

การหาค่าเหมาะสมที่สุดของปัญหาการจัดตารางงานพยาบาล
โรงพยาบาลกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง
Optimization of Nurse Scheduling Problem: A hospital case study

กัญฐาภรณ์ ทองโสภ¹ และ อุดม จันทร์จรัสสุข^{1,*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Kantaporn Thongsopa¹ and Udom Janjarassuk^{1,*}

¹ Department of Industrial Engineering, School of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Ladkrabang,

Bangkok, 10520, Thailand

*Corresponding Author E-mail: udom.ja@kmitl.ac.th

Received: Aug 15, 2021. **Revised:** Sep 27, 2021 **Accepted:** Sep 30, 2021

บทคัดย่อ

การจัดตารางงานของพยาบาลเป็นงานที่ต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้จัดตารางงาน ซึ่งมักต้องใช้เวลาในการจัดที่นาน และมีโอกาสเกิดความผิดพลาดสูง อีกทั้งยังได้ตารางที่ขาดความสมดุลของภาระงานระหว่างพยาบาล และไม่สอดคล้องกับความต้องการของโรงพยาบาล ในบทความวิจัยนี้จึงได้ศึกษาปัญหาการจัดตารางงานพยาบาล เพื่อแก้ปัญหาการจัดภาระงานที่ไม่สมดุล โดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Linear Program) และได้้นำแบบจำลองไปทดลองกับโรงพยาบาลกรณีศึกษา จากการทดลองพบว่าผลจากแบบจำลองสามารถลดความแตกต่างของภาระงานที่มอบหมายให้พยาบาลแต่ละคน จากจำนวน 3 ผลัดเหลือเพียง 1 ผลัด หรือคิดจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 0.790 เป็น 0.444 ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า การจัดตารางงานของพยาบาลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถครอบคลุมเงื่อนไขต่างๆ ของโรงพยาบาล ใช้เวลาจัดตารางงานที่น้อยลง และช่วยกระจายภาระงานของพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ปัญหาการจัดตารางงานพยาบาล, การกระจายงาน, การหาค่าที่เหมาะสม, วิธีแม่นยำ

Abstract

Nurse Scheduling is a complicated task which highly relies on the experience of scheduler. It usually takes a long time to finish the task. The chance of human error is high, resulting in unbalanced workloads among nurses and inconsistency with the requirements of the hospital. Therefore, this research examines the nurse scheduling problems in order to find a way to assign nurses to shifts properly, and to solve the unbalanced workload problem. A mixed-integer linear program was used to experiment with the case study problem in a hospital. The results showed that the difference in workload among nurses can be reduced from three shifts to only one shift with the help of the mathematical model. In terms of the difference in workload measured by the standard deviation, it was reduced from 0.790 to 0.444. In conclusion, the proposed mathematical model is capable of covering all scheduling conditions of the hospital. It also helps distribute the workloads of nurses effectively.

Keywords: Nursing Scheduling Problem, Work Distribution, Optimization, Exact solution

1. บทนำ

อาชีพพยาบาลเป็นวิชาชีพที่ต้องคอยดูแลผู้ป่วยตลอดเวลา ในปัจจุบันพยาบาลส่วนมากมักได้รับมอบหมายงานที่ยาวนานและมากเกินไปที่ระเบียบพยาบาลกำหนด [1] จากรายงาน ในปี 2019 ของสภาการพยาบาลและการผดุงครรภ์ ผลสำรวจพบว่าชั่วโมงการทำงานของพยาบาลเฉลี่ยเกินกว่า 12 ชั่วโมงต่อวัน [2] ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของพยาบาลที่ต่ำลง ทำให้เกิดความเครียด ร่างกายเกิดการเหนื่อยล้า ส่งผลให้ดูแลผู้ป่วยได้ไม่ดีพอ [3] ดังนั้นการกำหนดตารางงานที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การบริการมีประสิทธิภาพ

โรงพยาบาลกรณีศึกษา เป็นโรงพยาบาลประเภททั่วไประดับตติยภูมิ ที่ให้บริการอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ภายในโรงพยาบาลมีหลายหน่วยงานโดยที่หัวหน้าแต่ละหน่วยงานต้องจัดให้มีพยาบาลเพื่อให้บริการผู้ป่วยตลอดเวลา โดยที่โรงพยาบาลแห่งนี้มีการจัดตารางงานขึ้นเป็นรายเดือน

ปัจจุบันโรงพยาบาลกรณีศึกษา มอบหมายให้หัวหน้าแต่ละแผนกเป็นผู้จัดตารางงาน โดยอาศัยจากประสบการณ์การทำงาน แต่เนื่องด้วย การจัดตารางงานมีความซับซ้อนด้วยลักษณะงานของพยาบาลและข้อจำกัดต่างๆ ของโรงพยาบาล ทำให้ตารางงานที่จัดโดยหัวหน้าแผนกมีการจัดสรรภาระงานที่ไม่สมดุล ใช้เวลาในการจัดคน และไม่เป็นไปตามระเบียบของโรงพยาบาล ซึ่งโรงพยาบาลกรณีศึกษา ได้ตระหนักถึง ผลเสียที่เกิดขึ้นกับพยาบาล จึงต้องการพัฒนาและปรับปรุงระบบการจัดตารางงานของพยาบาลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ในบทความนี้จึงมุ่งเน้นการนำเสนอแนวความคิดที่เกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจัดตารางงานพยาบาลภายใต้เงื่อนไขของโรงพยาบาลกรณีศึกษา โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยกระจายภาระงานให้พยาบาลแต่ละคนได้ปฏิบัติงานอย่างเท่าเทียม

กัน ลดระยะเวลาในการจัดตารางงาน และจัดตารางงานให้เป็นไปตามระเบียบ เพื่อตอบสนองความต้องการของโรงพยาบาล

