างๆ ได้แก่ สถานการณ์ที่ผลผลิตอ้อยปกติและสถานการณ์ที่อ้อยมีผลผลิตน้อยลงจากปัญหาต่าง ๆ เช่น ภัยแล้ง จากนั้นจะเลือกพื้นที่เพาะปลูก กำหนดปริมาณขนาดผลผลิตอ้อยที่เหมาะสม (Lot Sizing) เพื่อขนส่งไปยังโรงงานในแต่ละช่วงเวลา โดยจัดการเกี่ยวกับจัดสรรรถบรรทุกเข้าไปขนส่งอ้อยจากพื้นที่เพาะปลูกไปยังโรงงานน้ำตาล อ้อยเหลือค้างที่ไม่ได้จัดส่งจะเกิดค่าใช้จ่ายในการเก็บโดยสมมติฐานที่กำหนดสรุปได้ดังนี้

2.1.1 กำหนดให้พื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกร 1 ราย เท่ากับ 1 พื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกรที่เป็นเจ้าของพื้นที่ ซึ่งใน 1 พื้นที่รับผิดชอบสามารถมีจำนวนไร่เพาะปลูกในปริมาณไร่ที่แตกต่างกันได้ การคาดการณ์ผลผลิตของแต่ละ

ละ 1 พื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกรขึ้นกับปริมาณไร่ที่เกษตรกรใช้เพาะปลูกอ้อย และกำหนดให้มีโรงงานน้ำตาลเพียงแห่งเดียว

2.1.2 ให้ตรรกะล่าง i แทนพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร (พื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกร 1 ราย) โดย $i = 1, 2, \dots, n$ ตั้งอยู่รอบโรงงานน้ำตาล และให้ตรรกะล่าง j เป็นสถานีรถบรรทุก โดย $j = 1, 2, \dots, J$ กำหนดให้สถานีรถบรรทุกมีรถบรรทุกเพียงคันเดียว และเป็นรถบรรทุกประเภทเดียวกัน ซึ่งเป็นรถบรรทุกประเภทหลักอ้อยดิบได้ 10 คัน

2.1.3 กำหนดตัวบ่งชี้สำหรับเขตพื้นที่เป็นตรรกะล่าง k โดย $k = A, B, \dots, K$ เมื่อพื้นที่ในเขตส่งเสริม ($k = A$) และพื้นที่นอกเขตส่งเสริม ($k = B$)

2.1.4 กำหนดเซตของ $z = (z_{1k}, \dots, z_{ik}, \dots, z_{nk})$ โดยที่จะจัดสรรพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร i ให้อยู่ในเขต k ซึ่งแต่ละพื้นที่ที่รับผิดชอบของเกษตรกร i จะถูกจัดสรรให้อยู่ภายในเขต k ที่เป็นพื้นที่ในเขตส่งเสริม ($k = A$) หรือ พื้นที่นอกเขตส่งเสริม ($k = B$) อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น

2.1.5 กำหนดเซตของ $x = (x_{1k}, \dots, x_{jk}, \dots, x_{JK})$ โดยที่จะจัดสรรสถานีรถบรรทุก j ที่เขต k ซึ่งแต่ละสถานีรถบรรทุก j จะขนส่งอ้อยจากพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกรที่อยู่ภายในเขต k เดียวกันเท่านั้น

2.1.6 กำหนดเซตของ $y = (y_{1k}, \dots, y_{jk}, \dots, y_{nJK})$ เมื่อจัดสรรให้สถานีรถบรรทุก j ขนส่งอ้อยจากพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร i ที่เขต k ไปยังโรงงานน้ำตาล แต่ละพื้นที่ที่รับผิดชอบของเกษตรกร i ใช้รถบรรทุก j ที่ถูกจัดสรรให้อยู่ในเขต k เดียวกัน

2.1.7 กำหนดตรรกะล่าง t เป็นช่วงเวลา (Period) โดยที่ $t = 1, 2, \dots, T$ จะมีการเก็บเกี่ยวและขนส่งผลผลิตอ้อยให้เพียงพอต่อกำลังการผลิตของโรงงานน้ำตาลในแต่ละช่วงเวลา โดยกำหนดให้ 1 ช่วงเวลาเท่ากับ 1 สัปดาห์ ตามสมมติฐานแผนการเพาะปลูกอ้อยมีการดูแล บำรุงรักษา ใส่ปุ๋ย โดยคาดการณ์ให้อ้อยมีความพร้อมสำหรับเก็บเกี่ยวในทุกช่วง 3 สัปดาห์ ตามแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่ง นั่นคือ จะมีการเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาสัปดาห์ที่ 1, 4, และ 7 ของแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งตามลำดับ มีสมมติฐานว่าการเก็บเกี่ยวอ้อย ในพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร i ที่ถูกเลือกให้ตัดและ

ขนส่งเข้าโรงงานน้ำตาล ในแต่ละช่วงเวลา t เกษตรกรจะตัดอ้อยภายในครั้งเดียวสำหรับอ้อยที่พร้อมจะเก็บเกี่ยวทั้งหมด เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย อีกทั้งเป็นการควบคุมปริมาณน้ำหนักอ้อยที่ใช้ขนส่งอีกด้วย โดยค้นหาปริมาณขนส่งที่เหมาะสม (Lot Sizing) เพื่อให้เพียงพอตามแผนกำลังการผลิตของโรงงานน้ำตาล

2.1.8 กำหนดตรรกะล่าง l เป็นสถานการณ์ (Scenarios) โดยที่ $l = 1, 2, \dots, L$ พิจารณาจากสถานการณ์ของผลผลิตอ้อยจากแต่ละพื้นที่ที่รับผิดชอบของเกษตรกรในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว แบ่งเป็น 2 สถานการณ์ คือ สถานการณ์ที่ผลผลิตอ้อยที่เป็นปกติ และสถานการณ์ผลผลิตอ้อยต่ำกว่าปกติเนื่องจากเกิดจากโรค ปุ๋ยหายแล้ง หรืออื่น ๆ

2.1.9 กำหนดให้เมื่อมีการจัดสรรให้ตัดอ้อยเพื่อขนส่ง $u = (u_{1jt}, \dots, u_{jlt}, \dots, u_{nJL})$ เมื่อมีการขนส่งอ้อยในพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร i โดยสถานีรถบรรทุก j ช่วงเวลา t ในสถานการณ์ l ขึ้นอยู่กับตัวแปรตัดสินใจ x, y และ z

