



## วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

### การพัฒนาอัลกอริทึมการค้นหาคำตอบสำหรับการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืช Harmony search algorithm implementation for crop harvest scheduling

ปวีร์ ศิริรักษ์<sup>1\*</sup> แพรวดารา เทียมเกาะ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

Pavee Siriruk<sup>1\*</sup> Praewdara Teamkoa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology Nakhon Ratchasima 30000

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology Nakhon Ratchasima 30000

\* Corresponding author.

E-mail: pavee@g.sut.ac.th ; Telephone: 096 1525165

วันที่รับบทความ 27 กุมภาพันธ์ 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 7 เมษายน 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 22 พฤษภาคม 2567

วันที่ตอบรับบทความ 6 มิถุนายน 2567

#### บทคัดย่อ

การจัดตารางการเก็บเกี่ยวเป็นปัญหาสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมเกษตรเนื่องจากมีผลต่อปริมาณผลผลิตเป็นอย่างมาก ซึ่งปัญหานี้มีความซับซ้อนจากข้อจำกัดหลายอย่างและยากในการแก้ปัญหา โดยปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวเป็นปัญหาที่นักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนในการเก็บเกี่ยวให้ต่ำที่สุด นักวิจัยมักจะใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งสามารถใช้ได้กับปัญหาที่มีขนาดเล็ก หากปัญหามีความซับซ้อนและมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นส่วนใหญ่จะใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์ ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการค้นหาคำตอบความเสี่ยง (Harmony Search Algorithm) สำหรับปัญหาการจัดตารางเก็บเกี่ยวพืช เพราะเป็นวิธีแก้ปัญหานี้ที่น่าสนใจซึ่งยังไม่มีใครเคยมีการวิจัยที่นำวิธีนี้มาใช้ในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืช วิธีที่นำเสนอสามารถหาคำตอบเพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของโรงงานแปรรูปที่ทำเกษตรพันธสัญญา กับกลุ่มเกษตรกรในการกำหนดตารางเก็บเกี่ยวให้ได้ผลผลิตในปริมาณและเวลาที่ต้องการ ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ของโรงงานและเกษตรกร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลกำไรสูงสุดให้กับโรงงานแปรรูป ผลการวิจัยพบว่าวิธีที่นำเสนอให้หาคำตอบได้ดีเท่ากับคำตอบที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS ในทุกขนาดของปัญหาแสดงให้เห็นว่าวิธีนี้มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบเท่ากับโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS

#### คำสำคัญ

การจัดตารางเก็บเกี่ยว เมตาฮิวริสติกส์ วิธีการค้นหาคำตอบความเสี่ยง

#### Abstract

The harvest schedule is a significant problem for the agricultural industries since it dramatically affects production. This problem is challenging to solve due to many constraints. Many researchers are interested in this problem to find the optimal solution in small-size problems, with the objective of minimizing the total costs. Metaheuristics are commonly used when the problems are larger and more complicated. This paper presents the Harmony Search Algorithm for the crop harvest scheduling problem, seeing that this method has never been applied to harvest scheduling. The proposed method can integrate contract farming with farmer groups to set a harvest schedule that decides the optimal quantity and harvesting duration under various constraints from farmers and factories. The case study considers one factory and farmers to maximize profits for the processing factory. The results show that the proposed method effectively finds the same solutions as the GAMS package in all problem sizes.

## Keywords

harvest scheduling; metaheuristic; harmony search algorithm

## 1. คำนำ

ภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรมีความสำคัญกับประเทศไทยเป็นอย่างมาก ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกรวม 165,600 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 33 % ของพื้นที่ทั้งหมด 513,115 ตารางกิโลเมตรของประเทศ สินค้าเกษตรเป็นสินค้าส่งออกที่สร้างรายได้จำนวนมากให้กับประเทศไทย [1] โดยสินค้าเกษตรส่งออกที่มีมูลค่าสูงสุด 3 อันดับแรกคือผลไม้ ข้าว มันสำปะหลัง จะเห็นว่าข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยในเดือนมกราคม-เมษายน 2567 มีปริมาณส่งออก 3,398,145 ตัน มูลค่า 78,517.06 ล้านบาท (2,219.26 ล้านเหรียญสหรัฐฯ) โดยปริมาณส่งออกเพิ่มขึ้น 29.1% และมูลค่าส่งออกเพิ่มขึ้น 53.8% เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันในปี 2566 ที่มีการส่งออกปริมาณ 2,632,537 ตัน มูลค่า 48,851.07 ล้านบาท (1,442.84 ล้านเหรียญสหรัฐฯ) เนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทย และยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ทำให้ตลาดมีความต้องการข้าวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งบริโภคเองภายในประเทศและส่งออก [2] แต่ต้นทุนการผลิตข้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกษตรกรมีต้นทุนในการผลิตข้าวในส่วนของเมล็ดพันธุ์ข้าว ปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลงและเวชพืช รวมถึงค่าแรงในกระบวนการปลูกข้าวตั้งแต่การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว ตลอดจนค่าเช่านาข้าว โดยเฉพาะค่าเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกษตรกรขายผลผลิตได้ในราคาไม่คุ้มทุน และโรงงานแปรรูปไม่ได้รับผลผลิตตามที่ต้องการ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ ควรมีการวิจัย พัฒนา และการแนะนำเทคโนโลยีนวัตกรรมต่างๆ ที่สามารถช่วยให้เกษตรกรที่ยังเพาะปลูกพืชจากประสบการณ์ตรงหรือโรงงานแปรรูปที่ทำเกษตรพันธสัญญา ได้นำเครื่องมือและแนวทางจากการวิจัยไปปรับใช้เพื่อพัฒนาต่อยอดและส่งเสริมให้เกิดการวางแผนเพาะปลูกพืชที่ใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพให้ผลผลิตสูงและต้นทุนต่ำ

ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและยากต่อการตัดสินใจ [3] ซึ่งปัญหาจริงจะเป็นปัญหาขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่เพาะปลูกเป็นจำนวนมากจึงทำให้ตัว

แปรตัดสินใจมีจำนวนมาก หรือมีเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆ ด้านเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวที่ให้ผลผลิตที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงเงื่อนไขด้านความต้องการของตลาดหรือโรงงานแปรรูปที่รับซื้อผลผลิตซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ทำให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลค่อนข้างสูง การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีข้อจำกัดของขนาดของปัญหาที่สามารถหาผลเฉลยได้โดยเฉพาะเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นหรือมีเงื่อนไขข้อจำกัดที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น ขนาดของพื้นที่ที่จัดสรรมีขนาดย่อมมากขึ้น โดยมีการพิจารณาระดับจังหวัด ระดับอำเภอ ระดับตำบล ระดับหมู่บ้าน จนกระทั่งพิจารณาแยกเป็นรายเกษตรกร หรือกรณีมีเงื่อนไขเรื่องของฤดูกาลที่ให้ผลผลิตที่แตกต่างกันออกไปซึ่งทำให้ต้องใช้เวลาในการประมวลผลเป็นเวลานานหรืออาจไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้เลย ดังนั้น เทคนิคการหาคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสม (Near-optimal solution) เช่น วิธีการหาคำตอบโดยวิธีการแก้ปัญหาแบบเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics approach) หรือวิธีการหาคำตอบแบบผสมรวม (Hybrid approach) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหา

## 2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

วิธีการแก้ปัญหาแบบเมตาฮิวริสติกส์ มีระเบียบวิธีการในการหาคำตอบที่ดีภายในเขตคำตอบที่เป็นไปได้ มีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือผลเฉลยที่ใกล้เคียงที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่เหมาะสม เมตาฮิวริสติกส์มีระเบียบขั้นตอนที่แน่นอนแต่สามารถปรับเปลี่ยนในรายละเอียดเมื่อนำไปใช้แต่ละปัญหาและสามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้ เมตาฮิวริสติกส์ที่มีความนิยมแพร่หลาย [4] เช่น วิธีอาณานิคมมด (ant colony algorithm) โดยได้แรงบันดาลใจมาจากพฤติกรรมจริงของมดที่ออกไปหาอาหาร Li และคณะ [5] ได้นำมาใช้ในการวางแผนเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเก็บเกี่ยวโดยหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางในท้องถื่นนั้น ส่วนธนกร และ สุภาภรณ์[6] ได้นำไปใช้ในการจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางท่องเที่ยว และวิธีอาณานิคมผึ้งเทียมเป็นเชิงวิวัฒนาการที่นำความฉลาดของฝูงผึ้งที่หา