เนื้อหาส่วนที่เหลือของบทความประกอบด้วย ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดตารางงานของพยาบาล ลักษณะการทำงานและปัญหาการจัดตารางงานของโรงพยาบาลกรณีศึกษา การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การดำเนินการทดลองและผลการทดลอง และสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดตารางเวลาของเจ้าหน้าที่ทางการแพทย์มีความซับซ้อน ผู้จัดตารางงานต้องพิจารณาเงื่อนไขหลายอย่าง อาทิเช่น จำนวนบุคลากร กฎหมายของประเทศและนโยบายของโรงพยาบาล [4] จากการศึกษางานวิจัยเรื่องการจัดตารางงานของพยาบาล พบว่าโรงพยาบาลจำเป็นต้องมีการจัดตารางงานที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากการให้พยาบาลทำงานมากเกินไปจะมีผลกระทบต่อสุขภาพของพยาบาล [5] โดยทั่วไป การจัดตารางงานโดยหัวหน้าพยาบาลผู้มีประสบการณ์มักต้องใช้เวลาและไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของโรงพยาบาล [6] ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของพยาบาลลดลง และอาจทำให้โรงพยาบาลขาดประสิทธิภาพในการให้บริการผู้ป่วย การจัดตารางงานให้พยาบาลอย่างเหมาะสมจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของการให้บริการดูแลผู้ป่วย [7]

ปัญหาการจัดตารางงานของพยาบาลในประเทศไทยและต่างประเทศจะมีลักษณะคล้ายกันเนื่องจากกฎระเบียบเงื่อนไขหรือวิธีการปฏิบัติงานของพยาบาลเป็นแบบมาตรฐานสากล แต่ปัญหาอาจจะแตกต่างกันตามแนวคิดหรือวัตถุประสงค์ของการจัดตาราง เช่น ต้องการจัดตารางงานให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด[4],[8],[9] ต้องการให้เกิดความเท่าเทียมกันในการปฏิบัติงาน ต้องการสร้างความพอใจให้กับพยาบาล[10-12] ต้องการให้มีจำนวนพยาบาลในแต่ละ

ละช่วงเวลาปฏิบัติงานน้อยที่สุด [13] หรือต้องการตอบสนองการให้บริการผู้ป่วยสูงสุด[14]

การแก้ปัญหการจัดตารางงานของพยาบาลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำได้ 2 วิธีคือ วิธีแม่นยำตรง (Exact method) และวิธีฮิวริสติก (Heuristic Method) ซึ่งต้องอาศัยซอฟต์แวร์เข้ามาช่วยในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด [3] การหาคำตอบของแบบจำลองด้วยวิธีแม่นยำตรง มักถูกนำไปใช้แก้ปัญหาที่ไม่ใหญ่มากเนื่องจากต้องใช้เวลาในการหาคำตอบนาน ซึ่งวิธีแม่นยำตรงจะให้คำตอบเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) [15] ส่วนการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก มักถูกนำไปใช้แก้ปัญหา

ที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากวิธีนี้จะให้คำตอบใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมที่สุด (Near Optimal Solution) แต่จะใช้เวลานานกว่าวิธีการแบบแม่นยำตรงสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ [16]

จากการศึกษาปัญหาของโรงพยาบาลกรณีศึกษา ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และใช้วิธีแม่นยำตรงในการหาคำตอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตารางงานพยาบาลภายใต้ข้อจำกัดของโรงพยาบาลและให้เกิดความเท่าเทียมในการปฏิบัติงานของพยาบาล

3. ปัญหาการจัดตารางงานของโรงพยาบาลกรณีศึกษา

จากที่ได้เข้าไปศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการจัดตารางงานพยาบาลของโรงพยาบาลกรณีศึกษา สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

3.1.ลักษณะการทำงาน

การเข้างานของพยาบาล จะมี 3 ผลัดต่อวัน โดยผลัดแรกของวันจะเป็นผลัดดึก มีเวลาปฏิบัติงานตั้งแต่ 24:00 น. ถึง 8:00 น. ผลัดที่ 2 เป็นผลัดเช้าปฏิบัติงานตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. และผลัดสุดท้ายของวันเป็นผลัดบ่ายปฏิบัติงานตั้งแต่เวลา 16:00 น. ถึง 24:00 น. โดยผลัดการทำงานจะมี 2 แบบ คือผลัดปกติ และ ผลัดล่วงเวลา โดยผลัดล่วงเวลาคือผลัดที่พยาบาลทำงานเกินกว่าภาระงานขั้นต่ำที่ โรงพยาบาลกำหนด ซึ่งจะได้ค่าตอบแทนที่มากกว่า

ผลัดปกติ ในกรณีที่พยาบาลมีการเข้าอบรมหรือลาพักร้อน โรงพยาบาลจะนับเข้าผลัดปกติ และเพิ่มจำนวนคนเข้าผลัดทำงานให้เพียงพอ เช่น ผลัดเช้าต้องการพยาบาล 3 คน แต่มีพยาบาลไปอบรมหรือลาพักร้อน 1 คน หมายความว่าโรงพยาบาลจะต้องจัดให้มีพยาบาลเข้าผลัดเช้า 4 คน

3.2.ปัญหาการจัดตารางงาน

การจัดตารางทำงานของพยาบาลของโรงพยาบาลกรณีศึกษา ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ปัญหาที่พบมี 3 ประการ คือ 1. ปัญหาการจัดตารางงาน แล้วไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของโรงพยาบาล จากการศึกษา หัวหน้าแผนกจะเป็นผู้จัดตารางงาน หลังจากจัดตารางงานเสร็จเรียบร้อยแล้วต้องนำไปส่งให้ผู้ช่วยพยาบาล และหัวหน้าพยาบาลตรวจทานอีกครั้ง ซึ่งมักพบความผิดพลาดของการจัดตารางที่ไม่เป็นไปตามระเบียบของโรงพยาบาล 2. ปัญหาของการกระจายงานที่ไม่สมดุล พยาบาลได้รับมอบหมายงานไม่เท่าเทียมกัน เช่น มีจำนวนผลัดล่วงเวลาที่ต่างกันมาก ซึ่งจะส่งผลให้ค่าตอบแทนที่ได้ไม่เท่ากัน 3. ปัญหาการจัดตารางงานที่ใช้เวลานาน ใช้เวลาในการจัดตารางงาน 4-5 วัน จึงทำให้การจัดตารางงานของพยาบาลเป็นไปอย่างล่าช้า