2.1.10 กำหนดให้ $q = (q_{1jt}, \dots, q_{jlt}, \dots, q_{nJL})$ เป็นการตัดสินใจปริมาณขนส่ง (Lot Sizing) ซึ่งมีหน่วยเป็นรอบปริมาณการขนส่ง ปริมาณที่เหมาะสมในการขนส่ง ขึ้นอยู่กับตัวแปรตัดสินใจ x, y และ z

2.1.11 กำหนดให้ $h = (h_{1t}, \dots, h_{it}, \dots, h_{nT})$ เป็นปริมาณอ้อยที่เหลือค้าง (ปริมาณอ้อยเหลือค้างที่ไร่อ้อย ซึ่งไม่ได้ถูกขนส่งไปยังโรงงานน้ำตาลสำหรับแต่ละพื้นที่ที่รับผิดชอบของเกษตรกร i) ซึ่งปริมาณอ้อยเหลือค้างของแต่ละไร่อ้อยแต่ละช่วงเวลา ขึ้นกับตัวแปรตัดสินใจ x, y และ z

2.1.12 กำหนดจำนวนเจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญ $w_k = (w_1, w_2, \dots, w_k)$ มีการตัดสินใจจำนวนเจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญเพื่อจัดสรรให้ดูแลพื้นที่เพาะปลูกอ้อยของเกษตรกรในเขต k ซึ่งจำนวนเจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญมีการกำหนดตามการดูแลปริมาณอ้อยตามแต่ละเขตพื้นที่

2.1.13 กำหนดปริมาณ $v_k = (v_1, v_2, \dots, v_k)$ เป็นการตัดสินใจปริมาณเงินส่งเสริมเพื่อให้เกษตรกรกู้ยืมไปลงทุนได้จากโรงงานน้ำตาล ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจการวางแผนผลผลิตตามปริมาณอ้อย (ตัน) ในแต่ละเขตพื้นที่ k นั้นๆ ซึ่งการคำนวณค่าของ v_k พิจารณาเป็นเงินลงทุนแบบขั้นบันได

2.1.14 $F =$ ค่าต้นทุนที่คาดหวังไว้

2.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

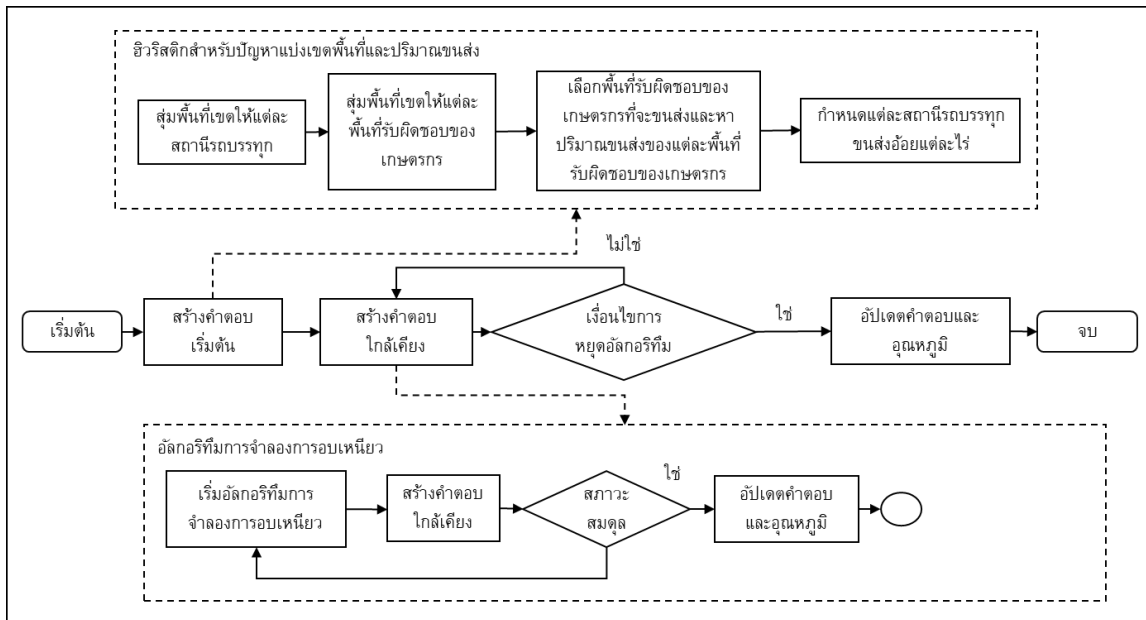
- $d_{ij}^{[T]}$ ระยะทางขนส่งอ้อยจากสถานีรถบรรทุก j เข้าไปปรับ
ผลผลิตอ้อยที่พื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร i ขนส่งถึง
โรงงานน้ำตาล (กิโลเมตร)
- $d_{ij}^{[S]}$ ระยะทางการเดินทางของเจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญเข้าไป
ดูแลพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร i จากสถานี
รถบรรทุก j (กิโลเมตร)
- s_{jt} ต้นทุนคงที่ในการใช้งานรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง
(หากมีการตัดสินใจใช้งานรถบรรทุก จะมีต้นทุนนี้
เกิดขึ้น) ในช่วงเวลา t ของสถานีรถบรรทุก j
- c_{it} ต้นทุนอ้อยที่ค้างที่พื้นที่เพาะปลูก แล้วไม่ได้ขนส่งไปยัง
โรงงานต่อช่วงเวลา ที่พื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร i
ช่วงเวลา t คิดเป็นค่าใช้จ่ายการเก็บอ้อยที่ลือค้าง ต่อ
ตัน
- m_{itl} ผลผลิตอ้อย (ตัน) ที่พร้อมสำหรับเก็บเกี่ยวตามแผน
เพาะปลูก ที่พื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร i ช่วงเวลา t
สถานการณ์ l
- a_k ค่าดอกเบี้ยเงินกู้ยืมลงทุนที่โรงงานน้ำตาลจ่ายให้แก่
เกษตรกร ตามเขตพื้นที่ k
- r_k ต้นทุนของเจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญเดินทางไปดูแลพื้นที่
รับผิดชอบของเกษตรกร เป็นค่าใช้จ่ายตามระยะทาง
ต่อกิโลเมตร ตามเขตพื้นที่ k
- o_k เงินค่าจ้างรายปีของเจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญ ตามเขตพื้นที่
 k
- δ_{itl} ความน่าจะเป็นที่ผลผลิตอ้อยที่คาดการณ์ไว้แต่ละพื้นที่
เพาะปลูกมีความไม่แน่นอนในแต่ละปี ตามสถานการณ์
สภาพแวดล้อม l ตามเขตพื้นที่ k
- α ปริมาณกำลังการขนส่งที่คงที่ของรถบรรทุกในการ
ขนส่งต่อรอบ (ตัน)
- e ต้นทุนการขนส่งอ้อยที่คิดตามน้ำหนักอ้อย เป็น
ค่าใช้จ่ายต่อตัน
- θ ต้นทุนการเก็บเกี่ยวอ้อยที่คิดตามน้ำหนักอ้อย เป็น
ค่าใช้จ่ายต่อตัน

3. การพัฒนาอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียว ร่วมกับฮิวริสติก

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแนวทางการพัฒนาอัลกอริทึม
การจำลองการอบเหนียวร่วมกับฮิวริสติก (Combined
Simulated Annealing Algorithm and Heuristic, (CSAH))
สำหรับปัญหาร่วมการแบ่งเขตพื้นที่และปริมาณการขนส่ง
เพื่อการใช้งานกับปัญหาที่สมจริงและใช้เวลาในการหา
คำตอบที่เหมาะสม ผู้วิจัยพิจารณาขั้นตอนวนซ้ำเพื่อ
ประมาณค่าคาดหวังต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด โดยมีการทำงาน
สองขั้นตอนร่วมกัน ในขั้นตอนแรก เป็นวิธีการค้นหาคำตอบ
ของปัญหาแบ่งเขตพื้นที่สำหรับพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร
และสถานีรถบรรทุกที่แบ่งเป็น 2 เขต คือ พื้นที่ในเขตและ
นอกเขตส่งเสริม ในขั้นตอนที่สอง จะตัดสินใจว่าจะเลือก
พื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร i และขนาดปริมาณการขนส่ง
ผลผลิตอ้อยที่เหมาะสม (Lot Sizing) เพื่อขนส่งอ้อยไปยัง
โรงงานน้ำตาล ตัดสินใจจัดสรรสถานีรถบรรทุกเพื่อจัดการ
ขนส่งอ้อยจากพื้นที่เพาะปลูกไปยังโรงงานในแต่ละ
สถานการณ์ แต่ละช่วงเวลาที่เหมาะสม แนวทางการทำงาน
อธิบายไว้ดังรูปที่ 2 เริ่มต้นได้ใช้อัลกอริทึมการจำลองการอบ
เหนียว [9] ที่ดำเนินการผ่านขั้นตอนวนซ้ำสำหรับค้นหา
คำตอบในแต่ละรอบ จนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดจึงต้องผ่าน
การวนซ้ำจำนวนมาก ทำให้การหาคำตอบจะพิจารณาปัญหา
การแบ่งเขตพื้นที่และปัญหาปริมาณขนส่งไปพร้อมกัน โดย
ฮิวริสติกถูกนำมาใช้เพื่อหาคำตอบเริ่มต้นในการแบ่งเขตพื้นที่
และปริมาณการขนส่งจะกล่าวในส่วนถัดไป คำตอบของ
ปัญหาจะวิเคราะห์ในผลลัพธ์ของค่าคาดหวังต้นทุนรวมที่ต่ำ
ที่สุด (F) ให้สอดคล้องกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่แสดงใน
สมการที่ (1) ที่ประกอบไปด้วยผลรวมของค่าใช้จ่ายในส่วน
ของช่วงเวลากเพาะปลูกและค่าใช้จ่ายในส่วนของการ
การเก็บเกี่ยวอ้อยเพื่อขนส่งไปยังโรงงาน ในส่วนของ
ค่าใช้จ่ายในการเพาะปลูก ได้แก่ 1. ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการ
ให้เกษตรกรกู้ยืมเงินลงทุนตามจำนวนไร่ที่เพาะปลูกอ้อย คือ
ผลคูณของค่าดอกเบี้ยเงินกู้ยืมลงทุนกับปริมาณไร่ที่ใช้
เพาะปลูกอ้อย 2. ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่
ผู้เชี่ยวชาญ คือ ผลคูณของเงินค่าจ้างรายปีของเจ้าหน้าที่
ผู้เชี่ยวชาญกับจำนวนเจ้าหน้าที่ รวมกับค่าเดินทางเข้าไปดูแล
ตามพื้นที่ของเจ้าหน้าที่ ซึ่งเป็นผลคูณของค่าใช้จ่ายในการ
เดินทางต่อกิโลเมตรกับระยะทางไปยังพื้นที่เพาะปลูก
สำหรับค่าใช้จ่ายในช่วงเวลากการเก็บเกี่ยวเพื่อขนส่งไปยัง

โรงงานจะขึ้นอยู่กับความไม่แน่นอนในแต่ละปีของผลผลิต
อ้อย ตามสถานการณ์สภาพแวดล้อม l ตามเขตพื้นที่ k ซึ่งจะ
ได้ปริมาณอ้อยที่ปริมาณแตกต่างกัน เป็นค่าคาดหวัง
ค่าใช้จ่ายรวมที่ได้จากผลคูณ โอกาสเกิดสถานการณ์ δ_{kl} กับ
ผลรวมของค่าใช้จ่ายที่ 3 – 6 ประกอบไปด้วยค่าใช้จ่าย
ดังต่อไปนี้ 3. ค่าใช้จ่ายการเก็บเกี่ยวอ้อย คือ ผลคูณของ
ค่าใช้จ่ายการเก็บเกี่ยวอ้อยที่คำนวณตามน้ำหนักอ้อย,
ปริมาณอ้อยที่เก็บเกี่ยวและขนส่ง และรอบปริมาณการขนส่ง
อ้อย 4. ค่าใช้จ่ายคงที่การใช้งานรถบรรทุกในการขนส่งอ้อย
เป็นผลคูณของค่าใช้จ่ายคงที่เมื่อมีการใช้รถบรรทุก (ค่าเสื่อม
ราคารถบรรทุก) ที่ซึ่งหากมีการใช้งานรถบรรทุกของพื้นที่ที่รับ

