การประยุกต์ใช้ GIS Analysis และ VRP วิเคราะห์ตรวจสอบข้อมูลเส้นทางการขนส่งห่วงโซ่ความเย็น สำหรับส่งมอบวัคซีนไปยังโรงพยาบาลและศูนย์บริการสาธารณสุขในสังกัดกรุงเทพมหานคร

IMPROVEMENT OF COLD CHAIN MANAGEMENT FOR VACCINES USING VRP AND GIS TO HOSPITALS AND PUBLIC HEALTH SERVICE CENTERS UNDER THE BANGKOK METROPOLITAN ADMINISTRATION

ณัฐวุฒิ พุ่มพฤกษี[1], ปิยธิดา ศรีพงษ์สุทธิ์[2] และ พรพิทักษ์ พันธ์หล้า[3]
Nattawut Pumpugsri[1], Piyathida Sriphongsut[2] and Pornpitak Panlar[3]

บริษัท ดี.ที.ซี. เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด (มหาชน)[1], คณะพยาบาลศาสตร์เกื้อการุณย์ มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช[2], กองควบคุมโรคและภัยสุขภาพในภาวะฉุกเฉิน กรมควบคุมโรค[3]
D.T.C. Enterprise Public Company Limited[1], Faculty of Nursing Kuakarun Navamindradhiraj University[2], Division of Disease Control and Health Hazards in Emergencies, Department of Disease Control[3]
Corresponding author email: nattawut_p@dtc.co.th[1]

Received: October 31, 2023
Revised: December 4, 2023
Accepted: December 6, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาการขนส่งห่วงโซ่ความเย็นของวัคซีนเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและนวัตกรรมด้านการขนส่ง เพื่อควบคุมอุณหภูมิและจัดส่งในระยะเวลาที่สั้น โดยการใช้เครื่องมือ และเทคโนโลยีต่างๆ ในการวิจัย เช่นการใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ Geographic Information System Analysis (GIS Analysis) และ Vehicle routing problem (VRP) โดยทำการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ เพื่อหาวิธีการเชิงพื้นที่และเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัคซีนเพื่อลดระยะทางและเวลาในการจัดส่ง โดยจุดประสงค์หลักคือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการวัคซีนและการขนส่ง รวมถึงรักษาคุณภาพของวัคซีนในระหว่างการขนส่ง Cold chain management กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ตำแหน่งโรงพยาบาลและศูนย์บริการสาธารณสุข ในสังกัดกรุงเทพมหานครจำนวน 76 จุดผลการวิจัยพบว่าการวิเคราะห์พื้นที่และการใช้ Vehicle routing problem สามารถช่วยให้สามารถสรุปแนะแนวทางและตำแหน่งที่เหมาะสมในการตั้งศูนย์กระจายวัคซีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่จะทำให้การบริหารจัดการวัคซีนและการขนส่งเป็นไปอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การวิเคราะห์พื้นที่ช่วยในการระบุตำแหน่งที่สอดคล้องกับความต้องการในการกระจายวัคซีน และ Vehicle routing problem ช่วยในการคำนวณเส้นทางที่ทำให้การขนส่งลดเวลาและระยะทางในการขนส่ง ผลการวิจัยช่วยสนับสนุนการตัดสินใจบริหารจัดการการขนส่งห่วงโซ่ความเย็น ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถควบคุมอุณหภูมิของการเก็บ รักษาวัคซีนได้ตลอดระยะทางในการขนส่งไปยังจุดส่งมอบแต่ละพิกัด

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์, ปัญหาการวางเส้นทางของยานพาหนะ, การจัดการห่วงโซ่ความเย็น

Abstract

The main objective of this research is to enhance the cold chain logistics for vaccine transportation to maintain product quality. This is achieved through the utilization of digital technology and transportation innovation to control temperature and ensure timely delivery. Various research tools and technologies are employed, such as Geographic Information System (GIS) Analysis and the Vehicle Routing Problem (VRP). The study involves analyzing and examining data to determine the most suitable spatial and transportation routes for vaccines, reducing both distance and delivery time. The primary aim is to improve the efficiency of vaccine management and transportation while preserving the quality of vaccines during the cold chain management process. The study focused on 76 locations, including hospitals and public health service centers in Bangkok. The research findings indicate that spatial analysis and the use of the Vehicle Routing Problem can efficiently identify suitable distribution centers and optimal routes, ultimately leading to more systematic and efficient vaccine management and transportation. Spatial analysis helps pinpoint locations that align with vaccine distribution needs, while the Vehicle Routing Problem calculates routes that reduce delivery time and distance.

Keywords: GIS Analysis, VRP, Cold chain management

บทนำ

ปัจจุบันในโลกของเรามีการระบาดของโรคติดเชื้อใหม่ที่รุนแรงมากขึ้น [1] สาเหตุมาจากปัจจัยหลายด้าน ทั้งจากปัจจัยธรรมชาติและปัจจัยที่เป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ ในสถานการณ์ปัจจุบันการควบคุมอุณหภูมิและการขนส่งวัคซีนเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อรักษาคุณภาพและประสิทธิภาพของวัคซีน ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นและ ประสบปัญหาสภาวะรถติดในกรุงเทพมหานคร ที่เป็นปัจจัยสำคัญของการขนส่งทำให้วัคซีนที่เป็นชีววัตถุมีความบอบช้ำต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และวัคซีนทุกชนิดจะสูญเสียคุณภาพเมื่ออุณหภูมิไม่เหมาะสม [2] การเก็บรักษาวัคซีนในเงื่อนไขที่เหมาะสมเรียกว่า "สายโซ่เย็น" เป็นสิ่งสำคัญในการรักษาคุณภาพของวัคซีนตลอดจากการผลิตจนถึงการจัดส่ง องค์การอนามัยโลก (WHO) แนะนำอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อรักษาประสิทธิภาพและคุณภาพของวัคซีนโดยใช้สายโซ่เย็นที่รักษาอุณหภูมิในช่วง +2°C ถึง +8°C [3] เมื่อขนส่งวัคซีนไปฉีดให้ผู้ให้บริการวัคซีนบรรจุอย่างถูกต้องการจัดการสายโซ่เย็นของวัคซีนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ โดยเฉพาะในกระบวนการขนส่ง การวิจัยในที่นี้มุ่งเน้นที่จะพัฒนาและเสริมระบบสายโซ่เย็นสำหรับการขนส่งวัคซีนเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เราพบว่านวัตกรรมดิจิทัลและนวัตกรรมในการขนส่งสามารถช่วยควบคุมอุณหภูมิและให้การส่งมอบทันเวลา การใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีการวิจัยต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) [4] และการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (VRP) [5] มีบทบาทสำคัญในงานนี้