ตารางที่ 1 เป็นตัวอย่างของตารางงานพยาบาล แผนกหอผู้ป่วยหญิง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 ของโรงพยาบาลกรณีศึกษา (โดยแสดงข้อมูลเฉพาะสัปดาห์แรกเพื่อประกอบการอธิบาย) และแสดงสรุปผลรวมจำนวนผลัดทั้งเดือนที่โรงพยาบาลใช้ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2562 ซึ่งแผนกมีจำนวนพยาบาลทั้งหมด 10 คน โดยโรงพยาบาลต้องการให้จำนวนการมอบหมายผลัดรวมใกล้เคียงกับจำนวนผลัดเฉลี่ย เช่น เดือนพฤษภาคม มีวันทำการ 20 วัน นำไปหารด้วย 3 (ซึ่งเป็นจำนวนผลัดต่อวัน) ได้จำนวนผลัดเฉลี่ยเท่ากับ 6.6 ดังนั้น

ในเดือนพฤษภาคม พยาบาลแต่ละคนควรได้ 6 หรือ 7 ผลัดสำหรับแต่ละช่วงเวลาของผลัดการทำงาน แต่จากตารางจะเห็นได้ว่า การกระจายภาระงานยังทำได้ไม่ดีพอ และไม่สอดคล้องกับความต้องการของโรงพยาบาล ตัวอย่างเช่น พยาบาลคนที่ 3 มีจำนวนผลัดเช้ารวม 9 ผลัด แต่พยาบาลคนที่ 4 มีจำนวนผลัดเช้ารวม 6 ผลัด ซึ่งต่างกันถึง 3 ผลัด

ตารางที่ 1 ตัวอย่างของตารางงานพยาบาล แผนกหอผู้ป่วยหญิง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2562 ของโรงพยาบาลกรณีศึกษา

วันที่	1			2			3			4			5			6			7			...	รวมจำนวนผลัด			
คนที่	ค	ช	บ	ค	ช	บ	ค	ช	บ	ค	ช	บ	ค	ช	บ	ค	ช	บ	ค	ช	บ		ค	บ	ช	OT
/ผลัด	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)					(0)
1								ช0	บ		ช		ค			ค				ช			8	5	7	13
2		ช		ค		บ0										ช0			ค		บ0		6	7	7	13
3	ค		บ0		ช		ค		บ0		ช0		ค										5	6	9	13
4		ช0		ค			ค							ช0	บ		ช0	บ		ช0	บ	...	7	7	6	14
5		ช								ค0		บ		ช		ค		บ0		ช			7	7	6	13
6		ช		ช0		บ		ช		ค0		บ		ช						ช0			6	6	8	13
7	ค				ค			ช0	บ	ช0				ช0	บ		ช0	บ		ช			7	7	6	14
8	ค0		บ	ช			ค						ค		บ0		ช		ค0		บ		7	7	6	12
9		ช0	บ	ช0		บ		ช		ช0		บ				ค			ค				7	7	6	11
10		อ			อ			อ		ค												...	6	6	8	11

ค = ผลัดคึก , ช = ผลัดเช้า , บ = ผลัดบ่าย , 0 = ผลัดล่วงเวลา , อ = อบรม , V = ลาพักร้อน

3.3.เงื่อนไขของการจัดตารางงาน

เงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในการพิจารณาเพื่อจัดตารางงานของพยาบาลของโรงพยาบาลกรณีศึกษา แบ่งออกได้เป็นเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

1. จำนวนพยาบาลในแต่ละผลัด จะต้องเท่ากับ จำนวนพยาบาลที่โรงพยาบาลกำหนด
2. จำนวนวันทำงานทั้งหมดของพยาบาล จะต้องเท่ากับ จำนวนวันทำการในแต่ละเดือน (จำนวนวันทำการ คือ จำนวนวันของเดือน โดยที่ไม่นับวันหยุดนักขัตฤกษ์)
3. จำนวนผลัดที่มากที่สุดที่พยาบาลทำงานได้ใน 1 วัน คือ 2 ผลัด
4. ไม่สามารถมีผลัดปกติ 2 ผลัด ใน 1 วัน ดังนั้นผลัดใดผลัดหนึ่งจะถูกคิดเป็นผลัดการทำงานล่วงเวลา และผลัดที่เกินมาจากจำนวนวันทำการแต่ละเดือนจะนำไปคิดเป็นผลัดล่วงเวลา
5. ห้ามให้พยาบาลทำงานผลัดคึกติดกับผลัดเช้าของวันเดียวกัน (เนื่องจากผลัดคึกเป็นผลัดแรกของวัน)
6. ห้ามให้พยาบาลทำงานผลัดบ่ายติดกับผลัดคึกของวันถัดไป
7. ห้ามพยาบาลลาหยุดงานติดต่อกันเกิน 7 วัน