ผิดชอบเกษตรกร i ที่ตัดสินใจให้มีการขนส่งอ้อย ค่าของ u_{ijtl}
จะมีค่าเป็นหนึ่ง 5. ค่าใช้จ่ายในการขนส่งผลผลิตอ้อยไปยัง
โรงงานน้ำตาล คือ ผลคูณของปริมาณกำลังการขนส่งต่อรอบ
, ต้นทุนการขนส่งอ้อยที่คิดตามน้ำหนักอ้อย, ระยะทางขนส่ง
อ้อยจากสถานีรถบรรทุกเข้าไปรับอ้อยที่พื้นที่รับผิดชอบของ
เกษตรกร ขนส่งอ้อยไปยังโรงงานน้ำตาล และจำนวนรอบ
การขนส่งอ้อยไปยังโรงงาน 6. ค่าใช้จ่ายในการเก็บอ้อยเหลือ
ค้างที่ไม่ได้ขนส่งไปยังโรงงาน คือ ผลคูณของต้นทุนอ้อยที่
เหลือค้างที่พื้นที่เพาะปลูกต่อช่วงเวลา กับปริมาณอ้อยที่ไม่ได้
ถูกขนส่งไปยังโรงงาน



รูปที่ 2 กระบวนการทำงานของอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวร่วมกับฮิวริสติกสำหรับปัญหาการแบ่งเขตพื้นที่และปริมาณขนส่ง

$$F = \text{minimize} \left(\left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K a_k v_k + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (o_k w_k + d_{ij}^{[S]} z_{ik} r_k) \right) + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \delta_{kl} (\alpha \beta \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T q_{ijtl} \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T s_{it} u_{ijtl} + \alpha e \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T d_{ij}^{[T]} q_{ijtl} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T c_{it} h_{itl} \right) \quad (1)$$

เงื่อนไขข้อจำกัดของสมการที่ (1) โดยที่ปริมาณ
อ้อยจากพื้นที่ในเขตและนอกเขตส่งเสริมต้องเป็นไปตามที่
กำหนดซึ่งจะอธิบายในหัวข้อที่ 3.1.1 ปริมาณผลผลิตอ้อยที่
ถูกเลือกในการขนส่งต้องไม่เกินผลผลิตอ้อยที่คาดการณ์ไว้ใน

แผนการเพาะปลูก อธิบายในหัวข้อ 3.1.2 ปริมาณผลผลิต
อ้อยที่เหลือจากช่วงเวลา (Period) ก่อนหน้า มีเงื่อนไขต้อง
ถูกขนส่งให้เสร็จภายใน 3 ช่วงเวลา นับจากช่วงเวลาสุดท้ายที่ตัด
อ้อย เนื่องจากน้ำหนักอ้อยจะลดลงต่ำกว่าเกณฑ์ที่โรงงาน

ต้องการเมื่อเวลาผ่านไป หากปริมาณอ้อยยังเหลือคงค้างอยู่ที่พื้นที่เพาะปลูก จะไม่พิจารณาขนส่งไปยังโรงงาน

3.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น

คำตอบเริ่มต้นเป็นคำตอบแรกที่ใช้สำหรับเริ่มอัลกอริทึมการจำลองการรอบเหนียว และใช้สำหรับสร้างคำตอบใกล้เคียงในขั้นตอนการวนซ้ำในแต่ละรอบ เพื่อให้คำตอบที่ดีขึ้นจนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้นมีดังต่อไปนี้

3.1.1 คำตอบเริ่มต้นของปัญหาการแบ่งเขตพื้นที่

ผู้วิจัยสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยใช้วิธีการสุ่มคำตอบดังในรูปที่ 3 ซึ่งนำเสนอการแสดงคำตอบของเขตพื้นที่ โดยสร้างเขตพื้นที่โดยการสุ่มสำหรับสถานีรถบรรทุก (j) และพื้นที่ที่รับผิดชอบของเกษตรกร (i) โดยอิงตามเขตพื้นที่ (k) โดยกำหนดให้ A (พื้นที่ในเขตส่งเสริม) และ B (พื้นที่นอกเขตส่งเสริม) คำตอบเริ่มต้นของปัญหาการแบ่งเขตพื้นที่ทำได้โดยการสุ่มมอบหมายเขตพื้นที่ให้กับพื้นที่ที่รับผิดชอบของเกษตรกรและสถานีรถบรรทุก และมีการตรวจสอบปริมาณผลผลิตอ้อยในอัตราส่วนพื้นที่ในเขตและนอกเขตส่งเสริม หากถูกต้องตามเงื่อนไขจะยอมรับเป็นคำตอบเริ่มต้น หากไม่ยอมรับเงื่อนไขจะทำการสุ่มใหม่จนกว่าจะยอมรับคำตอบ

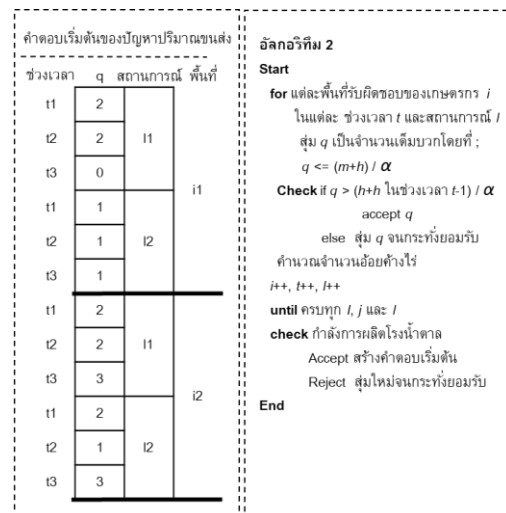


รูปที่ 3 ตัวอย่างคำตอบเริ่มต้นของปัญหาการแบ่งเขตพื้นที่และอัลกอริทึมการสร้างคำตอบ

