

อดีต ปัจจุบัน และอนาคตของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม Green Vehicle Routing Problem: Past, Present and Future

ธัญพร สมใส¹ ภูพงษ์ พงษ์เจริญ^{2*}
Thanatporn Somsai¹ Pupong Pongcharoen^{2*}

¹หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการ

²หน่วยวิจัยด้านการวิจัยการดำเนินงานและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

¹Master of Engineering Program in Engineering Management

²Director of Centre of Operations Research and Industrial Applications (CORIA)

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

*Corresponding author e-mail: pupongp@nu.ac.th

(Received: 2 April 2020, Revised: 27 May 2020, Accepted: 12 June 2020)

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Green vehicle routing problem: GVRP) เป็นปัญหาที่ถูกพัฒนาต่อยอดจากปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle routing problem: VRP) ซึ่งเน้นการพิจารณาผลกระทบทางเศรษฐกิจเป็นหลัก ปัญหา GVRP จึงเพิ่มความสำคัญในการพิจารณาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมร่วมด้วย เพราะสถานการณ์สิ่งแวดล้อมในปัจจุบันที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปของอุณหภูมิโลก บทความวิจัยนี้จึงได้ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP โดยสืบค้นจากฐานข้อมูลวิชาการในระดับนานาชาติ ได้แก่ ฐานข้อมูล Scopus, ISI Web of Science และ IEEE Xplore โดยเริ่มสืบค้นตั้งแต่เริ่มมีการตีพิมพ์บทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP จนกระทั่งถึงปี พ.ศ. 2562 หลังจากทำการคัดกรองและตรวจสอบความซ้ำซ้อนของบทความจากทั้งสามฐานข้อมูล พบบทความที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 171 ฉบับ แล้วจึงนำมาแจกแจงลงในตารางสรุป เพื่อวิเคราะห์และจำแนกลักษณะของปัญหา ในประเด็นพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อม ด้านมลพิษที่เกิดขึ้น และด้านโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม คือ แนวทางการวิจัยในอนาคตสำหรับปัญหา GVRP ควรมุ่งเน้นไปที่การพิจารณาชนิดของยานพาหนะ โหมดการขนส่ง และประเด็นต่าง ๆ ซึ่งถูกกล่าวถึงในหัวข้อการคาดการณ์ช่วงอนาคตของปัญหา GVRP

คำสำคัญ: ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม โลจิสติกส์เพื่อรักษาสิ่งแวดล้อม การทบทวนวรรณกรรม

Abstract

Green vehicle routing problem (GVRP) is a branch of traditional vehicle routing problems, which usually focus on the economic impact. Due to the environmental situation, the GVRP additionally plays more attention on both economic impacts and environmental issues. This review paper presents a literature survey on the topic of the GVRP by searching research articles indexed by three well-known international academic databases (including Scopus, ISI Web of Science and IEEE Xplore): After screening the duplications of the articles indexed by those three databases, only 171 articles were adopted and summarised into tables for classification into 3 characteristics: Green-VRP, Pollution Routing and VRP in Reverse Logistics. The result of literature review has found the future research direction for this problem should focus on the vehicle types, mode of transportation and other perspective of this research area is described in the future research direction section.

Keywords: Green vehicle routing problem, Environmental issues, Green logistics, Literature review

1. บทนำ

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมเติบโตไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เศรษฐกิจเกิดความคล่องตัวมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันการเติบโตของภาคอุตสาหกรรมส่งผลกระทบเชิงลบที่ก่อให้เกิดภัยคุกคามต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental disasters) (Waidyathilaka et al., 2019) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลก หรือภาวะโลกร้อน (Global warming) ซึ่งเป็นสาเหตุของภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น การเกิดอัคคีภัย การเกิดอุทกภัย หรือแม้กระทั่งน้ำแข็งขั้วโลกละลาย ด้วยเหตุนี้ทางรัฐบาลทั่วโลกจึงผลักดันให้องค์กรต่าง ๆ ดำเนินกิจการให้เป็นไปอย่างยั่งยืน (Sustainable) และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Eco-friendly) โดยกิจกรรม หรือกระบวนการที่เป็นที่ยอมรับสำหรับการดำเนินธุรกิจให้เป็นไปอย่างยั่งยืน ได้แก่ การจัดการของเสียในกระบวนการ (Waste management) การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงงาน (Greenhouse gas reduction) หรือการจัดการโลจิสติกส์เพื่อรักษาสิ่งแวดล้อม (Green logistics) ในห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain)

โลจิสติกส์เพื่อรักษาสิ่งแวดล้อม เป็นประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการผลิต และการกระจายสินค้าในห่วงโซ่อุปทานด้วยวิธีการที่ยั่งยืน หมายถึง การคำนึงถึงปัจจัยทางด้านสังคม ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม และปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจอย่างเท่าเทียมกัน (Sbihi & Eglese, 2007) การคำนึงถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมได้รับความสนใจจากภาครัฐและภาคเอกชน เนื่องจากกลยุทธ์สำหรับการผลิตและการขนส่งสินค้าในปัจจุบันยังไม่เป็นไปในทิศทางที่ยั่งยืนในระยะยาว (Sbihi & Eglese, 2007; Lin et al., 2014) และการขนส่งถือเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างเช่น มลพิษ เสียงรบกวน หรือความแออัด [4] นอกเหนือจากการให้ความสำคัญกับผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ เช่น ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งเป็นสิ่งที่สถานประกอบการให้ความสำคัญเป็นปกติ อย่างไรก็ตาม การกำหนดกลยุทธ์สำหรับการพัฒนาการดำเนินงานให้เป็นไปอย่างยั่งยืน ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และสังคมได้ถูกนำมาพิจารณาด้วย เพื่อมุ่งเน้นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขนส่งที่ยั่งยืน (Sbihi & Eglese, 2007; Affi et al., 2018)

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle routing problem) ได้ถูกพัฒนาต่อยอดโดยการนำผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมเข้ามาร่วมพิจารณา ซึ่งเกิดเป็นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาเรื่องสิ่งแวดล้อม (Green vehicle routing problem) (Waidyathilaka et al., 2019) และเนื่องจากสถานการณ์ปัจจุบันของโลกที่ประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมนั้น ถือเป็นประเด็นที่ทุกภาคส่วนให้ความสำคัญ ดังนั้น การจัดเส้นทางยานพาหนะที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมจึงเป็นปัญหาที่ได้รับ

ความนิยมจากนักวิจัยเป็นอย่างยิ่ง แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ที่ผ่านมามีบทความที่ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมในกลุ่มของปัญหา GVRP เพียง 1 ฉบับ โดย Lin et al. (2014) ซึ่งถูกตีพิมพ์ในปี พ.ศ. 2557 ทั้งนี้เป็นบทความที่ครอบคลุมวรรณกรรมที่ถูกตีพิมพ์จนกระทั่งถึงปี พ.ศ. 2555 เท่านั้น อย่างไรก็ตาม จากการสืบค้นฐานข้อมูลวิชาการในระดับนานาชาติ พบว่า ได้พบบทความที่เกี่ยวข้องกับ GVRP เพิ่มขึ้นมากมายจนถึงปัจจุบัน

ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP ให้เป็นปัจจุบัน โดยเพิ่มช่วงเวลาของการศึกษา จนกระทั่งถึงปี พ.ศ. 2562 เพื่อเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยที่มีความสนใจในปัญหาดังกล่าว โดยพิจารณาเป็นแนวทางในการกำหนดหัวข้อของการทำวิจัยในอนาคต และอาจเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ที่ทำธุรกิจเกี่ยวกับอุตสาหกรรมขนส่ง ซึ่งอาจจะนำแนวความคิดของปัญหานี้ ไปประยุกต์เป็นแนวทางในการวางแผนการดำเนินงานของบริษัทได้ นอกจากจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังสามารถช่วยลดต้นทุนการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิงของธุรกิจได้อีกด้วย สำหรับบทความนี้ได้นำเสนอผลการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่เกี่ยวข้องกับประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม จากฐานข้อมูลวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 3 ฐานข้อมูล ได้แก่ Scopus, ISI web of Science และ IEEE Xplore

เริ่มจากการนำเสนอจุดเริ่มต้นของปัญหา GVRP ในหัวข้อที่ 2 จากนั้นจำแนกลักษณะของปัญหา GVRP ในหัวข้อที่ 3 ตามด้วยการนำเสนอผลการรวบรวมและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP ในหัวข้อที่ 4 โดยทั้ง 4 หัวข้อที่ถูกกล่าวถึงข้างต้น เป็นการนำเสนอปัญหา GVRP แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงอดีต เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2557 ซึ่งถือเป็นช่วงเริ่มต้นของปัญหา GVRP และช่วงปัจจุบัน เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558-2562 ซึ่งเป็นช่วงที่ปัญหา GVRP เริ่มได้รับความนิยมนำมาเพิ่มแบบทวีคูณ ส่วนหัวข้อที่ 5 เป็นการคาดการณ์แนวโน้มช่วงอนาคต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 เป็นต้นไปของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม และบทสรุปในหัวข้อที่ 6

2. ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบดั้งเดิม (Classical vehicle routing problem) เป็นปัญหาที่มีเป้าประสงค์ในการวางแผนเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับยานพาหนะที่มีลักษณะเดียวกัน ความจุเท่ากัน เพื่อการให้บริการแก่ลูกค้า หรือเรียกอีกอย่างว่าปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านความจุ (Capacitate vehicle routing problem) (Lin et al.,

2014) โดยยานพาหนะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังสินค้า ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะถูกนำเสนอครั้งแรกในปี พ.ศ. 2502 โดย Dantzig and Ramser (1959) เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางยานพาหนะในการขนส่งน้ำมันจากคลังเก็บน้ำมันไปยังสถานีให้บริการน้ำมันหลายแห่ง จุดประสงค์ของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะนี้ คือ การหาต้นทุนการดำเนินงานที่ต่ำที่สุด เช่น การหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการขนส่ง การหาจำนวนยานพาหนะที่เหมาะสมสำหรับการขนส่ง หรือต้นทุนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่ง (Costa et al., 2018)

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะได้ถูกนำไปพัฒนาต่อเพื่อให้แตกต่างจากปัญหาแบบดั้งเดิม ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาช่วงเวลาในการเดินทาง (Time-dependent vehicle routing problem) คือ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาช่วงเวลาในการเดินทาง โดยมักมุ่งเน้นไปที่ระยะทางระหว่างตำแหน่งของลูกค้า และตำแหน่งของคลังสินค้า ชั่วโมงเร่งด่วน และสภาพอากาศ (Lin et al., 2014; Cooke & Halsey, 1966) ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีคลังสินค้าอยู่หลายแห่ง (Multi-depot vehicle routing problem) คือ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปสู่ลูกค้า โดยมีคลังสินค้ามากกว่า 1 แห่ง (Lin et al., 2014) ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่อยู่ภายใต้ความไม่แน่นอน (Stochastic VRP) ความไม่แน่นอนที่ถูกกล่าวถึง เกิดขึ้นจากปริมาณความต้องการของลูกค้าที่ไม่คงที่เวลาที่ใช้ในการเดินทาง หรือแม้กระทั่งความไม่เท่ากันของจำนวนลูกค้าในแต่ละรอบของการขนส่ง (Gendreau et al., 1996) จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น หัวข้อของงานวิจัยมุ่งเน้นไปที่การคำนึงถึงผลกระทบทางเศรษฐกิจ จนกระทั่งปี พ.ศ. 2550 เริ่มมีการศึกษาทางงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่คำนึงถึงประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (GVRP) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน การปล่อยมลพิษ โดยประเด็นเหล่านี้เริ่มดึงดูดความสนใจของนักวิจัย และกลายเป็นประเด็นที่ได้รับความนิยมในหลายปีที่ผ่านมา (Lin et al., 2014)

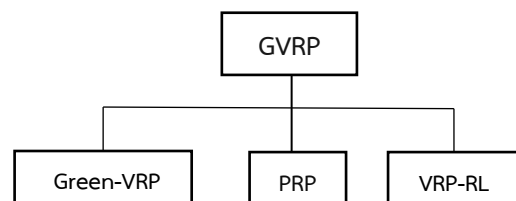
ในปี พ.ศ. 2550 Sbihi and Eglese (2007) ได้นำเสนอประเด็นโลจิสติกส์เพื่อรักษาสีสิ่งแวดล้อมบูรณาการร่วมกับปัญหาอื่น ๆ เพื่อสร้างเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial optimisation problems) เช่น ปัญหาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ (Reverse logistics: RL) ปัญหาการจัดการของเสีย (Waste management) และปัญหาการจัดเส้นทางของยานพาหนะและกำหนดเวลาของการขนส่ง (Vehicle routing and scheduling problem)

ปัญหา GVRP เริ่มเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในปี พ.ศ. 2555 โดย Erdogan and Miller-Hooks (2012) พัฒนาเทคนิคในการ

แก้ปัญหาสำหรับองค์กรที่มีการใช้งานยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงทางเลือก (Alternative fuel vehicle: AFV) ที่มีระยะการขับข้อย่างจำกัด และโครงสร้างพื้นฐานการเติมเชื้อเพลิงที่จำกัด สำหรับปัญหา GVRP มีจุดประสงค์ในการผสมผสานระหว่างด้านสิ่งแวดล้อมและต้นทุนทางด้านเศรษฐกิจ ผ่านการวางแผนเส้นทางที่มีประสิทธิภาพเพื่อตอบสนองต่อข้อกำหนดในด้านสิ่งแวดล้อม และด้านเศรษฐกิจ ปัญหา GVRP ได้ถูกจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ โดย Lin et al. (2014) ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

3. การจำแนกลักษณะของปัญหา GVRP

สำหรับการจำแนกลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Green-VRP) ปัญหาการจัดเส้นทางที่พิจารณามลพิษที่เกิดขึ้น (Pollution routing problem: PRP) และปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะในโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ (VRP-RL) (Waidyathilaka et al., 2019; Lin et al., 2014) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะของปัญหา GVRP

3.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Green-VRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม คือ ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับกลุ่มยานพาหนะที่ให้บริการในการขนส่งสินค้า โดยพิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมร่วมกับการประมาณต้นทุนที่ใช้สำหรับการขนส่ง ด้วยการหาเส้นทางที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้เกิดผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และในขณะเดียวกันก็ยังมีต้นทุนทางเศรษฐกิจที่สามารถยอมรับได้ (Affi et al., 2018) เช่น การลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของกลุ่มยานพาหนะที่ถูกนำมาใช้ในการขนส่งโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือก (Alternative fuel vehicles: AFV) เข้ามาแทนการใช้งานยานพาหนะที่ใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง (Gasoline or diesel vehicles: GDV/Non-AFV) การลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของกลุ่มยานพาหนะส่งผลต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญ (Erdogan & Miller-Hooks, 2012) จากการทบทวน

วรรณกรรม พบว่า บทความวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมนี้สามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