8. ห้ามให้พยาบาลทำงานในผลัดคึกติดต่อกันเกิน 3 วัน
9. ต้องการให้จำนวนผลัดเช้า ผลัดบ่าย ผลัดคึก และผลัดการทำงานล่วงเวลาของพยาบาลแต่ละคนมีจำนวนใกล้เคียงกัน
10. หากพยาบาลมีอบรมหรือลาพักร้อน จะถูกพิจารณาเป็นผลัดการทำงานปกติ (ผลัดเช้า) ซึ่งจะไม่ถูกนำมาคิดเป็นผลัดการทำงานล่วงเวลา (การอบรมหรือลาพักร้อน จะนับว่าพยาบาลมาทำงาน แต่การจัดตารางงานจะต้องจัดให้มีพยาบาลคนอื่นเข้าไปทำงานแทน)
11. ในวันเสาร์-อาทิตย์ จะต้องมีการกระจายผลัดให้พยาบาลแต่ละคนที่สมดุลกัน
12. ห้ามพยาบาลที่เพิ่งเข้าทำงานใหม่ขึ้นผลัดการทำงานร่วมกัน

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผู้วิจัยได้เสนอแนวคิดในการแก้ไขปัญหการจัดตารางงานของพยาบาล โดยการลดความต่างสูงสุดของจำนวนผลัดที่ได้รับมอบหมายของพยาบาลทั้งแบบปกติ และแบบล่วงเวลา โดยพยายามทำให้ผลรวมของผลต่างจากค่าเฉลี่ยให้มีค่าน้อยที่สุด นั่นคือทำให้ผลต่างของจำนวนผลัดที่ได้รับมอบหมาย

และจำนวนผลัดการทำงานเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด เพื่อให้เกิดความยุติธรรมในการมอบหมายงาน โดยได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามแนวความคิดที่น่าเสนอ เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตารางงานภายใต้ข้อจำกัดของโรงพยาบาลกรณีศึกษา

4.1.สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์

เซต (Set)

N คือ เซตของพยาบาลของแผนก

S คือ เซตของผลัดการทำงานของวัน $S = \{1, 2, 3\}$ โดยที่ ผลัดที่ 1 คือผลัดดึก ผลัดที่ 2 คือผลัดเช้า และผลัดที่ 3 คือผลัดบ่าย

ดัชนี (Index)

i, h คือ ดัชนีของพยาบาล โดยที่ $i, h \in N$

j คือ ดัชนีของผลัดการทำงาน โดยที่ $j \in S$

l, k คือ ดัชนีของวันในแต่ละเดือน โดยที่ $l, k = 1, 2, \dots, D$
เมื่อ D คือ จำนวนวันของเดือนนั้น

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1; \text{ พยาบาล } i \text{ ทำงานผลัด } j \text{ วันที่ } k \\ 0; \text{ กรณีอื่น} \end{cases}$$

$$v_{ijk} = \begin{cases} 1; \text{ พยาบาล } i \text{ ทำงานผลัด (ปกติ) } j \text{ วันที่ } k \\ 0; \text{ กรณีอื่น} \end{cases}$$

$$Z_{ijk} = \begin{cases} 1; \text{ พยาบาล } i \text{ ทำงานผลัด (ล่วงเวลา) } j \text{ วันที่ } k \\ 0; \text{ กรณีอื่น} \end{cases}$$

$$d_{ijk} = \begin{cases} 1; \text{ พยาบาล } i \text{ ทำงาน ในวันที่ } k \\ 0; \text{ กรณีอื่น} \end{cases}$$

คือ ผลต่างจากจำนวนผลัดค่าเฉลี่ย (ปกติ) ของผลัดที่ j ของพยาบาล i โดยที่ $a_{ij} \geq 0$

คือ ผลต่างจากจำนวนผลัดค่าเฉลี่ย (ล่วงเวลา) ของพยาบาล i โดยที่ $b_i \geq 0$

r_i คือ จำนวนวันที่พยาบาล i มาทำงานใน 1 เดือน

คือ จำนวนผลัดการทำงานของพยาบาล i ทั้งหมดใน 1 เดือน

u_{ik} คือ จำนวนผลัดการทำงานของพยาบาล i ในวันที่ k
คือ จำนวนพยาบาลทั้งหมด ที่ลาพักร้อน/อบรมวันที่ k

t_i คือ จำนวนผลัดการทำงานล่วงเวลาทั้งหมดของพยาบาล i ใน 1 เดือน

พารามิเตอร์ (parameter)

$$P_{jk} = \begin{cases} 1; \text{ พยาบาล } i \text{ ลาหยุดในวันที่ } k \\ 0; \text{ กรณีอื่น} \end{cases}$$

$$\eta_{ik} = \begin{cases} 1; \text{ พยาบาล } i \text{ อบรม, ลาพักร้อนในวันที่ } k \\ 0; \text{ กรณีอื่น} \end{cases}$$

$$e_k = \begin{cases} 1; \text{ วันที่ } k \text{ ตรงกับวันเสาร์หรืออาทิตย์} \\ 0; \text{ กรณีอื่น} \end{cases}$$

$$\theta_i = \begin{cases} 1; \text{ พยาบาล } i \text{ เป็นพยาบาลเข้าทำงานใหม่} \\ 0; \text{ กรณีอื่น} \end{cases}$$

D คือ จำนวนวันในแต่ละเดือนเช่นเดือนมีนาคมเท่ากับ 31 วัน

δ คือ จำนวนผลัดการทำงาน (ปกติ) เฉลี่ยทั้งหมด ในแต่ละเดือน

β คือ จำนวนผลัดการทำงาน (ล่วงเวลา) เฉลี่ยทั้งหมด ในแต่ละเดือน

w คือ จำนวนวันทำการของพยาบาล

α คือ จำนวนผลัดขั้นต่ำของพยาบาล ที่ต้องปฏิบัติงานในวันเสาร์หรืออาทิตย์ของเดือนนั้นๆ

A_{jk} คือ จำนวนพยาบาลที่ทางโรงพยาบาลกำหนดในแต่ละผลัด

4.2.สมการวัตถุประสงค์ (Objective Functions)

