วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.1) January – April 2023 บทความวิจัย

การวิเคราะห์โครงข่ายระบบการเก็บขนขยะและแนวทางในการหาแหล่งกลบฝังใหม่ กรณีศึกษาเทศบาลนครสงขลา จังหวัดสงขลา

Network Analysis of Waste Collection Systems and Guidelines for Finding Landfill Areas a Case Study of Songkhla Municipality, Songkhla Province

นิติ เอี่ยมชื่น[1], บุญศิริ สุขพร้อมสรรพ์[1], นครินทร์ ชัยแก้ว[1] และ ธิดาภัทร อนุชาญ[2*]

Niti Iamchuen[1], Boonsiri Sukopromsun[1], Nakarin Chaikaew[1] and Thidapath Anucharn[2*]

[1] *คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา*

[2] *คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*

[1]*School of Information and Communication Technology, University of Phayao*

[2]*Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Srivijaya*

Received : 13 June 2022

Revised : 29 July 2022

Accepted : 23 August 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อวิเคราะห์หาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการให้บริการเก็บขนขยะเขตพื้นที่เทศบาลนครสงขลา และ 2) เพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการกลบฝังขยะ โดยนำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์โครงข่ายในการหาเส้นทางการเดินรถเก็บขยะ ตั้งแต่ตำแหน่งจุดเริ่มต้น จุดเก็บขยะ จนถึงจุดปลายทางที่ทิ้งขยะของรถแต่ละคันในแต่ละเส้นทาง และการหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการกลบฝังขยะแหล่งใหม่ จากการคัดเลือกปัจจัยเชิงพื้นที่โดยใช้ฉากทัศน์ 2 รูปแบบ คือ ฉากทัศน์แรก การนำปัจจัยและเกณฑ์ในการคัดเลือกสถานที่กลบฝังขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลของกรมควบคุมมลพิษภายใต้ 2 เงื่อนไข คือ 1) ถ้าผ่านเกณฑ์ มีค่าเป็น 1 กับไม่ผ่านเกณฑ์ มีค่าเป็น 0 และฉากทัศน์ที่สอง จากการทบทวนวรรณกรรมแนวโน้มของงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมตามสภาพปัจจุบัน ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบหลายกฎเกณฑ์ (MCDA) โดยใช้วิธีการให้ค่าน้ำหนักอิงตามฉากทัศน์แรกและขยายการให้ค่าคะแนนเพิ่ม ร่วมกับการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยด้วยกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (AHP) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ พื้นที่เหมาะสมมาก พื้นที่เหมาะสมปานกลาง และพื้นที่เหมาะสมน้อย และทำการกรองพื้นที่โดยกันออกของข้อมูลประเภทแหล่งน้ำ พื้นที่เหมาะสมปานกลาง พื้นที่เหมาะสมน้อย และป่าไม้ รวมไปถึงพิจารณาคัดเลือกเฉพาะขนาดพื้นที่ที่มากกว่า 500 ไร่ ผลการศึกษา พบว่าสามารถลดระยะทางในการเก็บขนขยะลงได้ 13.20 กิโลเมตร และการหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการกลบฝังขยะ ฉากทัศน์แรก พบว่ามีปัจจัยทางกายภาพ จำนวน 8 ปัจจัย ได้แก่ 1) สภาพทางธรณีวิทยา 2) เขตชุมชน 3) แหล่งน้ำธรรมชาติหรือคลองขุด 4) ระยะห่างจากบ่อน้ำใต้ดิน 5) ระยะห่างจากแหล่งโบราณคดี/ประวัติศาสตร์และปูชนียสถาน 6) ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ 7) พื้นที่สนามบิน และ 8) เขตพื้นที่อนุรักษ์ โดยมีพื้นที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 292,217 ไร่ ซึ่งมีอำเภอสะเดา อำเภอคลองหอยโข่ง และอำเภอระโนด มีพื้นที่มากที่สุดสามลำดับแรก คือ 87,650 ไร่ 29,491 ไร่ และ 28,931 ไร่ ตามลำดับ และฉากทัศน์ที่สอง พบว่า มี 5 ปัจจัย ได้แก่ 1) ด้านโบราณสถาน 2) ระยะห่างจากทางหลวงสายหลัก 3) ระยะห่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือคลองขุด 4) ระยะห่างจากแหล่งชุมชน และ 5) ความลาดชัน โดยมีพื้นที่ผ่านเกณฑ์ 5 แห่ง ในอำเภอคลองหอยโข่งและอำเภอสะเดา ซึ่งผลการวิเคราะห์จะเป็นทางเลือกสนับสนุนการตัดสินใจการบริหารจัดการขยะ ปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดเก็บขยะ และการวางแนวทางในการพิจารณากฎเกณฑ์และพื้นที่ในการกำหนดแหล่งกลบฝังในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ : การวิเคราะห์โครงข่าย ; การเก็บขนขยะ ; การกลบฝังขยะ ; เส้นทางที่สั้นที่สุด ; การวิเคราะห์แบบลำดับชั้น

Abstract

The objectives of this research were: 1) to analyze the shortest route for waste collection service in Songkhla Municipality and 2) to determine the suitable areas for constructing landfilling. Geoinformatics technology was applied to consider the route of waste collection from the starting point, the waste collecting points, and the waste dump point for each vehicle in each route and to find suitable areas for new landfilling. According to the selection of spatial factors by using 2 scenarios, the first scene was the factors and criteria for sanitary landfill disposal of Pollution Control Department Regulations under 2 conditions: 1) if pass criteria were 1, if not pass criteria were 0. The second scene was the literature review on various research trends to determine the appropriate factors combined with the Multiple-Criteria Decision Analysis (MCDA). The weighting method and expanding incremental rating of the first scenario were addressed with the Analytic Hierarchy Process (AHP). The results were divided into 3 levels: the most suitable area, the moderately suitable area, and the less suitable area. In addition, the water recourses, moderately suitable area, less suitable area, and the forests were excluded and considered selecting only the size of the area greater than 500 rai. In terms of the shortest route for waste collection, it reduced the distance of waste collection by 13.20 kilometers. In the part of the analysis, the suitable areas based on the first scenario found 8 important factors including 1) geological condition 2) community area 3) natural water source or excavated canal 4) distance from underground wells 5) distance from archaeological/historical sites and sanctuaries 6) watershed quality class 7) airport area and 8) conservation area. The areas that had passed the criteria were 292,217 rai namely Sadao District, Khlong Hoi Khong District, and Ranot District were 87,650 rai, 29,491 rai, and 28,931 rai, respectively. In the second scenario, it was found that there were 5 factors: 1) the aspect of the ancient site, 2) the distance from the main highway, 3) the distance from the natural water source or canal, 4) the distance from the community source and 5) the slope which appeared in Khlong Hoi Khong District and Sadao District. The results of the analysis will be an alternative to support waste management decisions, improve the efficiency of waste collection, and plan guidelines for implementation and determining future landfill sites.