3.1.1 ปัญหา Green-VRP ที่พิจารณากลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิง (GDV/Non-AFV) ตัวอย่างของงานวิจัยที่ประเภทนี้ ได้แก่ งานวิจัยของ Xiao and Konak (2016) ศึกษาปัญหาการจัดตารางและจัดเส้นทางของยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Green vehicle routing and scheduling problem: GVRSP) มีจุดประสงค์ในการวางแผนเส้นทางการขนส่งหรือรับสินค้าด้วยยานพาหนะที่มีความจุแตกต่างกัน ที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกต่ำที่สุดในระบบโลจิสติกส์ โดยใช้วิธีการลูกผสม (Hybrid Algorithm) งานวิจัยของ Norouzi et al. (2017) ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่เวลาการเดินทางขึ้นอยู่กับช่วงเวลา (Time-dependent vehicle routing problem) โดยมีจุดประสงค์ในการลดเวลาการเดินทาง และการลดการใช้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ ในสถานการณ์ที่การขนส่งขึ้นอยู่กับช่วงเวลา ร่วมกับการพิจารณาถึงแรงต้านของอากาศ เงื่อนไขทางกายภาพของถนน ลักษณะทางกายภาพของยานพาหนะแต่ละชนิด น้ำหนักและน้ำหนักบรรทุกของยานพาหนะโดยใช้วิธีการดัดแปลง (Modified Algorithm) ในการแก้ไขปัญห

3.1.2 ปัญหา Green-VRP ที่พิจารณากลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก (AFV) ตัวอย่างของงานวิจัยประเภทนี้ ได้แก่ งานวิจัยของ Normasari et al. (2019) ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณายานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก และมีเงื่อนไขด้านความจุของยานพาหนะ จุดประสงค์ของงานวิจัยดังกล่าว คือ การหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการขนส่ง ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing) นอกจากนี้ Wang and Lu (2019) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับการขนส่งสินค้า ด้วยกลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก และมีเงื่อนไขด้านความจุของยานพาหนะ ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm)

3.1.3 ปัญหา Green-VRP ที่พิจารณากลุ่มยานพาหนะที่ใช้ทั้งพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิง และกลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก ตัวอย่างของงานวิจัยประเภทนี้ ได้แก่ งานวิจัยของ Cirovic et al. (2014) นำเสนอปัญหาการจัดเส้นทางของการขนส่งของยานพาหนะขนาดเล็ก โดยพิจารณาทั้งยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิง โดยประยุกต์ใช้วิธีการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing) เพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด งานวิจัยของ Macrina et al. (2019) นำเสนอปัญหาการจัดเส้นทาง

ยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมแบบมีกรอบเวลา (Green vehicle routing problem with time window) โดยยานพาหนะที่พิจารณาประกอบด้วย ยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิมสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน และยานพาหนะที่ใช้พลังงานไฟฟ้า (Electric vehicle) ซึ่งคำนึงถึงสถานีให้บริการในการชาร์จพลังงานของยานพาหนะที่ใช้พลังงานไฟฟ้า และจำกัดการปล่อยมลพิษของยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิง โดยประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบแบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search: ILS)

สำหรับงานวิจัยในกลุ่มของ Green-VRP โดยแบ่งแยกตามประเภทของกลุ่มยานพาหนะที่ถูกนำมาพิจารณาในแต่ละงานวิจัย ได้ถูกสรุปไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางสรุปงานวิจัย Green-VRP โดยแบ่งตามประเภทของกลุ่มยานพาหนะที่พิจารณา

ประเภทของกลุ่มของยานพาหนะที่พิจารณา	หมายเลขอ้างอิงบทความ
Non-AFV	Macrina et al. , 2019; Simao et al. , 2009; Maden et al. , 2010; Hollis & Green, 2012; Jabali et al., 2012; Adiba et al., 2013; Adiba et al., 2013; Kopfer et al. , 2014; Qian & Eglese, 2014; Zhang et al. , 2014; Chand & Mohanty, 2015; He et al. , 2015; Jabbarpour et al. , 2015; Naoum-Sawaya et al. , 2015; Norlund et al. , 2015; Li-Ying et al. , 2015; Tiwari et al. , 2015; Wang et al. , 2015; Xiao et al. , 2015; Adiba et al. , 2016; Afshar-Bakeshloo et al. , 2016; Alinaghian & Naderipour, 2016; Ehmke et al., 2016; Ene et al., 2016; Lee & Prabhu, 2016; Naderipour & Alinaghian, 2016; Toro et al. , 2016; Wang et al., 2016; Yin & Chuang, 2016; Behnke & Kirschstein, 2017; Camm et al. , 2017; Çimen & Soysal, 2017; Hassanzadeh & Rasti- Barzoki, 2017; Jabir et al. , 2017; Jemai et al. , 2017; Leggieri, & Haouari, 2017; Liao, 2017; Nakhjirkan et al. , 2017; Sawik et al. , 2017; Sawik et al. , 2017; Soysal & Çimen, 2017; Toro et al. , 2017; Toro et al. , 2017; Turkensteen, 2017; Xiao & Konak, 2017; Chabot et al., 2018; de Oliveira da Costa et al. , 2018; Ehmke et al. , 2018; Elgesem et al. , 2018; Faraji et al. , 2018; Fukasawa et al. , 2018; Gifford et al. , 2018; Hamad et al., 2018; Hu et al., 2018; Kancharla

ประเภทของกลุ่มของยานพาหนะที่พิจารณา	หมายเลขอ้างอิงบทความ
	& Ramadurai, 2018; Kazemian et al., 2018; Kong et al., 2018; Li & Sun, 2018; Liu et al., 2018; Niu et al., 2018; Niu et al., 2018; Poonthalir & Nadarajan, 2018; Rabbani et al., 2018; Sousa Matos et al., 2018; Soysal et al., 2018; Wang et al., 2018; Wensing, 2018; Almira et al., 2019; Chiang et al., 2019; Dukkanci et al., 2019; Fallah et al., 2019; Fallah et al., 2019; Ghannadpour & Zarrabi, 2019; Han et al., 2019; Khalafi & Zarei, 2019; Li et al., 2019; Li et al., 2019; Li et al., 2019; Poonthalir & Nadarajan, 2019; Rezaei et al., 2019; Schroder & Cabral, 2019; Serrano- Hernandez & Faulin, 2019; Soon et al., 2019; Soon et al., 2019; Sruthi et al., 2019; Wang et al., 2019; Wang et al., 2019; Wang et al., 2019; Xin et al., 2019; Xu et al., 2019; Yu et al., 2019; Yu et al., 2019; Yu et al., 2019; Zhang et al., 2019; Zhu & Hu, 2019; Zulvia et al., 2020; Zhou et al., 2019
AFV	Affi et al., 2018; Erdogan & Miller-Hooks, 2012; Wang & Lu, 2019; Koyuncu & Yavuz, 2019; Gen et al., 2009; Gajanand et al., 2013; Felipe et al., 2014; Jovanović et al., 2014; Juan et al., 2014; Schneider et al., 2014; Goeke & Schneider, 2015; Kramer et al., 2015; Yang et al., 2015; Bruglieri et al., 2016; Fukasawa et al., 2016; Koc & Karaoglan, 2016; Montoya et al., 2016; Roberti & Wen, 2016; Andelmin & Bartolini, 2017; Bruglieri et al., 2017; Coelho et al., 2017; Muñoz- Villamizar et al., 2017; Schiffer & Walther, 2017; Sundar et al., 2017; Yavuz, 2017; Yu et al., 2017; Croce et al., 2018; Ferro et al., 2018; Ghezavati et al., 2018; Madankumar et al., 2018; Zhang et al., 2018; Abu Al Hla et al., 2019; Andelmin et al., 2019; Arroyo et al., 2019; Basso et al., 2019; Bruglieri et al., 2019; Bruglieri et al., 2019; Bruglieri et al., 2019;

ประเภทของกลุ่มของยานพาหนะที่พิจารณา	หมายเลขอ้างอิงบทความ
	Erdem et al., 2019; Eskandarpour et al., 2019; Goeke 2019; Guo & Guo, 2019; Heshmati et al., 2019; Hooshmand & MirHassani, 2019; Mahmoudi et al., 2019; Reyes-Rubiano et al., 2019; Xiao et al., 2019; Zhen et al., 2019
Non-AFV และ AFV	Ćirović et al., 2014; Macrina et al., 2019; Gao & Zhao, 2018; Macrina et al., 2019; Mancini, 2017

3.2 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณามลพิษที่เกิดขึ้น (Pollution Routing Problem: PRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณามลพิษที่เกิดขึ้นนี้ เป็นปัญหาที่ต่อยอดมาจากปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบดั้งเดิม ที่มีจุดประสงค์ที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ไม่เพียงแต่การหากระยะทางในการเดินทางที่สั้นที่สุดเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้พลังงานเชื้อเพลิง ระยะเวลาในการเดินทาง และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทางอีกด้วย (Lin et al., 2014; Bektaş & Laporte, 2011) ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณามลพิษที่เกิดขึ้นถูกนำเสนอโดย Bektaş and Laporte (2011) สำหรับการแบ่งกลุ่มของปัญหาโดยใช้ประเภทของกลุ่มยานพาหนะที่ถูกนำมาพิจารณาแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางสรุปงานวิจัย PRP โดยแบ่งแยกตามประเภทของกลุ่มยานพาหนะที่พิจารณา

ประเภทของกลุ่มของยานพาหนะที่พิจารณา	หมายเลขอ้างอิงบทความ
Non-AFV	Suzuki, 2016; Ubeda et al., 2011; Costa et al., 2018; Dabia et al., 2017; Eshtehadi et al., 2017; Franceschetti et al., 2017; Abad et al., 2018; Bravo et al., 2019; Kumar & Kumar, 2018
AFV	-

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ในปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณามลพิษที่เกิดขึ้นนั้น ยังไม่พบว่ามีบทความที่ศึกษายานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก โดยปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณามลพิษที่เกิดขึ้นนี้ เน้นไปที่กลุ่มของยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิง ปัญหานี้เป็นปัญหาที่ต่อ

ยอดมาจากปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Costa et al., 2018; Suzuki, 2016; Eshtehadi et al., 2017) เพื่อกำหนดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด สำหรับกลุ่มยานพาหนะที่ให้บริการแก่กลุ่มลูกค้า โดยการพิจารณาหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของยานพาหนะ โดยปัจจัยที่พิจารณาได้แก่ 1) คุณสมบัติเฉพาะของการเคลื่อนที่ เช่น ความลาดชันและความแออัดของถนน 2) คุณสมบัติเฉพาะของยานพาหนะ เช่น ขนาดความจุของเครื่องยนต์และน้ำหนักของยานพาหนะ 3) สภาพของสิ่งแวดล้อม เช่น ลมและระดับความสูงของถนน 4) คุณสมบัติของคนขับ เช่น พฤติกรรมในการขับรถ (Suzuki, 2016)

การศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณามลพิษที่เกิดขึ้น เป็นหัวข้องานวิจัยที่ได้รับความสนใจจากทั้งผู้ให้บริการและผู้ให้บริการในการขนส่งสินค้า ไม่เพียงแต่ในแง่ของความเสี่ยงทางด้านสิ่งแวดล้อม แต่ยังส่งผลในแง่ของด้านต้นทุน อันเนื่องมาจากการลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากยานพาหนะส่งผลให้ต้นทุนเชื้อเพลิงของผู้ให้บริการในการขนส่งลดลง และยังช่วยลดต้นทุนค่าขนส่งของผู้ให้บริการในการขนส่งต่าง ๆ อีกด้วย (Suzuki, 2016) ตัวอย่างของงานวิจัยปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณามลพิษที่เกิดขึ้น เช่น งานวิจัยของ Suzuki (2016) พัฒนาระบบช่วยตัดสินใจสำหรับกำหนดเส้นทางยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมผ่านมุมมองของผู้ให้บริการขนส่งสินค้า โดยพิจารณาทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ 1) พฤติกรรมในการขับรถของคนขับ 2) ขนาดยานพาหนะ 3) น้ำหนักบรรทุก 4) ความเร็วของยานพาหนะ 5) ความลาดชันของถนน และ 6) ความแออัดของถนน โดยกำหนดให้ปัจจัยน้ำหนักบรรทุก เป็นตัวแปรตัดสินใจ งานวิจัยของ Eshtehadi et al. (2017) ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณามลพิษที่เกิดขึ้น มีจุดประสงค์ในการกำหนดเส้นทางของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของยานพาหนะต่ำที่สุด โดยมีการพิจารณาเงื่อนไขด้านความไม่แน่นอนของความต้องการของลูกค้าและความไม่แน่นอนของเวลาที่ใช้ในการเดินทาง

3.3 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle routing problem) ที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ (Reverse logistics: RL)

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ (Reverse logistics) ให้ความสนใจที่ลักษณะของการกระจายสินค้าของโลจิสติกส์ย้อนกลับ โดยส่วนใหญ่ปัญหา VRP ในกรณีที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ (RL) ศึกษาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ หรือการนำสินค้าที่หมดอายุกลับมาเข้ากระบวนการผลิตใหม่อีกครั้ง (Lin et al., 2014) ปัญหา VRP ประเภท RL เป็นปัญหาที่เน้นการพิจารณาการไหล

แบบย้อนกลับ (Backward stream) ในระบบการขนส่งสินค้า หมายถึง การนำประเด็นด้านโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ เข้ามาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Coelho et al., 2016) งานวิจัยของ Dekker et al. (2013) ได้อธิบายถึงโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ คือ กระบวนการวางแผนและควบคุมการไหลย้อนกลับของวัตถุดิบในกระบวนการ เช่น สินค้าคงคลัง (Inventory) บรรจุภัณฑ์ (Packaging) และสินค้าสำเร็จรูป (Finish goods) ตั้งแต่กระบวนการผลิต การกระจายสินค้า หรือการนำสินค้าไปใช้ จนกระทั่งถึงการกู้คืนผลิตภัณฑ์ หรือการกำจัดทิ้ง

โลจิสติกส์แบบย้อนกลับมุ่งเน้นการบูรณาการที่ดีที่สุด ระหว่างการไหลของสินค้าจากผู้ผลิตสู่ผู้บริโภค และการไหลย้อนกลับของของเสีย (Waste) หรือสินค้าที่ถูกใช้แล้วจากผู้บริโภคสู่คลังสินค้าสำหรับการนำสินค้าที่ถูกใช้แล้ว หรือสินค้าที่ไม่สามารถใช้ได้แล้วเหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) (Dell'Amico et al., 2006) สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท (Lin et al., 2014) ได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ ประเภทการเลือกรับสินค้าจากกลับแบบพิจารณาค่าบริการ (Selective pickups and pricing) เป็นปัญหาที่พิจารณาเพื่อหาเส้นทางของการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้า เพื่อให้บริการแก่ลูกค้าทุกคน โดยในเที่ยวกลับอาจมีการรับสินค้าจากลูกค้าบางคนหากน้ำหนักของสินค้าที่รับจากลูกค้าไม่เกินความจุของยานพาหนะ และในการรับสินค้ายังก่อให้เกิดรายได้ อีกด้วย (Coelho et al., 2016) ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับประเภทนี้ มีจุดประสงค์เพื่อสร้างกำไรให้มากที่สุด (Lin et al., 2014)

ตัวอย่างของงานวิจัยของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับประเภทนี้ได้แก่ งานวิจัยของ Ubeda et al. (2011) ได้ทำการหาเส้นทางที่มีต้นทุนต่ำที่สุดสำหรับการให้บริการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้า พร้อมทั้งกำหนดจุดในการรับสินค้าจากลูกค้า โดยที่การนำหนักของสินค้าที่ยานพาหนะรับนั้นต้องไม่เกินน้ำหนักบรรทุกของยานพาหนะ โดยใช้วิธี Four-Neighborhood Variable Neighborhood Search (FN-VNS) ในการแก้ปัญหา