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางงานพยาบาล ประกอบด้วย การให้มอบหมายงานในผลัดปกติ และ ผลัดล่วงเวลาให้มีความเท่าเทียมกัน นั่นคือ มีผลรวมของจำนวนผลัดที่ต่างจากค่าเฉลี่ยที่ควรจะเป็นทั้งในผลัดแบบปกติและผลัดแบบล่วงเวลาที่น้อยที่สุด โดยที่สมการวัตถุประสงค์คือ สมการที่ (1)

$$\text{Minimize } \sum_{i \in N} \sum_{j \in S} a_{ij} + \sum_{i \in N} b_i \quad (1)$$

4.3.เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

เงื่อนไขที่ (2) และ (3) มาจากสมการที่ (4) แยกเป็น 2 เงื่อนไข โดยใช้ค่าสมบูรณ์-เงื่อนไข (Absolute Value in Constraint) เพื่อให้สมการทั้ง 2 เงื่อนไขใช้ในการหาค่าผลต่างจากจำนวนผลัดปกติเฉลี่ย

$$\sum_{k=1}^D x_{ijk} - \delta \leq a_{ij} \quad ; \forall i \in N, \forall j \in S \quad (2)$$

$$\delta - \sum_{k=1}^D x_{ijk} \leq a_{ij} \quad ; \forall i \in N, \forall j \in S \quad (3)$$

$$|\sum_{k=1}^D x_{ijk} - \delta| \leq a_{ij} \quad (4)$$

เงื่อนไขที่ (5) และ (6) มาจากสมการที่ (7) แยกเป็น 2 เงื่อนไข โดยใช้ค่าสมบูรณ์-เงื่อนไข โดยทั้ง 2 เงื่อนไขใช้เป็นการหาค่าผลต่างจากจำนวนผลัดล่วงหน้าเฉลี่ย

$$t_i - \beta \leq b_i \quad ; \forall i \in N \quad (5)$$

$$\beta - t_i \leq b_i \quad ; \forall i \in N \quad (6)$$

$$|t_i - \beta| \leq b_i \quad (7)$$

เงื่อนไขที่ (8)–(13) เป็นเงื่อนไขเพื่อให้ตอบสนองความต้องการของโรงพยาบาล เงื่อนไขที่ (8) เป็นเงื่อนไขที่ทำให้จำนวนพยาบาลที่ทำงานในผลัดคึกมีเพียงพอต่อความต้องการของโรงพยาบาล เงื่อนไขที่ (9) เป็นเงื่อนไขทำให้มีจำนวนพยาบาลที่ทำงานในผลัดเช้าเพียงพอต่อความต้องการของโรงพยาบาล หลังจากหักพยาบาลที่เข้าอบรมหรือลาพักร้อนออกแล้ว เนื่องจากพยาบาลที่เข้าอบรมหรือลาพักร้อนจะถูกนับรวมในผลัดเช้าแบบปกติ เงื่อนไขที่ (10) เป็นเงื่อนไขทำให้มีจำนวนพยาบาลที่ทำงานในผลัดบ่ายเพียงพอต่อความต้องการของโรงพยาบาล เงื่อนไขที่ (13) บังคับให้พยาบาลมีจำนวนวันทำงานต้องไม่น้อยกว่าจำนวนวันทำการ เงื่อนไขที่ (12) บังคับให้จำนวนวันทำงานของแต่ละคนต่างกันได้ไม่เกิน 1 วัน เงื่อนไขที่ (13) บังคับให้จำนวนผลัดในวันที่ได้รับมอบหมาย ต้องไม่เกิน 2 ผลัดต่อวัน

$$\sum_{i \in N} x_{i1k} = A_{1k} \quad ; \forall k = 1, \dots, D \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i2k} - c_k = A_{2k} \quad ; \forall k = 1, \dots, D \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i3k} = A_{3k} \quad ; \forall k = 1, \dots, D \quad (10)$$

$$r_i \geq w \quad ; \forall i \in N \quad (11)$$

$$r_i - r_h \leq 1 \quad ; \forall i, h \in N \quad (12)$$

$$\sum_{j \in S} x_{ijk} \leq 2 \times d_{ik} \quad ; \forall i \in N, \forall k = 1, \dots, D \quad (13)$$

เงื่อนไขที่ (14)–(16) เป็นเงื่อนไขเพื่อป้องกันการทำงานในผลัดที่ห้ามทำ เงื่อนไขที่ (14) เป็นการห้ามทำงานผลัด

คึกติดกับผลัดเช้า ภายในวันเดียวกัน เงื่อนไขที่ (15) เป็นการป้องกันการงานผลัดบ่าย ติดกับผลัดคึก ของวันถัดไป เงื่อนไขที่ (16) ป้องกันการทำงานในผลัดคึกติดต่อกันเกิน 3 วัน

$$x_{i1k} + x_{i2k} \leq 1 \quad ; \forall i \in N, \forall k = 1, \dots, D \quad (14)$$

$$x_{i3k} + x_{i,1,k+1} \leq 1 \quad ; \forall i \in N, \forall k = 1, \dots, D-1 \quad (15)$$

$$\sum_{k=l}^{l+3} x_{i1k} \leq 3 \quad ; \forall i \in N, \forall l = 1, \dots, D-3 \quad (16)$$