Keywords : network analysis, waste collection, landfill, the shortest route, Analytic Hierarchy Process

***Corresponding author. E-mail :** thidapath.a@gmail.com

บทนำ

จากการขยายตัวของภาคเศรษฐกิจในช่วงเวลาที่ผ่านมา ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของประชากรส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาและปัญหาสิ่งแวดล้อม หนึ่งในปัญหาที่สำคัญ คือ ปัญหาขยะที่มาจากทุกภาคส่วน เช่น ภาคครัวเรือน อุตสาหกรรม การเกษตร และการประมง ที่นับวันยิ่งทวีความรุนแรงทั้งจากปริมาณที่เพิ่มขึ้นและปัญหาขยะสะสมหรือตกค้างรอการจัดการ ซึ่งส่งผลต่อสุขอนามัยของคนในพื้นที่ทั้งทางตรงและทางอ้อม จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ระบุว่า ปริมาณขยะมูลฝอยปี พ.ศ. 2564 มีประมาณ 24.98 ล้านตัน จำแนกเป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ 7.89 ล้านตัน ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดถูกต้อง 9.28 ล้านตัน ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดไม่ถูกต้อง 7.81 ล้านตัน ปริมาณขยะมูลฝอยตกค้าง 7.45 ล้านตัน โดยอัตราการเกิดขยะมูลฝอยชุมชนเฉลี่ยเท่ากับ 1.05 กิโลกรัม/คน/วัน สำหรับจังหวัดที่มีขยะมูลฝอยมากเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศ ได้แก่ จังหวัดสงขลา ในภาพรวมระดับจังหวัดมีขยะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากปี พ.ศ. 2559 - 2564 มีขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นรวมทั้งจังหวัดในหน่วยตันต่อวัน คือ 1,625 ตัน 1,634 ตัน 1,656 ตัน 1,626 ตัน 1,140 ตัน และ 1,236 ตัน ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าว พบว่า ปัญหาขยะจัดเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งในการเร่งแก้ไข สำหรับระดับประเทศ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้มีการจัดทำแผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศ พ.ศ. 2559 - 2564 และในระดับจังหวัดสงขลา มีการจัดทำแผนพัฒนาการศึกษาสี่ปี (พ.ศ. 2561 - 2564) ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในเขตจังหวัดสงขลา โดยส่วนของยุทธศาสตร์องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ได้จัดทำแผนฯ ดังกล่าวให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 และรัฐบาล Thailand 4.0 โดยเรื่องขยะได้มีการส่งเสริมให้มีการพัฒนาการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การวิจัย และพัฒนานวัตกรรม มาใช้ในการจัดการขยะเพื่อสร้างความมั่นคงทางทรัพยากร ในส่วนการใช้และการอนุรักษ์มีการควบคุมการจัดการแก้ไขปัญหาขยะ ทั้งในเรื่องการกำจัด การวางระเบียบมาตรการจัดการที่ตรวจสอบและมีประสิทธิภาพแบบครบวงจรให้ครอบคลุมทุกมิติ โดยพัฒนาระบบบริหารจัดการปัญหาขยะเพื่อรองรับการขยายตัวของเมือง

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า เทศบาลนครสงขลามีปัญหาขยะที่มีความเร่งด่วนที่ต้องจัดการ โดยต้องมีระบบมาตรการมารองรับยุทธศาสตร์ที่วางไว้ในการจัดการและแก้ไขปัญหาอย่างครบถ้วน ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาอย่างครอบคลุมและทั่วถึง โดยนำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาใช้ในการช่วยสนับสนุนการตัดสินใจและวางแผนในการแก้ไขปัญหาขยะดังกล่าว ซึ่งมีผลงานวิจัยเผยแพร่ออกมาเป็นรูปธรรมแล้วมากมายในการช่วยเหลือแก้ปัญหา ตั้งแต่การดำเนินงานของรถเก็บขยะและขนขยะไปยังพื้นที่จัดเก็บหรือกลบฝัง การกำหนดพื้นที่ให้บริการ การตรวจสอบประสิทธิภาพ การลดเวลา ค่าใช้จ่าย และความเป็นระเบียบของการจัดเก็บ เช่น การประเมินปริมาณขยะมูลฝอยจากการขยายตัวของอาคารที่อยู่อาศัยในอนาคต กรณีศึกษาเทศบาลนครนนทบุรี (Putti, 2015) การบริหารและจัดการขยะโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ กรณีศึกษาจังหวัดสมุทรปราการ (Iamchuen, 2016) การวิเคราะห์โครงข่ายด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการวางแผนการจัดเก็บขนขยะมูลฝอย กรณีศึกษาเทศบาลเมืองบางกรวย จังหวัดนนทบุรี (Sirathammathorn *et al.,* 2017) การวิเคราะห์โครงข่ายด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อหาแบบจำลองที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับจุดรองรับขยะมูลฝอยในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา (Injoho & Chaiyakarm, 2019) การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการศึกษาประสิทธิภาพของเส้นทางเก็บขนขยะ ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก (Phailahan, 2017) การหาพื้นที่กลบฝังขยะโดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบหลายกฎเกณฑ์ (Multi Criteria

Decision Analysis: MCDA) และใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในเมือง Sulaimaniyah ประเทศอิรัก (Alkaradaghi *et al.*, 2019) และการหาพื้นที่สำหรับการจัดการขยะและกากของเสียสำหรับเมืองเม็กซิโก (Araiza-Aguilar *et al.*, 2019)

จากงานวิจัยข้างต้น พบว่า มีการนำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเข้ามาประยุกต์ในการจัดการปัญหาขยะตั้งแต่การจัดเก็บ การขนส่ง และการเลือกพื้นที่เหมาะสมในการกำจัดขยะในรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องแม่นยำสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โครงข่ายด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเก็บขนขยะ ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) ผ่านกระบวนการตัดสินใจแบบหลายกฎเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Analysis: MCDA) เพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการกลบฝังขยะในพื้นที่เทศบาลนครสงขลาที่จะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ระยะเวลา และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการปัญหาขยะที่เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในอนาคตหากบ่อขยะเดิมเต็ม นอกจากนี้ทางหน่วยงานจะได้มีทางเลือกในการนำข้อมูลไปใช้หาพื้นที่บ่อขยะใหม่ที่มีความโปร่งใส ตรวจสอบได้ และเพื่อเป็นแนวทางการในการนำเทคโนโลยีมาช่วยสนับสนุนการวางแผนการจัดการขยะให้แก่หน่วยงานส่วนท้องถิ่นอื่น ๆ เพื่อพัฒนาพื้นที่ตามความเหมาะสมและมีความยั่งยืนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อวิเคราะห์หาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการให้บริการเก็บขนขยะเขตพื้นที่เทศบาลนครสงขลา และ 2) เพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการกลบฝังขยะ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์หาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการให้บริการเก็บขนขยะ มุ่งเน้นไปในเชิงการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่ของเส้นทางการเก็บขนขยะใหม่ (re-routing) กับเส้นทางเก็บขนขยะเดิม ตั้งแต่จุดเริ่มต้นของรถเก็บขนขยะ (origin) ผ่านถังขยะต่าง ๆ (stop) ไปสิ้นสุดยังจุดทิ้งขยะ (destination) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1.1) รวบรวมฐานข้อมูลขยะมูลฝอยในเขตพื้นที่เทศบาลนครสงขลา ได้แก่ จุดจอดรถ (จุดเริ่มเดินรถ) เก็บขยะของเทศบาล ตำแหน่งที่ตั้งถังขยะ ปริมาณความจุของถัง ชนิด และรูปแบบของถัง รวมทั้งจุดปลายทางในการนำขยะไปทิ้งยังแหล่งกลบฝังขยะหรือทำลาย และเส้นทางเก็บขนขยะในปัจจุบัน

1.2) สำรวจเส้นทางคมนาคมทั้งหมดในพื้นที่จากภาพถ่ายข้อมูลดาวเทียมและการสำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

1.3) นำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ได้แก่ ตำแหน่งพิกัดถังขยะ จุดเริ่มเดินรถ จุดปลายทางทิ้งขยะ เส้นทางคมนาคม และข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) เข้าสู่ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ (geodatabase) พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งจากภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง

1.4) วิเคราะห์โครงข่าย (network analysis) เพื่อหาเส้นทางการเดินรถเก็บขยะ ตั้งแต่ตำแหน่งจุดเริ่มต้นจุดเก็บขยะ จนถึงจุดปลายทางที่ทิ้งขยะ/ที่กลบฝังขยะ ของรถแต่ละคันในแต่ละเส้นทาง (route)

1.5) วิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางในการให้บริการเก็บขนขยะในปัจจุบัน (existing route) กับผลที่ได้จากการวิเคราะห์โครงข่ายแบบเส้นทางที่สั้นที่สุด (shortest route) ด้วย Dijkstra's algorithm