3.1.2 คำตอบเริ่มต้นของปัญหาปริมาณขนส่ง

เริ่มต้นโดยใช้วิธีสุ่มในการเลือกพื้นที่รับผิดชอบ

ของเกษตรกรที่ถูกกำหนดให้เก็บเกี่ยวอ้อยและขนส่งไปยังโรงงานน้ำตาล ซึ่งเกณฑ์จะพิจารณาจากระยะทางระหว่างพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกรแต่ละรายกับโรงงานน้ำตาล รวมถึงปริมาณผลผลิตอ้อยตามพื้นที่ดังกล่าวด้วย พื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกรที่อยู่ใกล้โรงงานและผลผลิตสูงจะมีโอกาสถูกเลือกเพื่อเก็บเกี่ยวและขนส่งสูงกว่าพื้นที่ที่รับผิดชอบของเกษตรกรที่อยู่ไกลและผลผลิตต่ำ โดยใช้กฎเลือกพื้นที่ที่ใกล้ที่สุดก่อน (The closest rule) รูปที่ 4 แสดงคำตอบเริ่มต้นปัญหาปริมาณขนส่ง ขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้นแสดงดังอัลกอริทึม 2 เพื่อสร้างคำตอบของปริมาณรอบการขนส่ง (q) ของแต่ละพื้นที่ที่รับผิดชอบของเกษตรกร i ช่วงเวลา t ในสถานการณ์ l ซึ่งปริมาณผลผลิตอ้อยที่จะถูกขนส่งในแต่ละพื้นที่จะเท่ากับผลคูณของปริมาณรอบการขนส่ง (q) กับปริมาณกำลังการขนส่งต่อรอบของรถบรรทุก (α) โดยที่ปริมาณการขนส่งของแต่ละพื้นที่จะต้องเท่ากับหรือน้อยกว่าผลผลิตอ้อยตามแผนเพาะปลูกของแต่ละพื้นที่ที่รับผิดชอบของเกษตรกร (m_{itl}) จากนั้นมีการตรวจสอบคำตอบ q เพื่อให้แน่ใจว่ามีปริมาณอ้อยที่ขนส่งน้อยกว่าหรือเท่ากับผลรวมของผลผลิตอ้อยตามแผนเพาะปลูกในช่วงเวลานั้นกับอ้อยค้างที่เหลือนอกจากช่วงเวลาก่อนหน้า (h_{t-1}) ในขั้นตอนสุดท้ายจะสร้างคำตอบ q แบบสุ่มค่าสำหรับแต่ละพื้นที่ที่รับผิดชอบของเกษตรกร i ช่วงเวลา t และสถานการณ์ l คำตอบเริ่มต้นมีการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจปริมาณอ้อยที่ขนส่งต้องไม่เกินกำลังการผลิตของโรงงานน้ำตาลในช่วงเวลา t นั้น



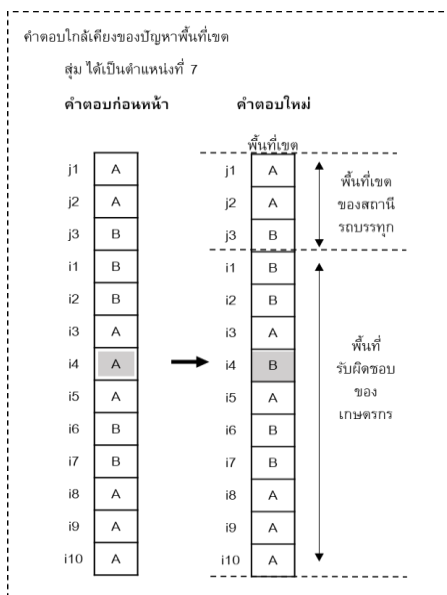
รูปที่ 4 ตัวอย่างคำตอบเริ่มต้นของปัญหาปริมาณขนส่งและอัลกอริทึมการสร้างคำตอบ

3.2 การปรับปรุงคำตอบ

การปรับปรุงคำตอบการแบ่งเขตพื้นที่และปริมาณการขนส่งทำได้โดยใช้อัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียว (SA) โดยสร้างคำตอบใกล้เคียงโดยอิงจากคำตอบก่อนหน้านี้ผ่านขั้นตอนการวนซ้ำ โดยจะพิจารณาคำตอบที่จำกัดตามเงื่อนไขของสถานะสมดุลและเงื่อนไขการหยุดอัลกอริทึม ในแต่ละรอบการวนซ้ำจะมีการปรับปรุงคำตอบผ่านการสร้างคำตอบใกล้เคียง เพื่อใช้ในการวนซ้ำครั้งถัดไปให้ได้คำตอบที่เหมาะสม เมื่อผ่านการวนซ้ำหลายรอบและสิ้นสุดเงื่อนไขการหยุด อัลกอริทึมจะเลือกคำตอบที่ดีที่สุด

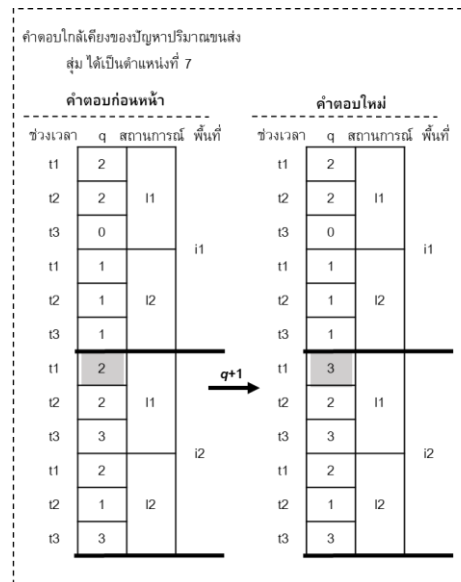
3.2.1 การสร้างคำตอบใกล้เคียง

คำตอบใกล้เคียงสามารถสร้างขึ้นได้จากคำตอบเริ่มต้น ซึ่งประกอบด้วยคำตอบการแบ่งเขตพื้นที่และปริมาณการขนส่ง ในการสร้างคำตอบใกล้เคียงของเขตพื้นที่ จะสุ่มเลือก 1 ตำแหน่งในอาร์เรย์ของคำตอบและเปลี่ยนค่าจาก A เป็น B หรือจาก B เป็น A ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งสุ่มอาร์เรย์ได้ตำแหน่งที่ 7 นับจากบนลงล่าง



รูปที่ 5 การสร้างคำตอบใกล้เคียงของปัญหาแบ่งเขตพื้นที่

และสำหรับการสร้างคำตอบใกล้เคียงของปริมาณขนส่ง ดังแสดงในรูปที่ 6 เราจะสุ่มเลือก 1 ตำแหน่งในอาร์เรย์ ซึ่งตัวอย่างสุ่มอาร์เรย์ที่ 7 จากนั้นแทนที่ปริมาณรอบการขนส่ง (q) ด้วยค่าใหม่ ซึ่งอาจเพิ่มหรือลดหนึ่งค่าจากปริมาณก่อนหน้านี้ที่เลือก ต้องมีการตรวจสอบปริมาณอ้อยที่ขนส่งเพื่อให้แน่ใจว่าการแก้ปัญหาใหม่เป็นไปได้ ซึ่งหมายความว่าต้องเท่ากับหรือน้อยกว่าผลผลิตอ้อยตามแผนเพาะปลูกในแต่ละพื้นที่เพาะปลูกในแต่ละสถานการณ์ในแต่ละช่วงเวลา ตามการตรวจสอบดังอัลกอริทึมที่ 2 ในรูปที่ 4 และเมื่อถึงขั้นตอนการทำซ้ำครั้งถัดไป จะใช้คำตอบใกล้เคียงปัจจุบันในการหาคำตอบใกล้เคียงในขั้นตอนการวนซ้ำครั้งหน้า