การวิจัยนี้เน้นการวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลเพื่อหาเส้นทางขนส่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัคซีน โดยลดระยะทางและเวลาในการส่งมอบ วัตถุประสงค์หลักคือการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการและขนส่งวัคซีนอย่างมีระบบ และมีประสิทธิภาพมากขึ้น การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ช่วยในการหาตำแหน่งที่ตรงกับความต้องการในการกระจายของวัคซีนและการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งคำนวณเส้นทางที่ลดระยะทางและเวลาในการส่งมอบ การวิจัยนี้หวังว่าจะเสริมสร้างประสิทธิภาพในการจัดการและขนส่งวัคซีนอย่างมีระบบเพื่อให้วัคซีนมาถึงสถานที่รักษาพยาบาลตอนที่จำเป็น โดยรักษาเงื่อนไขอุณหภูมิให้เหมาะสมในกระบวนการจัดการสายโซ่เย็น

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1.1 เพื่อศึกษาปัญหาในการจัดการสายโซ่เย็นสำหรับวัคซีน จากปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem, VRP) โดยมุ่งเน้นที่การหาเส้นทางที่ลดระยะทางและเวลาในการส่งมอบ

1.2 เพื่อศึกษาและทดลองใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะช่วยในการหาตำแหน่งที่ตรงกับความต้องการในการกระจายของวัคซีนและการวางแผนเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสมที่สุด

1.3 เพื่อศึกษาผลจากการศึกษาและข้อมูลที่ได้จากการจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem, VRP) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มาใช้ในการพัฒนาห่วงโซ่ความเย็นโดยเน้นที่การวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลเพื่อหาเส้นทางขนส่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัคซีน

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ (GIS Analysis)

การวิเคราะห์ระบบข้อมูลทางภูมิศาสตร์ (GIS Analysis) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการใช้ข้อมูลทางภูมิศาสตร์และความสัมพันธ์ทางพื้นที่เพื่อนำความเข้าใจ, รูปแบบ, และข้อมูลที่มีค่าจากข้อมูลทางภูมิศาสตร์และภูมิศาสตร์ มันเป็นส่วนสำคัญของ GIS ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจับภาพ, เก็บรักษา, วิเคราะห์, และนำเสนอข้อมูลทางพื้นที่หรือทางภูมิศาสตร์ การวิเคราะห์ GIS สามารถใช้ในหลายสาขาและการประยุกต์งานต่าง ๆ เช่น การวางแผนเมือง, การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ, วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, สาธารณสุขสาธารณสุข,[6] และอื่น ๆ

2.2 การวิเคราะห์แผนที่ความร้อน (Hot Spot Analysis)

การวิเคราะห์แผนที่ความร้อน (Hot Spot Analysis) สามารถใช้ในการแสดงข้อมูลเกี่ยวกับสถานพยาบาลในกรุงเทพมหานครเพื่อหาพื้นที่ที่มีความชุกสูงหรือความชุกต่ำของสถานพยาบาลหรือข้อมูลทางสุขภาพที่เกี่ยวข้อง เราสามารถใช้ Geographic Information System (GIS) เพื่อทำ Hot Spot Analysis [7] โดยการนำเข้าข้อมูลของสถานพยาบาลและข้อมูลพื้นที่ในกรุงเทพมหานครเข้าสู่ระบบ GIS และใช้เครื่องมือและเทคนิคทางสถิติที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้นเพื่อหาพื้นที่ที่มีความชุกสูงหรือความชุกต่ำ ขึ้นอยู่กับประเภทข้อมูลที่คุณกำลังวิเคราะห์ การทำ Hot Spot Analysis จะช่วยให้คุณพบพื้นที่ที่มีการคลัสเตอร์ (cluster) ของสถานพยาบาล เป็นพื้นที่ที่มีความชุกสูงหรือความชุกต่ำโดยเปรียบเทียบกับพื้นที่รอบ ๆ นั้น ข้อมูลเหล่านี้สามารถช่วยให้บริเวณรักษาและการบริหารจัดการสุขภาพในกรุงเทพมหานครมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยในการตัดสินใจในการแจ้งเตือนหรือเข้าช่วยเหลือในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงขึ้น การวิเคราะห์แผนที่ความร้อน Getis-Ord Gi * แสดงรูปแบบคลัสเตอร์ แบ่งพื้นที่ของเหตุการณ์แสดงการแจกแจงแบบกลุ่มแยกของในรูปแบบของแผนที่ความร้อน [8] The formula for the Getis-Ord, Gi* statistic is

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^{N} w_{i,j}(d)x_j}{\sum_{j=1}^{n} x_j}, \tag{1}$$

$$w_{i,j}(d) = \begin{cases} 1, \text{ if } d_{i,j} < d \text{ for all } i, j \\ 0, \quad \text{otherwise} \end{cases}. \tag{2}$$

2.3 ปัญหาการวางเส้นทางของยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem)

การขนส่งวัคซีนเป็นงานที่มีความสำคัญและต้องการการวางแผนที่รอบคอบเพื่อให้วัคซีนถึงมือผู้รับในสภาพที่ดีและทันเวลา ปัญหาการวางเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem, VRP) [9] ในบริบทนี้จะเกี่ยวข้องกับการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับยานพาหนะที่ใช้ในการจัดส่งวัคซีนจากจุดกระจายสินค้าไปยังหลายๆ จุดปลายทาง โดยต้องคำนึงถึง

ปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิที่จำเป็นสำหรับการเก็บรักษาวัคซีน, ระยะเวลาในการจัดส่ง, และความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะVRP เป็นปัญหาที่ซับซ้อนและมักจะต้องใช้เทคนิคการแก้ปัญหาเชิงประกอบ (Heuristic) หรือเชิงเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เพื่อหาวิธีการจัดส่งที่ดีที่สุด [10] รวมถึงการค้นหาแบบจำลอง (Simulated Annealing), อัลกอริทึมพันธุกรรม (Genetic Algorithms), และการค้นหาแบบประชากร (Population-based search) เป็นต้น

2.4 การจัดการห่วงโซ่ความเย็น (Cold chain management)

การจัดการห่วงโซ่ความเย็น (Cold Chain Management) คือ กระบวนการในการจัดการและควบคุมอุณหภูมิของสินค้าตลอดทั้งห่วงโซ่การจัดจำหน่าย ตั้งแต่การผลิต, การเก็บรักษา, การขนส่ง, และจนถึงการจำหน่ายแก่ผู้บริโภค [11] โดยมีเป้าหมายเพื่อรักษาคุณภาพของสินค้า และป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการที่สินค้าได้รับอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม สินค้าที่ต้องการห่วงโซ่ความเย็นมักจะเป็นสินค้าที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น หรือสินค้าที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิอย่างเข้มงวด เช่น วัคซีน[12], ยา, อาหารสด, และสินค้าเกษตรอื่น ๆ การจัดการห่วงโซ่ความเย็นมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากถ้าสินค้าเหล่านี้ได้รับอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้สินค้าเสียหาย, สูญเสียคุณภาพ, หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคดังนั้น, การจัดการห่วงโซ่ความเย็นจึงต้องคำนึงถึงการรักษาอุณหภูมิในระดับที่เหมาะสม การตรวจสอบและติดตามอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ และมีการระบบการแจ้งเตือนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ไม่ปกติ