2. การหาพื้นที่เหมาะสมในการพิจารณาพื้นที่กลบฝังขยะ ภายหลังการวิเคราะห์เส้นทางการเดินรถเก็บขนขยะเสร็จสิ้น จะทำการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อหาพื้นที่เหมาะสมในการกลบฝังขยะแหล่งใหม่ทดแทนแหล่งเดิมในอนาคต เพื่อใช้ใน

การประกอบการพิจารณาสนับสนุนการตัดสินใจคัดเลือกปัจจัยเชิงพื้นที่โดยให้ฉากทัศน์ (scenarios) 2 รูปแบบ คือ ฉากทัศน์แรก การวิเคราะห์ปัจจัยตามลักษณะของกฎเกณฑ์ของหน่วยงานที่ควบคุมดูแลตามเงื่อนไขทางกฎหมาย (by law) และฉากทัศน์ที่สอง จากการทบทวนวรรณกรรมแนวโน้มของงานวิจัยต่าง ๆ ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย เพื่อกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมตามสภาพปัจจุบัน (by trendy) โดยมีการให้ค่าคะแนนและค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยจากผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1) วิเคราะห์ความเหมาะสมในการคัดเลือกพื้นที่กลบฝังตามฉากทัศน์ที่หนึ่ง อิงตามเกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department, 2001) โดยใช้เกณฑ์เชื่อมโยงกับข้อมูลสภาพทางกายภาพที่อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยาย ออกมาในรูปปัจจัยแต่ละด้านหรือแผนที่เฉพาะเรื่อง (thematic map) โดยปรับระบบพิกัดและเส้นโครงแผนที่ให้อยู่ในระบบเดียวกัน เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์และตีความผลการวิจัย

2.2) นำเกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษมาพิจารณาในลักษณะการให้ค่าเชิงพื้นที่ ประกอบด้วย การอธิบายแหล่งที่มาของข้อมูลที่นำมาเป็นเกณฑ์ เทคนิคทางภูมิสารสนเทศที่นำมาใช้ และการแปลงข้อมูลเพื่อตรวจวัดผลตามเกณฑ์ว่าผ่านหรือไม่ผ่านเกณฑ์ในแต่ละปัจจัยแบบทวิ (binary map)

2.3) นำผลลัพธ์ของแต่ละปัจจัยที่ได้มาวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีศักยภาพด้วยวิธีการกรองแบบตะแกรง (sieve analysis) แสดงผลโดยแบ่งพื้นที่ที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ ในรูปแบบแผนที่และตาราง

2.4) วิเคราะห์ความเหมาะสมในการคัดเลือกพื้นที่กลบฝังขยะตามฉากทัศน์ที่สอง โดยการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อกรองปัจจัยที่เหมาะสมในการนำมาใช้วิเคราะห์

2.5) วิเคราะห์เพื่อคัดเลือกพื้นที่ในการกลบฝังขยะเพื่อเป็นทางเลือกทดแทนพื้นที่กลบฝังขยะเดิม โดยนำกระบวนการตัดสินใจแบบหลายกฎเกณฑ์ (MCDA) มาใช้ในการให้ค่าคะแนนของแต่ละปัจจัย (scoring) อ้างอิงตามเกณฑ์จากกรมควบคุมมลพิษ (ฉากทัศน์แรก) โดยขยายพื้นที่จากเดิม คือ ผ่าน (1 คะแนน) กับไม่ผ่าน (0 คะแนน) และระยะห่างเพิ่มขึ้นยิ่งดี (คะแนนเพิ่ม ยิ่งไกลยิ่งดี) ร่วมกับการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัย (weighting) โดยกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (AHP) เพื่อจัดลำดับความสำคัญ (น้ำหนัก) ของแต่ละปัจจัย

2.6) นำผลรวมของค่าคะแนนและค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยมาเรียงลำดับ (ranking) เป็น 3 ระดับแบบเท่ากัน (equal interval) ได้แก่ พื้นที่เหมาะสมมาก พื้นที่เหมาะสมปานกลาง และพื้นที่เหมาะสมน้อย และพิจารณากรองพื้นที่ 4 ขั้นตอนประกอบด้วย 1) กันออกพื้นที่แหล่งน้ำ 2) กันออกพื้นที่เหมาะสมปานกลางและเหมาะสมน้อย 3) กันออกพื้นที่ป่าไม้ตามกฎหมายกำหนด และ 4) ต้องมีขนาดพื้นที่เหมาะสม (มีความเป็นกลุ่มก้อน: patch) เพื่อกำหนดพื้นที่สร้างทางเลือกในการจัดตั้งเป็นที่กลบฝังขยะในรายอำเภอโดยแสดงผลลัพธ์เป็นแผนที่และตาราง

ผลการวิจัย

สามารถสรุปผลการวิจัยที่สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ดังนี้

1. การวิเคราะห์หาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการให้บริการเก็บขนขยะเขตพื้นที่เทศบาลนครสงขลา พบว่า

1.1) จากการรวบรวมข้อมูลจำนวนถังขยะมูลฝอยในเขตพื้นที่ชุมชนของเทศบาลนครสงขลา (Figure 1) เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลถังขยะ มีจำนวน 1,073 รายการ จำแนกเป็น 1) ตามสีถังขยะ ได้แก่ สีแดง สีดำ สีน้ำเงิน สีฟ้า สีเขียว สีเทา สีเหลือง และถังขยะคอนเทนเนอร์ 2) ถุงและถุงดำ และ 3) กองขยะไม่ใส่ถังขยะ สำหรับจุดในการนำขยะไป

กลบฝัง คือ บ่อขยะเทศบาลนครสงขลา ตั้งอยู่บ้านบ่ออิฐ ตำบลเกาะแต้ว อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ขนาดพื้นที่ 200 ไร่ ปริมาณขยะที่เข้าระบบประมาณ 200 ตันต่อวัน ห่างจากเขตเทศบาลนครสงขลาประมาณ 7 กิโลเมตร

1.2) ผลจากการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเส้นทางเดินรถของชุมชนในเขตเทศบาลนครสงขลาจากภาพถ่ายข้อมูลดาวเทียม และการสำรวจภาคสนาม แสดงดัง Figure 2

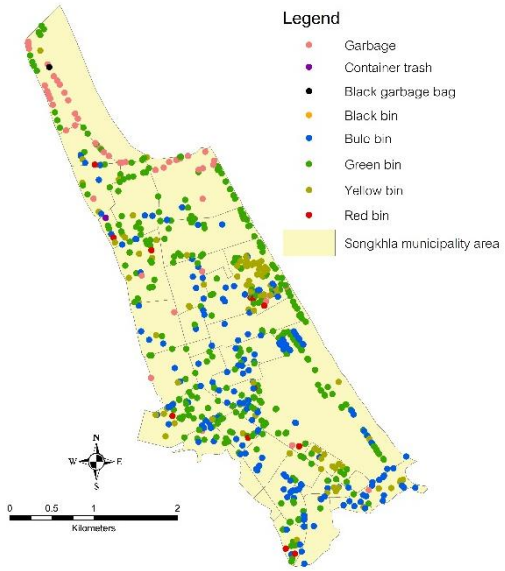

Figure 1 Songkhla Municipality's community waste bins

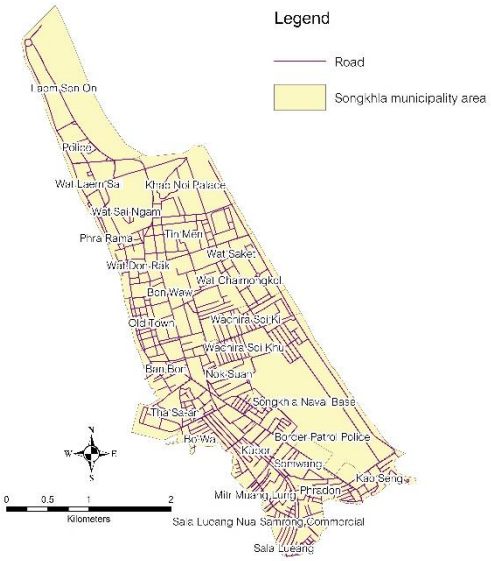

Figure 2 Songkhla municipality's community route

1.3) นำข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพความเหมาะสมกับพื้นที่และเส้นทางในการให้บริการเก็บขนขยะในเขตพื้นที่เทศบาลนครสงขลา พบว่า ในภาพรวมทุกเส้นทางเก็บขนขยะจากเดิม 316.88 กิโลเมตร ภายหลังจากคำนวณด้วยระยะทางที่สั้นที่สุด ทำให้ระยะทางลดลงเหลือ 303.68 กิโลเมตร (Figure 3) หรือใช้ระยะทางสั้นลง 13.20 กิโลเมตรต่อวัน