น้ำหวานมาช่วยในการค้นหาคำตอบ (artificial bee colony optimization: ABCO) โดยศิริชัย [7] ได้นำมาใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งที่พิจารณากรอบเวลาในการรับส่งสินค้า (VRP with time windows: VRPTW) และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ที่เลียนแบบวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตในการสร้างประชากรรุ่นต่อไปที่มีคุณลักษณะที่ดีขึ้น ซึ่ง Levin และ Zahavi [8] ได้นำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวของพืชตระกูลส้ม ส่วนเชิดศักดิ์ และคณะ [9] ได้นำมาใช้จัดเส้นทางที่เหมาะสมของการจัดเก็บขยะภายในหมู่บ้านเพื่อให้ประหยัดเชื้อเพลิงและแรงงานคน หรือวิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) เป็นเทคนิคการค้นหาคำตอบแบบสุ่มโดยเลียนแบบธรรมชาติของกระบวนการอบโลหะ ซึ่ง Afifah และคณะ [10] นำมาใช้แก้ปัญหาการจัดกำหนดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเก็บเกี่ยวอ้อย และ Srivarapongse และ Pijitbanjong [11] ได้นำการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) มาใช้แก้ปัญหาการจัดสรรพนักงานขับรถให้กับรถเกี่ยวซึ่งจะถูกมอบหมายให้เก็บเกี่ยวอ้อยเพื่อเพิ่มผลกำไรสูงสุดในแต่ละวัน นอกจากนี้ Sethanan และ Neungmatcha [12] ได้นำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ที่เลียนแบบพฤติกรรมฝูงนกในการหาแหล่งอาหารมาใช้สำหรับการวางแผนเส้นทางรถเกี่ยวขนาดของการปฏิบัติงานในไร่อ้อยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหลายวัตถุประสงค์ และวิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu search) ที่เป็นการห้ามหรือป้องกันขั้นตอนวิธีการเข้าไปยังผลเฉลยข้างเคียงที่ไม่ต้องการ โดย Brumelle และคณะ [13] ได้นำมาใช้ค้นหาคำตอบการเก็บเกี่ยวต้นไม้นในพื้นที่ป่าที่ดี รวมถึง He และ Li [14] ได้ใช้วิธีการลอกแบบ (Memetic algorithm) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้วิธีการทางพันธุกรรมและขั้นตอนการค้นหาในท้องถิ่นมาแก้ปัญหาการเก็บเกี่ยวและการขนส่งพืชผล และ Gómez-Lagos และคณะ [15] นำวิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการวางแผนการเก็บเกี่ยวทางยุทธวิธีสำหรับสวนผลไม้หลายแห่ง และยังมี Florentino และคณะ [16] ที่นำการค้นหาคำตอบในย่านใกล้เคียงแบบแปรผัน (Variable Neighbourhood Search: VNS) ไปใช้ในการเพิ่ม

ประสิทธิภาพสำหรับการคัดเลือก การปลูก และการเก็บเกี่ยวพันธุ์อ้อยแบบผสมผสาน เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีวิธีการหาคำตอบแบบผสมรวม (Hybrid approach) ที่ใช้วิธีการหาคำตอบมากกว่า 1 วิธีเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ เช่น He และคณะ [17] เสนอวิธีการค้นหาหาแบบผสมผสาน (hybrid tabu search approach) เพื่อกำหนดตารางเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมที่สุดซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการลดระยะเวลาเก็บเกี่ยวและลดความแตกต่างของเวลาเก็บเกี่ยวระหว่างรถเกี่ยวข้าวหรือ Kong และคณะ [18] เสนออัลกอริทึมการค้นหาหาแบบผสมรวม (Hybrid genetic-tabu search algorithm) สำหรับแก้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงกำหนดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวอ้อยในภูมิภาคแอฟริกาใต้ และ Worasan และคณะ [19] ได้เสนอการเพิ่มประสิทธิภาพวิธีแบบผสมรวมระหว่างวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคและการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียงที่ผันแปร (The hybrid Particle Swarm Optimization and the Variable Neighborhood Search: PSO-VNS) เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรเครื่องจักรและอุปกรณ์และการจัดตารางเวลาเพื่อช่วยผู้ปลูกขยายระดับการผลิตอ้อยเพื่อตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นและเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำกำไร

ซึ่งในบทความวิจัยนี้ทำการแก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวโดยเบื้องต้นจะใช้การสุ่มคำตอบเริ่มต้นเพื่อสร้างประชากรเริ่มต้น และในการพัฒนาประสิทธิภาพการหาคำตอบจะใช้วิธีการค้นหาการประสานเสียง (Harmony Search Algorithm) เนื่องจากวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่สามารถใช้แก้ปัญหาในเชิงวิศวกรรมได้อย่างหลากหลาย และยังสามารถใช้หาคำตอบที่ดีที่สุดได้อีกด้วย แต่จากการทบทวนวรรณกรรมของ Dubey และคณะ [20] พบว่ายังไม่เคยมีการนำวิธีการนี้มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยว ดังนั้นจึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการศึกษาและปรับปรุงวิธีการค้นหาการประสานเสียง เพื่อให้สามารถใช้แก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวที่มีข้อจำกัดด้านผลผลิตของเกษตรกรและความต้องการของโรงงานในแต่ละช่วงเวลาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้โรงงานแปรรูปได้รับกำไรสูงสุด พร้อมเปรียบเทียบประสิทธิภาพและเวลาในการประมวลผลผลลัพธ์

ระหว่างอัลกอริทึมที่เสนอกับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS ของแต่ละขนาดปัญหา

### 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยว

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทดสอบเป็นกรณีศึกษา นำมาจากบทความอ้างอิงของ Florentino และคณะ [16] เพื่อทดสอบอัลกอริทึมในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชด้วยวิธีค้นหาการประสานเสียง มีสมมุติฐานดังต่อไปนี้

1) ปริมาณผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกัน

2) เกษตรกรจะมีการเก็บเกี่ยวพืช 2 ครั้งต่อปี

3) แต่ละเดือนต้องมีการเก็บเกี่ยวอย่างน้อย 1 ครั้ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย กลุ่มของดัชนี (Indices) พารามิเตอร์ (Parameters) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) สมการข้อจำกัด (Constraints) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ดัชนี

- $i$  ลำดับของเกษตรกรที่  $i$  โดยที่  $i = 1, 2, \dots, n$
- $t$  เดือนที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวและส่งมอบผลผลิตให้กับโรงงานในเดือน  $t$  โดยที่  $t = 1, 2, \dots, T$
- $p$  โรงงานแปรรูปที่  $p$  โดยที่  $p = 1, 2, \dots, P$   
พารามิเตอร์
- $s$  ปริมาณผลผลิตรวมสูงสุดที่โรงงานสามารถรับได้จากเกษตรกรทุกราย รวมทุกช่วงเวลา (ตัน)
- $l_t$  ปริมาณผลผลิตขั้นต่ำที่โรงงานต้องการในเดือน  $t$  (ตัน/เดือน)
- $q$  อัตราคุณภาพการแปรรูปพืชเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูป
- $k$  ราคาขายผลิตภัณฑ์แปรรูป (บาท/ตัน)
- $b$  ราคาซื้อผลผลิต (บาท/ตัน)
- $x_{it}$  ปริมาณผลผลิตพืชทั้งหมดที่สามารถเก็บเกี่ยวได้จากเกษตรกร  $i$  ในเดือน  $t$  (ตัน)

$Z$  กำไรสูงสุดที่โรงงานได้รับ (บาท) ตัวแปรการตัดสินใจ

$H_{it} \geq 0$  ปริมาณการเก็บเกี่ยวจากเกษตรกร  $i$  ในเดือน  $t$  (ตัน)

$Y_{itp} \geq 0$  ปริมาณพืชที่ถูกเก็บเกี่ยวจากเกษตรกร  $i$  ในเดือน  $t$  ส่งไปยังโรงงาน  $p$  (ตัน)

$$V_{it} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้าเก็บเกี่ยวจากเกษตรกร } i \text{ ในเดือน } t \\ 0, & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

ฟังก์ชันเป้าหมาย

สมการวัตถุประสงค์ (1) แสดงเป้าหมายในการบรรลุผลกำไร สูงสุด

$$\text{Max } Z = \left( \left( \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P Y_{itp} q \right) \times (k) \right) - \left( \left( \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P Y_{itp} \right) \times (b) \right) \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด

สมการที่ (2) แสดงข้อจำกัดของปริมาณการเก็บเกี่ยวพืชเท่ากับปริมาณผลผลิตทั้งหมดที่เกษตรกรมีอยู่ในแต่ละเดือน

$$H_{it} = X_{it} V_{it} \quad \forall_{i=(1, \dots, n)}, \forall_{t=(1, \dots, T)} \quad (2)$$

สมการที่ (3) แสดงข้อจำกัดปริมาณพืชที่ถูกเก็บเกี่ยวทั้งหมดจากเกษตรกรจะถูกส่งไปยังโรงงานแปรรูป

$$H_{it} = Y_{itp} \quad \forall_{i=(1, \dots, n)}, \forall_{t=(1, \dots, T)}, \forall_{p=(1, \dots, P)} \quad (3)$$

สมการที่ (4) แสดงข้อจำกัดของปริมาณผลผลิตขั้นต่ำที่โรงงานต้องการแต่ละเดือน

$$\sum_{i=1}^n Y_{itp} = l_t \quad \forall_{t=(1, \dots, T)}, \forall_{p=(1, \dots, P)} \quad (4)$$

สมการที่ (5) แสดงข้อจำกัดของปริมาณผลผลิตรวมสูงสุดที่โรงงานสามารถรับได้จากเกษตรกรทุกราย รวมทุกช่วงเวลาการจัดตารางเก็บเกี่ยว

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P Y_{itp} \leq s \quad (5)$$

สมการ (6) แสดงข้อจำกัดของการเก็บเกี่ยวเกษตรกรแต่ละรายจะมีการเก็บเกี่ยวพืช 2 ครั้งต่อปี

$$\sum_{t=1}^T V_{it} = 2 \quad \forall_{i=(1,...,n)} \quad (6)$$

สมการ (7) แสดงข้อจำกัดของการเก็บเกี่ยวในแต่ละเดือนต้องมีการเก็บเกี่ยวอย่างน้อย 1 ครั้ง

$$\sum_{i=1}^n V_{it} = 1 \quad \forall_{t=(1,...,T)} \quad (7)$$

แบบจำลองนี้และข้อมูลที่ใช้เป็นกรณีศึกษา คือ โรงงานแปรรูปข้าวแห่งหนึ่งกับเกษตรกรหลายกลุ่มที่มีพื้นที่เพาะปลูกข้าว ซึ่งการปลูกข้าวเป็นการปลูกข้าวได้ตลอดทั้งปี ถ้าเกษตรกรปลูกในฤดูฝนจะเรียกว่าข้าวนาปี และถ้าปลูกนอกฤดูฝนจะเรียกว่าข้าวนาปรัง ซึ่งจะสามารถเก็บเกี่ยวได้ 2 ครั้งต่อปี โดยโรงงานแปรรูปจะวางแผนการเก็บเกี่ยวข้าวจากแต่ละเกษตรกรในปริมาณผลผลิตที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณวัตถุดิบเพียงพอต่อการแปรรูปในแต่ละเดือนและสร้างผลกำไรสูงสุดให้สอดคล้องกับเงื่อนไขข้างต้น ข้อมูลปริมาณผลผลิตของเกษตรกร 15-120 ราย ในเขตอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา เป็นข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ถูกใช้ทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม [21] ซึ่งข้อมูลปริมาณผลผลิตข้าวทั้งหมดที่สามารถเก็บเกี่ยวได้จากแต่ละเกษตรกรในแต่ละเดือน ( $x_{it}$ ) แสดงในตารางที่ 1 โดยปริมาณผลผลิตรวมสูงสุดที่โรงงานสามารถรับได้จากเกษตรกร 15 รายรวมทุกช่วงเวลา ( $s$ ) เท่ากับ 40,000 ตัน และปริมาณที่ต้องการขั้นต่ำต่อเดือน ( $I_t$ ) แสดงในตารางที่ 2