เงื่อนไขที่ (17)–(23) เป็นเงื่อนไขหาจำนวนผลัดจำนวนพยาบาล และจำนวนวันทำงาน เงื่อนไขที่ (17) เป็นการหาการมอบหมายงานผลัด (ปกติ) เงื่อนไขที่ (18) เป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการหาจำนวนวันทำงานพยาบาล ใน 1 เดือน เงื่อนไขที่ (19) เป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการหาจำนวนผลัดการทำงานทั้งหมดใน 1 เดือนของพยาบาลแต่ละคน เงื่อนไขที่ (20) เป็นเงื่อนไขการหาจำนวนผลัดการทำงาน ของพยาบาลแต่ละคนในวันที่ k เงื่อนไขที่ (21) เป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการหาจำนวนผลัดการทำงานล่วงหน้าทั้งเดือนของพยาบาลแต่ละคน เงื่อนไขที่ (22) เป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการหาจำนวนผลัดการทำงานล่วงหน้า โดยคิดจากผลรวมของผลัดทั้งหมดหักด้วยจำนวนวันทำการ เพื่อทำให้ผลัดการทำงานที่เกินกว่าจำนวนวันทำการเป็นผลัดล่วงหน้า เงื่อนไขที่ (23) เป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการหาผลรวมของพยาบาลที่ไปอบรมหรือลาพักร้อน

$$x_{ijk} - z_{ijk} = y_{ijk} \quad ; \forall i \in N, \forall j \in S, \forall k = 1, \dots, D \quad (17)$$

$$\sum_{k=1}^D d_{ik} = r_i \quad ; \forall i \in N \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^D \sum_{j \in S} x_{ijk} = v_i \quad ; \forall i \in N \quad (19)$$

$$\sum_{j \in S} x_{ijk} = u_{ik} \quad ; \forall i \in N, \forall k = 1, \dots, D \quad (20)$$

$$\sum_{k=1}^D \sum_{j \in S} z_{ijk} = t_i \quad ; \forall i \in N \quad (21)$$

$$t_i = v_i - w \quad ; \forall i \in N \quad (22)$$

$$\sum_{i \in N} \eta_{ik} = c_k \quad ; \forall k = 1, \dots, D \quad (23)$$

เงื่อนไขที่ (24)–(32) เป็นเงื่อนไขตามกฎระเบียบของอาชีพที่เป็นไปตามกฎหมายของประเทศ และระเบียบของ

โรงพยาบาลกรณีศึกษา เงื่อนไขที่ (24) ป้องกันการมอบหมายงานในวันที่พยาบาลลาหยุด เงื่อนไข (25) บังคับให้พยาบาลต้องปฏิบัติงานอย่างน้อย 1 ผลัดในวันที่ได้รับมอบหมายงาน เงื่อนไขที่ (26) เป็นเงื่อนไขบังคับให้วันที่พยาบาล i มีอบรมให้นับเป็นผลัดเข้าปกติ เงื่อนไขที่ (27) เป็นเงื่อนไขป้องกันไม่ให้มอบหมายงานเกิน 1 ผลัดในวันที่พยาบาลที่มีการเข้าอบรมหรือลาพักร้อน เงื่อนไขที่ (28) บังคับให้ผลัดล่วงเวลาจะต้องอยู่ในวันที่ได้รับมอบหมายให้มีการปฏิบัติงาน เงื่อนไขที่ (29) บังคับให้ใน 1 วันถ้ามีการทำงาน 2 ผลัดต้องมีผลัดใดผลัดหนึ่งเป็นการทำงานล่วงเวลา เงื่อนไขที่ (30) บังคับให้ใน 1 วันมีการทำงานล่วงเวลาไม่เกิน 1 ผลัด เงื่อนไขที่ (31) เป็นเงื่อนไขบังคับจำนวนผลัดขั้นต่ำที่ต้องทำเสาร์อาทิตย์ เงื่อนไขที่ (32) เป็นเงื่อนไขบังคับแต่ละผลัดจะอนุญาตให้มีพยาบาลใหม่เพียงคนเดียวเท่านั้น

$$x_{ijk} \leq 1 - P_{ik} \quad ; \forall i \in N, \forall j \in S, \forall k = 1, \dots, D \quad (24)$$

$$\sum_{j \in S} x_{ijk} \geq d_{ik} \quad ; \forall i \in N, \forall k = 1, \dots, D \quad (25)$$

$$\eta_{ik} \leq y_{izk} \quad ; \forall i \in N, \forall k = 1, \dots, D \quad (26)$$

$$\sum_{j \in S} x_{ijk} \leq 2 - \eta_{ik} \quad ; \forall i \in N, \forall k = 1, \dots, D \quad (27)$$

$$x_{ijk} \geq z_{ijk} \quad ; \forall i \in N, \forall j \in S, \forall k = 1, \dots, D \quad (28)$$

$$\sum_{j \in S} z_{ijk} \geq u_{ik} - 1 \quad ; \forall i \in N, \forall k = 1, \dots, D \quad (29)$$

$$\sum_{j \in S} z_{ijk} \leq 1 \quad ; \forall i \in N, \forall k = 1, \dots, D \quad (30)$$

$$\sum_{k=1}^D \sum_{j \in S} (x_{ijk} \times e_k) \geq \alpha \quad ; \forall i \in N \quad (31)$$

$$\sum_{i \in N} (x_{ijk} \times \theta_i) \leq 1 \quad \forall j \in S, \forall k = 1, \dots, D \quad (32)$$

5. การดำเนินงานทดลองและผลการทดลอง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอนี้สามารถนำไปใช้ได้กับทุกแผนกภายในโรงพยาบาลกรณีศึกษา แต่ในบทความฉบับนี้จะทดสอบเฉพาะข้อมูลของแผนกหอผู้ป่วยหญิงเท่านั้น และนำเสนอรายละเอียดขั้นตอน ผลการทดลองงานวิจัย

5.1. ขั้นตอนการทดลอง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากแนวคิดที่นำเสนอ ในหัวข้อที่ผ่านมา จะถูกนำไปพัฒนาบนโปรแกรม IBM ILOG

CPLEX Optimization Studio V12.7 เพื่อหาผลัดการทำงานให้พยาบาลแต่ละคน ซึ่งข้อมูลจากโรงพยาบาลกรณีศึกษา ที่นำไปใช้ในการหาคำตอบ จะเป็นข้อมูลทฤษฎี ซึ่งเป็นข้อมูลตารางการทำงานจริงของเดือนพฤษภาคม ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ที่จัดโดยหัวหน้าพยาบาล ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลจำนวนวันทำงาน และวันหยุดของโรงพยาบาล และวันลาของพยาบาลแต่ละคน
2. ข้อมูลจำนวนพยาบาลของแต่ละเดือน ซึ่งอาจจะมีจำนวนไม่เท่ากัน เนื่องจากการโยกย้ายภายในโรงพยาบาลหรือมีการลาป่วย ลาออก
3. ข้อมูลผลัดการทำงาน ของพยาบาลแต่ละคน