Vehicle registration	number of bins	distance (sq km) before	after
TB110	67	15.2	15.15
TB112	76	18.73	18.00
TB114	51	15.77	15.26
TB118	61	17.55	15.72
TB121	176	23.97	22.91
TB123	71	18.52	16.89
TB126	8	28.48	27.51
TB147	119	20.11	19.79
TB171	17	14.03	13.99
TB178	67	21.33	21.29
TB179	105	21.37	19.72
TB183	14	14.3	13.34
TB199	10	15.11	14.96
TB201	64	17.95	16.78
TB206	20	12	11.83
TB210	43	18.99	17.28
TB211	104	23.47	23.26
total	1,073	316.88	303.68

Figure 3 Songkhla municipality's waste collection service route map

2. การหาพื้นที่เหมาะสมในการพิจารณาพื้นที่กลบฝังขยะ พบว่า

2.1) การพิจารณาพื้นที่เหมาะสมสำหรับกลบฝังขยะแบบถูกหลักสุขาภิบาลหรือฉากทัศน์แรก อ้างอิงตามหลักเกณฑ์การพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมของกรมควบคุมมลพิษ ตามประกาศในหนังสือราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 126 ตอนพิเศษ 610 ณ วันที่ 24 เมษายน 2552 ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์มีทั้งหมด 8 ชั้นข้อมูล ทั้งนี้ทุกเกณฑ์ที่ใช้จะเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อให้ได้พื้นที่ที่เหมาะสมในมิติเชิงพื้นที่ โดยใช้เทคโนโลยี ภูมิสารสนเทศเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล สำหรับการกรองเพื่อคัดเลือกพื้นที่ที่สอดคล้องตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ประกอบด้วย 8 ปัจจัย ได้แก่ 1) สภาพทางธรณีวิทยา 2) เขตชุมชน 3) แหล่งน้ำธรรมชาติหรือคลองขุด 4) บ่อน้ำใต้ดิน 5) แหล่งโบราณคดี/ประวัติศาสตร์และปูชนียสถาน 6) ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ 7) พื้นที่สนามบิน และ 8) เขตพื้นที่อนุรักษ์ รายละเอียดดัง Table 1

จาก Table 1 ขั้นตอนแรกนำชั้นข้อมูลแต่ละปัจจัยมาปรับให้อยู่ในรูปแบบของชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบพิกัดและเส้นโครงแผนที่ (coordination system and map projection) เดียวกันในทุกชั้นข้อมูล (layers) โดยการศึกษาครั้งนี้กำหนดระบบพิกัด Universal Transverse Mercator (UTM) โซน 47 เส้นโครงแผนที่ World Geodetic System 1984 (WGS 1984) ให้กับชั้นข้อมูล จากนั้นจัดทำปัจจัยต่าง ๆ ตามเกณฑ์เงื่อนไขที่กำหนดซึ่งใช้ชุดคำสั่งทางภูมิสารสนเทศ ได้แก่ ปัจจัยที่ 1-7 ใช้แนวระยะห่างหรือคำสั่งแนวกันชน (buffer) และปัจจัยที่ 8 ใช้การเลือกเขตป่าไม้ (selection by attribute) ถัดมาจึงวิเคราะห์โดยการซ้อนทับ (overlay) ก่อนการกรองเกณฑ์ (ผ่าน/ไม่ผ่าน) ตามเงื่อนไขใน Table 1 เพื่อหาพื้นที่ที่มีความเหมาะสม

Table 1 Factors and criteria for sanitary landfill site selection

Factors	Details of criteria
1. Geological condition	Distance from the fault > 100 m
2. Community area	Distance from the community area < 1 km
3. Natural water source or canal	Distance from waterbody or streams < 100 m
4. Underground wells	Distance from underground wells < 700 m
5. Archaeological/historical sites and sanctuaries	Distance from the archaeological/historical sites and sanctuaries < 1 km
6. Watershed quality class	Distance from watershed quality level 1 and level 2 < 1 km
7. Airport area	Distance from the airport area < 5 km
8. Conservation area	Not in conservation or protected areas, including mangrove forests, conserved forests, and watersheds.

Data source : Geo-Informatics and Space Technology Regional Center, Southern Region

2.2) จากการประมวลผลเบื้องต้นทุกปัจจัย พบว่า ในพื้นที่เขตเทศบาลนครสงขลาไม่มีพื้นที่เหมาะสมในการกลบฝังขยะ (land fill) ตามหลักสุขาภิบาล ยกตัวอย่างเช่น เกณฑ์ในเรื่องของเขตชุมชนที่ต้องมีระยะห่างจากชุมชนไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตร ในพื้นที่ศึกษาเป็นเขตที่มีความเป็นเมืองสูง โดยเป็นทั้งศูนย์ราชการ สถาบันการศึกษา และพื้นที่ชุมชน ทำให้เมื่อทำระยะกันชน 1 กิโลเมตรออกจากพื้นที่ดังกล่าว ส่งผลให้ไม่มีพื้นที่ในเขตเทศบาลนครสงขลาที่เหมาะสมในการสร้างที่กลบฝังขยะ สอดคล้องกับการสำรวจและสอบถามจากผู้ที่เกี่ยวข้อง คือ รถเก็บขนขยะในพื้นที่จะนำขยะต่าง ๆ ไปทิ้งในพื้นที่นอกเขตเทศบาลนครสงขลา ดังนั้นการศึกษาวิจัยการหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการกลบฝังขยะจะพิจารณากรอบพื้นที่ทั้งจังหวัดสงขลาแทนเขตเทศบาลนครสงขลา ทั้งนี้จะแยกอธิบายในแต่ละปัจจัยโดยแสดงเป็นรูปแผนที่ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ที่ผ่านเกณฑ์ (สีเขียว) และไม่ผ่านเกณฑ์ (สีแดง) ไล่เรียงไปตามลำดับปัจจัยดังนี้

2.2.1) สภาพทางธรณีวิทยา พบแนวรอยเลื่อน (fault) ในเขตจังหวัดสงขลากระจายตัวอยู่ตามขอบของจังหวัด ตั้งแต่อำเภอรัตภูมิ และอำเภอสะบ้าย้อย พาดผ่านพื้นที่ในแนวเหนือใต้ (Figure 4 พื้นที่สีแดง คือ แนวรอยเลื่อนระยะไม่เกิน 100 เมตร และสีเขียว คือ พื้นที่นอกระยะ 100 เมตร)

2.2.2) เขตชุมชน ตามเกณฑ์ต้องอยู่ห่างจากเขตชุมชนอย่างน้อย 1 กิโลเมตร จากการนำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2555 โดยกรมพัฒนาที่ดิน รวบรวมโดยศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศภาคใต้ นำมากรองและคัดเลือกเฉพาะการใช้ประโยชน์ที่ดินในส่วนที่เป็นพื้นที่เมือง (urban) ประกอบไปด้วย ตัวเมืองและย่านการค้า (U1) หมู่บ้าน/ที่ดินจัดสรร (U200) หมู่บ้าน (U201) สถานที่ราชการและสถาบันต่าง ๆ (U3) มาสร้างแนวระยะกันชนออกไป 1 กิโลเมตร พบว่า มีพื้นที่กระจายอยู่โดยทั่วทุกอำเภอ (Figure 5 พื้นที่สีแดง คือ ชุมชนและระยะไม่เกิน 1 กิโลเมตร และสีเขียว คือ พื้นที่นอกระยะ 1 กิโลเมตร)