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kadir Diler Alemdar, Ömer Kaya, Muhammed Yasin Çodur, Tiziana Campisi, and Giovanni Tesoriere ได้จัดทำงานวิจัยเรื่อง [13] Accessibility of vaccination centers in COVID-19 outbreak control: A gis-based multi-criteria decision making approach ในปี 2021 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การขนส่งและการบริหารจัดการวัคซีนเป็นเรื่องที่สำคัญเท่ากับการผลิต การเพิ่มขึ้นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีข้อมูลทางภูมิศาสตร์ทำให้เกิดการผลิตข้อมูลเชิงพื้นที่ในปริมาณมากที่จำเป็นสำหรับการจัดการความเสี่ยงและการบรรเทาผลกระทบ โดยเฉพาะในกรณีของภัยพิบัติและการระบาดของโรค ด้วยการที่วัคซีนจะถูกให้กับส่วนใหญ่ของประชากร จึงเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องจัดตั้งศูนย์ฉีดวัคซีนนอกโรงพยาบาล การเลือกสถานที่สำหรับศูนย์ฉีดวัคซีนเป็นความท้าทายใหญ่สำหรับภาคสุขภาพในเมืองใหญ่เนื่องจากประชากรที่หนาแน่นและจำนวนผู้ป่วยในแต่ละวันที่มาก กระบวนการเลือกสถานที่ที่ไม่ดีสามารถทำให้เกิดปัญหามากมายสำหรับภาคสุขภาพ, แรงงาน, บุคลากรทางการแพทย์, และผู้ป่วย เพื่อเอาชนะสิ่งนี้ ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาที่มีสามขั้นตอน: (1) การกำหนดเกณฑ์แปดประการจากประสบการณ์ของคณะที่ปรึกษา, (2) การคำนวณน้ำหนักของเกณฑ์โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น (AHP) และการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของเกณฑ์โดยใช้ระบบข้อมูลทางภูมิศาสตร์ (GIS), (3) การกำหนดศูนย์ฉีดวัคซีนที่เป็นไปได้โดยการได้รับแผนที่ที่เหมาะสมและการกำหนดพื้นที่บริการ ศึกษากรณีได้รับการดำเนินการสำหรับแขวงบาก์จิลาร์, อิสตันบูล โดยใช้วิธีการที่เสนอ ผลการวิจัยแสดงว่าพื้นที่ที่เหมาะสมถูกจัดกลุ่มเป็นสามพื้นที่ที่แตกต่างกันของแขวง วิธีการที่เสนอให้โอกาสในการดำเนินการโปรแกรมการฉีดวัคซีนที่มีฐานทางวิทยาศาสตร์และยุทธศาสตร์ และสร้างแผนที่ของศูนย์ฉีดวัคซีนที่เหมาะสมสำหรับประเทศ

Kamil Faisal, Sultanah Alshammari, Reem Alotaibi, Areej Alhothali, Omaimah Bamasag, Nusaybah Alghanmi and Manal Bin Yamin ได้จัดทำงานวิจัยเรื่อง [14] Spatial Analysis of COVID-19 Vaccine Centers Distribution: A Case Study of the City of Jeddah, Saudi Arabia ในปี 2022 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การตัดสินใจเกี่ยวกับจำนวนและสถานที่ของสถานที่เหล่านี้เป็นวัตถุประสงค์หลักสำหรับการตอบสนองต่อการระบาดของโรคเพื่อให้บริการวัคซีนและบริการสุขภาพอื่น ๆ แก่ประชากรทั้งหมด งานวิจัยนี้วิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของศูนย์ฉีดวัคซีน COVID-19 ในเจดดะห์, เมืองใหญ่ในประเทศซาอุดีอาระเบีย โดยใช้เครื่องมือและวิธีการ GIS เพื่อให้มุมมองเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการเลือกและการกระจายตัวของศูนย์ฉีดวัคซีน COVID-19 ในเรื่องของการเข้าถึงและความครอบคลุม ตามการวิเคราะห์เชิงพื้นที่

ของการครอบคลุมของศูนย์ฉีดวัคซีนในปี 2020 และ 2021 ในเจดดะห์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ความไม่เพียงพอในการครอบคลุมน่าจะได้รับการแก้ไขก่อนหากวิธีการวิเคราะห์ GIS ที่ใช้ได้ถูกนำมาใช้โดยหน่วยงานขณะเพิ่มจำนวนศูนย์ฉีดวัคซีนอย่างทีละขั้น งานวิจัยนี้แนะนำให้กระทรวงสาธารณสุขของประเทศซาอุดีอาระเบียประเมินศูนย์ฉีดวัคซีนที่ได้รับการกำหนดเพื่อรวมถึงพื้นที่ที่มีประชากรน้อย และเพื่อให้แน่ใจว่ามีความยุติธรรมและความยุติธรรมในการกระจายตัวของวัคซีน การเพิ่มศูนย์ฉีดวัคซีนเพิ่มเติมหรือการย้ายบางศูนย์ที่มีอยู่ในพื้นที่ที่หนาแน่นเพื่อเพิ่มการครอบคลุมในพื้นที่ที่ไม่มีการครอบคลุมในเจดดะห์ยังได้รับการแนะนำ วิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมการบริหารจัดการวัคซีนเชิงยุทธศาสตร์สำหรับภาวะฉุกเฉินด้านสาธารณสุขในอนาคตและแคมเปญฉีดวัคซีนอื่น ๆ

Runfeng Yu, Lifen Yun, Chen Chen, Yuanjie Tang, Hongqiang Fan, and Yi Qin ได้จัดทำงานวิจัยเรื่อง [15] Vehicle Routing Optimization for Vaccine Distribution Considering Reducing Energy Consumption ในปี 2023 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การประหยัดพลังงานและการปรับปรุงประสิทธิภาพเป็นเป้าหมายที่บริษัทโลจิสติกส์ด้านยา ในการวิจัยนี้, เราสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางของยานพาหนะพร้อมช่วงเวลา (VRPTW) สำหรับการจัดจำหน่ายวัคซีนด้วยเป้าหมายในการลดต้นทุนทั้งหมด รวมถึงต้นทุนเชื้อเพลิงฟอสซิลและต้นทุนปรับ ด้วยความยาก และความไม่เป็นเส้นตรงของโมเดล อัลกอริทึมพันธุกรรมพร้อมตัวดำเนินการค้นหาในพื้นที่ใหญ่ (GA-LNS) และวิธีการเข้ารหัส TSP-split ได้รับการปรับแต่งเพื่อแก้ปัญหาขนาดใหญ่ การทดลองเชิงตัวเลขแสดงว่าอัลกอริทึมสามารถได้รับคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมในเวลาการคำนวณที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังได้ดำเนินการใช้อัลกอริทึมที่เสนอเพื่อประเมินกรณีการจัดจำหน่ายวัคซีนใน จีน และยังนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิตามฤดูกาล, ความเร็วของยานพาหนะ, ชั่วโมงการทำงานของคนขับขี่, และประสิทธิภาพการทำความเย็น