3.3.2 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ ประเภทการเก็บรวบรวมของเสีย (Waste collection) เป็นปัญหาที่พิจารณาเพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจัดการขยะ (Wastes) โดยขยะที่กล่าวถึงนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) ขยะที่เกิดจากแหล่งชุมชน/แหล่งที่พักอาศัย หรือบ้านพักส่วนบุคคล (Residential waste) โดยยานพาหนะเคลื่อนที่ไปตามถนนเพื่อทำการเก็บขยะจากถังขยะขนาดเล็ก โดยความถี่ในการเก็บขยะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิศาสตร์ และค่าบริการ 2) ขยะเชิงพาณิชย์ (Commercial waste) เป็นขยะที่เกิดจากห้างสรรพสินค้า ร้านอาหาร และอาคารสำนักงานขนาดเล็ก ซึ่งมีถังขยะขนาดใหญ่ ความถี่ในการให้บริการค่อนข้างคงที่ และ 3) ขยะอุตสาหกรรม (Industrial waste) เป็นขยะที่เกิดจากพื้นที่ก่อสร้าง ขยะจากพื้นที่ย่านกลางเมือง และห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ การเก็บขยะอุตสาหกรรม และขยะเชิงพาณิชย์มีความแตกต่างกันไม่เพียงแต่ขนาดของภาชนะที่ใช้บรรจุ แต่ยังมีขนาดแตกต่างกันในด้านของเส้นทางด้วย

สำหรับกระบวนการในการเก็บรวบรวมขยะอุตสาหกรรมนั้น เริ่มจากยานพาหนะนำส่งภาชนะเปล่าไปยังตำแหน่งของลูกค้า เพื่อนำภาชนะเปล่าไปแทนที่ภาชนะที่บรรจุขยะเต็มความจุ จากนั้นจึงนำขยะที่ได้รับไปยังสถานที่กำจัด (Idrus et al., 2017) ตัวอย่างงานวิจัยที่พิจารณาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับเก็บรวบรวมขยะ ได้แก่ งานวิจัยของ Lu et al. (2017) ทำการหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยในเขตเมือง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเก็บรวบรวมขยะมูลฝอย เป็นเกิดการจัดการขยะอย่างยั่งยืน

3.3.3 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ ประเภทการเก็บรวบรวมส่วนประกอบของ

ผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่หมดอายุ (End-of-life goods) เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากบางสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ยังมี

บางส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้งานประโยชน์ได้ใหม่ หรือบางส่วนยังสามารถใช้งานซ้ำได้ จึงเป็นประโยชน์โดยตรงต่อกระบวนการผลิตสินค้า (Lin et al., 2014) ตัวอย่างงานวิจัยที่

ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับประเภทนี้ได้แก่ งานวิจัยของ Lin et al. (2014) ได้รับแรงบันดาลใจจากการขนส่งและเก็บรวบรวมภาชนะสำหรับใส่น้ำ งานวิจัยนี้ได้ออกแบบแผนการส่งมอบน้ำและเก็บรวบรวมถังพลาสติกเปล่าที่ใช้ในการใส่น้ำจากลูกค้า โดยมีเงื่อนไขด้านพื้นที่ของยานพาหนะ คือ จำนวนถังพลาสติกที่เก็บรวบรวมต้องไม่เกินพื้นที่ว่างของยานพาหนะ มีจุดประสงค์ในการลดต้นทุนทางเศรษฐกิจ และหาระยะทางในการเดินทางที่สั้นที่สุดเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

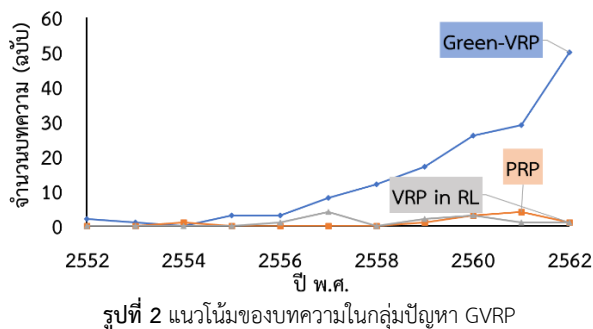
3.3.4 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ ประเภทการเก็บรวบรวมและกระจายอย่างทันที (Simultaneous distribution and collection) เป็นปัญหาที่มีการพิจารณาเพื่อหาเส้นทางสำหรับการให้บริการขนส่งสินค้าหรือผลิตภัณฑ์สำหรับกลุ่มยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านความจุไปสู่ลูกค้า โดยลูกค้าแต่ละรายต้องได้รับสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนด และจัดเก็บรวบรวมสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วจากลูกค้าหรือผู้บริโภคไปยังคลังสินค้า ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับประเภทนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาเส้นทางขนส่งสินค้า และจัดเก็บสินค้าที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด (Lin et al., 2014; Dell'Amico et al., 2006) สำหรับตารางที่ 3 เป็นตารางสรุปงานวิจัยที่ได้ศึกษาปัญหานี้ ตามประเภทของกลุ่มยานพาหนะที่พิจารณา

ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับประเภทนี้ได้แก่ งานวิจัยของ Dondo and Mendez (2016) ได้ออกแบบเส้นทางที่ดีที่สุดสำหรับการกระจายสินค้าและนำภาชนะบรรจุสินค้ากลับมาสู่โรงงาน เพื่อกระตุ้นให้สามารถใช้ใหม่ได้อีกครั้ง (Recovering) โดยยานพาหนะเคลื่อนที่ออกจากโรงงานเพื่อขนส่งสินค้า และเก็บรวบรวมชิ้นส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้มายังโรงงาน

ตารางที่ 3 ตารางสรุปงานวิจัยที่ศึกษาปัญหา VRP ประเภท RL โดยแบ่งแยกตามประเภทของกลุ่มยานพาหนะที่พิจารณา

ประเภทของ VRP-RL	ประเภทของกลุ่มยานพาหนะที่พิจารณา	หมายเลขอ้างอิงบทความ
Selective pickups and pricing	Non-AFV	Coelho et al., 2006
	AFV	Granada-Echeverri et al., 2020
Waste collection	Non-AFV	Lu et al., 2017; Kim et al., 2014; Ramos et al., 2014; Ramos et al., 2014; Henke et al., 2019
	AFV	-
End of life goods collection	Non-AFV	Lin et al., 2014; Kumar et al., 2017
	AFV	-
Simultaneous distribution and collection	Non-AFV	Dondo & Mendez, 2016; Mohammadi et al., 2013; Majidi et al., 2017; Soleimani et al., 2018
	AFV	-

จากการทบทวนวรรณกรรมของปัญหาการจัดเส้นทางพิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม หากแบ่งออกตามคุณลักษณะที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า ปัญหา Green-VRP มีสัดส่วนมากที่สุดคือร้อยละ 87.28 จากทั้งหมด รองลงมาคือปัญหา VRP-RL คิดเป็นร้อยละ 6.94 และสุดท้ายคือ ปัญหา PRP คิดเป็นร้อยละ 5.78 ในรูปที่ 2 แสดงถึงแนวโน้มของบทความในกลุ่มปัญหา GVRP



จากรูปที่ 2 พบว่า ในอดีตบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP เริ่มขึ้นใน ปี พ.ศ. 2552 ปัญหา GVRP ถูกตีพิมพ์ลงในฐานข้อมูลวิชาการระดับนานาชาติ และเริ่มเป็นที่นิยมเรื่อยมาจนกระทั่งช่วงปัจจุบันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 – ปี พ.ศ. 2562 ปัญหา GVRP ได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก พบว่า ช่วงปัจจุบันมีปริมาณบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP ที่ถูกตีพิมพ์ลงในฐานข้อมูลวิชาการระดับนานาชาติมากกว่าช่วงอดีตประมาณ 5 เท่า ซึ่งมีปริมาณมากถึง 151 ฉบับ

การรวบรวมวรรณกรรมจากฐานข้อมูลวิชาการระดับนานาชาติเพื่อคาดการณ์แนวโน้มอนาคตของปัญหา GVRP ถูกรวบรวมจากฐานข้อมูลวิชาการระดับนานาชาติทั้งหมด 3 ฐานข้อมูล โดยรายละเอียดถูกกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4

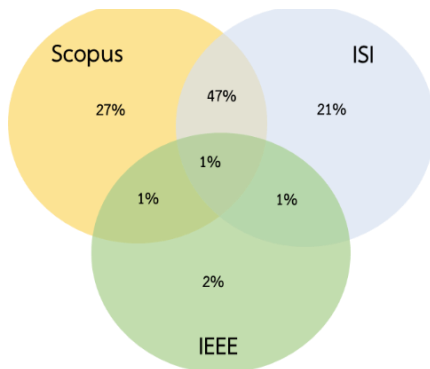
4. การรวบรวมและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับ

GVRP

การรวบรวมและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP ถูกสืบค้นจากฐานข้อมูลทางวิชาการในระดับนานาชาติ ได้แก่ Scopus, ISI Web of Science และ IEEE Xplore กำหนดช่วงเวลาการสืบค้น คือ ทุกปี ตั้งแต่เริ่มมีบทความในกลุ่มของปัญหา GVRP ที่ถูกตีพิมพ์ในฐานข้อมูลวิชาการระดับนานาชาติ จนกระทั่งถึงปี พ.ศ. 2562 คำสำคัญที่กำหนดในการสืบค้น คือ Green และ Vehicle routing สืบค้นจากชื่อเรื่อง (Article title) บทคัดย่อ (Abstract) หรือคำสำคัญ (Keywords) โดยในฐานข้อมูล Scopus พบทั้งสิ้น 289 บทความ หลังจากนั้นคัดกรองเฉพาะบทความที่เกี่ยวข้องกับด้านวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer science) ด้านคณิตศาสตร์ (Mathematics) และด้านวิทยาศาสตร์สำหรับการตัดสินใจ (Decision science) ทั้งหมด 151 บทความ

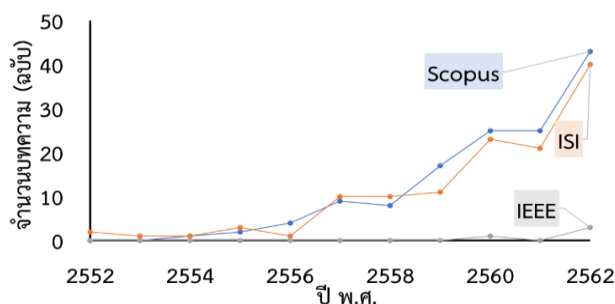
สำหรับฐานข้อมูล ISI Web of Science พบทั้งสิ้น 196 บทความ หลังจากนั้นคัดกรองเฉพาะ บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับด้านวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer science) ด้านคณิตศาสตร์ (Mathematics) และด้านการจัดการการดำเนินงาน (Operations research management science) ทั้งหมด 144 บทความ

ฐานข้อมูล IEEE Xplore พบทั้งสิ้น 69 บทความ คัดเลือกประเภทของบทความที่ลงในวารสาร (Journal) ทั้งหมด 6 บทความ หลังจากนั้นทำการตัดความซ้ำซ้อนของบทความที่เหมือนกันจากทั้ง 3 ฐานข้อมูล สุดท้ายพบจำนวนบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP ทั้งหมด 171 บทความ ซึ่งเป็นบทความที่ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาด้านสิ่งแวดล้อม โดยวิธีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาที่แตกต่างกันออกไป โดยสัดส่วนของบทความวิจัยที่ถูกพบในฐานข้อมูลต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สัดส่วนของบทความวิจัยในฐานข้อมูลต่าง ๆ

จากบทความที่ถูกสืบค้นดังกล่าว พบว่า เป็นบทความที่มีอยู่ในฐานข้อมูลทั้ง Scopus และ ฐานข้อมูล ISI Web of Science ร้อยละ 47 รองลงมาคือ บทความที่อยู่ในฐานข้อมูล Scopus เพียงฐานข้อมูลเดียวคิดเป็นร้อยละ 27 ถัดมาคือ บทความที่อยู่ในฐานข้อมูล ISI Web of Science เพียงฐานข้อมูลเดียวคิดเป็นร้อยละ 21 สำหรับฐานข้อมูล IEEE Xplore พบเพียงร้อยละ 2 โดยแนวโน้มของปริมาณบทความในช่วงอดีตและปัจจุบันจากฐานข้อมูลทั้ง 3 ฐานข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4



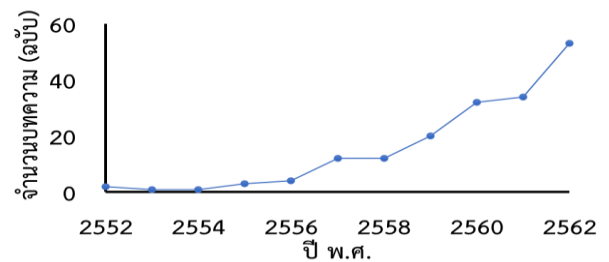
รูปที่ 4 ปริมาณบทความในช่วงอดีตและปัจจุบันจากฐานข้อมูล

หากนักวิจัยที่สนใจหัวข้อปัญหา GVRP ฐานข้อมูล Scopus และ ฐานข้อมูล ISI Web of Science ถือเป็นฐานข้อมูลทางวิชาการที่ควรให้ความสำคัญในการค้นคว้า เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อไป เนื่องจากฐานข้อมูลวิจัยทั้ง 2 ฐานข้อมูลนี้เป็นฐานข้อมูลที่มีการตีพิมพ์บทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP มากที่สุด แสดงดังรูปที่ 4 แนวโน้มของบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP ซึ่งถูกตีพิมพ์ในฐานข้อมูลวิชาการระดับนานาชาติ จากรูปจะเห็นได้ว่าบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP ที่ตีพิมพ์ในฐานข้อมูลทั้งฐานข้อมูล Scopus และ ฐานข้อมูล ISI Web of Science มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี

4.1 แนวโน้มบทความวิจัยในปัญหา GVRP

จากการทบทวนวรรณกรรมจากฐานข้อมูลทางวิชาการระดับนานาชาติที่กล่าวถึงในข้างต้น พบว่ามีการตีพิมพ์งานวิจัยที่

เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2552 และในปี พ.ศ. 2562 พบว่า มีการตีพิมพ์ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสูงถึง 52 ฉบับ ซึ่งถือว่าเป็นปีที่ปัญหา GVRP ได้รับการตีพิมพ์มากที่สุด ตั้งแต่เริ่มมีการตีพิมพ์งานวิจัยในหัวข้อปัญหานี้ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งแสดงจำนวนของบทความที่ถูกตีพิมพ์ในแต่ละปี โดยปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมถือเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีแนวโน้มการตีพิมพ์เพิ่มขึ้นทุกปี



รูปที่ 5 จำนวนบทความที่ถูกตีพิมพ์ในแต่ละปี

สำหรับรายละเอียดการสรุปวารสารที่มีการตีพิมพ์บทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ได้ถูกรวบรวมและนำเสนอในตารางที่ 3