2.2.3) ระยะห่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือคลองขุด ใช้ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศจากกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 ร่วมกับข้อมูลแหล่งน้ำ โดยเส้นทางน้ำหรือแม่น้ำมีลักษณะของลำน้ำในรูปแบบขนนก (dendritic pattern) ซึ่งเป็นรูปแบบที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทย ขณะที่แหล่งน้ำ (waterbody) ตั้งแต่ขนาดใหญ่ เช่น อ่างเก็บน้ำ คลองสะเดา อ่างเก็บน้ำคลองหลา อ่างเก็บน้ำจำไพร อ่างเก็บน้ำบ้านควนดาน จนถึงขนาดเล็ก ได้แก่ คลอง สระน้ำ และลำเหมือง เป็นต้น กระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่จังหวัด จากนั้นนำข้อมูลเส้นทางน้ำและแหล่งน้ำมาทำแนวระยะกันชนที่ 100 เมตร (Figure 6 พื้นที่สีแดง คือ ระยะห่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือคลองขุดไม่เกิน 100 เมตร และสีเขียว คือ พื้นที่นอกระยะกันชน 100 เมตร)

2.2.4) ระยะห่างจากบ่อน้ำใต้ดิน จากฐานข้อมูลพสุธา ส่วนระบบข้อมูลทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล พบว่า มี 1,524 บ่อ ใช้ในการอุปโภคและบริโภคเป็นหลักซึ่งเป็นบ่อของหน่วยงานภาครัฐ โดยอำเภอจะนะ อำเภอนาทวี และอำเภอหาดใหญ่ มีบ่อน้ำบาดาลจำนวน 200 บ่อ 157 บ่อ และ 157 บ่อ ตามลำดับ จากนั้นทำการสร้างแนวระยะกันชนที่ 700 เมตร (Figure 7 พื้นที่สีแดง คือ ระยะห่างจากบ่อน้ำใต้ดิน 700 เมตร และสีเขียว คือ พื้นที่นอกระยะ 700 เมตร)

2.2.5) ระยะห่างจากแหล่งโบราณคดี/ประวัติศาสตร์ และปูชนียสถาน มีทั้งหมด 91 แห่ง ประกอบด้วยวัดเป็นส่วนใหญ่ ยกตัวอย่างในเขตพื้นที่เทศบาลนครสงขลา ได้แก่ เจดีย์บนเขาตังกวน ประติมากรรมพญานาคพ่นน้ำ (ส่วนหัว ส่วนสะดือ และส่วนหาง) ป้อมปากน้ำแหลมทรายกำแพงเมือง พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติสงขลา พระอนุสาวรีย์กรมหลวงชุมพร พระตำหนักเขาน้อย ศาลเจ้าพ่อหลักเมือง และอาคารทรงจีน เป็นต้น ทั้งนี้ไม่พบในอำเภอนาหม่อมและอำเภอควนเนียง โดยแหล่งฯ ทั้งหมดถูกกำหนดให้มีแนวระยะกันชนไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตร (Figure 8 พื้นที่สีแดง คือ ระยะห่างจากแหล่งโบราณคดี/ประวัติศาสตร์ และปูชนียสถานไม่เกิน 1 กิโลเมตร และสีเขียว คือ พื้นที่นอกระยะ 1 กิโลเมตร)

2.2.6) ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ พบว่า ในพื้นที่จังหวัดสงขลามีชั้นคุณภาพลุ่มน้ำตั้งแต่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่ 1A, 1B, 2, 3, 4 และ 5 โดยเกณฑ์กำหนดให้กันแนวระยะกันชนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 1 และ 2 ออกมาในระยะ 1 กิโลเมตร โดยมีอำเภอที่ไม่ตกอยู่ในเขตชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 1 และ 2 ได้แก่ อำเภอระโนด อำเภอกระแสสินธุ์ อำเภอควนเนียง และอำเภอสทิงพระ ทั้งนี้พื้นที่ที่พบจะอยู่ในตอนกลางไปถึงตอนล่างของจังหวัดสงขลา (Figure 9 พื้นที่สีแดง คือ ระยะห่างจากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำไม่เกิน 1 กิโลเมตร และสีเขียว คือ พื้นที่นอกระยะ 1 กิโลเมตร)

2.2.7) เขตพื้นที่สนามบิน ในจังหวัดสงขลามีสนามบินนานาชาติหาดใหญ่ ตั้งอยู่ตอนกลางของจังหวัดในอำเภอคลองหอยโข่ง (แยกออกมาจากอำเภอหาดใหญ่) โดยสนามบินห่างจากตัวเมืองหาดใหญ่ไม่มากนักเป็นศูนย์กลาง (hub) การบินในภูมิภาคตอนใต้ของประเทศไทย ตามเงื่อนไขการกลบฝังขยะ พื้นที่เหมาะสมต้องห่างจากขอบเขตพื้นที่ของสนามบินอย่างน้อย 5 กิโลเมตร (Figure 10 พื้นที่สีแดง คือ ระยะห่างจากเขตพื้นที่สนามบินไม่เกิน 5 กิโลเมตร และสีเขียว คือ พื้นที่นอกระยะ 5 กิโลเมตร)

2.2.8) เขตพื้นที่อนุรักษ์ จากแผนที่ป่าไม้ตามกฎหมายทั้งของกรมป่าไม้ (ป่าสงวนแห่งชาติและป่าอนุรักษ์) กรมอุทยานสัตว์ป่าและพรรณพืช (อุทยานแห่งชาติและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า) พบว่า เขตจังหวัดสงขลาภาพรวมกระจายตัวอยู่ตอนเหนือบริเวณเขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลน้อยและพรุควนเคร็ง ตอนกลางบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาบรรทัด เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าโตนงาช้าง เขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลหลวง เขตห้ามล่าสัตว์ป่าเขาเหรง เขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลสาบ เขตห้ามล่าสัตว์ป่าเขาปะช้าง-แหลมขาน พรุเชิงแส วนอุทยานควนเขาวัง และตอนใต้บริเวณอุทยานแห่งชาติ

เขาน้ำค้างของจังหวัดสงขลา อุทยานแห่งชาตินำ้ตกทรายขาว พื้นที่เตรียมการอุทยานแห่งชาติสันกาลาคีรี (Figure 11 พื้นที่สีแดง คือ เขตป่าไม้ และสีเขียว คือ พื้นที่นอกเขตป่าไม้)

2.3) หลังจากวิเคราะห์รายปัจจัยทั้งหมด 8 ปัจจัยตามเกณฑ์กรมควบคุมมลพิษ โดยพิจารณาจากเงื่อนไขในแต่ละปัจจัยตามความเหมาะสมในลักษณะการให้ค่าแบบทวิ คือ ผ่าน-ไม่ผ่านเกณฑ์ตามข้อกำหนด ผลลัพธ์ที่ได้นำมาประเมินความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์พื้นที่กลบฝังขยะด้วยวิธีการกรองแบบตะแกรง พบว่า มีพื้นที่เหมาะสมในการสร้างแหล่งกลบฝังขยะรวมพื้นที่ 292,217 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 6.04 ของพื้นที่จังหวัดสงขลา และพื้นที่ไม่เหมาะสมเป็นแหล่งกลบฝังขยะรวม 4,544,576 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 93.96 ของพื้นที่จังหวัดสงขลา ดังแสดงใน Figure 12 และแสดงเป็นรายอำเภอในจังหวัดสงขลา ดัง Table 2

Figure 4 Geological condition (Fault)