Kenza Izikki1, Jamila El Alami and Mustapha Hlyal ได้จัดทำงานวิจัยเรื่อง [16] The Use of the Internet of Things in the Cold Chain Logistics for a Better Vaccine Transportation: A State of the Art ในปี 2021 วัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การจัดการโซ่อุปทานพยายามคิดค้นวิธีการและวิธีการใหม่เพื่อบรรเทาความท้าทายเหล่านี้และปรับปรุงประสิทธิภาพของโซ่อุปทาน ในการแสวงหาประสิทธิภาพและความแข็งแกร่งทางการแข่งขัน, อุตสาหกรรม 4.0 ได้แสดงผลกระทบกับการพัฒนาระดับโลกอย่างมีนัยสำคัญ เทคโนโลยีที่ทำให้สามารถทำงานได้ในอุตสาหกรรม 4.0 ประกอบด้วยระบบ Cyber Physical (CPS), Internet of Things (IoT), การคำนวณบนคลาวด์, บล็อกเชน ฯลฯ ด้วยความสามารถในการรับรู้และสร้างข้อมูลที่มีคุณค่าในทั้งโซ่คุณค่า, IoT ได้รับความสนใจจากนักวิจัยและผู้ปฏิบัติงานที่เพิ่มขึ้น การขนส่ง "cold chain" เป็นหมวดหมู่เฉพาะของระบบโซ่อุปทาน มันเด่นชัดจากระบบโซ่อุปทานประเภทอื่นๆ ด้วยความต้องการและข้อบังคับที่เข้มงวดซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพได้ง่ายและต้องการอุณหภูมิ ในขณะที่การก้าวหน้าทางเทคโนโลยีได้ช่วยในการปรับปรุง cold chain, การดำเนินการด้านโลจิสติกส์และการขนส่งยังคงเป็นปัญหาหลัก ในมุมมองนี้, บทความนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะสำรวจสถานะปัจจุบันของการใช้ IoT ในการขนส่ง cold chain และเฉพาะในโซ่อุปทานด้านการแพทย์และวัคซีน มันสนทนาเกี่ยวกับความท้าทายที่ cold chain ด้านการแพทย์และวัคซีนเผชิญหน้าและชี้แจงประโยชน์หลักของเทคโนโลยี IoT

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 เครื่องมือการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้เครื่องมือดิจิทัลและเทคโนโลยีในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาเส้นทางขนส่งวัคซีนที่เหมาะสม

4.1.1 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

1) ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่สถานพยาบาล เพื่อหาตำแหน่งที่ตรงกับความต้องการในการกระจายของวัคซีน

4.1.2 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (VRP)

1) ใช้คำนวณเส้นทางที่ลดระยะทางและเวลาในการส่งมอบ

2) การประเมินคุณภาพ: ทดสอบการทำงานของโปรแกรม และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับเส้นทางจริง

4.2 กลุ่มเป้าหมาย

4.2.1 โรงพยาบาลและศูนย์บริการสาธารณสุข ในสังกัดกรุงเทพมหานครจำนวน 76 จุด จากการสำรวจโดยบริษัท ไทย ดิจิทัล แมพ จำกัด

4.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

4.3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย วิธีการเก็บข้อมูลในการวิจัย

1) สำรวจและรวบรวมข้อมูลพื้นที่จากระบบ GIS จากการสำรวจโดยบริษัท ไทย ดิจิทัล แมพ จำกัด ที่ทำการสำรวจสถานพยาบาลทั้งประเทศ ในปี 2023 และ กำหนดกลุ่มเป้าหมายเป็นโรงพยาบาลและศูนย์บริการสาธารณสุข ในสังกัดกรุงเทพมหานคร

2) สำรวจและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการและขนส่งวัคซีน

4.3.2 ขั้นตอนการวิจัย

1) ระบุปัญหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

2) รวบรวมข้อมูลพื้นที่และข้อมูลการขนส่งวัคซีน

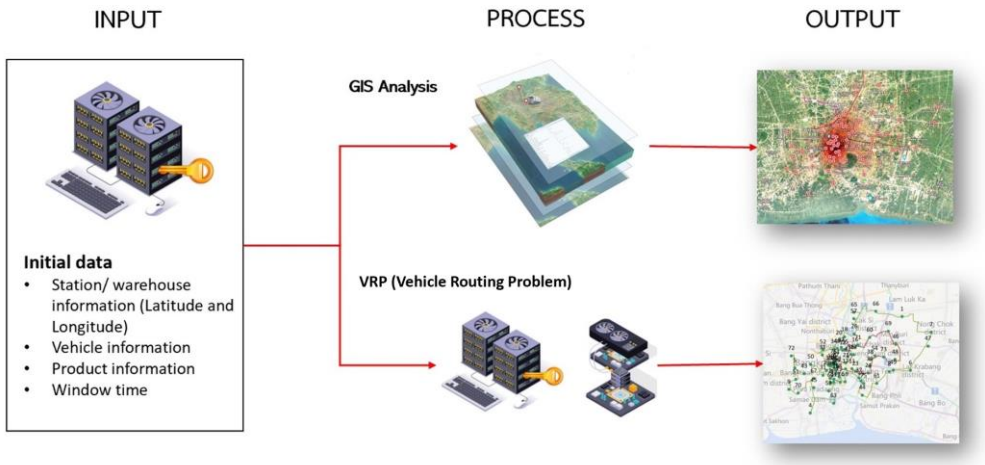
3) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยระบบ GIS และ VRP

4) นำเสนอผลลัพธ์และข้อเสนอแนะ

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการปรับปรุงการจัดการห่วงโซ่ความเย็นในการขนส่งวัคซีนโดยใช้ VRP และ GIS Analysis

การวิเคราะห์ด้วยระบบ GIS และ Hot Spot Analysis ได้เปิดเผยการกระจายตัวของสถานพยาบาลในกรุงเทพมหานคร โดยบริเวณที่มีสีแดงบนแผนที่ความร้อนแสดงถึงบริเวณที่มีสถานพยาบาลหนาแน่น ส่วนระบบ VRP ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดส่งวัคซีน ลดเวลาและระยะทางของการขนส่งแสดงดังรูปที่ 1