ผู้วิจัยได้แบ่งขนาดปัญหาออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ปัญหาขนาดเล็ก มีจำนวนเกษตรกร 20 ถึง 30 ราย ปัญหาขนาดกลาง มีจำนวนเกษตรกร 50 ถึง 60 ราย และปัญหาขนาดใหญ่ มีจำนวนเกษตรกร 80 ถึง 120 ราย ซึ่งมีค่าคงที่ ดังนี้ ราคาขายข้าวสาร ( $k$ ) 30,000 (บาท/ตัน) และราคารับซื้อข้าวเปลือก

( $b$ ) 15,000 (บาท/ตัน) รวมถึงอัตราการแปรรูปจากผลผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ( $q$ ) คือ 0.70

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ของเกษตรกร 15 ราย ในแต่ละช่วงเวลา

| $x_{it}$ | $t1$ | $t2$ | $t3$ | $t4$ | $t5$ | $t6$ | $t7$ | $t8$ | $t9$ | $t10$ | $t11$ | $t12$ |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 1        | 700  | 1000 | 1300 | 1300 | 900  | 800  | 700  | 700  | 1100 | 700   | 1300  | 1100  |
| 2        | 800  | 1300 | 700  | 1300 | 1100 | 1300 | 1300 | 1200 | 1500 | 1000  | 1300  | 1000  |
| 3        | 1100 | 800  | 700  | 700  | 1200 | 1200 | 1400 | 1400 | 700  | 800   | 1300  | 1000  |
| 4        | 1300 | 1400 | 1500 | 700  | 1000 | 800  | 700  | 1200 | 700  | 900   | 1500  | 900   |
| 5        | 1000 | 1100 | 1300 | 1400 | 1400 | 1100 | 1000 | 1200 | 1300 | 1400  | 1300  | 900   |
| 6        | 1400 | 1000 | 700  | 1100 | 900  | 1100 | 700  | 900  | 1300 | 1500  | 700   | 1000  |
| 7        | 1200 | 800  | 1000 | 1500 | 900  | 1000 | 1500 | 1000 | 1200 | 900   | 800   | 800   |
| 8        | 1200 | 1500 | 1100 | 700  | 1200 | 700  | 700  | 1100 | 800  | 1300  | 1100  | 700   |
| 9        | 1200 | 1300 | 800  | 1300 | 1400 | 1100 | 1200 | 1200 | 900  | 1000  | 1000  | 800   |
| 10       | 700  | 800  | 700  | 1000 | 800  | 800  | 1400 | 700  | 1100 | 1200  | 900   | 900   |
| 11       | 1500 | 900  | 800  | 900  | 1000 | 1400 | 1200 | 700  | 1500 | 1000  | 1300  | 1500  |
| 12       | 900  | 1200 | 1200 | 1100 | 1300 | 1000 | 700  | 1200 | 1400 | 900   | 1200  | 1400  |
| 13       | 1100 | 1000 | 1400 | 900  | 1500 | 1200 | 1500 | 1100 | 1400 | 900   | 1300  | 800   |
| 14       | 900  | 800  | 1300 | 1200 | 900  | 900  | 1500 | 1500 | 1400 | 1000  | 1100  | 1300  |
| 15       | 1100 | 1500 | 1400 | 1500 | 1100 | 700  | 1200 | 1200 | 1400 | 1400  | 1400  | 1500  |

ตารางที่ 2 ตัวอย่างปริมาณผลผลิตขั้นต่ำที่โรงงานต้องการแต่ละเดือนของเกษตรกร 15 ราย

| $t$   | $t1$ | $t2$ | $t3$ | $t4$ | $t5$ | $t6$ | $t7$ | $t8$ | $t9$ | $t10$ | $t11$ | $t12$ |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| $I_t$ | 2500 | 2000 | 2200 | 2100 | 2300 | 2400 | 2300 | 1800 | 2500 | 2300  | 1700  | 1800  |

## 4. วิธีการค้นหาการประสานเสียง (Harmony Search Algorithm)

### 4.1 วิธีการค้นหาการประสานเสียงสำหรับปัญหาทั่วไป

วิธีการค้นหาการประสานเสียงใช้แนวคิดนักดนตรีที่ค้นหาการประสานเสียงเครื่องดนตรีให้มีเสียงที่ไพเราะที่สุด ซึ่งประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยระดับของความไพเราะหรือค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) และการกำหนดตัวโน้ต คือ การกำหนดค่าตัวแปรตัดสินใจ (Decisions Variable) ที่ใช้หาคำตอบเพื่อให้ได้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการปรับปรุงและแก้ไขตัวโน้ตให้ได้เสียงใหม่ที่ดีกว่าเดิมนักดนตรีมี 3 กฎในการเล่นดนตรี คือ การพิจารณาจากความทรงจำ การปรับระดับเสียง และการสุ่มเลือกค่า

โดยทั่วไป วิธีการค้นหาการประสานเสียงมี 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) กำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

ทำการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ รวมทั้งขอบเขตบน ( $UB$ ) และขอบเขตล่าง ( $LB$ ) ของตัวแปรตัดสินใจ ( $x_i$ ) โดยที่

$LB \leq x_i \leq UB$  ซึ่ง  $i=1,2,\dots,n$  โดย  $n$  คือ จำนวนตัวแปรตัดสินใจ และกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการค้นหาการ

ประสานเสียง ได้แก่ จำนวนเวกเตอร์ในหน่วยความทรงจำ (Harmony Memory Size :  $HMS$ ), ค่าความน่าจะเป็นในการพิจารณาความจำ (Harmony Memory Considering Rate :  $HMCR$ ) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1, ค่าความน่าจะเป็นในการปรับระดับเสียง (Pitch Adjusting Rate :  $PAR$ ) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1, ระยะในการปรับระดับเสียง (Bandwidth :  $BW$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรตัวแปรตัดสินใจ[22] และจำนวนครั้งในการพัฒนาคำตอบ (Number of improvisation:  $NI$ )

2) สร้างหน่วยความจำของการประสานเสียง

โดยมีหน่วยความจำ Harmony Memory ( $HM$ ) เรียกว่า เมทริกซ์  $HM$  ใช้ในการเก็บเวกเตอร์คำตอบของตัวแปรตัดสินใจที่สุ่มขึ้นมา ดังนั้น  $X_j$  คือ เวกเตอร์ที่  $j$  และ  $x_{i,j}$  คือ ตัวแปรตัดสินใจที่  $i$  ในเวกเตอร์ที่  $j$  ( $X_j$ ) โดยที่  $i=1,2,\dots,n$  ซึ่ง  $n$  คือ จำนวนตัวแปรตัดสินใจ และ  $j=1,2,\dots,HMS$  ซึ่ง  $HMS$  คือ จำนวนเวกเตอร์ในเมทริกซ์  $HM$  แสดงเมทริกซ์  $HM$  ดังสมการที่ (7)

$$\begin{bmatrix} x_{1,j} & x_{2,j} & \dots & x_{n,j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1,HMS} & x_{2,HMS} & \dots & x_{n,HMS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_j \\ \dots \\ X_{HMS} \end{bmatrix} \in R^{HMS \times n} \quad (7)$$

3) ค้นหาคำตอบใหม่

การพัฒนาคำตอบใหม่มีกฎ 3 ข้อ ดังนี้

กฎข้อที่ 1 การพิจารณาความทรงจำ (Memory consideration) ค่าของตัวแปรตัดสินใจใหม่จะสุ่มเลือกจากค่าที่ถูกเก็บในเมทริกซ์  $HM$

กฎข้อที่ 2 การปรับระดับเสียง (Pitch adjustment) ค่าของตัวแปรตัดสินใจใหม่แต่ละตัวที่เป็นตามกฎข้อที่ 1 จะนำมา

พิจารณาปรับเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่เลือกไว้จาก เมทริกซ์  $HM$

กฎข้อที่ 3 การสุ่มเลือกค่า (random selection) ค่าของตัวแปรตัดสินใจใหม่จะสุ่มเลือกค่าหนึ่งจากช่วงขอบเขตที่เป็นไปได้ของตัวแปรตัดสินใจนั้น

โดยจะสร้างเวกเตอร์คำตอบใหม่จำนวน 1 เวกเตอร์ซึ่งเวกเตอร์มีขนาด  $k=1,2,\dots,n$  มีขั้นตอนดังนี้

เริ่มจาก  $k=1$

3.1) ทำการสุ่มตัวเลข 0 ถึง 1

3.2) ถ้าตัวเลขที่สุ่มในขั้นตอนที่ 3.1) มากกว่าค่า  $HMCR$  จะสุ่มค่าตัวแปรจากภายในขอบเขตบน ( $UB$ ) และขอบเขตล่าง ( $LB$ ) ของตัวแปรตัดสินใจนั้นตามกฎข้อที่ 3 เก็บเป็นค่าตัวแปร ( $x'_k$ ) ในเวกเตอร์คำตอบใหม่ ( $X'$ ) และไปทำขั้นตอนที่ 3.5) แต่ถ้าไม่มากกว่าจะสุ่มเลือกค่าตัวแปรตัดสินใจจากในเมทริกซ์  $HM$  ตามกฎข้อที่ 1 และไปทำขั้นตอนที่ 3.3)