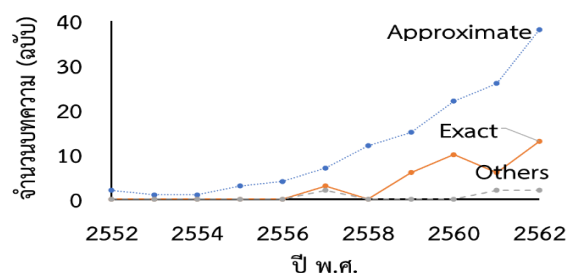
จากตารางที่ 3 พบว่า วารสารที่มีการตีพิมพ์บทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเป็นอันดับแรก คือ วารสาร Journal of Cleaner Production ซึ่งได้ตีพิมพ์บทความทั้งหมด 14 ฉบับ คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 8.19 รองลงมาคือ วารสาร Computers and Operations Research มีการตีพิมพ์ทั้งหมด 13 บทความ คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 7.60 อันดับที่สามคือ วารสาร Transportation Research Part E: logistics and Transportation Review ตีพิมพ์ทั้งหมด 10 บทความ คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 5.85 อันดับที่ 4 มีทั้งหมด 2 วารสารที่มีจำนวนการตีพิมพ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนเท่ากัน คือ 7 บทความ คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 4.09 ได้แก่ วารสาร Expert Systems with Applications และ วารสาร Transportation Research Part D: Transport and Environment

ตารางที่ 3 สรุปวารสารที่มีการตีพิมพ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม

ลำดับ	วารสาร	จำนวน (ฉบับ)	อัตราส่วน (ร้อยละ)
1	Journal of Cleaner Production	14	8.19
2	Computers and Operations Research	13	7.60
3	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	10	5.85
4	Expert Systems with Applications	7	4.09
5	Transportation Research Part D: Transport and Environment	7	4.09
6	European journal of Operational Research	6	3.51
7	Applied Soft Computing Journal	6	3.51
8	International Journal of Production Economics	5	2.92
9	Transportation Science	5	2.92
10	Electronic Notes in Discrete Mathematics	4	2.34
11	Computers and Industrial Engineering	4	2.34
12	International Journal of Industrial Engineering Computations	4	2.34
13	Networks	4	2.34
14	International Journal of Logistics System and Management	3	1.75
15	International Journal of Production Research	3	1.75
16	Transportation Research Part C: Emerging Technologies	3	1.75
17	Annals of Operations Research	2	1.17
18	Transportation Research Part B: Methodological	2	1.17
19	Advances in Transportation Studies	2	1.17
20	International Journal of Soft Computing	2	1.17
21	Journal of Theoretical and Applied Information Technology	2	1.17
22	Mathematical Problems in Engineering	2	1.17
23	Sort-Statistics and Operations Research Transactions	2	1.17
24	Applications of Management Science	2	1.17
25	Energy Systems	1	0.58
26	Industrial Management and Data Systems	1	0.58
27	Advanced Engineering Informatics	1	0.58
28	Advances in Modelling and Analysis A	1	0.58
29	Applied Energy	1	0.58
30	Applied Mathematical Modelling	1	0.58
31	Central European Journal of Operations Research	1	0.58
32	Computation and Applied Mathematics	1	0.58
33	Decision Science Letters	1	0.58
34	Others	48	28.07
รวม		171	100

4.2 วิธีการค้นหาคำตอบที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหา GVRP และวัตถุประสงค์ที่พิจารณาในปัญหา

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม พบว่าวิธีการค้นหาคำตอบที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะมีอย่างหลากหลาย โดยสามารถแบ่งกลุ่มได้ 3 ประเภท ได้แก่ 1) วิธีแบบประมาณค่า 2) วิธีแบบแม่นยำ และ 3) วิธีอื่น ๆ โดยแนวโน้มของกลุ่มวิธีการค้นหาคำตอบที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กลุ่มของวิธีการค้นหาคำตอบที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าวิธีการค้นหาคำตอบที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุด คือ วิธีแบบประมาณค่า รองลงมาคือวิธีแบบแม่นยำ โดยในวิธีแบบประมาณค่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลาทั้งในอดีตและปัจจุบัน ซึ่งถือเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากสำหรับการแก้ปัญหา GVRP

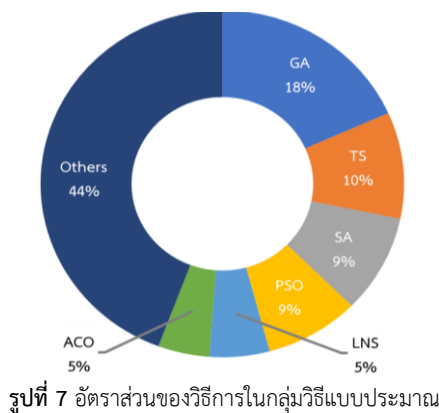
4.2.1 วิธีแบบประมาณค่า (Approximation methods) เป็นวิธีที่มีขั้นตอนสำหรับวิเคราะห์คำตอบ โดยคำตอบที่ได้รับจากวิธีการประเภทนี้เป็นคำตอบที่มีประสิทธิภาพ ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด ซึ่งคำตอบที่ได้ไม่สามารถการันตีได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุด จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า ขั้นตอนวิธีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาของกลุ่มวิธีแบบประมาณค่ามากที่สุด คือ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) งานวิจัยของ Adiba et al. (2013) Qian and Eglese (2014) He et al. (2015) Liao (2017) Rezaei et al. (2019) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 18 รองลงมาคือ วิธีการค้นหาแบบทาบ (Tabu Search: TS) เช่น งานวิจัยของ Maden et al. (2010) Jabali et al. (2012) Wang et al. (2019) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 10 ถัดมาคือ วิธีการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) เช่น งานวิจัยของ Cirovic et al. (2014) Felipe et al. (2014) Rabbani et al. (2018) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 9 ส่วนการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimisation: PSO) เช่น งานวิจัยของ Norouzi et al. (2017) Kumar et al. (2017) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 9 สำหรับรูปที่ 7 แสดงอัตราส่วนของ

ขั้นตอนวิธีในกลุ่มวิธีแบบประมาณค่าที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา และError! Reference source not found. สรุป

4.2.2 บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP

4.2.3 วิธีแบบแม่นยำ (Exact methods) เป็นวิธีที่มีขั้นตอนสำหรับวิเคราะห์หาคำตอบ โดยคำตอบที่ได้รับจากวิธีการประเภทนี้เป็นคำตอบที่มีประสิทธิภาพ และสามารถการันตีได้ว่าคำตอบที่ได้จากวิธีนี้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า วิธีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาของกลุ่มวิธีแบบแม่นยำมากที่สุด คือ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์แบบ Mixed Integer Linear Programming (MILP) เช่น งานวิจัยของ Kopfer และคณะ [23] Munoz-Villamizar [131] Ferro และคณะ [137] คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 36 รองลงมาคือ วิธีการหาคำตอบแบบ Branch and Price (BAP) งานวิจัยของ Kopfer et al. (2014) Munoz-Villamizar (2017) Ferro et al. (2018) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ

4.2.4 ละ 3 รองลงมาคือ วิธีการหาคำตอบแบบ Branch and Price (BAP) เช่น งานวิจัยของ Yu et al. (2019) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 8 เช่นเดียวกันกับวิธีการหาคำตอบแบบ Branch and Cut (BC) เช่น งานวิจัยของ Koc and Karaoglan (2016) Sundar et al. (2017) ส่วนแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์แบบ Mixed Integer Nonlinear Programming (MINLP) เช่น งานวิจัยของ Soysal et al. (2018) Yu et al. (2019) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 7 นอกจากนี้ยังมีวิธีการหาคำตอบแบบ Branch-Cut and Price (BCP) เช่น งานวิจัยของ Fuksawa et al. (2018) โดยรูปที่ 8 แสดงอัตราส่วนของขั้นตอนวิธีในกลุ่มวิธีแบบแม่นยำที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา และ Error! Reference source not found. สรุปบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP



รูปที่ 7 อัตราส่วนของวิธีการในกลุ่มวิธีแบบประมาณ

ตารางที่ 5 ตารางสรุปบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP ที่ได้รับการตีพิมพ์ในฐานข้อมูลวิชาการนานาชาติจนถึงปัจจุบัน

ผู้แต่ง	วิธี			วัตถุประสงค์					
	วิธีแบบประมาณค่า	วิธีแบบแม่นยำ	วิธีอื่น ๆ	ต้นทุน			ไม่เกี่ยวกับต้นทุน	สิ่งแวดล้อม	สิ่งแวก
				การดำเนินงาน	การขนส่ง	การปล่อยก๊าซ	การบริโภคเชื้อเพลิง	ระยะเวลา	อัตราการใช้พลังงาน
Gen et al., 2009	HGA			☐	☐				
Simao et al., 2009	ADP							☐	
Maden et al., 2010	TS							☐	☐
Ubeda et al., 2011	SRB and							☐	
Erdogan et al., 2012	MCWS							☐	
Hollis & Green, 2012	SIA and							☐	
Jabali et al., 2012	TS				☐			☐	☐
Mohammadi et al., 2013	MOIWA			☐	☐			☐	
Adiba et al., 2013	GA							☐	☐
Adiba et al., 2013	HACS								☐
Gajanand et al., 2013	CG								☐
Cirovic et al., 2014	SA			☐					
Felipe et al., 2014	SA						☐		
Jovanovic et al., 2014			Fuzzy	☐					☐
Juan et al., 2014	MRH							☐	
Kim et al., 2014			RFID					☐	
Kopfer et al., 2014		MILP							☐
Lin et al., 2014	GA							☐	☐
Qian & Eglese, 2014		DP							☐
Ramos et al., 2014		MILP						☐	☐
Ramos et al., 2014	PF							☐	☐
Scheider et al., 2014	VNS with							☐	
Zhang et al., 2014	ABC				☐			☐	
Chand & Mohanty 2015	PPES							☐	☐
Goeke & Schneider, 2015	ALNS							☐	☐
He et al., 2015	GA and								☐
Jabbarpour et al., 2015	AVCAS								☐
Kramer et al., 2015	ILS-SOA-								☐
Naoum-Sawaya et al., 2015	SH							☐	
Norlund et al., 2015	Simulatio			☐					☐
Li-Ying & Yuan-Bin, 2015	AVNS with			☐		☐			
Tiwari & Chang, 2015	BR							☐	
Wang et al., 2015	MACO							☐	☐
Xiao & Konak, 2015	SA								☐
Yang et al., 2015	HGA			☐					
Adiba et al., 2016	ACS							☐	☐
Afshar-Bakeshloo et al., 2016		MILP		☐	☐				
Alinaghian & Naderipour, 2016	IGF								☐
Bruglieri et al., 2016		MILP				☐			
Coelho et al., 2016	FN-VNS				☐				
Dondo & Mendez 2016	BAP			☐	☐				

Error! Reference source not found. (ต่อ)

ผู้แต่ง	วิธี			วัตถุประสงค์							
	วิธีแบบประมาณค่า	วิธีแบบแม่นยำตรง	วิธีอื่น ๆ	ต้นทุน				ไม่เกี่ยวกับต้นทุน	สิ่งแวดล้อม	สิ่งแวดล้ม	สิ่งแวดล้ม
				การดำเนินงาน	การขนส่ง	การปล่อยก๊าซ	การบริโภคเชื้อเพลิง	ระยะทาง	เวลา	อัตราใช้พลังงาน	อัตราการใช้พลังงาน
Ene et al., 2016	TS and SA										
Fukasawa et al., 2016		BCP									
Koc & Karaoglan, 2016	SA	BC									
Lee & Prabhu, 2016	GEET										
Naderipour & Alinaghian, 2016	IPSO										
Roberti & Wen, 2016	TPH										
Suzuki 2016	SA and TS										
Montoya et al., 2016	MSH										
Teng & Zhang, 2016	SA										
Toro et al., 2016		EC									
Xiao & Konak, 2016	P-MIP-INS										
Yin & Chuang, 2016	AMABC										
Andelmin & Bartolini, 2017	K-PC										
Behnke & Kirschstein, 2017	PS										
Bruglieri et al., 2017	VNSB										
Camm et al., 2017		MIQP									
Cimen & Soysal, 2017	ADP										
Coelho et al., 2017	MOSPOO										
Dabia et al., 2017		BAP									
Eshthead et al., 2017		RO									
Francescheti et al., 2017	ALNS										
Hassanzadeh & Rasti-Barzoki, 2017	NSGA-II										
Jabir et al., 2017	ACO and										
Jemai et al., 2017	MOGA										
Kumar et al., 2017	AIS and										
Leggieri & Haouari, 2017		MINL									
Liao, 2017	GA and										
Lu et al., 2017	MCMC-										
Majidi et al., 2017	ALNS										
Mancini, 2017	LNS										
Munoz-Vilamizar et al., 2017		MILP									
Nakhjirkan & Mokhtab Rafiei, 2017	GA										
Norouzi et al., 2017	MPSO										
Sawik et al., 2017		MOIP									
Sawik et al., 2017	LG										
Schiffer & Walther, 2017		LR									
Soysal & Cimen, 2017	RDP										
Sundar et al., 2017		BC									
Toro et al., 2017		MILP									
Toro et al., 2017		PF									
Turkensteen, 2017		CME									
Xiao & Konak, 2017	GA-DP										
Yavuz, 2017	IBS										

Error! Reference source not found. (ต่อ)

ผู้แต่ง	วิธี			วัตถุประสงค์							
	วิธีแบบประมาณค่า	วิธีแบบแม่นยำตรง	วิธีอื่น ๆ	ต้นทุน				ไม่เกี่ยวกับต้นทุน	สิ่งแวดล้อม	สิ่งแวดล้ม	สิ่งแวดล้ม
				การดำเนินงาน	การขนส่ง	การปล่อยก๊าซ	การบริโภคเชื้อเพลิง	ระยะทาง	เวลา	อัตราใช้พลังงาน	อัตราการใช้พลังงาน
Yu et al., 2017	SA-RS										
Abad et al., 2018	NRGA and										
Chabot et al., 2018	ALNS										
Costa et al., 2018	PLS										
Croce et al., 2018	PG										
de Oliveira da Costa et al., 2018	GA										
Ehmke et al., 2018	TS										
Elgesem et al., 2018	Simulatio										
Faraji & Afshar-Nadjafi, 2018	GA and										
Ferro et al., 2018		MILP									
Fukasawa et al., 2018		BCP									
Gao & Zhao, 2018	HSAA										
Ghezavati et al., 2018	SA and										
Gifford et al., 2018	CG										
Affi et al., 2018	VNS										
Hamad et al., 2018		AHP									
Hu et al., 2018	RTSP										
Kancharla & Ramadurai, 2018		MILP									
Kazemian et al., 2018		GT									
Kumar & Kumar, 2018	GA										
Kong et al., 2018	PTO										
Li & Sun, 2018	GA										
Liu et al., 2018	C-HQIA										
Madankumar & Rajendran, 2018		MILP									
Niu et al., 2018	HTS										
Niu et al., 2018	HTS										
Poonthalir & Nadarajan, 2018	TVa-										
Rabbani et al., 2018	SA										
Soleimani et al., 2018		Fuzzy									
Sousa et al., 2018	ILS										
Soysal et al., 2018		MINL									
Wang et al., 2018	IPSO and										
Wensing 2018	EA										
Zhang et al., 2018	NNC and										
Abu Al Hla et al., 2019	GIN										
Almira et al., 2019	INS										
Andelmin & Bartolini, 2019	MSLS										
Arroyo et al., 2019		MILP									
Basso et al., 2019		Form									
Bravo et al., 2019	EA										
Bruglieri et al., 2019		MILP									
Bruglieri et al., 2019		MILP									
Bruglieri et al., 2019		CP									

Error! Reference source not found. (ต่อ)