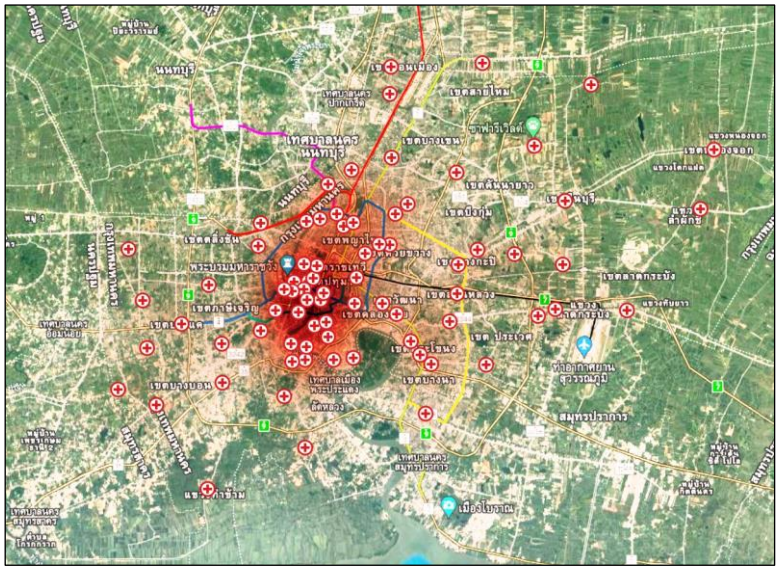


รูปที่ 1 ระบบการขนส่งวัคซีนโดยใช้ VRP และ GIS Analysis

ระบบนี้ช่วยให้สามารถวิเคราะห์และวางแผนการกระจายวัคซีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้การวิเคราะห์ข้อมูล GIS และ VRP ในการระบุจุดที่มีความต้องการสูงจากปริมาณสถานพยาบาลในเขตกรุงเทพมหานคร และการวางแผนเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการจัดส่ง เพื่อลดเวลาและระยะทางในการขนส่ง

5.2 ผลการทดลองใช้ระบบ GIS Analysis และ Hot Spot Analysis

แสดงการกระจายตัวของสถานพยาบาลในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 76 จุด ด้วยการแสดงแผนที่ความร้อน (Heat map) ซึ่งจุดที่มีสีแดงแสดงถึงบริเวณที่มีสถานพยาบาลหนาแน่น ตามที่คุณกล่าวมา จะเห็นว่ามีสถานพยาบาลหนาแน่นในเขตตัวเมืองชั้นในและกระจายตัวตามเขตตัวเมืองชั้นนอก แผนที่เหล่านี้มีประโยชน์ในการวางแผนและจัดการบริการสุขภาพในกรุงเทพมหานคร ซึ่งช่วยให้เข้าใจเกี่ยวกับการกระจายตัวของสถานพยาบาลและการให้บริการที่เกี่ยวกับสุขภาพในพื้นที่ต่างๆแสดงผลในรูปที่ 2

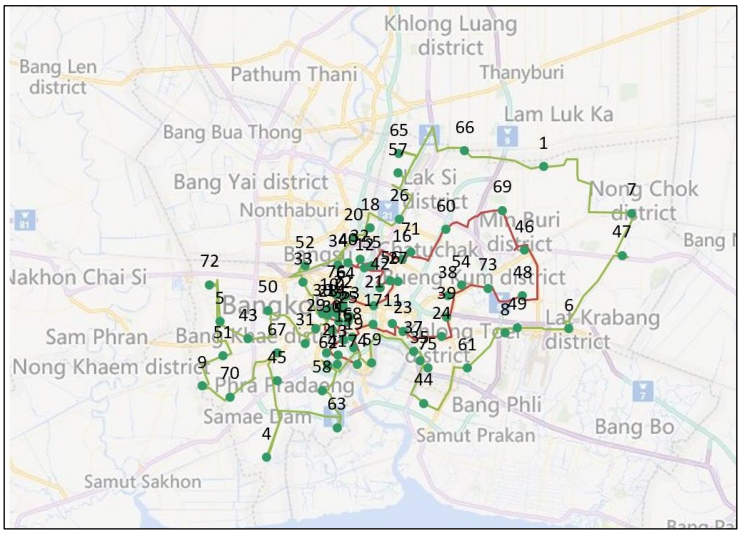


รูปที่ 2 การวิเคราะห์แผนที่ความร้อนสถานพยาบาลสังกัดกรุงเทพมาหานครจำนวน 76 จุด

จากรูปที่ 2 แสดงแผนที่ความร้อน (heat map) ที่แสดงการกระจายตัวของสถานพยาบาลในเขตกรุงเทพมหานคร จากภาพนี้เห็นได้ชัดว่ามีการจัดแสดงจุดที่มีสถานพยาบาลหนาแน่นถึง 76 จุด โดยบริเวณที่มีสีแดงบ่งบอกถึงพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของสถานพยาบาลมากที่สุด ซึ่งมักจะอยู่ในเขตตัวเมืองชั้นใน ทั้งนี้แผนที่ยังแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของสถานพยาบาลที่เลื่อนลางออกไปตามเขตตัวเมืองชั้นนอกด้วย จากข้อมูลที่ภาพแสดง สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนและจัดการบริการสุขภาพในกรุงเทพมหานครได้ ช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าใจถึงรูปแบบการกระจายตัวของสถานพยาบาลและการให้บริการที่เกี่ยวกับสุขภาพ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจเกี่ยวกับการวางแผนการจัดสรรทรัพยากร การตั้งตำแหน่งสถานพยาบาลใหม่ หรือการปรับปรุงการเข้าถึงบริการสำหรับประชาชน

5.3 ผลการทดลองใช้ระบบ VRP (Vehicle Routing Problem)

Vehicle Routing Problem (VRP) เป็นปัญหาการหาเส้นทางที่ดีที่สุดสำหรับการขนส่งด้วยรถยนต์, ข้อมูลบนแผนที่แสดงถึงเส้นทางขนส่งการขนส่งวัคซีนสังกัดกรุงเทพมาหานครจำนวน 76 จุดที่ใช้รถในการขนส่งสองคันรถทำการขนส่งไปยังที่ต่างๆ จากแผนที่, สามารถเห็นได้ว่ามีจุดจัดส่งกระจายตัวอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล เราสามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้ว่า ควรจัดสรรรถคันแรกให้ครอบคลุมพื้นที่บนส่วนฝั่งตะวันออกของแผนที่ ซึ่งรวมถึงเขต เขตลาดกระบัง, เขตมีนบุรีและส่วนในเขต เขตบางกะปิ, ฯลฯ รถคันที่สองสามารถครอบคลุมพื้นที่ฝั่งตะวันตกและใต้ของแผนที่ ซึ่งรวมถึงเขต เขตบางบอน, พระประแดง, ฯลฯ แสดงผลในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งการขนส่งวัคซีนสังกัดกรุงเทพมหานครจำนวน 76 จุด