5.2. ผลการทดลอง

ผลลัพธ์จากการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) จากการใช้ข้อมูลของเดือนพฤษภาคม มีค่าวัตถุประสงค์ (Objective Value) เป็น 18.2 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากตารางจริงที่จัดด้วยมือ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 29.8 จะเห็นได้ว่า แบบจำลองสามารถลดจำนวนผลต่างรวมของผลัดการทำงานของพยาบาลได้ 39%

เพื่อให้การเปรียบเทียบสามารถทำได้ง่ายขึ้น ในบทความนี้จะใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการแสดงความแตกต่างของจำนวนผลัดการทำงานของพยาบาลโดยรวม โดยการกระจายผลัดให้กับพยาบาล ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 ปัจจุบันโรงพยาบาลกรณีศึกษา มีการกระจายงานได้ไม่ดีพอ ดูได้จากในตารางที่ใช้จริงในด้านซ้ายมือ ตัวอย่างเช่น พยาบาลคนที่ 1 ได้ผลัดคิก 8 ผลัด แต่พยาบาลคนที่ 3 ได้ผลัดคิก 5 ผลัด ซึ่งมีค่าต่างกันมาก แต่จะเห็นได้ว่าตารางจากแบบจำลองที่เรานำเสนอขึ้น จำนวนของแต่ละผลัด จะมีค่าต่างกันไม่เกิน 1 ผลัด จากข้อมูลในตารางที่ 2 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณจากตารางที่ใช้จริง ผลัดคิกมีค่าเท่ากับ 0.800 ผลัดเช้ามีค่าเท่ากับ 0.671 ผลัดบ่ายมีค่าเท่ากับ 1.044 และผลัดล่วงเวลามีค่าเท่ากับ 1.005 ส่วนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณจากตารางจากแบบจำลอง ผลัดคิกมีค่าเท่ากับ 0.500 ผลัดเช้ามีค่าเท่ากับ 0.458 ผลัดบ่ายมีค่าเท่ากับ 0.400 และผลัดล่วงเวลามีค่าเท่ากับ 0.458 ซึ่งมีค่าลดลงทุกตัว

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบจำนวนผลัดการทำงานที่พยาบาลแต่ละคนได้รับและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระหว่าง ตารางที่ใช้จริง (เดือนพฤษภาคม 2562) และตารางจากแบบจำลอง

พยาบาล	จำนวนผลัดการทำงานของพยาบาลแต่ละคน							
	ที่ใช้จริง				แบบจำลองทางคณิตศาสตร์			
	ผลัดดึก	ผลัดเช้า	ผลัดบ่าย	ผลัดล่วงเวลา	ผลัดดึก	ผลัดเช้า	ผลัดบ่าย	ผลัดล่วงเวลา
1	8	5	7	13	7	7	6	13
2	6	7	7	13	7	7	6	13
3	5	6	9	13	7	6	7	13
4	7	7	6	14	6	7	7	13
5	7	7	6	13	6	7	7	12
6	6	6	8	13	6	7	7	12
7	7	7	6	14	7	6	7	12
8	7	7	6	12	6	7	7	13
9	7	7	6	11	7	6	7	13
10	6	6	8	11	6	7	7	13
S.D.	0.800	0.671	1.044	1.005	0.500	0.458	0.400	0.458

ตารางที่ 3 เป็นตารางสรุปค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณได้จากตารางที่ใช้จริงของโรงพยาบาลกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 โดยเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากตารางที่ใช้แบบจำลอง จากตาราง “เก่า” หมายถึงค่าที่คำนวณจากตารางที่ใช้จริง และ “ใหม่” คือค่าที่คำนวณจากตารางของแบบจำลอง จากตารางจะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าลดลงทุกเดือนอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งหมายความว่าการจัดตารางงานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถกระจายงานได้เท่าเทียมกันมากขึ้น

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่าง ตารางที่ใช้จริง และตารางจากแบบจำลอง (พฤษภาคม ถึง กรกฎาคม พ.ศ.2562)

ผลัด	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	พฤษภาคม		มิถุนายน		กรกฎาคม	
	เก่า	ใหม่	เก่า	ใหม่	เก่า	ใหม่
ดึก	0.8	0.5	0.64	0.3	0.66	0.5

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่าง ตารางที่ใช้จริง และตารางจากแบบจำลอง (พฤษภาคม ถึง กรกฎาคม พ.ศ.2562) (ต่อ)

ผลัด	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	พฤษภาคม		มิถุนายน		กรกฎาคม	
	เก่า	ใหม่	เก่า	ใหม่	เก่า	ใหม่
เช้า	0.67	0.46	0.64	0.49	1.2	0.4
บ่าย	1.04	0.4	0	0.46	0.83	0.46
ล่วงเวลา	1.00	0.46	1.02	0.5	0.98	0.4
ค่าเฉลี่ย	0.878	0.455	0.575	0.438	0.918	0.440

จากการทดลองจัดตารางงานของเดือนพฤษภาคม ถึง กรกฎาคม พ.ศ.2562 ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และตรวจสอบตารางงานที่ได้กับหัวหน้าพยาบาล ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดตารางงานพบว่า ตารางที่ได้มีความเหมาะสม สามารถกระจายภาระงานได้ดี และเป็นไปตามเงื่อนไขของโรงพยาบาลกรณีศึกษา อีกทั้งยังสามารถจัดได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาเพียง 3.9 วินาที