ผู้แต่ง	วิธี			วัตถุประสงค์						
	วิธีแบบประมาณค่า	วิธีแบบแม่นยำตรง	วิธีอื่น ๆ	ต้นทุน			ไม่ เกี่ยวกับ ต้นทุน	สิ่ง แวดล้อม		
				การดำเนินงาน	การขนส่ง	การปล่อยก๊าซ				
				การปรับโมด	ระยะเวลา	ระยะทาง	อัตราใช้พลังงาน	อัตราการใช้พลังงาน	อัตราการใช้พลังงาน	อัตราการใช้พลังงาน
Chiang et al., 2019	GA									
Dukkanci et al., 2019	ILS									
Eskandarpour et al., 2019	EMDLS									
Fallah et al., 2019	DE									
Fallah et al., 2019	IDE									
Ghannadpour & Zarrabi, 2019	EA									
Goeke, 2019	GTS									
Guo & Guo, 2019	GrA									
Han et al., 2019		MILP								
Henke et al., 2019		BC								
Heshmati et al., 2019	GA									
Hooshmand & Mirhassani, 2019	GRASP									
Khalafi & Zarei, 2019			Fuzzy							
Koyuncu & Yavuz, 2019		MILP								
Li et al., 2019	PSO and									
Li et al., 2019	IACO									
Li et al., 2019	TS and									
Macrina et al., 2019	ILS									
Macrina et al., 2019	HLNS									
Mahmoudi et al., 2019		DP								
Normasari et al., 2019	SA									
Erdem & Koc, 2019	GA and									
Poonthalir et al., 2019	e-CRO									
Reyes-Rubiano et al., 2019	Simulatio									
Rezaei et al., 2019	GA and									
Schroder & Cabral, 2019		DEM								
Serrano-Hernandez & Faulin, 2019	BRS									
Soon et al., 2019			PHMA							
Soon et al., 2019	MD k-SP									
Sruthai et al., 2019	GA									
Wang et al., 2019	TS									
Wang & Lu, 2019	MAC									
Wang et al., 2019	HGA									
Wang et al., 2019	CWSHA									
Xiao et al., 2019		MILP								
Xin et al., 2019	CG									
Xu et al., 2019	NSGA-II									
Yu et al., 2019		BAP								
Yu et al., 2019		MINL								
Yu et al., 2019	DRL									
Zhang et al., 2019	LANDCO									
Zhen et al., 2019	IPSO									
Zhou et al., 2019	GA and									

Error! Reference source not found. (ต่อ)

ผู้แต่ง	วิธี			วัตถุประสงค์						
	วิธีแบบประมาณค่า	วิธีแบบแม่นยำตรง	วิธีอื่น ๆ	ต้นทุน			ไม่ เกี่ยวกับ ต้นทุน	สิ่ง แวดล้อม		
				การดำเนินงาน	การขนส่ง	การปล่อยก๊าซ				
				การปรับโมด	ระยะเวลา	ระยะทาง	อัตราใช้พลังงาน	อัตราการใช้พลังงาน	อัตราการใช้พลังงาน	อัตราการใช้พลังงาน
Zhu & Hu, 2020	HH									

หมายเหตุ HGA = Hybrid Genetic Algorithm; ADP = Approximate Dynamic Programming; ALNS = Adaptive Large Neighborhood Search; TS = Tabu Search; SH = Saving Heuristic MRH = Multi Round Heuristic; SRB and NNI = Sequential route building and the nearest neighbor insertion; ILS = Iterated Local Search; HACS = Hybrid Ant Colony System PF = Pareto Front; MOWA = Multi Objective Invasive Weed Optimization; SA = Simulated Annealing; CG = Column Generation; MILP = Mixed Integer Linear Programming VNS with TS = Variable Neighborhood Search with Tabu Search; MCWS and DBC = The Modified Clark and Wright Saving Heuristics and Density-Based Clustering GA = Genetic Algorithm; ABC = A Hybrid Artificial Bee Colony; DP = Dynamic Programming; SIA and GLSA = Sequential Insertion Algorithm and Guided Local Search PPES = Predator Prey Evolutionary Strategy; PSO = Particle Swarm Optimization; ACO = Ant Colony Optimization; BR = Block Recombination; IGF = Improved Gaussian Firefly BCP = Branch-Cut and Price Algorithm; MOGA = Multi Objective Genetic Algorithm; MOGE = A Many Objective Gradient Evolution; MACO = Multimetric Ant Colony Algorithm AVCAS and SIDRA = Ant-Based Vehicle Congestion Avoidance System Signalized Intersection Design and Research Aid; ACS = Ant Colony System; BC = Branch and Cut ILS-SOA-SP = Integrated Iterated Local Search with A Set Partitioning Procedure and A Speed Optimization Algorithm; GEET = Greening via Energy and Emission in Transportation AVNS with TS = An Adaptive Variable Neighborhood Search with Tabu Search; MSH = Multi-Space Sampling Heuristic; FN-VNS = Four-Neighborhood Variable Neighborhood Search P-MIP-INS = A Hybrid Algorithm of Partial MIP Optimization and Iterative Neighborhood Search; BAP = Branch and Price Algorithm; IPSO = Improved Particle Swarm Optimization AMABC = An Adaptive Memory Artificial Bee Colony; VNSB = Variable Neighborhood Search Local Branching; NSGA - II = Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II; EC = Epsilon Constraint; MOSPOOLS = Multi-Objective Smart Pool Search; MIQP = Mixed Integer Quadratic Programming; PS = Path Selection Algorithm; RO = Robust Optimization DEM = Digital Elevation Model; TPH = Three-Phase Heuristic; HACO = Hybrid Ant Colony Optimization; MCMC-RORO = Multicompartment Roll-on and Roll-off AIS and PSO = Artificial Immune System and Particle Swarm Optimization; K - PC = K - Path Cuts; MINLP = Mixed Integer Nonlinear Programming; LG = Lexicographic Method LNS = Large Neighborhood Search; MOIP = Multi Objective Integer Programming; RDP = Restricted Dynamic Programming; MPSO = Modified Particle Swarm Optimization CMEM = Comprehensive Modal Emission Model; GA-DP = Genetic Algorithm with dynamic programming; IBS = Iterated Beam Search; PG = Path Generation SA- RS = Simulated Annealing with A Re-Strategy; MOPSO = Multi Objective Particle Swarm Optimization; PLS = Pareto Local Search; AHP = Analytic Hierarchy Process NRGA = Non Dominated Ranking Genetic Algorithm; HSAA = A hybrid Tabu Search Improved Simulated Annealing; GT = Graph Transformation; EA = Evolution Algorithm SA and SMPSA = Simulated Annealing and The Self-Modifier of Probability of Section Approach; RTSP = Real Time Shortest Path; HTS = Hybrid Tabu Search C-HQIA = Hybrid Quantum Immune Algorithm Based on Cloud Model; PTO = Polynomial Time Optimization; VND = Variable Neighborhood Descent; CP = Cutting Planes GTS = Granular Tabu Search; TVa-PSOGMO = Particle Swarm Optimization with Greedy Mutation Operator and Time Varying Acceleration Coefficient; HH = Hybrid Heuristic

GIN = Greedy and The Intra-Route Neighborhood; NNC and ACS = Nearest Neighbor Criteria and Ant Colony System; MSLS = Multi-Start Local Search Heuristic
DE = Differential Evolution; GRASP = Greedy Randomized Adaptive Search Procedure and Simulated Annealing; IDE = Improved Differential Evolution Algorithm
DRL = Deep Reinforcement Learning Algorithm; PHMAS = Pheromone- Based Hierarchical Multi Agent System; HLNS = Hybrid Large Neighborhood Search; GR = Greedy Algorithm

4.2.3 วิธีอื่น ๆ (Other methods) นอกเหนือจากกลุ่มวิธีการค้นหาคำตอบที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ยังมีวิธีอื่น ๆ ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา ยกตัวอย่างเช่น การนำเทคโนโลยี Radio Frequency Identification (RFID) เข้ามาช่วยแก้ปัญหา ได้แก่ งานวิจัยของ Kim et al. (2014) หรือทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) ได้แก่ งานวิจัยของ Jovanovic et al. (2014) Soleimani et al. (2018) โดยError! Reference source not found. สรุปบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP

จากError! Reference source not found. ซึ่งเป็นตารางสรุปการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP ที่ได้รับการตีพิมพ์ในฐานข้อมูลวิชาการระดับนานาชาติจนถึงปี พ.ศ. 2562 นอกจากวิธีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในปัญหานี้ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.2.1 – 4.2.3 แล้วนั้น ในส่วนของวัตถุประสงค์ของปัญหา GVRP มุ่งเน้นไปที่ 3 ประเด็นหลัก ๆ ได้แก่ 1) ปัญหา GVRP ที่มีวัตถุประสงค์ในการหาผลเฉลยที่เกี่ยวข้องกับต้นทุน ยกตัวอย่างเช่น การหาผลเฉลยที่มีต้นทุนที่เกิดจากการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด หรือการหาผลเฉลยที่มีต้นทุนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำที่สุด 2) ปัญหา GVRP ที่มีวัตถุประสงค์ในการหาผลเฉลยไม่เกี่ยวข้องกับต้นทุน เช่น การหาระยะทางที่ต่ำที่สุด หรือ การหาเวลาที่ใช้ในการขนส่งต่ำที่สุด และ 3) ปัญหา GVRP ที่มีวัตถุประสงค์ในการหาผลเฉลยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างเช่น การหาอัตราการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด หรืออัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่ำที่สุด สำหรับวัตถุประสงค์ที่ถูกพิจารณามากที่สุดปัญหา GVRP 3 อันดับแรก ได้แก่ การหาอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด รองลงมาคือ การหาระยะทางสำหรับการขนส่งที่ต่ำที่สุด และสุดท้าย คือ การหาอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่ำที่สุด

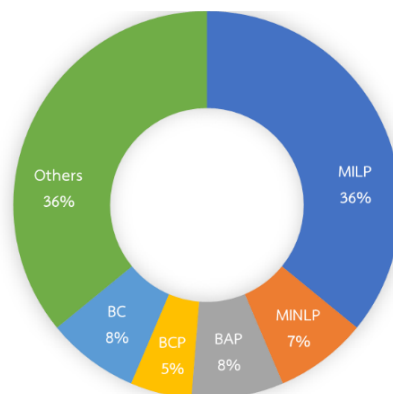
4.3 ประเภทกลุ่มยานพาหนะที่ถูกพิจารณา AFV และ Non-AFV

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมสามารถสรุปได้ว่า ประเภทของกลุ่มยานพาหนะที่ถูกนำมาพิจารณาในบทความแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มของยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบเดิมยานพาหนะที่ใช้พลังงานจากน้ำมัน

BRS = A Biased Randomization Saving Algorithm; e-CRO = Enhanced Chemical Reaction Optimization; IACO = Improved Ant Colony Optimization; Swa = Sweep Algorithm

MD k-SP = Modified Dynamic K – Shortest Path Algorithm; MAC = Memetic Algorithm with Competition; CWSHA = Clarke and Wright Saving Heuristic

เชื้อเพลิง (Gasoline or Diesel vehicles: GDV/Non-AFV) และ 2) กลุ่มของยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก (Alternative fuel vehicle) ซึ่งข้อแตกต่างระหว่างยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงกับยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก คือ 1) ยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือกมีระยะทางในการขับขี่จำกัด 2) ยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือกยังขาดแคลนสถานีให้บริการเชื้อเพลิง และ 3) ยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือกใช้เวลาในการเติมเชื้อเพลิงนานกว่ายานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิง (Koyuncu & Yavuz, 2019)

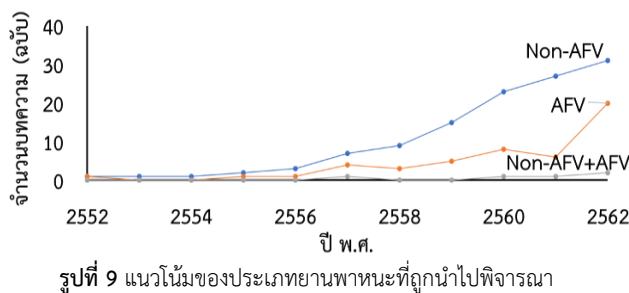


รูปที่ 8 อัตราส่วนของขั้นตอนวิธีในกลุ่มวิธีแบบแมนตรง

การพิจารณากลุ่มยานพาหนะในปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่เกี่ยวข้องประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า มีบทความที่พิจารณากลุ่มของยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบเดิม มากกว่ากลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงทางเลือก โดยบทความที่พิจารณากลุ่มของยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบเดิมคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 68.96 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Simao et al. (2009) Jabali et al. (2012) Liao (2017) Ehmke et al. (2018) Bravo et al. (2019) ส่วนบทความที่พิจารณากลุ่มของยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือกคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 28.16 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Erdogan & Miller-Hooks (2012) Juan et al. (2014) Karmer et al. (2015) Bruglieri et al. (2017) Goeke (2019)

นอกเหนือจากนั้น บทความที่พิจารณากลุ่มยานพาหนะที่ใช้ทั้งพลังงานเชื้อเพลิงและพลังงานทางเลือกคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 2.87 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Cirovic et al. (2014) Macrina et al. (2019) สำหรับแนวโน้มของบทความ

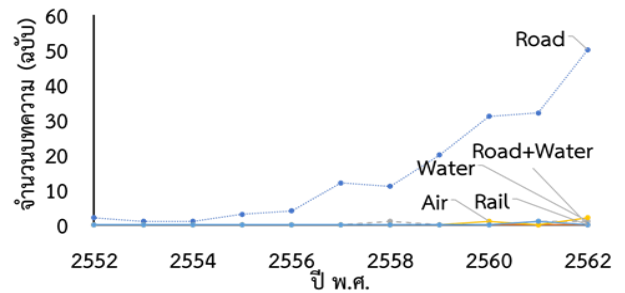
ที่มีการพิจารณาเฉพาะกลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิง
บทความที่มีการพิจารณาเฉพาะกลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลัง
ทางเลือก และบทความที่พิจารณาทั้งกลุ่มยานพาหนะที่ใช้
พลังงานเชื้อเพลิง และพลังงานทางเลือก ทั้งในช่วงอดีต และ
ช่วงปัจจุบัน แสดงในรูปที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการพิจารณากลุ่ม
ยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงยังคงเป็นที่นิยมตั้งแต่ในอดีต
จนถึงปัจจุบัน การพิจารณากลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงาน
เชื้อเพลิง ร่วมกับกลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือกยังไม่
เป็นที่นิยมมากนัก



รูปที่ 9 แนวโน้มของประเภทยานพาหนะที่นำไปพิจารณา

4.4 โหมดการขนส่งที่ถูกพิจารณาในปัญหาการจัดเส้นทาง ยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม

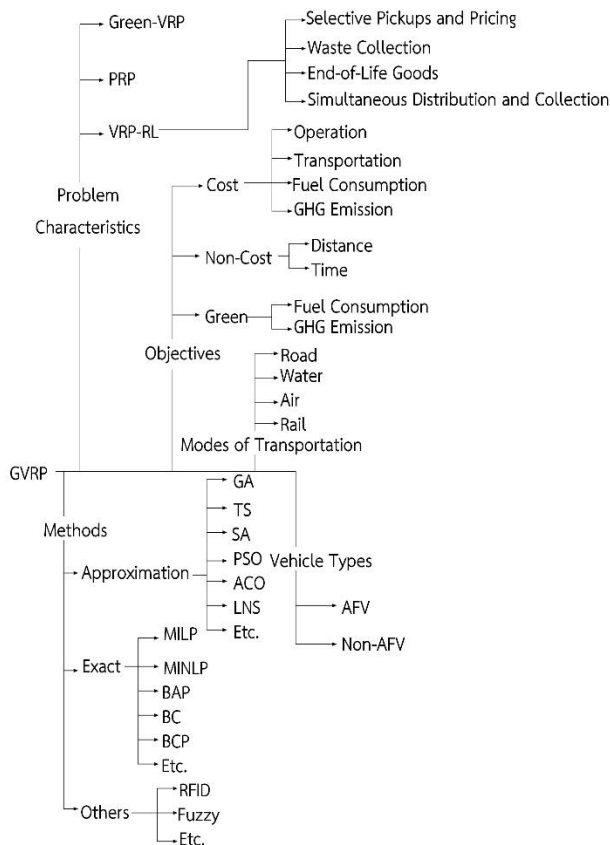
โหมดการขนส่งโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 4 โหมดหลัก
ได้แก่ 1) ทางถนน การขนส่งที่ผ่านทางถนน ถือเป็นการขนส่ง
ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากสามารถขนส่งได้รวดเร็ว
และทันตามกำหนดเวลา มีความยืดหยุ่นสูง และเป็นการขนส่ง
แบบถึงที่หรือถึงมือผู้รับได้ในทันที (Door to door) 2) ทางน้ำ
การขนส่งที่ผ่านทางน้ำหรือทางทะเล โดรนส่วนใหญ่ใช้ในการ
ขนส่งสินค้าที่ระยะทางที่ไกล ซึ่งใช้มหาสมุทร ทะเล ทะเลสาบ
หรือแม่น้ำ เป็นเส้นทางในการเดินเรือ เพื่อขนส่งสินค้าไปยัง
ปลายทาง 3) ทางราง การขนส่งผ่านทางราง คือ การขนส่งที่
ผ่านทางรางโดยใช้ที่มีล้อวิ่งติดกับราง (รถไฟ) และ 4) ทาง
อากาศ การขนส่งประเภทนี้ใช้เครื่องบินเป็นยานพาหนะในการ
ขนส่ง การขนส่งประเภทนี้มีต้นทุนการขนส่งที่ค่อนข้างสูง โดย
แนวโน้มของโหมดการขนส่งที่ถูกนำมาพิจารณา ดังแสดงใน
รูปที่ 10



รูปที่ 10 แนวโน้มโหมดการขนส่งที่ถูกพิจารณาในอดีตถึงปัจจุบัน

จากรูปที่ 10 พบว่า โหมดการขนส่งทางถนน เป็นโหมด
การขนส่งที่ถูกนำมาพิจารณาในบทความมากที่สุดร้อยละ
95.98 ส่วนโหมดการขนส่งที่ถูกพิจารณาเป็นอันดับต่อมา ได้แก่
โหมดการขนส่งทางอากาศ และทางน้ำ ซึ่งมีอัตราส่วนที่เท่ากัน
คือ ร้อยละ 1.72 ส่วนการขนส่งทางราง พบว่ายังไม่ถูกนำมา
พิจารณาในบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทาง
ยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม และการขนส่ง
ต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal transportation) ถูก
นำมาพิจารณาคิดเป็นร้อยละ 0.57

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP พบว่า
บทความในกลุ่มของปัญหา GVRP สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 11
เป็นการสรุปประเด็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา GVRP ที่ได้
จากการทบทวนวรรณกรรม ไม่ว่าจะเป็น ลักษณะของปัญหาที่
แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ 1) ปัญหา Green-VRP 2) ปัญหา
PRP และ 3) ปัญหา VRP-RL วัตถุประสงค์ของปัญหาซึ่งแบ่ง
ออกเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ 1) กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับต้นทุน (Cost)
ได้แก่ ต้นทุนการดำเนินงาน (Operation) ต้นทุนการขนส่ง
(Transportation) ต้นทุนการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิง (Fuel
consumption) ต้นทุนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG
Emission) 2) กลุ่มที่ไม่เกี่ยวข้องกับต้นทุน ได้แก่ ระยะทาง
(Distance) และ เวลาในการเดินทาง (Time) และ 3) กลุ่มที่
เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม (Green) ได้แก่ อัตราการบริโภค
พลังงานเชื้อเพลิง (Fuel consumption) และอัตราการปล่อย
ก๊าซเรือนกระจก (GHG Emission)



รูปที่ 11 แผนภาพสรุปประเภทของปัญหา GVRP

วิธีที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) วิธีแบบประมาณค่า (Approximation methods) เช่น GA SA และอื่น ๆ 2) วิธีแบบแม่นยำ (Exact methods) เช่น MILP MINLP และอื่น ๆ และ 3) วิธีอื่น ๆ เช่น RFID ประเภทของยานพาหนะที่นำมาพิจารณา ไม่ว่าจะเป็น AFV และ Non-AFV และสุดท้ายนี้โหมดการขนส่งที่พิจารณาได้แก่ โหมดการขนส่งทางถนน โหมดการขนส่งทางน้ำ โหมดการขนส่งทางอากาศ และโหมดการขนส่งทางราง ดังแสดงในรูปที่ 11

5. การคาดการณ์ช่วงอนาคตของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม

ในหัวข้อนี้จะเป็นการคาดการณ์แนวโน้มของบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคต เริ่มตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2563 เป็นต้นไป โดยการคาดการณ์แนวโน้มนี้เป็นการคาดการณ์จากแนวทางที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัย และช่องทางการวิจัย (Research gaps and opportunities) ที่ไม่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยในอดีตที่ผ่านมา

5.1 แนวทางการวิจัยที่ได้รับความนิยม

จากการทบทวนวรรณกรรมของปัญหา GVRP ที่ผ่านมา ในช่วงอดีตจนถึงปัจจุบันพบว่า ปัญหาประเภท Green-VRP เป็นประเภทที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่วนของวิธีการแก้ปัญหาที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุด คือ วิธีแบบประมาณค่า โดยมีการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) มากที่สุด รองลงมา คือ วิธีการจำลองการอบอ่อน (SA) ประเภทของกลุ่มยานพาหนะที่ถูกนำมาพิจารณามากที่สุด คือ กลุ่มยานพาหนะประเภทใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม โดยส่วนใหญ่บทความเน้นที่การปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง ส่วนโหมดการขนส่งที่ถูกนำมาพิจารณามากที่สุด คือ โหมดการขนส่งทางถนน สำหรับวัตถุประสงค์ที่ถูกพิจารณามากที่สุดในกลุ่มของปัญหา GVRP คือ การพิจารณาหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 28.65

5.2 ช่องทางการวิจัย (Research gaps)

จากการทบทวนวรรณกรรมในกลุ่มของปัญหา GVRP พบบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหา PRP คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 5.26 ส่วนบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหา VRP-RL คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 7.60 ซึ่งสังเกตได้ว่าปัญหาทั้ง 2 ประเภทนี้ยังไม่ได้รับความนิยมเท่ากับปัญหาประเภท Green-VRP ในส่วนของวิธีการแก้ปัญหา พบว่า บทความที่ถูกแก้ปัญหาวัยวิธีแม่นยำมีเพียง 39 บทความ คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 22.80 สำหรับการพิจารณาประเภทยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงดั้งเดิมร่วมกับกลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก ในอดีตที่ผ่านมาพบบทความที่พิจารณากลุ่มยานพาหนะทั้งสองประเภทนี้ทั้งหมด 5 บทความ นอกเหนือจากนั้นที่ผ่านมามีเพียง 1 บทความที่มีการพิจารณาโหมดการขนส่งมากกว่า 1 โหมดการขนส่ง และวัตถุประสงค์ในการพิจารณาถึงต้นทุนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถูกนำมาพิจารณาเพียงร้อยละ 7.01

นอกจากนี้แล้วประเด็นของช่องทางการวิจัย ที่ได้จากบทความต่าง ๆ สำหรับการพัฒนางานวิจัยในปัญหา GVRP ยกตัวอย่างเช่น การพิจารณาหาอัตราการใช้เชื้อเพลิง คำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของถนน การพิจารณาหาอัตราความเร็วที่เหมาะสมสำหรับยานพาหนะ การพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของเวลาในการเดินทาง

6. บทสรุป

บทความนี้นำเสนอการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม โดยได้นำเสนอที่มาของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม การจำแนกลักษณะของปัญหา บทความที่ตีพิมพ์ในหัวข้อของปัญหาการจัด

เส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมแบ่งตามประเภท และรวมถึงการรวบรวมข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม เพื่อทราบถึงที่มาของปัญหา GVRP ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และเสนอแนะแนวโน้มในช่วงอนาคตสำหรับการจัดทำบทความวิจัยในหัวข้อของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม

สรุปแนวทางสำหรับการพัฒนาปัญหา GVRP เพื่อต่อยอดในการจัดทำงานวิจัยในอนาคต หากนักวิจัยที่สนใจในการพัฒนาปัญหา GVRP อาจมุ่งเน้นไปที่การพิจารณายานพาหนะทั้งชนิดที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม ร่วมกันกับยานพาหนะชนิดที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงทางเลือก การพิจารณาโหมดการขนส่ง ควรพิจารณาโหมดการขนส่งอื่น ๆ ร่วมด้วยนอกเหนือจากทางถนน หรือพิจารณาถึงรูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ เพื่อเพิ่มความซับซ้อนของปัญหา สำหรับวัตถุประสงค์ของปัญหา อาจมุ่งเน้นไปที่การหาอัตราการใช้ของพลังงานเชื้อเพลิง หรือการหาต้นทุนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งบทความคนแรก ขอแสดงความขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้มอบทุนการศึกษาตลอดหลักสูตร ในการศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

8. เอกสารอ้างอิง

Abad, H.K.E., Vahdani, B., Sharifi, M. , & Etebari, F. (2018). A bi-objective model for pickup and delivery pollution-routing problem with integration and consolidation shipments in cross-docking system. *Journal of Cleaner Production*, 193, 784-801.

Abu Al Hla, Y., Othman, M., & Saleh, Y. (2019). Optimising an eco-friendly vehicle routing problem model using regular and occasional drivers integrated with driver behaviour control. *Journal of Cleaner Production*, 234, 984-1001.

Adiba, E.B.E.I., Ahmed, E.H.A., & Youssef, B. (2013). A genetic algorithm for optimizing the amount of emissions of greenhouse GAZ for capacitated vehicle routing problem in green transportation. *International Journal of Soft Computing*, 8(6), 406-415.

Adiba, E.B.E.I., Elhassania, M., & Ahemd, E.H.A. (2013). A hybrid ant colony system for green capacitated vehicle routing problem in sustainable transport. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 54(2), 198-208.

Adiba, E.L.B.E.I., Elhassania, M., & Ahemd, E.A. (2016). A hybrid metaheuristic to minimize the carbon dioxide emissions and the total distance for the vehicle routing problem. *International Journal of Soft Computing*, 11(6), 409-417.

Affi, M., Derbel, H., & Jarboui, B. (2018). Variable neighborhood search algorithm for the green vehicle routing problem. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9(2), 195-204.

Afshar-Bakeshloo, M., Mehrabi, A., Safari, H., Maleki, M., & Jolai, F. (2016). A green vehicle routing problem with customer satisfaction criteria. *Journal of Industrial Engineering International*, 12(4), 529-544.

Alinaghian, M. , & Naderipour, M. (2016). A novel comprehensive macroscopic model for time- dependent vehicle routing problem with multi- alternative graph to reduce fuel consumption: A case study. *Computers and Industrial Engineering*, 99, 10-222.

Almira, Mawengkang, H., Suwilo, S., & Tulus. (2019). Green open vehicle routing and scheduling problem considering the time spent in traffic congestion. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7(6), 1452-1455.

Andelmin, J., & Bartolini, E. (2017). An exact algorithm for the green vehicle routing problem. *Transportation Science*, 51(4), 1288-1303.

Andelmin, J., & Bartolini, E. (2019). A multi-start local search heuristic for the green vehicle routing problem based on a multigraph reformulation. *Computers and Operations Research*, 109, 43-63.

Arroyo, J. L., Felipe, Á., Ortuño, M.T., & Tirado, G. (2019). Effectiveness of carbon pricing policies for promoting urban freight electrification: analysis of last mile delivery in Madrid. *Central European Journal of Operations Research*, 28, 1417-1440

Basso, R., Kulcsár, B., Egardt, B., Lindroth, P., & Sanchez-Diaz, I. (2019). Energy consumption estimation integrated into the electric vehicle routing problem. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 69, 141-167.

Behnke, M., & Kirschstein, T. (2017). The impact of path selection on GHG emissions in city logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 106, 320-336.

Bektaş, T., & Laporte, G. (2011). The pollution-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(8), 1232-1250.

Bravo, M., Rojas, L. P. , & Parada, V. (2019). An evolutionary algorithm for the multi- objective pick- up and delivery pollution-routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 26(1), 302-317.

- Bruglieri, M., Mancini, S., & Pisacane, O. (2019). More efficient formulations and valid inequalities for the green vehicle routing problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 105, 283-296.
- Bruglieri, M., Mancini, S., & Pisacane, O. (2019). The green vehicle routing problem with capacitated alternative fuel stations. *Computers and Operations Research*, 112, 1-12.
- Bruglieri, M., Mancini, S., Pezzella, F., & Pisacane, O. (2016). A new mathematical programming model for the green vehicle routing problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 55, 89-92.
- Bruglieri, M., Mancini, S., Pezzella, F., & Pisacane, O. (2019). A path-based solution approach for the green vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 103, 109-122.
- Bruglieri, M., Mancini, S., Pezzella, F., Pisacane, O., & Suraci, S. (2017). A three-phase matheuristic for the time-effective electric vehicle routing problem with partial recharges. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 58, 95-102.
- Camm, J.D., Magazine, M.J., Kuppusamy, S., & Martin, K. (2017). The demand weighted vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 262(1), 151-162.
- Chabot, T., Bouchard, F., Legault-Michaud, A., Renaud, J., & Coelho, L.C. (2018). Service level, cost and environmental optimization of collaborative transportation. *Transportation Research Part E- Logistics and Transportation Review*, 110, 1-14.
- Chand, P., & Mohanty, J. R. (2015). Environmental multi objective uncertain transport trail model using variant of predator prey evolutionary strategy. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 8(1), 21-51.
- Chiang, W.C., Li, Y., Shang, J., & Urban, T.L. (2019). Impact of drone delivery on sustainability and cost: realizing the UAV potential through vehicle routing optimization. *Applied Energy*, 242, 1164-1175.
- Çimen, M., & Soysal, M. (2017). Time-dependent green vehicle routing problem with stochastic vehicle speeds: An approximate dynamic programming algorithm. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54, 82-98.
- Ćirović, G., Pamučar, D., & Božanić, D. (2014). Green logistic vehicle routing problem: Routing light delivery vehicles in urban areas using a neuro-fuzzy model. *Expert Systems with Applications*, 41(9), 4245-4258.
- Coelho, B.N., Coelho, V.N., Coelho, I.M., Ochi, L.S., Haghazadeh, K., Zuidema, D., Lima, M.S.F., & da Costa, A.R. (2017). A multi-objective green UAV routing problem. *Computers and Operations Research*, 88, 306-315.
- Coelho, I.M., Munhoz, P.L.A., Ochi, L.S., Souza, M.J.F., Bentes, C., & Farias, R. (2016). An integrated CPU-GPU heuristic inspired on variable neighbourhood search for the single vehicle routing problem with deliveries and selective pickups. *International Journal of Production Research*, 54(4), 945-962.
- Cooke, K. L., & Halsey, E. (1966). The shortest route through a network with time-dependent internodal transit times. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 14(3), 493-498.
- Costa, L., Lust, T., Kramer, R., & Subramanian, A. (2018). A two-phase Pareto local search heuristic for the bi-objective pollution-routing problem. *Networks*, 72(3), 311-336.
- Croce, A., Musolino, G., Rindone, C., & Vitetta, A. (2018). From green energy to green logistic: a joint analysis of energy, accessibility and mobility. *Advances in Modelling and Analysis A*, 55(3), 121-127.
- Dabia, S., Demir, E., & Van Woensel, T. (2017). An exact approach for a variant of the pollution-routing problem. *Transportation Science*, 51(2), 607-628.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.
- de Oliveira da Costa, P.R., Mauceri, S., Carroll, P., & Pallonetto, F. (2018). A genetic algorithm for a green vehicle routing problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 64, 65-74.
- Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., van Wassenhove, L. N., (2013). *Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains*. Springer Science & Business Media.
- Dell'Amico, M., Righini, G., & Salani, M. (2006). A Branch-and-Price Approach to the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Distribution and Collection. *Transportation Science*, 40, 235-247.
- Dondo, R.G., & Mendez, C.A. (2016). Operational planning of forward and reverse logistic activities on multi-echelon supply-chain networks. *Computers & Chemical Engineering*, 88, 170-184.
- Dukkanci, O., Kara, B.Y., & Bektaş, T. (2019). The green location-routing problem. *Computers and Operations Research*, 105, 187-202.
- Ehmke, J.F., Campbell, A.M., & Thomas, B.W. (2016). Vehicle routing to minimize time-dependent emissions in urban areas. *European Journal of Operational Research*, 251(2), 478-494.
- Ehmke, J.F., Campbell, A.M., & Thomas, B.W. (2018). Optimizing for total costs in vehicle routing in urban areas. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116, 242-265.