การใช้การวิเคราะห์ Vehicle Routing Problem (VRP) ช่วยให้สามารถตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดสรรเส้นทางการขนส่งวัคซีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการจัดรถขนส่งให้ครอบคลุมจุดที่มีความต้องการสูง และตรงตามความต้องการของพื้นที่ต่างๆ ทั้งในเขตเมืองหลักและปริมณฑล ซึ่งจะช่วยลดเวลาและระยะทางในการขนส่ง และเพิ่มความสามารถในการเข้าถึงวัคซีนให้กับประชาชนในพื้นที่เหล่านั้นได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

Vehicle: V1 (T1)							
Stop count	Location Name	Distance comparison			Driving time comparison		
		Distance travelled VRP	Distance travelled	%Eff	Driving time VRP	Driving time	%Eff
0	โรงพยาบาลกลาง	0	0	0%	0:00	0:00	0%
1	ศูนย์บริการสาธารณสุข 20	0.77	2.3	-67%	0:04	0:08	-50%
2	ศูนย์บริการสาธารณสุข 5	3.51	7.1	-51%	0:12	0:22	-45%
3	ศูนย์บริการสาธารณสุข 23	4.99	8.5	-41%	0:18	0:27	-33%
4	ศูนย์บริการสาธารณสุข 14	8.35	14.2	-41%	0:28	0:38	-26%
5	โรงพยาบาลเจริญกรุงประชารักษ์	11.54	17.1	-33%	0:37	0:45	-18%
6	ศูนย์บริการสาธารณสุข 12	14.5	19.6	-26%	0:46	0:52	-12%
7	ศูนย์บริการสาธารณสุข 7	18.26	23.1	-21%	0:56	0:59	-5%
8	ศูนย์บริการสาธารณสุข 18	21.17	27.7	-24%	1:03	1:09	-9%
9	ศูนย์บริการสาธารณสุข 63	23.54	29.8	-21%	1:11	1:15	-5%
10	ศูนย์บริการสาธารณสุข 16	28.3	35	-19%	1:26	1:33	-8%
11	ศูนย์บริการสาธารณสุข 10	33.66	40.6	-17%	1:40	2:01	-17%
12	ศูนย์บริการสาธารณสุข 21	36.57	42.5	-14%	1:48	2:07	-15%
13	ศูนย์บริการสาธารณสุข 22	42.75	48.4	-12%	2:01	2:21	-14%
14	ศูนย์บริการสาธารณสุข 37	47.28	55.4	-15%	2:09	2:33	-16%
15	ศูนย์บริการสาธารณสุข 35	52.95	61.1	-13%	2:19	2:43	-15%
16	ศูนย์บริการสาธารณสุข 50	59.03	67.9	-13%	2:30	2:56	-15%

Vehicle: V1 (T1)							
Stop count	Location Name	Distance comparison			Driving time comparison		
		Distance travelled VRP	Distance travelled	%Eff	Driving time VRP	Driving time	%Eff
17	ศูนย์บริการสาธารณสุข 68	64.34	73.3	-12%	2:41	3:06	-13%
18	ศูนย์บริการสาธารณสุข 45	71.19	84.3	-16%	2:51	3:20	-15%
19	ศูนย์บริการสาธารณสุข 43	81.18	103	-21%	3:05	3:40	-16%
20	ศูนย์บริการสาธารณสุข 64	91.79	120	-24%	3:21	4:09	-19%
21	ศูนย์บริการสาธารณสุข 56	100.96	134.1	-25%	3:35	4:35	-22%
22	ศูนย์บริการสาธารณสุข 66	109.66	145.1	-24%	3:54	4:53	-20%
23	ศูนย์บริการสาธารณสุข 15	111.99	147	-24%	4:04	4:58	-18%
24	ศูนย์บริการสาธารณสุข 3	120.73	160.9	-25%	4:23	5:23	-19%
25	ศูนย์บริการสาธารณสุข 38	123.28	164.1	-25%	4:30	5:31	-18%
26	ศูนย์บริการสาธารณสุข 11	125.76	168.1	-25%	4:38	5:42	-19%
27	ศูนย์บริการสาธารณสุข 51	127.59	169.9	-25%	4:44	5:48	-18%
28	ศูนย์บริการสาธารณสุข 4	133.2	177.5	-25%	4:56	5:59	-18%
29	ศูนย์บริการสาธารณสุข 52	135.43	179.8	-25%	5:03	6:05	-17%
30	ศูนย์บริการสาธารณสุข 25	136.6	181	-25%	5:08	6:09	-17%
31	ศูนย์บริการสาธารณสุข 2	142.37	186.7	-24%	5:24	6:45	-20%
32	ศูนย์บริการสาธารณสุข 6	146.66	195.6	-25%	5:36	7:00	-20%
33	ศูนย์บริการสาธารณสุข 9	149.36	197.9	-25%	5:43	7:11	-20%
34	ศูนย์บริการสาธารณสุข 1	152.16	200.9	-24%	5:52	7:20	-20%
35	โรงพยาบาลตากสิน	155.15	204.1	-24%	5:59	7:27	-20%
36	ศูนย์บริการสาธารณสุข 28	157.75	206.4	-24%	6:07	7:33	-19%
37	ศูนย์บริการสาธารณสุข 26	161.24	212.3	-24%	6:15	7:46	-20%
38	ศูนย์บริการสาธารณสุข 13	163.18	215.3	-24%	6:23	7:56	-20%
39	โรงพยาบาลกลาง	164.14	217.9	-25%	6:29	8:06	-20%

ตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง (ต่อ)

Vehicle: V2 (T2)							
Stop count	Location Name	Distance comparison			Driving time comparison		
		Distance travelled VRP	Distance travelled	%Eff	Driving time VRP	Driving time	%Eff
0	โรงพยาบาลกลาง	0	0	0%	0:00	0:00	0%
1	ศูนย์บริการสาธารณสุข 33	4.28	7.7	-44%	0:11	0:18	-39%
2	ศูนย์บริการสาธารณสุข 30	10.32	14.8	-30%	0:25	0:34	-26%
3	ศูนย์บริการสาธารณสุข 49	17.12	16.7	3%	0:39	0:39	0%
4	ศูนย์บริการสาธารณสุข 31	27.23	29.6	-8%	0:55	0:56	-2%
5	ศูนย์บริการสาธารณสุข 19	32.72	35	-7%	1:02	1:05	-5%