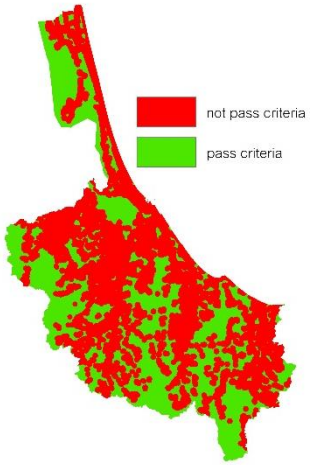

Figure 5 Community area

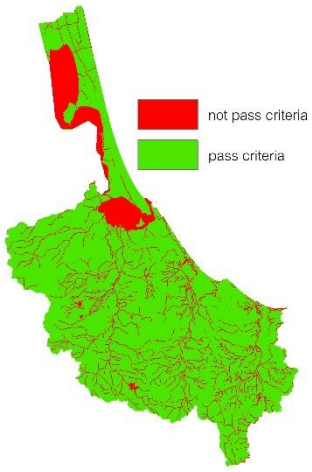

Figure 6 Distance from the natural water source or canal

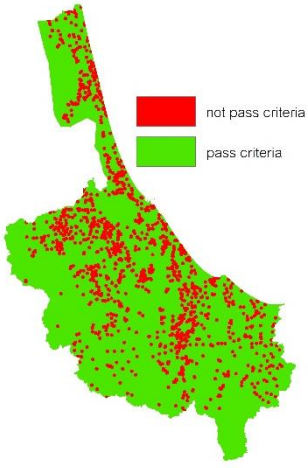

Figure 7 Distance from underground wells

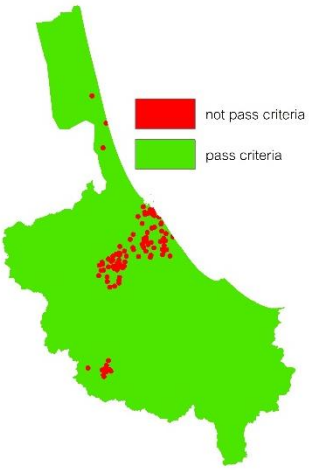

Figure 8 Distance from archaeological/historical sites and sanctuaries

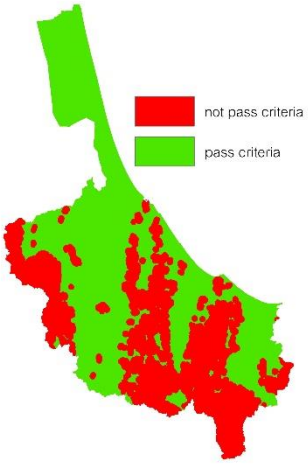

Figure 9 Watershed quality class

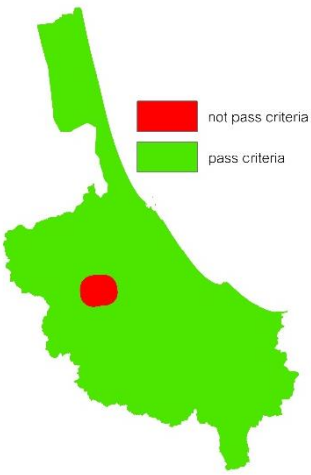

Figure 10 Airport area

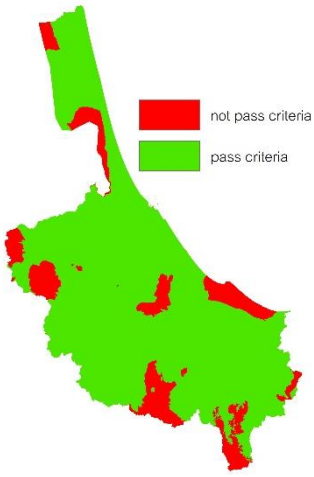

Figure 11 Conservation area

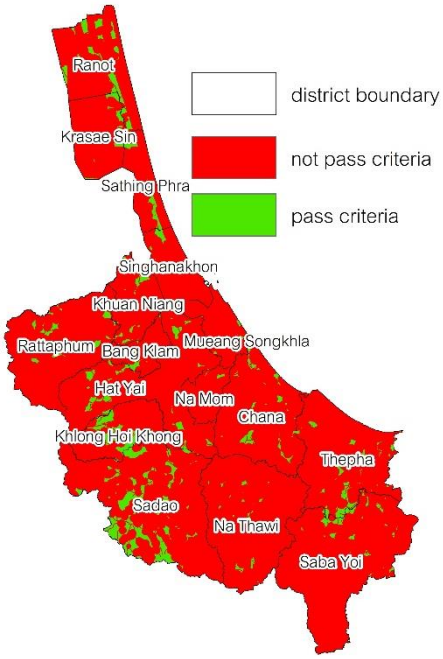

Figure 12 Overview of areas in Songkhla province that fulfill and do not fulfill the criteria

2.4) การพิจารณาพื้นที่เหมาะสมสำหรับกลบฝังขยะตามฉากทัศน์ที่สอง ได้คัดเลือกปัจจัยที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์จากการทบทวนวรรณกรรมงานที่เกี่ยวข้องในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ได้แก่ Mhuenyong *et al.,* (2017); Noinumsai & Wachirawongsakorn, (2017); Pluemudom & Smakgahn (2017); Sungwian & Charoentrakulpeeti (2016); Jukkraboot & Khammaai (2016); Vichiansinpa *et al.,* (2015); Kaew-in (2013); Maneephan (2012) (Table 3) โดยคัดเลือกปัจจัยที่มีความถี่ในการนำมาใช้วิเคราะห์มากกว่าร้อยละ 80 (ปัจจัยถูกใช้งานตั้งแต่ 7 บทความขึ้นไป) ประกอบด้วย 1) โบราณสถาน 2) เส้นทางคมนาคม 3) แหล่งน้ำ เส้นทางน้ำ 4) ชุมชน และ 5) ความลาดชัน (Figure 13-17)

Table 2 Areas in Songkhla province that pass / not pass criteria for landfill sites are classified by districts

Songkhla's districts	Pass Criteria		Not Pass Criteria		Total Area (Rai)
	Rai	Percentage	Rai	Percentage	
1. Thepha	21,377	5.19	390,401	94.81	411,778
2. Mueang Songkhla	1,623	1.26	127,455	98.74	129,078
3. Krasae Sin	9,528	4.90	184,740	95.10	194,268
4. Khlong Hoi Khong	29,491	15.97	155,150	84.03	184,641
5. Khuan Niang	10,714	6.90	144,489	93.10	155,203
6. Chana	17,436	4.46	373,335	95.54	390,771
7. Na Thawi	6,566	1.34	484,934	98.66	491,500
8. Na Mom	1,713	1.93	87,104	98.07	88,817
9. Bang Klam	6,086	6.60	86,179	93.40	92,265
10. Ranot	28,931	10.35	250,491	89.65	279,422
11. Rattaphum	14,982	3.63	397,812	96.37	412,794
12. Sathing Phra	11,684	9.48	111,562	90.52	123,246
13. Sadao	87,650	13.45	563,823	86.55	651,473
14. Saba Yoi	15,022	2.54	577,214	97.46	592,236
15. Singhanakhon	5,824	3.94	142,140	96.06	147,964
16. Hat Yai	23,590	4.80	467,747	95.20	491,337
Total	**292,217**	**6.04**	**4,544,576**	**93.96**	**4,836,793**