3.3) ตรวจสอบว่าจะปรับระดับเสียงหรือไม่ตามกฎข้อที่ 2 โดยการสุ่มตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่า  $PAR$  ถ้ามากกว่าค่า  $PAR$  ใช้ค่าเดิมที่ได้จาก 3.2) เก็บเป็นค่าตัวแปรในเวกเตอร์คำตอบใหม่ ( $X'$ ) และไปทำขั้นตอนที่ 3.5) แต่ถ้าไม่มากกว่าให้ปรับระดับเสียงโดยทำขั้นตอนที่ 3.4) ต่อ

3.4) ปรับระดับเสียงโดยสุ่มตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่าที่สุ่มมากกว่าค่า 0.5 ให้นำค่าที่ได้จาก 3.2) บวกกับค่า  $BW \times Rand(0,1)$  แต่ถ้าไม่มากกว่าให้นำค่าที่ได้จาก 3.2) ลบด้วยค่า  $BW \times Rand(0,1)$  เก็บเป็นค่าตัวแปรในเวกเตอร์คำตอบใหม่ ( $X'$ ) และไปทำขั้นตอนที่ 3.5)

3.5) ทำการเพิ่มค่า  $k=k+1$  ตรวจสอบว่า  $k=n$  หรือไม่ ถ้าใช่หยุดทำการสร้างเวกเตอร์ จะได้เวกเตอร์คำตอบใหม่ คือ  $X'=(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$  มา 1 เวกเตอร์และไปทำขั้นตอนที่ 4) แต่ถ้าไม่ใช่ไปทำขั้นตอนที่ 3.6)

3.6) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3.1)-3.4)

4) ปรับปรุงหน่วยความจำของการประสานเสียง

ถ้าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของเวกเตอร์คำตอบใหม่นั้นดีกว่าเวกเตอร์ตัวที่แย่ที่สุดในเมทริกซ์  $HM$  แทนที่ตัวที่แย่สุดด้วยเวกเตอร์คำตอบใหม่ และจัดเรียงเวกเตอร์ในเมทริกซ์ใหม่ตามค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากดีที่สุดไปแย่ที่สุด แต่ถ้าค่า

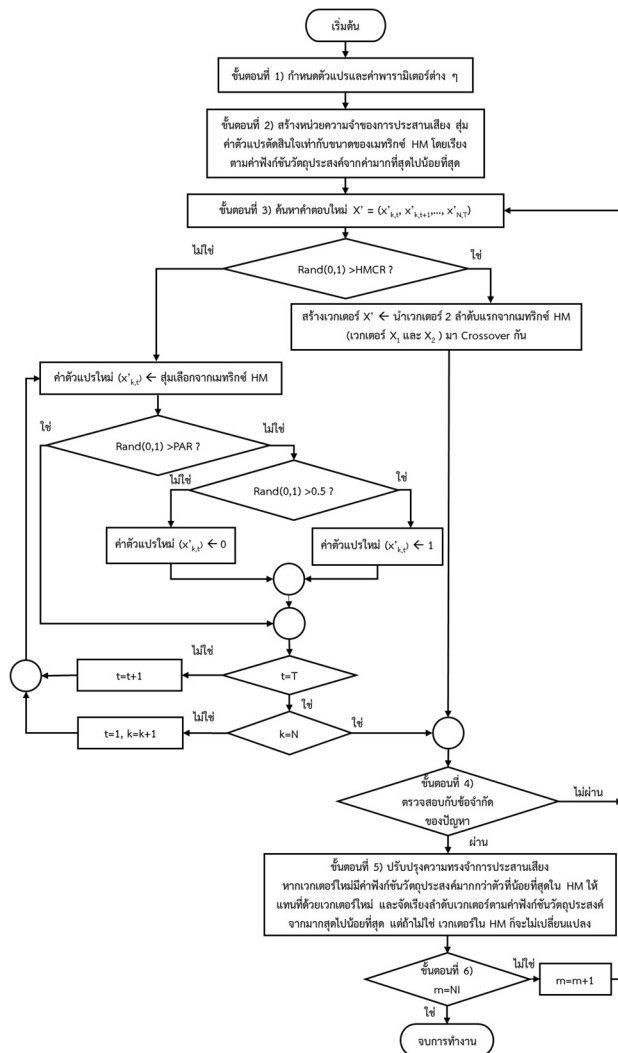
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของเวกเตอร์คำตอบใหม่ไม่ได้ดีกว่าเวกเตอร์ตัวที่แย่ที่สุดในเมทริกซ์  $HM$  ก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมทริกซ์  $HM$

#### 5) ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด

ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 และ 4 จนครบจำนวนครั้งในการพัฒนาคำตอบ ( $NI$ ) จึงหยุดค้นหาเวกเตอร์คำตอบใหม่ [23]

### 4.2 วิธีการค้นหาการประสานเสียงสำหรับปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยว

วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดของวิธีการค้นหาการประสานเสียงได้ถูกนำมาปรับปรุงเพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืช มีข้อจำกัดด้านผลผลิตของเกษตรกร และความต้องการของโรงงานในแต่ละช่วงเวลา โดยแสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการค้นหาการประสานเสียงที่นำเสนอในรูปแบบที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการค้นหาการประสานเสียงที่นำเสนอ

จากรูปที่ 1 มีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

#### 1) กำหนดตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

-การกำหนดตัวแปรตัดสินใจ ( $x_i$ ) สำหรับปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยว จะปรับให้เป็นตัวแปรที่มี 2 มิติและเป็นตัวแปรไบนารี คือ  $x_{i,t}$  ซึ่ง  $i=1,2,...,N$  โดย  $N$  คือ จำนวนเกษตรกรที่เข้าสัญญาทั้งหมด และ  $t=1,2,...,T$  โดย  $T$  คือ ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวทั้งหมด

-ขอบเขตบน ( $UB$ ) กำหนดให้มีค่าเป็น 1 คือ ทำการเก็บเกี่ยวจากเกษตรกรที่  $i$  ในเดือน  $t$  และขอบเขตล่าง ( $LB$ ) มีค่าเป็น 0 คือ ไม่ทำเก็บเกี่ยวจากเกษตรกร  $i$  ในเดือน  $t$  ดังนั้นตัวแปร  $x_{i,t}$  จะอยู่ในเวกเตอร์คำตอบที่  $j(X_j)$  ซึ่ง  $j=1,2,...,HMS$  โดย  $HMS$  คือ จำนวนเวกเตอร์คำตอบในหน่วยความทรงจำหรือเมทริกซ์  $HM$  กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3 เวกเตอร์

-กำหนดให้ระดับของความไพเราะหรือค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ซึ่งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืช คือ การหาผลกำไรสูงสุด

-พารามิเตอร์ซึ่งเป็นค่าคงที่ของวิธีการค้นหาการประสานเสียง ได้แก่ ค่าความน่าจะเป็นในการใช้หน่วยความจำ ( $HMCR$ ) มีค่า 0.95, ค่าความน่าจะเป็นในการปรับระดับเสียง ( $PAR$ ) มีค่า 0.6, ระยะในการปรับระดับเสียง ( $BW$ ) ไม่ถูกใช้ในวิธีการที่เสนอนี้เพราะเป็นเพียงการสุ่มค่าแบบไบนารี 0 หรือ 1 เท่านั้น และให้  $m=1,2,...,NI$  โดย  $NI$  คือจำนวนวนซ้ำเพื่อพัฒนาคำตอบ ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10,000 รอบ

#### 2) สร้างหน่วยความจำของการประสานเสียง

โดยการสุ่มตัวแปรตัดสินใจ ( $x_{i,t}$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงเก็บเกี่ยวในเดือนนั้น แต่ถ้าเป็นมีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงไม่เก็บเกี่ยวในเดือนนั้น โดยจะทำการสุ่มทั้ง 12 เดือนตามระยะเวลาการวางแผน ซึ่งมีโอกาสที่ตัวแปรแต่ละตัวจะเป็น 0 หรือ 1 เท่า ๆ กัน ยกตัวอย่างเช่น เวกเตอร์คำตอบที่ 1 ( $X_{j=1}$ ) สำหรับการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชที่พิจารณาเกษตรกรทั้งหมด 4 คน ( $N=4$ ) ในช่วงเวลาทั้งหมด 12 เดือน ( $T=12$ ) แสดงดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ตัวอย่างกรอบเวลาที่กำหนดและเวกเตอร์คำตอบสำหรับการจัดตารางเก็บเกี่ยวของเกษตรกร 4 คน

|                           | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | $x_{1,3}$ | $x_{1,4}$ | $x_{1,5}$ | $x_{1,6}$ | $x_{1,7}$ | $x_{1,8}$ | $x_{1,9}$ | $x_{1,10}$ | $x_{1,11}$ | $x_{1,12}$ |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| เวกเตอร์<br>( $X_{j=1}$ ) | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 1          | 0          | 0          |
|                           | $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | $x_{2,3}$ | $x_{2,4}$ | $x_{2,5}$ | $x_{2,6}$ | $x_{2,7}$ | $x_{2,8}$ | $x_{2,9}$ | $x_{2,10}$ | $x_{2,11}$ | $x_{2,12}$ |
|                           | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0          | 1          | 0          |
|                           | $x_{3,1}$ | $x_{3,2}$ | $x_{3,3}$ | $x_{3,4}$ | $x_{3,5}$ | $x_{3,6}$ | $x_{3,7}$ | $x_{3,8}$ | $x_{3,9}$ | $x_{3,10}$ | $x_{3,11}$ | $x_{3,12}$ |
|                           | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0          | 1          | 1          |
|                           | $x_{4,1}$ | $x_{4,2}$ | $x_{4,3}$ | $x_{4,4}$ | $x_{4,5}$ | $x_{4,6}$ | $x_{4,7}$ | $x_{4,8}$ | $x_{4,9}$ | $x_{4,10}$ | $x_{4,11}$ | $x_{4,12}$ |
|                           | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0          | 0          | 0          |