- Elgesem, A. S., Skogen, E. S., Wang, X., & Fagerholt, K. (2018). A traveling salesman problem with pickups and deliveries and stochastic travel times: An application from chemical shipping. *European Journal of Operational Research*, 269(3), 844-859.
- Ene, S., Kucukoglu, I., Aksoy, A., & Ozturk, N. (2016). A hybrid metaheuristic algorithm for the green vehicle routing problem with a heterogeneous fleet. *International Journal of Vehicle Design*, 71(1-4), 75-102.
- Erdem, M., & Koç, Ç. (2019). Analysis of electric vehicles in home health care routing problem. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1471-1483.
- Erdogan, S., & Miller-Hooks, E. (2012). A green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E- Logistics and Transportation Review*, 48(1), 100-114.
- Eshtehadi, R., Fathian, M., & Demir, E. (2017). Robust solutions to the pollution-routing problem with demand and travel time uncertainty. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 51, 351-363.
- Eskandarpour, M., Ouelhadj, D., Hatami, S., Juan, A. A., & Khosravi, B. (2019). Enhanced multi-directional local search for the bi-objective heterogeneous vehicle routing problem with multiple driving ranges. *European Journal of Operational Research*, 277(2), 479-491.
- Fallah, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Alinaghian, M., & Salamatbakhsh-Varjovi, A. (2019). A robust approach for a green periodic competitive VRP under uncertainty: De and PSO algorithms. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 36(6), 5213-5225.
- Fallah, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Salamatbakhsh-Varjovi, A., & Alinaghian, M. (2019). A green competitive vehicle routing problem under uncertainty solved by an improved differential evolution algorithm. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 32(7), 976-981.
- Faraji, F., & Afshar-Nadjafi, B. (2018). A bi-objective green location-routing model and solving problem using a hybrid metaheuristic algorithm. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 30(3), 366-385.
- Felipe, Á., Ortuño, M.T., Righini, G., & Tirado, G. (2014). A heuristic approach for the green vehicle routing problem with multiple technologies and partial recharges. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 71, 111-128.
- Ferro, G., Paolucci, M., & Robba, M. (2018). An optimization model for electrical vehicles routing with time of use energy pricing and partial recharging. *IFAC-PapersOnLine*, 51(9), 212-217.
- Franceschetti, A., Demir, E., Honhon, D., Van Woensel, T., Laporte, G., & Stobbe, M. (2017). A metaheuristic for the time-dependent pollution-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 259(3), 972-991.
- Fukasawa, R., He, Q., & Song, Y.J. (2016). A branch-cut-and-price algorithm for the energy minimization vehicle routing problem. *Transportation Science*, 50(1), 23-34.
- Fukasawa, R., He, Q., Santos, F., & Song, Y. (2018). A joint vehicle routing and speed optimization problem. *INFORMS Journal on Computing*, 30(4), 694-709.
- Gajanand, M.S., & Narendran, T.T. (2013). Green route planning to reduce the environmental impact of distribution. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 16(5), 410-432.
- Gao, F., & Zhao, Q. (2018). A hybrid simulated annealing algorithm for load varying green vehicle routing problem with stochastic demands. *Journal of Computers (Taiwan)*, 29(6), 96-110.
- Gen, M., Lin, L., & Jo, J. B. (2009). *Hybrid genetic algorithm for designing logistics network, VRP and AGV Problems*. Springer.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Séguin, R. (1996). Stochastic vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 88(1), 3-12.
- Ghannadpour, S. F., & Zarrabi, A. (2019). Multi-objective heterogeneous vehicle routing and scheduling problem with energy minimizing. *Swarm and Evolutionary Computation*, 44, 728-747.
- Ghezavati, V.R., Sahihi, A., & Barzegar, A. (2018). Using an intelligent self-modifier of probability of section approach to study the revenue influence of the pricing scheme of recyclable items in a green vehicle routing problem. *Simulation*, 94(4), 359-372.
- Gifford, T., Opicka, T., Sinha, A., Vanden Brink, D., Gifford, A., & Randall, R. (2018). Dispatch optimization in bulk tanker transport operations. *Interfaces*, 48(5), 403-421.
- Goeke, D. (2019). Granular tabu search for the pickup and delivery problem with time windows and electric vehicles. *European Journal of Operational Research*, 278(3), 821-836.
- Goeke, D., & Schneider, M. (2015). Routing a mixed fleet of electric and conventional vehicles. *European Journal of Operational Research*, 245(1), 81-99.
- Granada-Echeverri, M., Cubides, L.C., & Bustamante, J.O. (2020). The electric vehicle routing problem with backhauls. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 11(1), 131-152.
- Guo, Q., & Guo, H.J. (2019). A framework for end-of-life photovoltaics distribution routing optimization. *Sustainable Environment Research*, 29, 105-110.

- Hamad, K., Shanableh, A., & Sahnoon, I. (2018). Multi-objective, risk-based approach for safe and sustainable vehicle routing. *Advances in Transportation Studies*, 45, 5-20.
- Han, S., Ozer, B., Alioglu, B., Polat, O., & Aktin, A. T. (2019). A mathematical model for the delivery routing problem via drones. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences- Pamukkale Universitesi Muhendislik Bilimleri Dergisi*, 25(1), 89-97.
- Hassanzadeh, A., & Rasti-Barzoki, M. (2017). Minimizing total resource consumption and total tardiness penalty in a resource allocation supply chain scheduling and vehicle routing problem. *Applied Soft Computing Journal*, 58, 307-323.
- He, J., Huang, Y., & Yan, W. (2015). Yard crane scheduling in a container terminal for the trade-off between efficiency and energy consumption. *Advanced Engineering Informatics*, 29(1), 59-75.
- Henke, T., Speranza, M.G., & Wascher, G. (2019). A branch-and-cut algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem with flexible compartment sizes. *Annals of Operations Research*, 275(2), 321-338.
- Heshmati, S., Verstichel, J., Esprit, E., & Vanden Berghe, G. (2019). Alternative e-commerce delivery policies: a case study concerning the effects on carbon emissions. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 8(3), 217-248.
- Hollis, B.L., & Green, P.J. (2012). Real-life vehicle routing with time windows for visual attractiveness and operational robustness. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 29(4), 1250017.1-1250017.29.
- Hooshmand, F., & MirHassani, S.A. (2019). Time dependent green VRP with alternative fuel powered vehicles. *Energy Systems*, 10(3), 721-756.
- Hu, L., Zhong, Y., Hao, W., Moghimi, B., Huang, J., Zhang, X., & Du, R. (2018). Optimal route algorithm considering traffic light and energy consumption. *IEEE Access*, 6, 59695-59704.
- Idrus, Z., Ku-Mahamud, K.R., & Benjamin, A.M. (2017). Waste collection vehicle routing problem benchmark datasets and case studies: A review. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 95(5), 1048-1057.
- Jabali, O., Van Woensel, T., & de Kok, A.G. (2012). Analysis of travel times and CO2 emissions in time-dependent vehicle routing. *Production and Operations Management*, 21(6), 1060-1074.
- Jabbarpour, M.R., Noor, R.M., & Khokhar, R.H. (2015). Green vehicle traffic routing system using ant-based algorithm. *Journal of Network and Computer Applications*, 58, 294-308.
- Jabir, E., Panicker, V.V., & Sridharan, R. (2017). Design and development of a hybrid ant colony- variable neighbourhood search algorithm for a multi-depot green vehicle routing problem. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57, 422-457.
- Jemai, J., Zekri, M., & Mellouli, K. (2017). Multi-objective genetic algorithms for the green vehicle routing problem: a comparative study. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 95(23), 6597-6607.
- Jovanović, A. D., Pamučar, D. S., & Pejčić-Tarle, S. (2014). Green vehicle routing in urban zones - a neuro-fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3189-3203.
- Juan, A.A., Goentzel, J., & Bektaş, T. (2014). Routing fleets with multiple driving ranges: Is it possible to use greener fleet configurations?. *Applied Soft Computing Journal*, 21, 84-94.
- Kancharla, S. R., & Ramadurai, G. (2018). Incorporating driving cycle based fuel consumption estimation in green vehicle routing problems. *Sustainable Cities and Society*, 40, 214-221.
- Kazemian, I., Rabbani, M., & Farrokhi-Asl, H. (2018). A way to optimally solve a green time-dependent vehicle routing problem with time windows. *Computational and Applied Mathematics*, 37(3), 2766-2783.
- Khalafi, S., & Zarei, M. (2019). Design of a green supply chain network by considering the possibility of storage and location-routing problem under uncertainty. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 34(2), 253-268.
- Kim, H., Kang, J.G., & Kim, W. (2014). An application of capacitated vehicle routing problem to reverse logistics of disposal food waste. *International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications and Practice*, 21(1), 46-52.
- Koc, C., & Karaoglan, I. (2016). The green vehicle routing problem: A heuristic based exact solution approach. *Applied Soft Computing*, 39, 154-164.
- Kong, L.L., Li, H., Luo, H.B., Ding, L.Y., & Zhang, X.L. (2018). Sustainable performance of just-in-time (JIT) management in time-dependent batch delivery scheduling of precast construction. *Journal of Cleaner Production*, 193, 684-701.
- Kopfer, H.W., Schönberger, J., & Kopfer, H. (2014). Reducing greenhouse gas emissions of a heterogeneous vehicle fleet. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26(1-2), 221-248.
- Koyuncu, I., & Yavuz, M. (2019). Duplicating nodes or arcs in green vehicle routing: a computational comparison of two formulations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 122, 605-623.
- Kramer, R., Subramanian, A., Vidal, T., & Cabral, L.D.A.F. (2015). A matheuristic approach for the pollution-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 243(2), 523-539.

- Kumar, M., & Kumar, D. (2018). Green logistics decision support system for blood distribution in time window. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 31(3), 420-447.
- Kumar, V., Kumar, V., Brady, M., Garza-Reyes, J.A., & Simpson, M. (2017). Resolving forward-reverse logistics multi-period model using evolutionary algorithms. *International Journal of Production Economics*, 183, 458-469.
- Lee, S., & Prabhu, V.V. (2016). Just-in-time delivery for green fleets: A feedback control approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46, 29-245.
- Leggieri, V., & Haouari, M. (2017). A practical solution approach for the green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 104, 97-112.
- Li, X., & Sun, J. (2018). Signal multiobjective optimization for urban traffic network. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(11), 3529-3537.
- Li, Y., Lim, M.K., & Tseng, M.L. (2019). A green vehicle routing model based on modified particle swarm optimization for cold chain logistics. *Industrial Management and Data Systems*, 119(3), 473-494.
- Li, Y., Soleimani, H., & Zohal, M. (2019). An improved ant colony optimization algorithm for the multi-depot green vehicle routing problem with multiple objectives. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1161-1172.
- Li, Y.L., & Chung, S.H. (2019). Disaster relief routing under uncertainty: a robust optimization approach. *Ise Transactions*, 51(8), 869-886.
- Liao, T.Y. (2017). On-line vehicle routing problems for carbon emissions reduction. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 32(12), 1047-1063.
- Lin, C., Choy, K.L., Ho, G.T.S., Chung, S.H., & Lam, H.Y. (2014). Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. *Expert Systems with Applications*, 41(4 PART 1), 1118-1138.
- Lin, C.H., Choy, K.L., Ho, G.T.S., & Ng, T.W. (2014). A Genetic Algorithm-based optimization model for supporting green transportation operations. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3284-3296.
- Liu, X.H., Shan, M.Y., Zhang, R.L., & Zhang, L.H. (2018). Green vehicle routing optimization based on carbon emission and multiobjective hybrid quantum immune algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1-9.
- Li-Ying, W., & Yuan-Bin, S. (2015). Multiple charging station location-routing problem with time window of electric vehicle. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8(5), 190-201.
- Lu, J.W., Chang, N.B., Liao, L., & Liao, M.Y. (2017). Smart and green urban solid waste collection systems: advances, challenges, and perspectives. *Ieee Systems Journal*, 11(4), 2804-2817.
- Macrina, G., Laporte, G., Guerriero, F., & Pugliese, L.D. (2019). An energy-efficient green-vehicle routing problem with mixed vehicle fleet, partial battery recharging and time windows. *European Journal of Operational Research*, 276(3), 971-982.
- Macrina, G., Pugliese, L.D., Guerriero, F., & Laporte, G. (2019). The green mixed fleet vehicle routing problem with partial battery recharging and time windows. *Computers & Operations Research*, 101, 183-199.
- Madankumar, S., & Rajendran, C. (2018). Mathematical models for green vehicle routing problems with pickup and delivery: A case of semiconductor supply chain. *Computers and Operations Research*, 89, 183-192.
- Maden, W., Eglese, R., & Black, D. (2010). Vehicle routing and scheduling with time-varying data: A case study. *Journal of the Operational Research Society*, 61(3), 515-522.
- Mahmoudi, M., Song, Y., Miller, H.J., & Zhou, X.S. (2019). Accessibility with time and resource constraints: Computing hyper-prisms for sustainable transportation planning. *Computers Environment and Urban Systems*, 73, 171-183.
- Majidi, S., Hosseini-Motlagh, S.M., Yaghoubi, S., & Jokar, A. (2017). Fuzzy green vehicle routing problem with simultaneous pick-delivery and time windows. *Rairo- Operations Research*, 51(4), 1151-1176.
- Mancini, S. (2017). The hybrid vehicle routing problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, 1-12.
- Mohammadi, M., Razmi, J., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). Multi-objective invasive weed optimization for stochastic green hub location routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 47(3), 247-266.
- Montoya, A., Guéret, C., Mendoza, J.E., & Villegas, J.G. (2016). A multi-space sampling heuristic for the green vehicle routing problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 70, 113-128.
- Muñoz-Villamizar, A., Montoya-Torres, J.R., & Faulin, J. (2017). Impact of the use of electric vehicles in collaborative urban transport networks: A case study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50, 40-54.
- Naderipour, M., & Alinaghian, M. (2016). Measurement, evaluation and minimization of CO₂, NO_x, and CO emissions in the open time dependent vehicle routing