2.5) การวิเคราะห์ด้วยกระบวนการ MCDA ในฉากทัศน์ที่สอง ได้เพิ่มการให้ค่าคะแนนและน้ำหนักโดยใช้วิธีการให้ค่าคะแนนขยายความสามารถของปัจจัยโดยเทียบเคียงจากฉากทัศน์แรก (ผ่าน 1 คะแนน กับ ไม่ผ่าน 0 คะแนน) ในฉากทัศน์ที่สอง ขยายผลของการผ่านเกณฑ์เป็นผ่าน ณ ระยะทางที่เพิ่มขึ้นจะได้คะแนนมากยิ่งขึ้น (ยิ่งไกลยิ่งดี) เช่น โบราณสถานฯ เงื่อนไขในฉากทัศน์แรก ระยะห่างน้อยกว่า 1 กิโลเมตร (ไม่ผ่าน) และระยะห่างเกิน 1 กิโลเมตร (ผ่าน) ในฉากทัศน์ที่สอง จะขยายออกเป็นระยะห่างช่วง 1-2 กิโลเมตร (1 คะแนน) ระยะห่าง 2-3 กิโลเมตร (2 คะแนน) และระยะห่างมากกว่า 3 กิโลเมตร (3 คะแนน) เป็นต้น ในส่วนของค่าถ่วงน้ำหนักใช้วิธีการ AHP โดยมีผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านร่วมกันให้ค่าน้ำหนัก (group discussion by expert) ดัง Table 4 โดยจากการวัดค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 0.02

Table 3 Factors influencing landfill selection

Factors/ Author (Year)	Maneephan (2012)	Vichiansinpa et al. (2015)	Muenyong et al. (2016)	Noinumsai & Wachirawongsakorn (2017)	Kaew-in (2013)	Pluemudom & Smakgahn (2017)	Sungwian & Charoentrakulpeeti (2016)	Jukkraboot & Khammaai (2016)
1. Historical site	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2. Transportation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3. Waterbody / Stream	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4. Community area	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
5. Slope	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
6. Precipitation intensity	✓							
7. Land use	✓	✓		✓	✓	✓		
8. Flood susceptibility area		✓		✓	✓	✓	✓	
9. Soil texture	✓	✓	✓	✓			✓	
10. Artesian aquifer	✓	✓			✓			✓
11. Wells, water supply			✓	✓				
12. Groundwater			✓		✓		✓	
13. Basin quality			✓	✓	✓			
14. Soil capability		✓			✓			
15. Fault			✓		✓			
16. Conservation area					✓			
17. Lithology								✓
18. Soil series						✓		✓
19. Park							✓	
20. Landslide susceptibility area			✓					
21. Repeated flooding area			✓					
22. Watershed area								✓
23. Government office						✓		
24. Top soil						✓		
25. Coastal area						✓		
26. Geological condition				✓				

2.6) ประมวลผลรวมของค่าคะแนนและค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย แล้วนำมาจัดกลุ่มใหม่ (reclassify) ด้วยวิธีการแบ่งช่วงชั้นเท่ากัน (equal interval) โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ พื้นที่เหมาะสมมาก พื้นที่เหมาะสมปานกลาง และพื้นที่เหมาะสมน้อย (Figure 18) และ Table 5 แสดงรายละเอียดข้อมูลจำแนกรายอำเภอ สำหรับการคัดกรองพื้นที่มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 กันออกพื้นที่แหล่งน้ำ

ขั้นที่ 2 คัดเลือกเฉพาะผลลัพธ์ที่มีพื้นที่เหมาะสมมาก (พื้นที่สีเขียวใน Figure 18)

ขั้นที่ 3 คัดเลือกพื้นที่ที่มีขนาดมากกว่า 500 ไร่ขึ้นไป โดยปรับตามเกณฑ์อ้างอิงการกลบฝังขยะมูลฝอย 300-500 ตัน/วัน ควรมีเนื้อที่ 380-620 ไร่ และมีอายุการใช้งาน 20 ปี (Pollution Control Department, 2001) เพื่อสร้างทางเลือกในอนาคตที่จะจัดตั้งเป็นพื้นที่กลบฝังขยะ พบว่า มีพื้นที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 656 แห่ง พบในทุกอำเภอของจังหวัดสงขลา (Table 5)

ขั้นที่ 4 กันออกพื้นที่ที่อยู่ในเขตป่าไม้ในพื้นที่จังหวัดสงขลา (เขตเตรียมการอุทยานแห่งชาติ อุทยานแห่งชาติ เขตห้ามล่าสัตว์ป่า เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า และวนอุทยาน) พบว่า มีผ่านเกณฑ์ 544 แห่ง หากนับเฉพาะที่เหมาะสมมาก (สีเขียว) และไม่ตกในเขตป่าไม้จะคงเหลือ 5 แห่ง โดยแสดงเป็นสีเขียวเข้มสลับเขียวอ่อนลายทแยงเฉียงอยู่ในอำเภอคลองหอยโข่ง 2 แห่ง และอำเภอสะเดา 3 แห่ง (ส่วนขยาย Figure 18 ที่มีตัวเลขลำดับ 1-5)

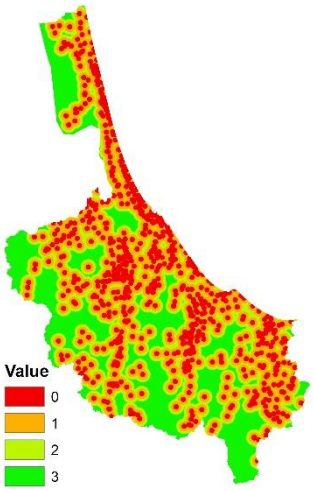

Figure 13 Ancient site

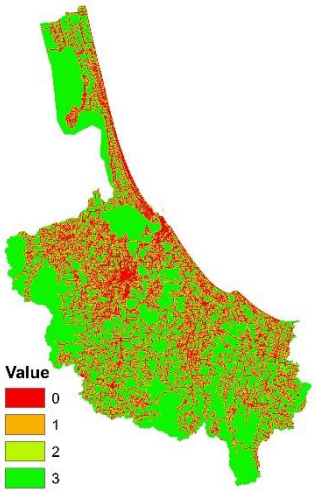

Figure 14 Distance from the main highway

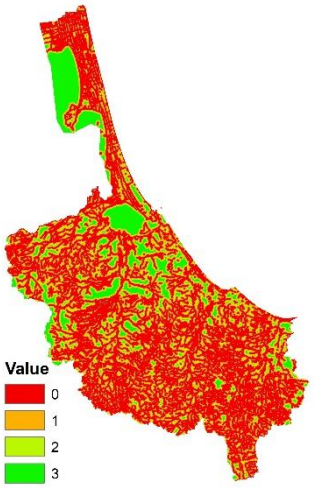

Figure 15 Distance from the natural water source or canal

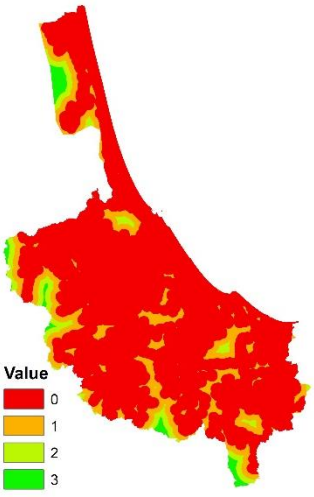

Figure 16 Distance from the community source

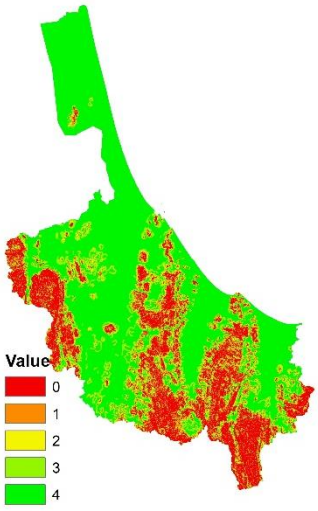

Figure 17 Slope

Table 4 Class weight and factor weight for each input data (factors) and their attributes

Factors	Attributes	Class Weight	Factor Weight
Aspect of the ancient site	< 1 km	0	0.127
	1 - 2 km	1	
	2 - 3 km	2	
	> 3 km	3	
Distance from the main	< 100 m	0	0.182
highway	100 - 200 m	1	
	201 - 300 m	2	
	> 300 m	3	
Distance from the natural water	< 300 m	0	0.258
source or canal	301 - 600 m	1	
	601 - 900 m	2	
	> 900 m	3	
Distance from the community	< 2 km	0	0.337
source	2 - 4 km	1	
	4 - 6 km	2	
	> 6 km	3	
Slope	0 - 2%	4	0.095
	2 - 5%	3	
	5 - 12%	2	
	12 - 20%	1	
	>20%	0	