Vehicle: V2 (T2)							
Stop count	Location Name	Distance comparison			Driving time comparison		
		Distance travelled VRP	Distance travelled	%Eff	Driving time VRP	Driving time	%Eff
6	ศูนย์บริการสาธารณสุข 17	36.04	40.1	-10%	1:11	1:22	-13%
7	ศูนย์บริการสาธารณสุข 24	43.61	48	-9%	1:23	1:38	-15%
8	ศูนย์บริการสาธารณสุข 53	53.73	64.2	-16%	1:41	2:01	-17%
9	ศูนย์บริการสาธารณสุข 60	60.79	71.2	-15%	1:56	2:16	-15%
10	ศูนย์บริการสาธารณสุข 61	78.86	95.6	-18%	2:23	2:56	-19%
11	โรงพยาบาลคลองสามวา	92.66	111	-17%	2:43	3:20	-19%
12	โรงพยาบาลเวชการุณรัศมิ์	112.06	132.3	-15%	3:06	3:47	-18%
13	ศูนย์บริการสาธารณสุข 44	119.59	139.8	-14%	3:15	3:57	-18%
14	โรงพยาบาลลาดกระบัง	134.88	164.2	-18%	3:35	4:36	-22%
15	ศูนย์บริการสาธารณสุข 46	143.29	178.1	-20%	3:50	5:00	-23%
16	โรงพยาบาลสิรินธร	145.92	181.2	-19%	3:55	5:06	-23%
17	ศูนย์บริการสาธารณสุข 57	154.29	190.8	-19%	4:09	5:23	-23%
18	ศูนย์บริการสาธารณสุข 41	164.44	213	-23%	4:24	6:01	-27%
19	ศูนย์บริการสาธารณสุข 8	171.37	224.2	-24%	4:37	6:18	-27%
20	ศูนย์บริการสาธารณสุข 32	173.18	226.6	-24%	4:44	6:25	-26%
21	ศูนย์บริการสาธารณสุข 34	176.02	230.3	-24%	4:53	6:37	-26%
22	ศูนย์บริการสาธารณสุข 55	186.91	241.2	-23%	5:06	6:58	-27%
23	ศูนย์บริการสาธารณสุข 39	195.34	253.1	-23%	5:19	7:15	-27%
24	ศูนย์บริการสาธารณสุข 58	197.29	254.6	-23%	5:23	7:19	-26%
25	ศูนย์บริการสาธารณสุข 54	204.87	263	-22%	5:37	7:36	-26%
26	ศูนย์บริการสาธารณสุข 59	211.15	269.9	-22%	5:51	7:54	-26%
27	โรงพยาบาลผู้สูงอายุ บางขุนเทียน	228.14	292.3	-22%	6:18	8:25	-25%
28	ศูนย์บริการสาธารณสุข 42	240.38	307.6	-22%	6:34	8:56	-26%
29	ศูนย์บริการสาธารณสุข 62	246.09	314.4	-22%	6:48	9:13	-26%
30	ศูนย์บริการสาธารณสุข 65	257.67	326.1	-21%	7:04	9:41	-27%
31	โรงพยาบาลหลวงพ่อทวีศักดิ์	263.04	333.3	-21%	7:14	9:57	-27%
32	ศูนย์บริการสาธารณสุข 48	271.24	342.4	-21%	7:28	10:16	-27%
33	ศูนย์บริการสาธารณสุข 67	283.85	359.3	-21%	7:48	10:54	-28%
34	โรงพยาบาลราชพิพัฒน์	291.9	368.7	-21%	8:03	11:11	-28%
35	ศูนย์บริการสาธารณสุข 40	298.21	374.9	-20%	8:13	11:27	-28%
36	ศูนย์บริการสาธารณสุข 47	304.95	389.7	-22%	8:25	11:47	-29%
37	ศูนย์บริการสาธารณสุข 29	313.11	395.1	-21%	8:41	11:57	-27%
38	ศูนย์บริการสาธารณสุข 27	315.98	398.7	-21%	8:49	12:11	-28%
39	โรงพยาบาลกลาง	321.06	405.3	-21%	8:59	12:36	-29%

จากตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่าการทดลองใช้ระบบ VRP (Vehicle Routing Problem) ในการจัดส่งวัคซีนได้เปิดเผยความสามารถที่สูงของระบบนี้ในการประหยัดทั้งระยะทางและเวลาของการขนส่ง สำหรับรถคันที่ 1, ระบบ VRP ได้ช่วยลดระยะทางการขนส่งลงถึง 25% และลดเวลาขับขี่ลง 20% เมื่อเทียบกับการขนส่งแบบปกติ ในขณะที่รถคันที่ 2 ก็ได้ประสบความสำเร็จอย่างเดียวกัน โดยระบบ VRP ได้ช่วยลดระยะทางลง 21% และลดเวลาขับขี่ลงถึง 29% เมื่อพิจารณาการจัดส่งวัคซีนทั้งหมดที่ 76 จุดด้วยรถ 2 คัน, ระบบ VRP ได้ช่วยลดระยะทางการขนส่งรวมลงถึง 22% และลดเวลาขับขี่รวมลง 25% เมื่อเทียบกับการขนส่งแบบปกติ ผลการทดลองนี้ยืนยันว่าการใช้ระบบ VRP สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดส่งวัคซีน ทำให้การขนส่งเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งสำคัญมากสำหรับการจัดส่งวัคซีนที่ต้องการความรวดเร็วและความน่าเชื่อถือ

6. อภิปรายผลการวิจัย

6.1 ระบบการวิเคราะห์ด้วย GIS Analysis และ Hot Spot Analysis ในการศึกษาการกระจายตัวของสถานพยาบาล ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักส่วน คือ ฐานข้อมูลสถานพยาบาล ระบบ GIS Analysis และ การวิเคราะห์ Hot Spot ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีองค์ประกอบที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง จึงส่งผลให้การวิเคราะห์แสดงถึงพื้นที่ที่มีสถานพยาบาลหนาแน่น สอดคล้องกับ ผู้วิจัย [17] ได้วิจัยเรื่องการกระจายตัวของสถานพยาบาล พบว่ามีสถานพยาบาลหนาแน่นในเขตกรุงเทพมหานคร และมีผลต่อการให้บริการสุขภาพในพื้นที่นั้น การวิเคราะห์ดังกล่าวยังช่วยให้สามารถจำแนกและประเมินผลกระทบของการกระจายตัวของสถานพยาบาลต่อการให้บริการสุขภาพ โดยเฉพาะในบริบทของการเข้าถึงบริการที่เป็นธรรมและการตอบสนองต่อความต้องการของประชาชน นอกจากนี้ยังช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากรและการตั้งรับต่อเหตุการณ์ฉุกเฉิน เช่น การระบาดของโรค หรือภาวะวิกฤตอื่น ๆ การวิเคราะห์นี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวางแผนด้านสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นประชากรสูงและต้องการบริการสุขภาพอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว

6.2 ระบบ VRP (Vehicle Routing Problem) ในการจัดส่งวัคซีน ประกอบด้วยองค์ประกอบส่วนหลัก คือ ฐานข้อมูลจุดจัดส่งวัคซีนระบบการประมวลผลและตัดสินใจเส้นทางการขนส่งและระบบการแสดงผลเส้นทางการขนส่งความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อความเหมาะสมของระบบโดยรวมอยู่ในระดับดีเยี่ยม ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีองค์ประกอบที่สามารถประมวลผลเส้นทางการขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงส่งผลให้การขนส่งวัคซีนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับ ผู้วิจัย [15] ได้วิจัยเรื่องประสิทธิภาพของระบบ VRP พบว่ามีการประหยัดเวลาและระยะทางในการขนส่ง

7. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะงานวิจัยในถัดไป ควรทำการรวบรวมข้อมูลที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อให้การวิเคราะห์มีความหลากหลายและครอบคลุม ควรมีมิติข้อมูลที่มากกว่า ระยะทางและเวลา ได้แก่ ขนาดของสินค้าที่ขนส่ง ระดับความเย็นและการรักษาอุณภูมิ สภาวะรถติด และเงื่อนไขอื่นๆ ที่นำมาเป็นปัจจัยในการวิเคราะห์

การใช้เครื่องมือหรือซอฟต์แวร์ที่เฉพาะเจาะจงเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลทางเฉพาะด้าน จะช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลได้เต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ควรมีการทดสอบระบบอย่างละเอียดเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูล ข้อเสนอแนะที่กล่าวมาข้างต้นสอดคล้องกับหลักการทางวิชาการที่ช่วยเพิ่มความถูกต้องและความครอบคลุมของการวิจัยข้อมูลอ้างอิงในงานวิจัยสามารถนำไปตัดสินใจหรือการสร้างนโยบายที่มีความเชื่อมั่นและมีมาตรฐานยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไปควรรวมข้อมูลจากเขตพื้นที่อื่นๆ เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับเขตกรุงเทพมหานครควรสำรวจความต้องการและความคาดหวังของประชาชนในพื้นที่ เพื่อนำมาปรับปรุงและพัฒนาระบบ

ให้เป็นไปตามความต้องการการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาประยุกต์ใช้ในการวิจัย เช่น การใช้ AI หรือ Machine Learning เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลให้มีความแม่นยำและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้สามารถชี้ให้เห็นการนำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบห่วงโซ่ความเย็นสำหรับสินค้าอื่นๆ ได้ เนื่องจากปัจจุบันอาจมีความต้องการในการขนส่งวัคซีนลดลง แต่งานนี้สามารถเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้สินค้าอื่นๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] L. J. Dominguez, N. Veronese, F. Guerrero-Romero, and M. Barbagallo, "Magnesium in infectious diseases in older people," *Nutrients,* vol. 13, no. 1, p. 180, 2021.

[2] T. J. Michiels *et al.*, "Degradomics-based analysis of tetanus toxoids as a quality control assay," *Vaccines,* vol. 8, no. 4, p. 712, 2020.

[3] U. Kartoglu and J. Milstien, "Tools and approaches to ensure quality of vaccines throughout the cold chain," *Expert review of vaccines,* vol. 13, no. 7, pp. 843-854, 2014.

[4] R. Satria and M. Castro, "GIS tools for analyzing accidents and road design: a review," *Transportation research procedia,* vol. 18, pp. 242-247, 2016.

[5] N. Shamsi Gamchi, S. A. Torabi, and F. Jolai, "A novel vehicle routing problem for vaccine distribution using SIR epidemic model," *Or Spectrum,* vol. 43, no. 1, pp. 155-188, 2021.

[6] S. Krzysztofowicz and K. Osiński-Skotak, "The use of GIS technology to optimize COVID-19 vaccine distribution: a case study of the city of Warsaw, Poland," *International Journal of Environmental Research and Public Health,* vol. 18, no. 11, p. 5636, 2021.

[7] A. L. Achu, C. D. Aju, V. Suresh, T. P. Manoharan, and R. Reghunath, "Spatio-Temporal Analysis of Road Accident Incidents and Delineation of Hotspots Using Geospatial Tools in Thrissur District, Kerala, India," *KN - Journal of Cartography and Geographic Information,* vol. 69, no. 4, pp. 255-265, 2019.

[8] I. R. Cleasby, E. Owen, L. Wilson, E. D. Wakefield, P. O'Connell, and M. Bolton, "Identifying important at-sea areas for seabirds using species distribution models and hotspot mapping," *Biological Conservation,* vol. 241, p. 108375, 2020.

[9] Y. Yang and J. Rajgopal, "Outreach strategies for vaccine distribution: a multi-period stochastic modeling approach," *Operations Research Forum*, vol. 2, no. 2,p. 24, 2021.

[10] S. Sripada, A. Jain, P. Ramamoorthy, and V. Ramamohan, "A decision support framework for optimal vaccine distribution across a multi-tier cold chain network," *Computers & Industrial Engineering,* vol 182,p. 109397, 2023.

[11] Z. Wen *et al.*, "Cold chain logistics management of medicine with an integrated multi-criteria decision-making method," *International journal of environmental research and public health,* vol. 16, no. 23, p. 4843, 2019.

[12] B. Malmir and C. W. Zobel, "*A Robust Optimization Approach to a Real Humanitarian Cold Supply Chain Planning on the COVID-19 crisis*," [Online]. Available:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2208/2208.13256.pdf. [Accessed: Feb. 27, 2022].

[13] K. D. Alemdar, Ö. Kaya, M. Y. Çodur, T. Campisi, and G. Tesoriere, "Accessibility of vaccination centers in COVID-1 9 outbreak control: A gis-based multi-criteria decision making approach," *ISPRS International Journal of Geo-Information,* vol. 10, no. 10, p. 708, 2021.

[14] K. Faisal *et al.*, "Spatial Analysis of COVID-19 Vaccine Centers Distribution: A Case Study of the City of Jeddah, Saudi Arabia," *International Journal of Environmental Research and Public Health,* vol. 1 9 , no. 6, p. 3526, 2022.

[15] R. Yu, L. Yun, C. Chen, Y. Tang, H. Fan, and Y. Qin, "Vehicle Routing Optimization for Vaccine Distribution Considering Reducing Energy Consumption," *Sustainability,* vol. 15, no. 2, p. 1252, 2023.

[16] K. Izikki, J. El Alami, and M. Hlyal, "The use of the internet of things in the cold chain logistics for a better vaccine transportation: A state of the art," *the 4th International Conference on Innovative Research in Science Engineering and Technology, Milan, Italy*, pp. 7-9, 2021.

[17] K. S. Lee, "Disparity in the spatial distribution of clinics within a metropolitan city," *Geospatial Health,* vol. 7, no. 2, pp. 199-207, 2013.