รูปที่ 6 การสร้างคำตอบใกล้เคียงของปัญหาปริมาณการขนส่ง

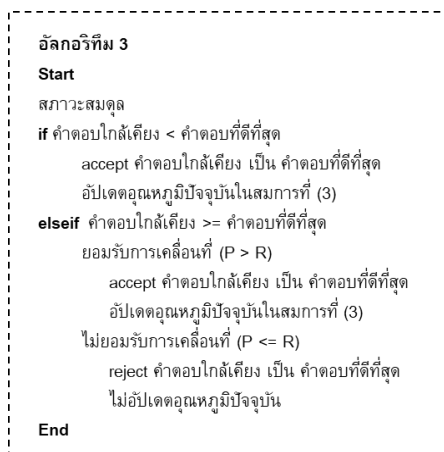
3.2.2 เงื่อนไขสถานะสมดุล

เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ที่ดีขึ้น โดยเกิดจากการสร้างคำตอบใกล้เคียงผ่านการวนซ้ำจนหลายรอบจนได้คำตอบที่ดีที่สุดที่เป็นการขั้นตอนการวนซ้ำครั้งสุดท้าย จึงได้กำหนดเงื่อนไขสถานะสมดุล ผ่านการดำเนินการผ่าน 3 ขั้นตอน คือ 1. กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น 2. กำหนดอุณหภูมิสุดท้าย ที่ได้จากการทดลองหาค่าที่เหมาะสมทั้งอุณหภูมิเริ่มต้นและสุดท้าย โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment, DOE) และ 3. การยอมรับการเคลื่อนที่ โดย

อุณหภูมิจะลดลงเมื่อเกิดขั้นตอนการวนซ้ำในครั้งถัดไป ตามอัลกอริทึมการจำลองการรอบเหนียว [9] สำหรับการยอมรับการเคลื่อนที่ของคำตอบให้เกิดการวนซ้ำครั้งถัดไปจะพิจารณาผ่านฟังก์ชันความน่าจะเป็น ให้ออมรับความน่าจะเป็นของคำตอบใกล้เคียงและทำการวนซ้ำในครั้งถัดไปตั้งสมการที่ (2) และการลดลงของอุณหภูมิเมื่อมีการยอมรับคำตอบในการขั้นตอนวนซ้ำในการสร้างคำตอบใกล้เคียงครั้งถัดไปแสดงดังสมการที่ (3) โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในสมการดังกล่าวได้จากการทดลองเพื่อให้ค่าที่เหมาะสม ซึ่งขั้นตอนของสถานะสมดุลแสดงดังรูปที่ 7 ทำให้เกิดการอัปเดตคำตอบและอุณหภูมิ

$$P(\Delta s, T) = e^{\frac{-(f(s')-f(s))}{T}} > R \quad (2)$$

$$T = \alpha T \quad (3)$$



รูปที่ 7 การทำงานอัลกอริทึมเพื่อให้เข้าสู่สถานะสมดุล

3.2.3 เงื่อนไขการหยุดอัลกอริทึม

เมื่อผ่านขั้นตอนการวนซ้ำหลายรอบ คำตอบจะเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด อุณหภูมิจะลดลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้าย และไม่มีการเคลื่อนที่วนซ้ำของคำตอบ จึงมีเงื่อนไขการหยุดอัลกอริทึมโดยอธิบายได้ดังนี้

- เมื่ออุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด
- เมื่อมีเกิดจำนวนรอบการวนซ้ำตามที่กำหนด โดยที่คำตอบที่ดีที่สุดไม่เปลี่ยนแปลง
- เมื่อปฏิเสธการยอมรับการเคลื่อนที่ของคำตอบครบจำนวนที่กำหนด

3.3 การสร้างแบบจำลองแบบแยกปัญหา

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ CSAH จึงต้องมีการเปรียบเทียบผลเฉลยหรือคำตอบ โดยวิเคราะห์จากค่าคาดหวังต้นทุนรวม ซึ่งได้จากการออกแบบแบบจำลองแบบแยกปัญหา (The separate model, SM) ซึ่งวิธีนี้ต้องหาผลเฉลยโดยแยกทีละปัญหา โดยต้องได้คำตอบการแบ่งเขตพื้นที่ก่อนจะหาคำตอบของปัญหาปริมาณขนส่งต่อไป ซึ่งแตกต่างจาก CSAH ที่หาผลเฉลยของสองปัญหาไปพร้อมกัน ซึ่ง SM มีวิธีการหาผลเฉลยดังนี้

3.3.1 ออกแบบแบบจำลองแบบแยกของปัญหาแบ่งเขตพื้นที่

กำหนดให้อัตราส่วนของพื้นที่ในเขตต่อพื้นที่นอกเขตส่งเสริมของพื้นที่เพาะปลูกเป็น 70 ต่อ 30 (มีการทดลองปรับอัตราส่วนเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยเทียบกับอัตราส่วน 70 ต่อ 30 ที่ได้ข้อมูลจากโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา) ดังนั้นจึงกำหนดให้พื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกรและสถานีรถบรรทุกที่อยู่ใกล้โรงงานเป็นพื้นที่ในเขตส่งเสริมก่อน โดยใช้กฎเลือกพื้นที่ที่ใกล้ที่สุดก่อน (The closest rule) เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่ต้องการตามแผนเพาะปลูก

3.3.2 ออกแบบแบบจำลองแบบแยกของปัญหาปริมาณขนส่ง

เมื่อได้คำตอบจากปัญหาแบ่งเขตพื้นที่แล้ว จะหาคำตอบของปัญหาปริมาณขนส่งโดยมีการเลือกพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกรแต่ละแห่ง ที่มีผลผลิตอ้อยสูงในแต่ละช่วงเวลาและสถานการณ์เพื่อขนส่งไปยังโรงงานน้ำตาล โดยคำนวณปริมาณการขนส่งแต่ละพื้นที่ที่ถูกเลือกโดยใช้หลักการปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัด (Economic order quantity, EOQ) ให้ได้ปริมาณขนส่งอ้อยที่เหมาะสมของแต่ละพื้นที่ที่ถูกเลือก ได้ตั้งสมการที่ (4) โดยที่ S หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องต่อพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกรต่อหนึ่งช่วงเวลา ได้แก่ ต้นทุนการเก็บเกี่ยว ต้นทุนการใช้งานสถานีรถบรรทุก และต้นทุนการขนส่ง ถัดมา D หมายถึง ปริมาณผลผลิตอ้อยเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ต่อช่วงเวลา และ H หมายถึง ต้นทุนการเก็บอ้อยเฉลี่ยต่อพื้นที่ ดังนั้นจะปริมาณอ้อยดิบ (EOQ) ของแต่ละพื้นที่ในแต่ละช่วงเวลาที่ขนส่งไปยัง