- problem. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 90, 443-452.
- Nakhjirkan, S., & Mokhtab Rafiei, F. (2017). An integrated multi-echelon supply chain network design considering stochastic demand: A genetic algorithm based solution. *Promet - Traffic - Traffico*, 29(4), 391-400.
- Naoum-Sawaya, J., Cogill, R., Ghaddar, B., Sajja, S., Shorten, R., Taheri, N., Tommasi, P., Verago, R., & Wirth, F. (2015). Stochastic optimization approach for the car placement problem in ridesharing systems. *Transportation Research Part B-Methodological*, 80, 173-184.
- Niu, Y.Y., Yang, Z.H., Chen, P., & Xiao, J.H. (2018). A hybrid tabu search algorithm for a real-world open vehicle routing problem involving fuel consumption constraints. *Complexity*, 2018, 1-12.
- Niu, Y.Y., Yang, Z.H., Chen, P., & Xiao, J.H. (2018). Optimizing the green open vehicle routing problem with time windows by minimizing comprehensive routing cost. *Journal of Cleaner Production*, 171, 962-971.
- Norlund, E.K., Gribkovskaia, I., & Laporte, G. (2015). Supply vessel planning under cost, environment and robustness considerations. *Omega- International Journal of Management Science*, 57, 271-281.
- Normasari, N.M.E., Yu, V.F., Bachtiyar, C., & Sukoyo. (2019). A simulated annealing heuristic for the capacitated green vehicle routing problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019(2), 1-18.
- Norouzi, N., Sadegh-Amalnick, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017). Modified particle swarm optimization in a time-dependent vehicle routing problem: minimizing fuel consumption. *Optimization Letters*, 11(1), 121-134.
- Poonthalir, G., & Nadarajan, R. (2018). A fuel efficient green vehicle routing problem with varying speed constraint (F-GVRP). *Expert Systems with Applications*, 100, 131-144.
- Poonthalir, G., & Nadarajan, R. (2019). Green vehicle routing problem with queues. *Expert Systems with Applications*, 138(2019), 1-18.
- Qian, J.N., & Eglese, R. (2014). Finding least fuel emission paths in a network with time-varying speeds. *Networks*, 63(1), 96-106.
- Rabbani, M., Bosjin, S.A., Yazdanparast, R., & Saravi, N.A. (2018). A stochastic time-dependent green capacitated vehicle routing and scheduling problem with time window, resiliency and reliability: A case study. *Decision Science Letters*, 7(4), 381-394.
- Ramos, T.R.P., Gomes, M.I., & Barbosa-Povoa, A.P. (2014). Economic and environmental concerns in planning recyclable waste collection systems. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 62, 34-54.
- Ramos, T.R.P., Gomes, M.I., & Barbosa-Povoa, A.P. (2014). Planning a sustainable reverse logistics system: balancing costs with environmental and social concerns. *Omega- International Journal of Management Science*, 48, 60-74.
- Reyes-Rubiano, L., Ferone, D., Juan, A.A., & Faulin, J. (2019). A simheuristic for routing electric vehicles with limited driving ranges and stochastic travel times. *Sort- Statistics and Operations Research Transactions*, 43(1), 3-24.
- Rezaei, N., Ebrahimnejad, S., Moosavi, A., & Nikfarjam, A. (2019). A green vehicle routing problem with time windows considering the heterogeneous fleet of vehicles: two metaheuristic algorithms. *European Journal of Industrial Engineering*, 13(4), 507-535.
- Roberti, R., & Wen, M. (2016). The electric traveling salesman problem with time windows. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 89, 32-52.
- Sawik, B., Faulin, J., & Perez-Bernabeu, E. (2017). Multi-objective traveling salesman and transportation problems with environment aspects. *Applications of Management Science*, 18, 21-55.
- Sawik, B., Faulin, J., & Perez-Bernabeu, E. (2017). Selected multi-criteria green vehicle routing problems. *Applications of Management Science*, 18, 57-83.
- Sbihi, A., & Eglese, R. W. (2007). Combinatorial optimization and Green Logistics. *4OR*, 5(2), 99-116.
- Schiffer, M., & Walther, G. (2017). The electric location routing problem with time windows and partial recharging. *European Journal of Operational Research*, 260(3), 995-1013.
- Schneider, M., Stenger, A., & Goeke, D. (2014). The electric vehicle-routing problem with time windows and recharging stations. *Transportation Science*, 48(4), 500-520.
- Schroder, M., & Cabral, P. (2019). Eco-friendly 3D-Routing: A GIS based 3D-Routing-Model to estimate and reduce CO₂-emissions of distribution transports. *Computers Environment and Urban Systems*, 73, 40-55.
- Serrano-Hernandez, A., & Faulin, J. (2019). Internalizing negative externalities in vehicle routing problems through green taxes and green tolls. *Sort- Statistics and Operations Research Transactions*, 43(1), 75-93.
- Simao, H.P., Day, J., George, A.P., Gifford, T., Nienow, J., & Powell, W.B. (2009). An approximate dynamic programming algorithm for large-scale fleet management: a case application. *Transportation Science*, 43(2), 178-197.
- Soleimani, H., Chaharlang, Y., & Ghaderi, H. (2018). Collection and distribution of returned-remanufactured products in a vehicle routing problem with pickup and delivery

- considering sustainable and green criteria. *Journal of Cleaner Production*, 172, 960-970.
- Soon, K.L., Lim, J.M.Y., & Parthiban, R. (2019). Coordinated traffic light control in cooperative green vehicle routing for pheromone-based multi-agent systems. *Applied Soft Computing*, 2019(81), 1-16.
- Soon, K.L., Lim, J.M.Y., Parthiban, R., & Ho, M.C. (2019). Proactive eco-friendly pheromone-based green vehicle routing for multi-agent systems. *Expert Systems with Applications*, 121, 324-337.
- Sousa Matos, M.R., Frota, Y., & Ochi, L.S. (2018). Green vehicle routing and scheduling problem with split delivery. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 69, 13-20.
- Soysal, M., & Çimen, M. (2017). A Simulation Based Restricted Dynamic Programming approach for the Green Time Dependent Vehicle Routing Problem. *Computers and Operations Research*, 88, 297-305.
- Soysal, M., Çimen, M., & Demir, E. (2018). On the mathematical modeling of green one-to-one pickup and delivery problem with road segmentation. *Journal of Cleaner Production*, 174, 1664-1678.
- Sruthi, A., Anbuudayasankar, S.P., & Jeyakumar, G. (2019). Energy efficient green vehicle routing problem. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, 12(4), 27-41.
- Sundar, K., Venkatachalam, S., & Rathinam, S. (2017). Analysis of mixed-integer linear programming formulations for a fuel-constrained multiple vehicle routing problem. *Unmanned Systems*, 5(4), 197-207.
- Suzuki, Y. (2016). A dual-objective metaheuristic approach to solve practical pollution routing problem. *International Journal of Production Economics*, 176, 143-153.
- Teng, L., & Zhang, Z. (2016). Green vehicle routing problem with load factor. *Advances in Transportation Studies*, 3(Special Issue), 75-82.
- Tiwari, A., & Chang, P.C. (2015). A block recombination approach to solve green vehicle routing problem. *International Journal of Production Economics*, 164, 379-387.
- Toro, E.M., Franco, J.F., Echeverri, M.G., & Guimarães, F.G. (2017). A multi-objective model for the green capacitated location-routing problem considering environmental impact. *Computers and Industrial Engineering*, 110, 114-125.
- Toro, E.M., Franco, J.F., Echeverri, M.G., Guimarães, F.G., & Gallego Rendón, R.A. (2016). Green open location-routing problem considering economic and environmental costs. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 8(2), 203-216.
- Toro, E.M., Franco, J.F., Echeverri, M.G., Guimaraes, F.G., & Rendon, R.A.G. (2017). Green open location-routing problem considering economic and environmental costs. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 8(2), 203-216.
- Turkensteen, M. (2017). The accuracy of carbon emission and fuel consumption computations in green vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 262(2), 647-659.
- Ubeda, S., Arcelus, F. J., & Faulin, J. (2011). Green logistics at eroski: a case study. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 44-51.
- Waidyathilaka, E., Vidanagamachchi, K., & Wickramarachchi, R. (2019). *Trends in green vehicle routing in reverse logistics* [Paper presentation]. The International Conference on Industrial Engineering and Operations Management 2019, Bangkok, Thailand.
- Wang, J., Yao, S., Sheng, J., & Yang, H. (2019). Minimizing total carbon emissions in an integrated machine scheduling and vehicle routing problem. *Journal of Cleaner Production*, 229, 1004-1017.
- Wang, L., & Lu, J. (2019). A memetic algorithm with competition for the capacitated green vehicle routing problem. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 6(2), 516-526.
- Wang, R., Zhou, J., Yi, X., & Pantelous, A.A. (2019). Solving the green-fuzzy vehicle routing problem using a revised hybrid intelligent algorithm. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(1), 321-332.
- Wang, Y., Assogba, K., Fan, J.X., Xu, M.Z., Liu, Y., & Wang, H.Z. (2019). Multi-depot green vehicle routing problem with shared transportation resource: Integration of time-dependent speed and piecewise penalty cost. *Journal of Cleaner Production*, 232, 12-29.
- Wang, Y., He, Y.M., He, L., & Xing, L.N. (2016). Bio-inspired algorithms applied to the multi-objective vehicle routing problem: Frameworks and applications. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 13(6), 3997-4009.
- Wang, Y., Peng, S.G., Xu, C.C., Assogba, K., Wang, H.Z., Xu, M.Z., & Wang, Y.H. (2018). Two-echelon logistics delivery and pickup network optimization based on integrated integrated cooperation and transportation fleet sharing. *Expert Systems with Applications*, 113, 44-65.
- Wang, Z., Li, J.Q., Fang, M.L., & Li, Y. (2015). A multimetric ant colony optimization algorithm for dynamic path planning in vehicular networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2015(1), 1-10.
- Wensing, T., (2018). *Social and environmental impact of advances in economically driven transport optimization: case study in automobile distribution*. Springer.

- Xiao, Y., & Konak, A. (2016). The heterogeneous green vehicle routing and scheduling problem with time-varying traffic congestion. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 88, 146-166.
- Xiao, Y., Zuo, X., Kaku, I., Zhou, S., & Pan, X. (2019). Development of energy consumption optimization model for the electric vehicle routing problem with time windows. *Journal of Cleaner Production*, 225, 647-663.
- Xiao, Y.Y., & Konak, A. (2015). A simulating annealing algorithm to solve the green vehicle routing & scheduling problem with hierarchical objectives and weighted tardiness. *Applied Soft Computing*, 34, 372-388.
- Xiao, Y.Y., & Konak, A. (2017). A genetic algorithm with exact dynamic programming for the green vehicle routing & scheduling problem. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1450-1463.
- Xin, X., Wang, X.L., Tian, X.C., Chen, Z.G., & Chen, K. (2019). Green scheduling model of shuttle tanker fleet considering carbon tax and variable speed factor. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1134-1143.
- Xu, Z., Elomri, A., Pokharel, S., & Mutlu, F. (2019). A model for capacitated green vehicle routing problem with the time-varying vehicle speed and soft time windows. *Computers and Industrial Engineering*, 2019(137), 1-14.
- Yang, B., Hu, Z.H., Wei, C., Li, S.Q., Zhao, L., & Jia, S. (2015). Routing with time- windows for multiple environmental vehicle types. *Computers & Industrial Engineering*, 89, 150-161.
- Yavuz, M. (2017). An iterated beam search algorithm for the green vehicle routing problem. *Networks*, 69(3), 317-328.
- Yin, P.Y., & Chuang, Y.L. (2016). Adaptive memory artificial bee colony algorithm for green vehicle routing with cross-docking. *Applied Mathematical Modelling*, 40(21-22), 9302-9315.
- Yu, J.J.Q., Yu, W., & Gu, J. (2019). Online vehicle routing with neural combinatorial optimization and deep reinforcement learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(10), 3806-3817.
- Yu, V.F., Redi, A., Hidayat, Y.A., & Wibowo, O.J. (2017). A simulated annealing heuristic for the hybrid vehicle routing problem. *Applied Soft Computing*, 53, 119-132.
- Yu, Y., Wang, S.H., Wang, J.W., & Huang, M. (2019). A branch-and-price algorithm for the heterogeneous fleet green vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research Part B-Methodological*, 122, 511-527.
- Yu, Y., Wu, Y.T., & Wang, J.W. (2019). Bi-objective green ride-sharing problem: model and exact method. *International Journal of Production Economics*, 208, 472-482.
- Zhang, S., Campbell, A.M., & Ehmke, J.F. (2019). Impact of congestion pricing schemes on costs and emissions of commercial fleets in urban areas. *Networks*, 73(4), 466-489.
- Zhang, S., Gajpal, Y., & Appadoo, S.S. (2018). A meta-heuristic for capacitated green vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*, 269(1-2), 753-771.
- Zhang, S., Lee, C.K.M., Choy, K.L., Ho, W., & Ip, W.H. (2014). Design and development of a hybrid artificial bee colony algorithm for the environmental vehicle routing problem. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, 85-99.
- Zhen, L., Xu, Z., Ma, C., & Xiao, L. (2019). Hybrid electric vehicle routing problem with mode selection. *International Journal of Production Research*, 58(2), 562-576.
- Zhou, F., He, Y., & Zhou, L. (2019). Last mile delivery with stochastic travel times considering dual services. *IEEE Access*, 7, 159013-159021.
- Zhu, L., & Hu, D. (2019). Study on the vehicle routing problem considering congestion and emission factors. *International Journal of Production Research*, 57(19), 6115-6129.
- Zulvia, F.E., Kuo, R.J., & Nugroho, D.Y. (2020). A many-objective gradient evolution algorithm for solving a green vehicle routing problem with time windows and time dependency for perishable products. *Journal of Cleaner Production*, 242, 1-14.

9. ประวัติผู้เขียนบทความ



นางสาวธนัชพร สมใส จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยนเรศวร ในปี พ.ศ. 2558 ปัจจุบันอยู่ระหว่างศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ผลงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะเป็นทางด้านการประยุกต์ใช้วิธีการแบบแม่นยำ (Exact methods) เพื่อการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle routing problem)



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภพพงษ์ พงษ์เจริญ
สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรม
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระดับปริญญาโท
Master of Engineering ในสาขา Industrial
and System Engineering จากสถาบัน
Asian Institute of Technology และระดับ
ปริญญเอก Doctor of Philosophy

(Manufacturing Engineering) จาก University of Newcastle upon
Tyne ประเทศอังกฤษ เริ่มรับราชการเป็นอาจารย์ประจำ สังกัดภาควิชา
วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปี
พ.ศ. 2537 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งหัวหน้าหน่วยวิจัยด้านการวิจัย
ดำเนินงานและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม (Centre for Operations
Research and Industrial Applications: CORIA) ผลงานวิจัยที่ผ่านมา
ส่วนใหญ่จะเป็นทางด้านการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบต่าง
ๆ (Optimisation algorithms) เพื่อการแก้ปัญหาการดำเนินงานทาง
ธุรกิจและการจัดการโลจิสติกส์ (Business and logistics operations)