จากตารางที่ 3 เมื่อผู้มีการจัดตารางของแต่ละเกษตรกรที่พิจารณาจนครบได้ 1 เวกเตอร์ จะทำการดึงค่าปริมาณการเก็บเกี่ยวออกมา ยกตัวอย่างเช่นของเกษตรกรคนที่ 1 ในเวกเตอร์คำตอบที่ 1 ( $X_{j=1}$ ) ในเดือนที่ 9 จะถูกเก็บเกี่ยวในปริมาณ 1,100 ตัน และในเดือนที่ 10 จะถูกเก็บเกี่ยวในปริมาณ 700 ตัน แสดงดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ตัวอย่างดึงค่าปริมาณการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรคนที่ 1

|         | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | $x_{1,3}$ | $x_{1,4}$  | $x_{1,5}$  | $x_{1,6}$  |
|---------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| ค่าสุ่ม | 0         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| ปริมาณ  | 700       | 1000      | 1300      | 1300       | 900        | 800        |
|         | $x_{1,7}$ | $x_{1,8}$ | $x_{1,9}$ | $x_{1,10}$ | $x_{1,11}$ | $x_{1,12}$ |
| ค่าสุ่ม | 0         | 0         | 1         | 1          | 0          | 0          |
| ปริมาณ  | 700       | 700       | 1100      | 700        | 1300       | 1100       |

เมื่อดึงปริมาณการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรครบทุกคน จะนำไปตรวจสอบเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการเก็บเกี่ยว หากผ่านทุกเงื่อนไขก็จะเก็บไว้เป็นเวกเตอร์ที่  $j(X_j)$  ในเมทริกซ์  $HM$  เมื่อสร้างเวกเตอร์ครบตามจำนวน  $HMS$  ที่กำหนด จะเรียงลำดับเวกเตอร์ในเมทริกซ์ด้วยค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ดังนั้นเวกเตอร์ที่ 1 ( $X_{j=1}$ ) จะเป็นตัวที่มีค่ามากที่สุด และเวกเตอร์ที่ 3 ( $X_{j=3}$ ) จะมีค่าน้อยที่สุด แสดงดังตารางที่ 5

### 3) ค้นหาคำตอบใหม่

ขั้นตอนการค้นหาคำตอบใหม่ของปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวได้มีการปรับให้เหมาะสมในการแก้ปัญหา เนื่องจากปัญหาการจัดตารางเก็บเกี่ยวมีตัวแปรตัดสินใจเป็นแบบไบนารี ทำให้ตามกฎการพัฒนาคำตอบใหม่ของวิธีการค้นหาการประสานเสียงทั้ง 3 กฎหากนำมาใช้โดยตรงจะเหมือนเป็นการ

สุ่มค่าใหม่ในขอบเขตที่เป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งจะใช้เวลาในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นเพื่อให้เกิดการค้นหาคำตอบที่ถี่มากขึ้น จึงปรับกฎในการพัฒนาคำตอบ ดังนี้

**ตารางที่ 5** ตัวอย่างเมทริกซ์ความทรงจำ  $HM$  สำหรับการจัดตารางเก็บเกี่ยวของเกษตรกรทั้ง 4 คน

|                       | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | $x_{1,3}$ | $x_{1,4}$ | $x_{1,5}$ | $x_{1,6}$ | $x_{1,7}$ | $x_{1,8}$ | $x_{1,9}$ | $x_{1,10}$ | $x_{1,11}$ | $x_{1,12}$ |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| เวกเตอร์<br>$X_{j=1}$ | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 1          | 0          | 0          |
|                       | $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | $x_{2,3}$ | $x_{2,4}$ | $x_{2,5}$ | $x_{2,6}$ | $x_{2,7}$ | $x_{2,8}$ | $x_{2,9}$ | $x_{2,10}$ | $x_{2,11}$ | $x_{2,12}$ |
|                       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0          | 1          | 0          |
|                       | $x_{3,1}$ | $x_{3,2}$ | $x_{3,3}$ | $x_{3,4}$ | $x_{3,5}$ | $x_{3,6}$ | $x_{3,7}$ | $x_{3,8}$ | $x_{3,9}$ | $x_{3,10}$ | $x_{3,11}$ | $x_{3,12}$ |
|                       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0          | 1          | 1          |
|                       | $x_{4,1}$ | $x_{4,2}$ | $x_{4,3}$ | $x_{4,4}$ | $x_{4,5}$ | $x_{4,6}$ | $x_{4,7}$ | $x_{4,8}$ | $x_{4,9}$ | $x_{4,10}$ | $x_{4,11}$ | $x_{4,12}$ |
|                       | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| เวกเตอร์<br>$X_{j=2}$ | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | $x_{1,3}$ | $x_{1,4}$ | $x_{1,5}$ | $x_{1,6}$ | $x_{1,7}$ | $x_{1,8}$ | $x_{1,9}$ | $x_{1,10}$ | $x_{1,11}$ | $x_{1,12}$ |
|                       | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
|                       | $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | $x_{2,3}$ | $x_{2,4}$ | $x_{2,5}$ | $x_{2,6}$ | $x_{2,7}$ | $x_{2,8}$ | $x_{2,9}$ | $x_{2,10}$ | $x_{2,11}$ | $x_{2,12}$ |
|                       | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
|                       | $x_{3,1}$ | $x_{3,2}$ | $x_{3,3}$ | $x_{3,4}$ | $x_{3,5}$ | $x_{3,6}$ | $x_{3,7}$ | $x_{3,8}$ | $x_{3,9}$ | $x_{3,10}$ | $x_{3,11}$ | $x_{3,12}$ |
|                       | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| เวกเตอร์<br>$X_{j=3}$ | $x_{4,1}$ | $x_{4,2}$ | $x_{4,3}$ | $x_{4,4}$ | $x_{4,5}$ | $x_{4,6}$ | $x_{4,7}$ | $x_{4,8}$ | $x_{4,9}$ | $x_{4,10}$ | $x_{4,11}$ | $x_{4,12}$ |
|                       | 1         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
|                       | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | $x_{1,3}$ | $x_{1,4}$ | $x_{1,5}$ | $x_{1,6}$ | $x_{1,7}$ | $x_{1,8}$ | $x_{1,9}$ | $x_{1,10}$ | $x_{1,11}$ | $x_{1,12}$ |
|                       | 1         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
|                       | $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | $x_{2,3}$ | $x_{2,4}$ | $x_{2,5}$ | $x_{2,6}$ | $x_{2,7}$ | $x_{2,8}$ | $x_{2,9}$ | $x_{2,10}$ | $x_{2,11}$ | $x_{2,12}$ |
|                       | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| เวกเตอร์<br>$X_{j=3}$ | $x_{3,1}$ | $x_{3,2}$ | $x_{3,3}$ | $x_{3,4}$ | $x_{3,5}$ | $x_{3,6}$ | $x_{3,7}$ | $x_{3,8}$ | $x_{3,9}$ | $x_{3,10}$ | $x_{3,11}$ | $x_{3,12}$ |
|                       | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0          | 1          | 0          |
|                       | $x_{4,1}$ | $x_{4,2}$ | $x_{4,3}$ | $x_{4,4}$ | $x_{4,5}$ | $x_{4,6}$ | $x_{4,7}$ | $x_{4,8}$ | $x_{4,9}$ | $x_{4,10}$ | $x_{4,11}$ | $x_{4,12}$ |
|                       | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0          | 0          | 0          |

กฎข้อที่ 2 ถ้ามีการปรับระดับเสียงให้สุ่มตัวเลข 0 ถึง 1 ถ้าค่าที่สุ่มมากกว่าค่า 0.5 ให้เปลี่ยนค่าที่เลือกไว้จากเมทริกซ์  $HM$  เป็น 1 แต่ถ้าไม่มากกว่าให้เปลี่ยนค่าที่เลือกไว้จากเมทริกซ์  $HM$  เป็น 0 และเก็บเป็นค่าตัวแปรในเวกเตอร์คำตอบใหม่

กฎข้อที่ 3 ให้นำเวกเตอร์ตัวที่ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด 2 ลำดับแรกมา Crossover กันในการสร้างเวกเตอร์คำตอบใหม่

โดยจะทำการสร้างเวกเตอร์คำตอบใหม่จำนวน 1 เวกเตอร์ ซึ่งเวกเตอร์มีขนาด  $k=1,2,...,N$  และ  $t=1,2,...,T$  มีขั้นตอนดังนี้

3.1) ทำการสุ่มตัวเลข 0 ถึง 1

3.2) ถ้าตัวเลขที่สุ่มในขั้น 3.1) มากกว่าค่า  $HMCR$  จะทำขั้นตอนที่ 3.2.1) แต่ถ้าไม่มากกว่าจะทำขั้นตอนที่ 3.2.2)