โรงงานน้ำตาล เพื่อให้ค่าคาดหวังต้นทุนรวมต่ำที่สุดตามสมการที่ (1)

$$EOQ = \sqrt{\frac{2SD}{H}} \quad (4)$$

4. ผลการวิจัย

4.1 กรณีศึกษาปัญหาจริงและผลลัพธ์การคำนวณ

ข้อมูลอินพุตพารามิเตอร์ของปัญหาจริงได้รวบรวมจากโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่งที่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2565 โดยเปรียบเทียบผลเฉลี่ยที่ได้รับจากอัลกอริทึมจำลองการอบเหนียวร่วมกับฮิวริสติก (CSAH) กับคำตอบจากแบบจำลองแบบแยกปัญหา (SM) ซึ่งเป็นวิธีการหาผลเฉลี่ยในปัจจุบัน ออกแบบการทดลองทั้งหมด 8 กรณี กำหนดให้มีโรงงานน้ำตาลแห่งเดียวที่ศูนย์กลาง กำหนดจำนวนพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร 500 และ 600 พื้นที่ สถานีรถบรรทุก 9 และ 18 แห่ง ช่วงเวลา 6 และ 9 โดยมีผลผลิตอ้อยที่คาดการณ์ที่ต้องเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาที่ 1, 4, และ 7 ตามลำดับ และ

กำหนดให้มี 2 เขตพื้นที่ โดยกำหนดอัตราส่วนพื้นที่ในเขตต่อนอกเขตส่งเสริมเป็น 70 ต่อ 30 ตามลำดับ ปริมาณกำลังขนส่งรถบรรทุกต่อรอบขนส่งได้ 10 ตัน หากมีอ้อยเกินปริมาณส่งต่อรอบ จะเก็บไว้ขนส่งรอบถัดไป แต่ถ้าหากมีปริมาณอ้อยไม่เต็มคัน จะไม่ทำการขนส่ง เนื่องจากมีต้นทุนการขนส่งต่อรอบเท่ากัน ดังนั้นควรขนส่งเต็มคันที่พื้นที่เพาะปลูกอื่น และปริมาณผลผลิตอ้อยตามแผนเพาะปลูกในแต่ละพื้นที่ได้จากโรงงานน้ำตาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย พ.ศ. 2556 โดยตารางที่ 1 แสดงถึงผลลัพธ์ของ CSAH เปรียบเทียบกับ SM โดยคิดในผลของค่าคาดหวังต้นทุนรวม (บาท) การพัฒนา CSAH เพื่อแก้ปัญหาแบ่งเขตพื้นที่และปริมาณขนส่ง ดำเนินขั้นตอนโดยซอฟต์แวร์แมตแล็บ (MATLAB) ทำการทดลองทั้งหมด 8 กรณี จำนวนการนำเข้ากรณีละ 15 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ย ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ CSAH เป็นการปรับปรุงคำตอบและต้นทุนที่คาดหวังไว้ทั้งหมดที่ดีกว่า SM ทุกกรณี แสดงให้เห็นการปรับปรุงที่ดีขึ้น 9.04%-13.06% เฉลี่ยทุกกรณีอยู่ที่ 11.45% ทำให้ผลของค่าคาดหวังต้นทุนรวมลดลงเฉลี่ยได้ถึง 2,826,598 บาท

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการจำลองการอบเหนียวร่วมกับฮิวริสติกและแบบจำลองแบบแยกปัญหาในผลของค่าคาดหวังต้นทุนรวม (บาท)

การทดลอง	พื้นที่รับผิดชอบ (พื้นที่)	สถานีรถบรรทุก (แห่ง)	ช่วงเวลา	CSAH (ต้นทุน, บาท)	SM (ต้นทุน, บาท)	ความต่างของต้นทุนของ CSAH และ SM (บาท)	% ความต่างของต้นทุนของ CSAH และ SM
1	500	9	6	15,406,569	17,272,097	1,865,528	10.8
2			9	24,795,988	28,520,800	3,724,812	13.06
3		18	6	15,707,253	17,624,841	1,917,588	10.88
4			9	25,023,092	27,511,404	2,488,312	9.04
5	600	9	6	18,409,236	21,376,560	2,967,324	13.88
6			9	29,402,250	32,889,864	3,487,614	10.6
7		18	6	18,440,968	21,163,056	2,722,088	12.86
8			9	29,513,934	32,953,454	3,439,520	10.44
ค่าเฉลี่ย				22,087,411	24,914,010	2,826,598	11.45

4.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของอัลกอริทึม

ในส่วนนี้จะวิเคราะห์ความอ่อนไหวของอัลกอริทึม (Sensitivity analysis) โดยที่พิจารณาอินพุตพารามิเตอร์ ได้แก่ ต้นทุนอ้อยค้ำที่พื้นที่ (c_p) และต้นทุนการติดตั้งสถานีรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง (s_{jk}) ที่มีการผันแปรแตกต่างกัน -10%, -5%, +5% และ +10% จากค่าปัจจุบัน ทดลองโดยกำหนดกรณีเป็นพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร 600 พื้นที่ สถานีรถบรรทุก 9 แห่ง อัตราส่วนพื้นที่ในเขตตอนนอกเขตส่งเสริมเป็น 70:30 ตามลำดับ และพารามิเตอร์อินพุตอื่น ๆ ไม่มีการผันแปร โดยใช้ CSAH และ SM ซึ่งตารางที่ 2 และ

ตารางที่ 3 แสดงถึงเมื่อเกิดการผันแปรของต้นทุนอ้อยค้ำที่พื้นที่และต้นทุนการติดตั้งในการขนส่ง ค่าคาดหวังต้นทุนรวมจะแปรผันตรงทั้งหมด เพอร์เซ็นต์ความต่างของ CSAH และ SM ไม่เปลี่ยนแปลงมาก จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการผันแปรพารามิเตอร์อินพุต ค่าคาดหวังต้นทุนรวมไว้ทั้งหมดมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แสดงให้เห็นประสิทธิภาพที่ดีของอัลกอริทึมการจำลองการอบเหินยวร่วมกับฮิวริสติก