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ปัญหาการจัดตารางการทำงานของพยาบาลเป็นปัญหาที่สำคัญมากสำหรับการให้บริการของโรงพยาบาล ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาปัญหาการจัดตารางงานพยาบาล เพื่อแก้ปัญหาการจัดภาระงานที่ไม่สมดุล จัดไม่เป็นไปตามกฎระเบียบและความต้องการของโรงพยาบาล ซึ่งผู้วิจัยได้เสนอแนวคิดในการลดความแตกต่างของจำนวนผลัดที่พยาบาลได้รับมอบหมาย โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาผลัดการทำงาน of พยาบาลทั้งหมดที่เหมาะสมที่สุด และนำไปทดลองใช้กับข้อมูลโรงพยาบาลกรณีศึกษาจริง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า พยาบาลทุกคนได้รับจำนวนผลัดการทำงานที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น ซึ่งลดความต่างของจำนวนผลัดการทำงานรวม จากตารางงานที่ใช้ปัจจุบันสูงสุด 3 ผลัด เหลือเพียง 1 ผลัด โดยสามารถลดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนภาระงานจาก 0.790 เหลือ 0.444 อีกทั้งสามารถจัดตารางได้ตามเงื่อนไขของโรงพยาบาล ดังนั้นแนวคิดที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จึงสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาระบบการจัดตารางงานของโรงพยาบาลกรณีศึกษาในปัจจุบันได้ โดยจะต้องพัฒนาให้สามารถใช้งานได้ง่าย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงพยาบาลอื่นๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Abhicharttibutra, W. Kunaviktikul, S. Turale, O. A. Wichaikhum, and W. Srisuphan, "Analysis of a government policy to address nursing shortage and nursing education quality," *International Nursing Review*, vol. 64, no. 1, pp. 22–32, 2017, doi: 10.1111/inr.12257.
- [2] A. Nantsupawat, W. Kunaviktikul, R. Nantsupawat, O. A. Wichaikhum, H. Thienthong and L. Poghosyan, "Effects of nurse work environment on job dissatisfaction, burnout, intention to leave," *International Nursing Review*, vol. 64, no. 1, pp. 91–98, 2017, doi: 10.1111/inr.12342.
- [3] E. K. Burke, P. De Causmaecker, G. Vanden Berghe, and H. Van Landeghem, "The state of the art of nurse rostering," *Journal of Scheduling*, vol. 7, pp. 441–499, 2004, doi: 10.1023/B:JOSH.0000046076.75950.0b.
- [4] P. S. Chen, Y. J. Lin and N. C. Peng, "A two-stage method to determine the allocation and scheduling of medical staff in uncertain environments," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 99, pp. 174–188, 2016, doi: 10.1016/j.cie.2016.07.018.
- [5] Cheang, B., Li, H., Lim, A. and Rodrigues, B., "Nurse rostering problems a bibliographic survey," *European journal of operational research*, vol 151, no. 3, pp. 447–460, 2003, 10.1016/S0377-2217(03)00021-3.
- [6] J. Tewinburanuwong, "Application of genetic algorithms for staff nurse scheduling," M.Eng. Thesis, Dept. Industrial Engineering, Chulalongkorn Univ., Bangkok, Thailand, 2000.
- [7] R. M'Hallah and A. Alkhabbaz, "Scheduling of nurses: A case study of a Kuwaiti health care unit," *Operations Research for Health Care*, vol. 2, no. 1–2, pp. 1–19, 2013, doi: 10.1016/j.orhc.2013.03.003.
- [8] A. A. El Adoly, M. Gheith and M. Nashat Fors, "A new formulation and solution for the nurse scheduling problem: A case study in Egypt," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, no. 4, pp. 2289–2298, 2018, doi: 10.1016/j.aej.2017.09.007.
- [9] B. Jaumard, F. Semet and T. Vovor, "A generalized linear programming model for nurse scheduling," *European Journal of Operational Research*, vol. 107, no. 1, pp. 1–18, 1998, doi: 10.1016/S0377-2217(97)00330-5.
- [10] R. Jenal, W. R. Ismail, L. C. Yeun and A. Oughalime, "A cyclical nurse schedule using goal programming," *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, vol. 43A, no. 3, pp. 151–164, 2011, doi:

- 10.5614/itbj.sci.2011.43.3.1.
- [11] A. Dumrongsiri and P. Chongphaisal, "Nurse scheduling in a hospital emergency department: A case study at a thai university hospital," *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, vol. 40, no.1, pp. 187–196, 2018.
- [12] A. A. Constantino, D. Landa-Silva, E. L. de Melo, C. F. X. de Mendonça, D. B. Rizzato and W. Romão, "A heuristic algorithm based on multi-assignment procedures for nurse scheduling," *Annals of Operations Research*, vol. 218, pp. 165–183, 2014, doi: 10.1007/s10479-013-1357-9.
- [13] M. B. S. Kumar, M. G. Nagalakshmi and D. S. Kumaraguru, "A Shift Sequence for Nurse Scheduling Using Linear Programming Problem," *IOSR Journal of Nursing and Health Science*, vol. 3, no. 6, pp. 24–28, 2014, doi: 10.9790/1959-03612428.
- [14] J. F. Bard and H. W. Purnomo, "Real-time scheduling for nurses in response to demand fluctuations and personnel shortages," in *PATAT 2004. Proceedings of the 5th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Pittsburgh, PA USA, Aug. 18–20, 2004, pp. 67–87.
- [15] G. Laporte and Y. Nobert, "A Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem," *Operations-Research-Spektrum*, vol. 5, pp. 77–85, 1983, doi: 10.1007/BF01720015.
- [16] J. J. S. Chávez, J. W. Escobarb*, M. G. Echeverri, and C. A. P. Meneses, "A heuristic algorithm based on tabu search for vehicle routing problems with backhauls," *Decision Science Letters*, vol. 7, no. 2, pp. 171–180, 2018, doi: 10.5267/j.dsl.2017.6.001.