3.2.1) นำเวกเตอร์ตัวที่ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด 2 ลำดับแรกมา Crossover กันตามกฎข้อที่ 3 โดยจะสุ่มแถวจุดตัดของเวกเตอร์ขึ้นมา ยกตัวอย่างเช่น สุ่มจุดตัดได้แถวที่ 2 (แถวที่ 2) จะนำเวกเตอร์ที่ 1 ( $X_{j=1}$ ) ตั้งแต่แถวแรก ( $i=1$ ) จนถึงแถวที่ 2 ( $i=2$ ) มารวมเข้ากับเวกเตอร์ที่ 2 ( $X_{j=2}$ ) ตั้งแต่แถวที่ 3 ( $i=3$ ) จนถึงแถวสุดท้าย ( $i=4$ ) ทำให้ได้เวกเตอร์คำตอบใหม่ขึ้น ( $X'$ ) คือ  $X' = (x'_{k,t}, x'_{k,t+1}, \dots, x'_{N,T})$  มา 1 เวกเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2 และไปทำขั้นตอนที่ 4)

|           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| เวกเตอร์  | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | $x_{1,3}$ | $x_{1,4}$ | $x_{1,5}$ | $x_{1,6}$ | $x_{1,7}$ | $x_{1,8}$ | $x_{1,9}$ | $x_{1,10}$ | $x_{1,11}$ | $x_{1,12}$ |
|           | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 1          | 0          | 0          |
|           | $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | $x_{2,3}$ | $x_{2,4}$ | $x_{2,5}$ | $x_{2,6}$ | $x_{2,7}$ | $x_{2,8}$ | $x_{2,9}$ | $x_{2,10}$ | $x_{2,11}$ | $x_{2,12}$ |
|           | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0          | 1          | 0          |
| $X_{j=1}$ | $x_{3,1}$ | $x_{3,2}$ | $x_{3,3}$ | $x_{3,4}$ | $x_{3,5}$ | $x_{3,6}$ | $x_{3,7}$ | $x_{3,8}$ | $x_{3,9}$ | $x_{3,10}$ | $x_{3,11}$ | $x_{3,12}$ |
|           | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0          | 1          | 1          |
|           | $x_{4,1}$ | $x_{4,2}$ | $x_{4,3}$ | $x_{4,4}$ | $x_{4,5}$ | $x_{4,6}$ | $x_{4,7}$ | $x_{4,8}$ | $x_{4,9}$ | $x_{4,10}$ | $x_{4,11}$ | $x_{4,12}$ |
|           | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| เวกเตอร์  | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | $x_{1,3}$ | $x_{1,4}$ | $x_{1,5}$ | $x_{1,6}$ | $x_{1,7}$ | $x_{1,8}$ | $x_{1,9}$ | $x_{1,10}$ | $x_{1,11}$ | $x_{1,12}$ |
|           | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
|           | $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | $x_{2,3}$ | $x_{2,4}$ | $x_{2,5}$ | $x_{2,6}$ | $x_{2,7}$ | $x_{2,8}$ | $x_{2,9}$ | $x_{2,10}$ | $x_{2,11}$ | $x_{2,12}$ |
|           | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| $X_{j=2}$ | $x_{3,1}$ | $x_{3,2}$ | $x_{3,3}$ | $x_{3,4}$ | $x_{3,5}$ | $x_{3,6}$ | $x_{3,7}$ | $x_{3,8}$ | $x_{3,9}$ | $x_{3,10}$ | $x_{3,11}$ | $x_{3,12}$ |
|           | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0          | 0          | 0          |
|           | $x_{4,1}$ | $x_{4,2}$ | $x_{4,3}$ | $x_{4,4}$ | $x_{4,5}$ | $x_{4,6}$ | $x_{4,7}$ | $x_{4,8}$ | $x_{4,9}$ | $x_{4,10}$ | $x_{4,11}$ | $x_{4,12}$ |
|           | 1         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |



|                       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| เวกเตอร์ใหม่ ( $X'$ ) | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | $x_{1,3}$ | $x_{1,4}$ | $x_{1,5}$ | $x_{1,6}$ | $x_{1,7}$ | $x_{1,8}$ | $x_{1,9}$ | $x_{1,10}$ | $x_{1,11}$ | $x_{1,12}$ |
|                       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 1          | 0          | 0          |
|                       | $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | $x_{2,3}$ | $x_{2,4}$ | $x_{2,5}$ | $x_{2,6}$ | $x_{2,7}$ | $x_{2,8}$ | $x_{2,9}$ | $x_{2,10}$ | $x_{2,11}$ | $x_{2,12}$ |
|                       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0          | 1          | 0          |
| $X_{j=2}$             | $x_{3,1}$ | $x_{3,2}$ | $x_{3,3}$ | $x_{3,4}$ | $x_{3,5}$ | $x_{3,6}$ | $x_{3,7}$ | $x_{3,8}$ | $x_{3,9}$ | $x_{3,10}$ | $x_{3,11}$ | $x_{3,12}$ |
|                       | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0          | 0          | 0          |
|                       | $x_{4,1}$ | $x_{4,2}$ | $x_{4,3}$ | $x_{4,4}$ | $x_{4,5}$ | $x_{4,6}$ | $x_{4,7}$ | $x_{4,8}$ | $x_{4,9}$ | $x_{4,10}$ | $x_{4,11}$ | $x_{4,12}$ |
|                       | 1         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |

รูปที่ 2 ตัวอย่างการจัดตารางเก็บเกี่ยวของเกษตรกรแต่ละคนในเวกเตอร์ใหม่ ( $X'$ ) จากการ Crossover ตามกฎข้อที่ 3

3.2.2) สุ่มเลือกค่าตัวแปรตัดสินใจใหม่ ( $x'_{k,t}$ ) ตามกฎข้อที่ 1 โดยทำการสุ่มเลือกจากในเมทริกซ์  $HM$  (ตารางที่ 5) และไปทำขั้นตอนที่ 3.3) ยกตัวอย่างเช่น ได้ค่าของตัวแปร  $x_{1,1}$  จากเวกเตอร์ ( $X_{j=2}$ ) เท่ากับ 0 จะเก็บไว้เป็นค่าตัวแปรตัดสินใจใหม่ตัวแรก ( $x'_{1,1}$ ) ในเวกเตอร์คำตอบใหม่ ( $X'$ )

3.3) ตรวจสอบว่าจะปรับระดับเสียงหรือไม่ตามกฎข้อที่ 2 โดยการสุ่มตัวเลข 0 ถึง 1 ขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่า  $PAR$  ถ้ามากกว่าค่า  $PAR$  ใช้ค่าเดิมที่ได้จาก 3.2.2) เป็นค่าตัวแปรตัดสินใจใหม่ ( $x'_{k,t}$ ) ในเวกเตอร์คำตอบใหม่ ( $X'$ ) และไปทำขั้นตอนที่ 3.5) แต่ถ้าไม่มากกว่าให้ปรับระดับเสียงโดยไปทำขั้นตอนที่ 3.4) ต่อ

3.4) ปรับระดับเสียงโดยสุ่มตัวเลข 0 ถึง 1 ถ้าค่าที่สุ่มมากกว่าค่า 0.5 ให้เปลี่ยนค่าที่เลือกไว้จากเมทริกซ์  $HM$  เป็น 1 แต่ถ้าไม่มากกว่าให้เปลี่ยนค่าที่เลือกไว้จากเมทริกซ์  $HM$  เป็น 0 และเก็บเป็นค่าตัวแปรตัดสินใจใหม่ ( $x'_{k,t}$ ) ในเวกเตอร์คำตอบใหม่ ( $X'$ ) และไปทำขั้นตอนที่ 3.5)

3.5) ตรวจสอบว่า  $t=T$  หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ทำการเพิ่มค่า  $t=t+1$  และทำขั้นตอนที่ 3.2.2)-3.5) แต่ถ้าใช่ไปทำในขั้นตอนที่ 3.6) ยกตัวอย่างเช่น การจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชที่พิจารณาเกษตรกรทั้งหมด 4 คน ( $N=4$ ) ในช่วงเวลาทั้งหมด 12 เดือน ( $T=12$ ) จะมีลำดับการสุ่มตัวแปรแสดงดังรูปที่ 3

|     |      |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |
|-----|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| (X) |      | $t1$      | $t2$      | $t3$      | $t4$      | $t5$      | $t6$      | $t7$      | $t8$      | $t9$      | $t10$      | $t11$      | $t12$      |
|     | $k1$ | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | $x_{1,3}$ | $x_{1,4}$ | $x_{1,5}$ | $x_{1,6}$ | $x_{1,7}$ | $x_{1,8}$ | $x_{1,9}$ | $x_{1,10}$ | $x_{1,11}$ | $x_{1,12}$ |
|     |      | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 1          | 0          | 0          |
|     | $k2$ | $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | $x_{2,3}$ | $x_{2,4}$ | $x_{2,5}$ | $x_{2,6}$ | $x_{2,7}$ | $x_{2,8}$ | $x_{2,9}$ | $x_{2,10}$ | $x_{2,11}$ | $x_{2,12}$ |
|     |      | 0         | 0         | ...       | ...       | ...       | ...       | ...       | ...       | ...       | ...        | ...        | ...        |
|     | $k4$ | $x_{4,1}$ | $x_{4,2}$ | $x_{4,3}$ | $x_{4,4}$ | $x_{4,5}$ | $x_{4,6}$ | $x_{4,7}$ | $x_{4,8}$ | $x_{4,9}$ | $x_{4,10}$ | $x_{4,11}$ | $x_{4,12}$ |
|     |      | ...       | ...       | ...       | ...       | ...       | ...       | ...       | ...       | ...       | ...        | ...        | ...        |

รูปที่ 3 ลำดับในการสุ่มตัวแปรตัดสินใจที่พิจารณาเกษตรกรทั้งหมด 4 คน ( $N=4$ ) ในช่วงเวลาทั้งหมด 12 เดือน ( $T=12$ )

3.6) ตรวจสอบว่า  $k=N$  หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ทำการเพิ่มค่า  $k=k+1$  และกำหนดให้  $t=1$  และไปทำขั้นตอนที่ 3.2.2)-3.6) ลำดับการสุ่มตัวแปรแสดงดังรูปที่ 3 แต่ถ้าใช่ นำเวกเตอร์