ตารางที่ 2 คำตอบในการณีการเปลี่ยนแปลงต้นทุนอ้อยที่ค้ำที่พื้นที่เพาะปลูก (Holding cost)

ต้นทุนการเก็บอ้อย (%)	CSAH (ต้นทุน, บาท)	SM (ต้นทุน, บาท)	% ความต่างของต้นทุน CSAH และ SM
-10	29,113,438	32,838,523	11.34
-5	29,461,591	32,870,759	10.37
0	29,513,934	32,953,454	10.44
+5	29,748,963	32,959,392	9.74
+10	29,982,515	33,003,708	9.15

ตารางที่ 3 คำตอบในการณีการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการติดตั้งสถานีรถบรรทุก (Setup cost)

ต้นทุนการติดตั้ง (%)	CSAH (ต้นทุน, บาท)	SM (ต้นทุน, บาท)	% ความต่างของต้นทุน CSAH และ SM
-10	29,224,557	32,555,075	10.23
-5	29,371,388	32,735,075	10.28
0	29,513,934	32,953,454	10.44
+5	29,652,496	33,095,075	10.40
+10	29,803,116	33,275,075	10.43

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาอัลกอริทึมการจำลองการอบเหินยวร่วมกับฮิวริสติกสำหรับแก้ไขปัญหาร่วมการแบ่งเขตพื้นที่และปริมาณการขนส่ง โดยใช้สมมติฐานและข้อมูลจริงจากทางโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมโดยแก้ปัญหาจริงเทียบกับแบบจำลองแบบแยกปัญหา ผลลัพธ์จากการณศึกษาแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมการจำลองการอบเหินยวร่วมกับฮิวริสติกนั้นให้คำตอบในผลของค่าคาดหวังต้นทุนรวมดีกว่า

แบบจำลองแบบแยกปัญหาเฉลี่ยถึงร้อยละ 11.45 สามารถประหยัดค่าคาดหวังต้นทุนรวมเฉลี่ยถึง 2,826,598 บาท อีกทั้งการทดสอบการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของอัลกอริทึมทำให้เห็นแนวโน้มของคำตอบไปทางเดียวกัน การผันแปรของพารามิเตอร์จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพอัลกอริทึมเปลี่ยนแปลง ประโยชน์ของอัลกอริทึมนี้จะช่วยให้โรงงานน้ำตาลมีการร่วมมือพร้อมๆกับเกษตรกรดีขึ้น มีการตัดสินใจเกี่ยวกับการแบ่งเขตพื้นที่ การเลือกพื้นที่รับผิดชอบของเกษตรกร สถานีรถบรรทุกที่ใช้ขนส่ง และปริมาณการขนส่ง ภายใต้ผลผลิต

อ้อยที่คาดการณ์ไว้แต่ละพื้นที่ที่มีความไม่แน่นอนในแต่ละปี ตามสถานการณ์สภาพแวดล้อม สามารถที่จัดสรรผลผลิตอ้อยจากพื้นที่เพาะปลูกส่งไปยังโรงงานน้ำตาลตามแผนกำลังการผลิตของโรงงาน สำหรับข้อจำกัดของงานวิจัยนี้จะนำไปสู่งานวิจัยในอนาคต ที่จะพิจารณาถึงประเภทรถบรรทุกที่แตกต่างกัน รวมถึงหากมีโรงงานน้ำตาลมากกว่าหนึ่งแห่ง เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Pongpat, A. Mahmood, H. U. Ghani, T. Silalertruksa and S. H. Gheewala, "Optimization of food-fuel-fibre in biorefinery based on environmental and economic assessment: the case of sugarcane utilization in Thailand," *Sustainable Production and Consumption.*, vol. 37, pp. 398-411, 2023.
- [2] A. Aliano Filho, W. A. Oliveira and T. Melo, "Multi-objective optimization for integrated sugarcane cultivation and harvesting planning," *European Journal of Operational Research.*, vol. 309, no. 1, pp. 330-344, 2023.
- [3] S. Thuankaewsing, S. Khamjan, K. Piewthongngam and S. Pathumnakul, "Harvest scheduling algorithm to equalize supplier benefits: a case study from the Thai sugar cane industry", *Computers and Electronics in Agriculture.*, vol. 110, pp. 42-55, 2015.
- [4] U. Pongwanich-Anan, "Study of cost and benefit for sugar cane production, Tambon Don Chedi, Amphur Phanomthuan, Karnchanaburi Province, crop year 2007/2008," *Master of Economics Degree, Managerial Economics, Srinakharinwirot University.*, Bangkok, 2009.
- [5] S. W. Hess, J. B. Weaver, H. J. Siegfeldt, J. N. Whelan and P. A. Zitlau, "Nonpartisan political redistricting by computer," *Operations Research.*, vol. 13, no. 6, pp. 998-1006, 1965.
- [6] S. I. Gass, "On the Division of Police Districts into Patrol Beats," In *23rd ACM National Conference.*, New York, United States, 1968.
- [7] M. Hojati, "Optimal political districting," *Computers & Operations Research.*, vol. 23, no. 12, pp. 1147-1161, 1996.
- [8] W. Khamjan, S. Khamjan and S. Pathumnakul, "Determination of the locations and capacities of sugar cane loading stations in Thailand." *Computers & Industrial Engineering.*, vol. 66, no. 4, pp. 663-674, 2013.
- [9] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt Jr and M. P. Vecchi, "Optimization by simulated annealing," *Science.*, vol. 220, no. 4598, pp. 671-680, 1983.
- [10] E. G. Talbi, *Metaheuristics: from design to implementation*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.
- [11] M. Á. Gutiérrez-Andrade, E. A. Rincón-García, S. G. de-los-Cobos-Silva, P. Lara-Velázquez, R. A. Mora-Gutiérrez and A. Ponsich, "Simulated annealing and artificial bee colony for the redistricting process in Mexico," *INFORMS Journal on Applied Analytics.*, vol. 49, no. 3, pp. 173-234, 2019.
- [12] N. Mishra, V. Kumar, N. Kumar, M. Kumar and M. K. Tiwari, "Addressing lot sizing and warehousing scheduling problem in manufacturing environment," *Expert Systems with Applications.*, vol. 38, no. 9, pp. 11751-11762, 2011.
- [13] Y. Cheng and Y. Li, "Integrated optimization of multiproduct multiperiod transportation and inventory under a carbon cap constraint for online retailers," *Transportation Safety and Environment.*, vol. 3, no. 3, pp. 1-13, 2021.