คำตอบใหม่ ( $X'$ ) ไปทำต่อขั้นตอนที่ 4) ยกตัวอย่างเช่น การจัดการการเก็บเกี่ยวพืชที่พิจารณาเกษตรกรทั้งหมด 4 คน ( $N = 4$ ) ในช่วงเวลาทั้งหมด 12 เดือน ( $T = 12$ ) จะได้เวกเตอร์ใหม่ ( $X'$ ) แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการจัดการการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรแต่ละคนในเวกเตอร์ใหม่  $X'$  จากการสุ่มเลือกจากในเมทริกซ์  $HM$  ตามกฎข้อที่ 1 และข้อที่ 2

|   | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | $x_{1,3}$ | $x_{1,4}$ | $x_{1,5}$ | $x_{1,6}$ | $x_{1,7}$ | $x_{1,8}$ | $x_{1,9}$ | $x_{1,10}$ | $x_{1,11}$ | $x_{1,12}$ |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 0 | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 1          | 0          | 0          |
|   | $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | $x_{2,3}$ | $x_{2,4}$ | $x_{2,5}$ | $x_{2,6}$ | $x_{2,7}$ | $x_{2,8}$ | $x_{2,9}$ | $x_{2,10}$ | $x_{2,11}$ | $x_{2,12}$ |
| 0 | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1          | 0          | 0          |
|   | $x_{3,1}$ | $x_{3,2}$ | $x_{3,3}$ | $x_{3,4}$ | $x_{3,5}$ | $x_{3,6}$ | $x_{3,7}$ | $x_{3,8}$ | $x_{3,9}$ | $x_{3,10}$ | $x_{3,11}$ | $x_{3,12}$ |
| 0 | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0          | 1          | 0          |
|   | $x_{4,1}$ | $x_{4,2}$ | $x_{4,3}$ | $x_{4,4}$ | $x_{4,5}$ | $x_{4,6}$ | $x_{4,7}$ | $x_{4,8}$ | $x_{4,9}$ | $x_{4,10}$ | $x_{4,11}$ | $x_{4,12}$ |
| 0 | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0          | 0          | 0          |

4) หลังจากนั้นนำเวกเตอร์คำตอบที่ได้ไปหาค่าปริมาณของแต่ละเกษตรกรออกมา เพื่อคำนวณผลรวมปริมาณผลผลิตขั้นต่ำที่โรงงานต้องการแต่ละเดือน และปริมาณผลผลิตรวมสูงสุดที่โรงงานต้องการให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ถ้าเวกเตอร์ที่สุ่มใหม่ยังไม่ผ่านเกณฑ์ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3) แต่ถ้าผ่านเกณฑ์ จะนำเวกเตอร์คำตอบใหม่มาประเมินผลกำไรตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์

5) ปรับปรุงหน่วยความจำของการประสานเสียง

ถ้าเวกเตอร์คำตอบใหม่ผ่านข้อจำกัดและมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ กำไรสูงกว่าเวกเตอร์ตัวที่มีกำไรน้อยที่สุดที่ถูกเก็บไว้ในเมทริกซ์  $HM$  เวกเตอร์คำตอบใหม่จะแทนที่ตัวที่มีกำรน้อยที่สุดในเมทริกซ์  $HM$  และจะจัดเรียงเวกเตอร์ในเมทริกซ์ใหม่ ตามค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากมากที่สุ่ไปน้อยที่สุด

6) ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด

ตรวจสอบว่า  $m = NI$  หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ทำการเพิ่มค่า  $m = m + 1$  และทำขั้นตอนที่ 3) และ 4) แต่ถ้าใช่ หยุดการค้นหาคำตอบใหม่ และจบการทำงาน

## 5. ผลการทดสอบ

ในส่วนของการวิจัยผู้วิจัยได้ใช้คอมพิวเตอร์ในการวิจัยเป็นคอมพิวเตอร์รุ่น Intel Core i5-7200U CPU@2.50 GHz

Ram 2.00 GB โดยการทดสอบเพื่อแก้ปัญหาการจัดการการเก็บเกี่ยวใช้การเขียนโปรแกรมภาษาไพทอน (Python) บน Jupyter Notebook ในการทดสอบอัลกอริทึมวิธีค้นหาการประสานเสียง

ผลคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาการประสานเสียงนั้นจะถูกเปรียบเทียบกับผลคำตอบที่แก้ปัญหาผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS เมื่อกำหนดให้จำนวนเวกเตอร์ในหน่วยความทรงจำ ( $HMS$ )

เท่ากับ 10 ค่าความน่าจะเป็นในการใช้หน่วยความจำ ( $HMC$ ) เท่ากับ 0.5 และค่าความน่าจะเป็นในการปรับระดับเสียง ( $PAR$ ) เท่ากับ 0.6 จำนวนในการประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือพัฒนาคำตอบ ( $NI$ ) เท่ากับ 10,000 รอบ

ตารางที่ 7 การจัดการการเก็บเกี่ยวจากเกษตรกร 15 กลุ่ม ด้วยวิธีค้นหาการประสานเสียง

| HMS                                | t1   | t2   | t3   | t4   | t5   | t6   | t7   | t8   | t9   | t10  | t11  | t12  |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1                                  | 0    | 1000 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1100 | 0    | 0    | 0    |
| 2                                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1300 | 0    | 0    | 0    | 0    | 1300 | 0    |
| 3                                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1400 | 1400 | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 4                                  | 1300 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1200 | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 5                                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 1400 | 0    | 0    | 0    | 0    | 1400 | 0    | 0    |
| 6                                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1100 | 0    | 0    | 0    | 1500 | 0    | 0    |
| 7                                  | 0    | 0    | 0    | 1500 | 0    | 0    | 1500 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 8                                  | 1200 | 0    | 0    | 0    | 1200 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 9                                  | 0    | 1300 | 0    | 0    | 0    | 1100 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 10                                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1400 | 0    | 0    | 1200 | 0    | 0    |
| 11                                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1300 | 1500 |
| 12                                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1400 | 0    | 0    | 1400 |
| 13                                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 1500 | 0    | 0    | 0    | 1400 | 0    | 0    | 0    |
| 14                                 | 0    | 0    | 1300 | 0    | 0    | 0    | 1500 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 15                                 | 0    | 0    | 1400 | 1500 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| ปริมาณผลผลิตรวม เท่ากับ 40,000 ตัน |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| กำไรโดยรวม เท่ากับ 240,000,000 บาท |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

ผลการทดสอบอัลกอริทึมในการจัดการการเก็บเกี่ยวผลผลิตจำนวน 15 กลุ่มเกษตรกรด้วยวิธีค้นหาการประสานเสียงดังตารางที่ 7 พบว่าผลกำไรมีการลู่เข้าค่าที่เหมาะสม โดยค่าปริมาณที่โรงงานสามารถรับซื้อผลผลิตพืชต่อปีที่เก็บค่าไว้ในตัวแปร  $HMS$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบการทำงานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ได้ผลการจัดการที่ดีที่สุดตามเงื่อนไขต่างๆที่กำหนด

จากตารางข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า โรงงานจะได้รับผลผลิตจากพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด 15 กลุ่มในทุก ๆ เดือนตามเกณฑ์ปริมาณที่ได้กำหนดไว้ โดยโรงงานจะได้รับผลผลิตสูงสุดโดยรวมต่อปี 40,000 ตัน สำหรับต้นทุนรวม ประกอบด้วย ต้นทุนการรับซื้อ 600,000,000 บาท และมีรายได้จากการขายผลิตภัณฑ์ 840,000,000 ส่งผลให้ผลกำไรรวมต่อปีอยู่ที่ 240,000,000 บาท และเมื่อทำการทดสอบแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GAMS กับตัวอย่างดังกล่าว ผลการจัดตารางได้แผนและผลกำไรเท่ากัน

การทดสอบปัญหาขนาดต่างๆสำหรับการจัดตารางการเก็บเกี่ยวจะใช้ค่าพารามิเตอร์ *HMS* *HMCR* และ *PAR* เดียวกันกับตัวอย่างข้างต้น โดยกำหนดให้จำนวนในการประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือพัฒนาค่าตอบ (*NI*) ของปัญหาขนาดเล็ก เท่ากับ 20,000 รอบ ปัญหาขนาดกลาง 30,000 รอบ และปัญหาขนาดใหญ่ 40,000 รอบ ในส่วนของพารามิเตอร์อื่นจะแตกต่างกันตามขนาดของปัญหา ผลการทดสอบปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวกับปัญหาขนาดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 8

เมื่อเทียบผลลัพธ์จากวิธีค้นหาการประสานเสียงและผลลัพธ์จากโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS พบว่า อัลกอริทึมที่เสนอวิธีค้นหาการประสานเสียงสามารถหาคำตอบผลกำไรต่อปีเท่ากับการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในทุก ๆ ขนาดปัญหา แสดงถึงการที่อัลกอริทึมที่เสนอมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ แต่จากตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ T-test ซึ่งพบค่า  $p\text{-value} < 0.05$  หมายถึง ความเร็วในการประมวลผลที่ค้นหาด้วยวิธีค้นหาการประสานเสียงมีค่าแตกต่างกับความเร็วในการประมวลผลจากโปรแกรม GAMS อย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าโปรแกรม GAMS แต่ก็ยังสามารถหาคำตอบได้โดยใช้เวลาโดยเฉลี่ย 0.791 วินาที หากในกรณีที่ปัญหามีความซับซ้อนทางด้านข้อจำกัดเพิ่มมากขึ้นและตัวแปรตัดสินใจมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอาจทำให้โปรแกรม GAMS อาจไม่สามารถแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบได้ เพราะมีขีดจำกัดเกี่ยวกับจำนวนตัวแปร แต่วิธีค้นหาการประสานเสียงจะยังสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้ซึ่งจะได้ดำเนินการศึกษาต่อไปในการทำงานวิจัยในอนาคต

ตารางที่ 8 ตารางผลการทดสอบด้วยวิธีค้นหาการประสานเสียงเปรียบเทียบกับโปรแกรม GAMS

| ปัญหา | จำนวนเกษตรกร (ราย) | HMS                               | GAMS                              |
|-------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|       |                    | ปริมาณรับซื้อ<br>ผลผลิตต่อปี(ตัน) | ปริมาณรับซื้อ<br>ผลผลิตต่อปี(ตัน) |
| เล็ก  | 20                 | 50,000                            | 50,000                            |
|       | 30                 | 70,000                            | 70,000                            |
| กลาง  | 50                 | 120,000                           | 120,000                           |
|       | 60                 | 150,000                           | 150,000                           |
| ใหญ่  | 80                 | 200,000                           | 200,000                           |
|       | 100                | 250,000                           | 250,000                           |
|       | 120                | 300,000                           | 300,000                           |
| ปัญหา | จำนวนเกษตรกร (ราย) | กำไรต่อปี(ล้านบาท)                | กำไรต่อปี(ล้านบาท)                |
| เล็ก  | 20                 | 300                               | 300                               |
|       | 30                 | 420                               | 420                               |
| กลาง  | 50                 | 720                               | 720                               |
|       | 60                 | 900                               | 900                               |
| ใหญ่  | 80                 | 1,200                             | 1,200                             |
|       | 100                | 1,500                             | 1,500                             |
|       | 120                | 1,800                             | 1,800                             |
| ปัญหา | จำนวนเกษตรกร (ราย) | เวลาประมวลผล (นาท)                | เวลาประมวลผล (นาท)                |
| เล็ก  | 20                 | 0.0866                            | 0.0353                            |
|       | 30                 | 0.1344                            | 0.0313                            |
| กลาง  | 50                 | 1.0792                            | 0.0313                            |
|       | 60                 | 1.3234                            | 0.0503                            |
| ใหญ่  | 80                 | 1.1744                            | 0.0329                            |
|       | 100                | 0.4906                            | 0.0407                            |
|       | 120                | 1.2497                            | 0.0374                            |

ตารางที่ 9 ตารางวิเคราะห์ T-test ความเร็วในการประมวลผลด้วยวิธีค้นหาการประสานเสียงเปรียบเทียบกับโปรแกรม GAMS

|                | วิธี HMS | วิธี GAMS |
|----------------|----------|-----------|
| จำนวนกรณีศึกษา | 7        | 7         |
| Mean (วินาที)  | 0.791    | 0.037     |
| StDev          | 0.538    | 0.007     |
| SE Mean        | 0.204    | 0.003     |
| T-value        | 3.72     |           |
| d.f.           | 6        |           |
| p-Value        | 0.0098   |           |

## 6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชด้วยวิธีค้นหาการประสานเสียง (HMS) เพื่อสร้างผลกำไรตอบแทนสูงสุดแก่โรงงานแปรรูป การทดสอบอัลกอริทึมขนาดต่างๆ ใช้ข้อมูลข้าวจากพื้นที่เกษตรกรรมต่างๆ ซึ่งโรงงานแปรรูปจะทำการตัดสินใจเลือกเก็บเกี่ยวในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตเพียงพอต่อการการแปรรูปในแต่ละเดือน วิธีการปรับปรุงคำตอบถูกนำมาใช้เพื่อพัฒนาคำตอบให้ดีขึ้น อัลกอริทึมที่เสนอวิธีการค้นหาการประสานเสียงนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการหาคำตอบ โดยสามารถให้ผลกำไรเทียบเท่าการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GAMS ในทุกๆ ขนาดปัญหา แม้จะยังประมวลผลช้ากว่าโปรแกรม GAMS เพียงเล็กน้อย แต่หากมีขนาดของปัญหาที่ใหญ่กว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบ โปรแกรม GAMS จะมีขีดจำกัดของจำนวนตัวแปรตัดสินใจที่น้อยกว่าวิธีการค้นหาการประสานเสียง ดังนั้น อัลกอริทึมที่ประยุกต์วิธีการค้นหาการประสานเสียงจึงสามารถช่วยโรงงานแปรรูปแก้ไขปัญหาการจัดตารางเก็บเกี่ยวพืชเพื่อสร้างผลกำไรตอบแทนสูงสุดได้

สำหรับงานวิจัยในอนาคตผู้วิจัยคาดหวังว่าจะสามารถนำวิธีค้นหาการประสานเสียงที่พัฒนานี้ไปต่อยอดในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนหรือมีข้อจำกัดด้านอื่น ๆ ซึ่งอาจทำให้โปรแกรมสำเร็จรูปเช่น GAMS ค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดไม่ได้แต่อัลกอริทึมที่ทำการต่อยอดจะยังสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้ และพัฒนาให้อัลกอริทึมนี้สามารถแก้ปัญหาได้เร็วขึ้น รวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้กับการจัดตารางการเก็บเกี่ยวสำหรับพืชชนิดอื่น ๆ ที่มีลักษณะการเพาะปลูกคล้ายข้าว เช่น มันสำปะหลัง อ้อย หรือพืชไร่อื่นๆ โดยปรับพารามิเตอร์และข้อจำกัดให้เหมาะสมกับพืชชนิดนั้นได้ อีกทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการแก้ปัญหาที่ออกแบบในบทความวิจัยนี้จะนำไปต่อยอดกับการจัดตารางการเก็บเกี่ยวสำหรับโรงงานที่ทำเกษตรพันธสัญญากับเกษตรกร

### เอกสารอ้างอิง

- [1] นพพล ภู่อรัมย์, ณัฐพงศ์ บุญเหลือ, สมาน งามสนิท. ปัญหาแทรกแซงตลาดมันสำปะหลัง. *วารสารดุสิตบัณฑิตทางสังคมศาสตร์*. 2567; 14(1): 38-47.
- [2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการนำเข้าและส่งออก. เข้าถึงได้จาก: <https://production.doae.go.th/service/site/login> [เข้าถึงเมื่อ 23 พฤษภาคม 2567].
- [3] Kusumastuti RD, Van Donk DP, Teunter R. Crop-related harvesting and processing planning: a review. *International Journal of Production Economics*. 2016; 174: 76-92.
- [4] Puchinger J, Raidl GR. Combining metaheuristics and exact algorithms in combinatorial optimization: A survey and classification. *International Work-Conference on the Interplay between Natural and Artificial Computation*. 2005; 41-53.
- [5] Li S, Zhang M, Wang N, Ca R, Zhang Z, Ji Y, et al. Intelligent scheduling method for multi-machine cooperative operation based on NSGA-III and improved ant colony algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023; 204: 107532.
- [6] ธนากร เกตุแก้วเศกุล, สุภาภรณ์ สุวรรณรังสี. การประยุกต์ใช้วิธีการอาณานิคมสำหรับการจัดเส้นทางการท่องเที่ยวของจังหวัดนนทบุรี. *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.* 2563; 14(3): 76-90.
- [7] ศิริชัย ยศวังใจ. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งที่มีกรอบเวลาโดยใช้การค้นหาเฉพาะที่แบบปรับเปลี่ยนในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยอาณานิคมผึ้งเทียม. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.* 2564; 14(4): 161-171.
- [8] Levin N, Zahavi J. Harvest Optimization of Citrus Crop Using Genetic Algorithms. *Artificial Intelligence in Economics and Management: An Edited Proceedings on the Fourth International Workshop*. 1996; 129-138.
- [9] เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒน์พงศ์, ไพจิตร อุปถัมภ์, สุขสันต์ หอพิบลสุข, จิระยุทธ สืบสุข, จักษดา อารังวุฒิ, และคณะ. การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม กรณีศึกษา องค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น.

- วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 2559; 9(2): 30-37.
- [10] Afifah EN, Alamsyah ES, Sugiharti E. Scheduling Optimization of Sugarcane Harvest Using Simulated Annealing Algorithm. *Scientific Journal of Informatics*. 2018; 5(2): 139.
- [11] Srivarapongse T, Pijitbanjong P. Solving a special case of the generalized assignment problem using the modified differential evolution algorithms: a case study in sugarcane harvesting. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2019; 5(1): 5.
- [12] Sethanan K, Neungmatcha W. Multi- objective particle swarm optimization for mechanical harvester route planning of sugarcane field operations. *European Journal of Operational Research*. 2016; 252(3): 969-984.
- [13] Brumelle S, Granot D, Halme M, Vertinsky I. A tabu search algorithm for finding good forest harvest schedules satisfying green- up constraints. *European Journal of Operational Research*. 1998; 106(2-3): 408-424.
- [14] He P, Li J. The two-echelon multi-trip vehicle routing problem with dynamic satellites for crop harvesting and transportation. *Applied Soft Computing*. 2019; 77: 387-398.
- [15] Gómez-Lagos JE, González-Araya MC, Soto-Silva WE, Rivera- Moraga MM. Optimizing tactical harvest planning for multiple fruit orchards using a metaheuristic modeling approach. *European journal of operational research*. 2021; 290(1): 297-312.
- [16] Florentino HDO, Jones DF, Irawan CA, Ouelhadj D, Khosravi B, Cantane DR. An optimization model for combined selecting, planting and harvesting sugarcane varieties. *Annals of Operations Research*. 2020; 1-19.
- [17] He P, Li J, Wang X. Wheat harvest schedule model for agricultural machinery cooperatives considering fragmental farmlands. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018; 145: 226-234.
- [18] Kong Q, Kuriyan K, Shah N, Guo M. Development of a responsive optimisation framework for decision- making in precision agriculture. *Computers & Chemical Engineering*. 2019; 131: 106585.
- [19] Worasan K, Sethanan K, Pitakaso R, Jamrus T, Moonsri K, Golinska-Dawson P. A hybridization of PSO and VNS to solve the machinery allocation and scheduling problem under a machinery sharing arrangement. *Intelligent Systems with Applications*. 2023; 18: 200206.
- [20] Dubey M, Kumar V, Kaur M, Dao TP. A systematic review on harmony search algorithm: theory, literature, and applications. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021; 2021: 1-22.
- [21] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2566. เข้าถึงได้จาก: <https://production.doae.go.th/service/site/login> [เข้าถึงเมื่อ 23 พฤษภาคม 2567].
- [22] Mukhopadhyay A, Roy A, Das S, Das S, Abraham A. Population-variance and explorative power of harmony search: an analysis. In: *2008 Third International Conference on Digital Information Management*. London. IEEE; 2008. p. 775-781.
- [23] ปรีญญู จันภูตระกูล. การออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับสะพานโครงข่ายหมุนเหล็กด้วยวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2561.