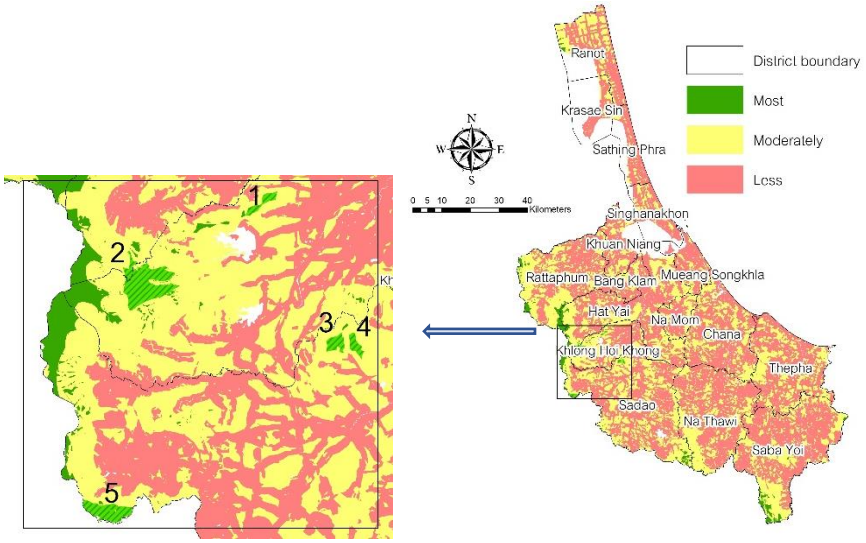

Figure 18 Suitable areas for the landfill

Table 5 Songkhla's districts classify areas suitable for landfills

Songkhla's districts	Suitable Area (Rai)			Total Area (Rai)
	Most	Moderately	Less	
1. Thepha	429	154,899	248,825	404,153
2. Mueang Songkhla	4	26,653	78,105	104,762
3. Krasae Sin	-	16,942	40,754	57,695
4. Khlong Hoi Khong	8,735	99,749	71,755	180,239
5. Khuan Niang	54	45,926	74,202	120,182
6. Chana	308	139,283	244,007	383,598
7. Na Thawi	1,528	187,242	301,537	490,307
8. Na Mom	463	40,891	46,978	88,332
9. Bang Klam	180	31,869	57,358	89,407
10. Ranot	2,077	86,685	125,575	214,337
11. Rattaphum	16,609	201,250	192,137	409,996
12. Sathing Phra	-	16,599	68,084	84,683
13. Sadao	15,981	298,106	329,962	644,049
14. Saba Yoi	15,636	217,653	351,722	585,011
15. Singhanakhon	-	27,834	69,872	97,706
16. Hat Yai	10,065	217,701	243,342	471,108
Total Suitable Area	**72,069**	**1,809,282**	**2,544,215**	**4,425,566**

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. การเก็บขนขยะในการวิเคราะห์เพื่อหาเส้นทางใหม่ที่สั้นที่สุด อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ต้องทราบจุดที่ตั้งถังขยะและลำดับก่อนหลังของการจัดเก็บ จึงทำให้เกิดความแตกต่างจากเส้นทางเดิมไม่มากในบางกรณี และยังไม่ได้มีการกำหนดข้อจำกัดของรถเก็บขนขยะแต่ละคันที่มีความจุแตกต่างกัน รวมทั้งยังไม่ได้พิจารณาถึงขยะที่อาจจะเกินขีดความสามารถในการบรรทุกของรถเก็บขนขยะที่อาจต้องวิ่งไปทิ้งขยะเมื่อรถบรรทุกเต็มความจุก่อนมาเริ่มใหม่ในถังที่เหลือ

2. ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์มาจากหลากหลายแหล่งข้อมูล ความทันสมัยของข้อมูล และมาตราส่วนของการจัดทำข้อมูล (scale effect) ส่งผลให้ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันได้

3. วิธีการแบ่งช่วงชั้นของปัจจัยในการให้ค่าคะแนน ค่าน้ำหนัก รวมถึงจำนวนของระดับการจัดแบ่งกลุ่มส่งผลต่อผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป

4. พื้นที่เหมาะสมที่ผ่านเกณฑ์ในแต่ละอำเภอเป็นการแสดงภาพในเชิงการปกครอง เพื่อให้เกิดการสื่อสารที่เข้าใจง่าย แต่ควรคำนึงถึงการเกาะกลุ่มหรือขนาดพื้นที่ (patch) ว่ามีความต่อเนื่องของขนาดพื้นที่มากน้อยอย่างไรในการวางแผนการกลบฝังในระยะยาว เนื่องจากมีการลงทุนในการขนส่งและการกลบฝังในระยะยาว และระยะทางจากพื้นที่จัดเก็บขยะก็เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญในการนำมาพิจารณาพื้นที่กลบฝังขยะ และควรมีการรวมกลุ่มองค์กรส่วนท้องถิ่น (เทศบาลและองค์การบริหารส่วนตำบล) ในพื้นที่ใกล้เคียงเพื่อให้เกิดการประหยัดจากการจัดกลุ่ม (economics of scale) และปริมาณขยะที่มากพอที่จะพัฒนาให้เป็นต้นแบบโรงงานไฟฟ้าจากขยะชุมชนแบบปราศจากมลพิษ

5. จากการวิเคราะห์โดยใช้เกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ เกณฑ์จากการทบทวนวรรณกรรม และให้ผู้เชี่ยวชาญกำหนดค่า ผลลัพธ์ที่ออกมามีความแตกต่างกันอยู่บ้าง แต่ในภาพรวมมีความใกล้เคียงกันทั้งในเชิงตำแหน่งและพื้นที่ในหน่วยการปกครองระดับอำเภอ ซึ่งพอสรุปได้ว่าสามารถนำไปใช้งานหรือหากมีการปรับปรุงกฎเกณฑ์ผลลัพธ์ก็ยังแสดงออกมาไม่แตกต่างกัน นั่นหมายความว่า ปัจจัยสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบการกลบฝังขยะได้

สรุปผลการวิจัย

สำหรับการวิเคราะห์โครงข่ายเส้นทางเก็บขนขยะใช้การวิเคราะห์แบบระยะทางสั้นที่สุด พบว่า สามารถลดระยะทางในการเก็บขนขยะลงได้ 13.20 กิโลเมตร ซึ่งสามารถประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในแต่ละวันได้ โดยได้นำเสนอผลการวิจัยให้กับเทศบาลนครสงขลาเพื่อนำไปวางแผนการปรับการเดินรถในอนาคตต่อไป และการหาพื้นที่เหมาะสมในการพิจารณาพื้นที่กลบฝังขยะ แบ่งฉากทัศน์ออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ฉากทัศน์แรก อาศัยกฎหมายในการพิจารณาประกอบด้วย ปัจจัยตามเกณฑ์ 8 ประการ ได้แก่ 1) สภาพทางธรณีวิทยา 2) เขตชุมชน 3) แหล่งน้ำธรรมชาติหรือคลองขุด 4) ระยะห่างจากบ่อน้ำใต้ดิน 5) ระยะห่างจากแหล่งโบราณคดี/ประวัติศาสตร์ และปูชนียสถาน 6) ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ 7) สนามบิน และ 8) เขตพื้นที่อนุรักษ์ พบว่า มีพื้นที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าว 292,217 ไร่ และพื้นที่ไม่ผ่านเกณฑ์ 4,544,576 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 6.04 และ 93.96 ของพื้นที่จังหวัดสงขลาตามลำดับ และในฉากทัศน์ที่สอง ใช้การค้นคว้าเอกสารจากงานวิจัยต่าง ๆ ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยมาเป็นตัวคัดกรองปัจจัยในการวิเคราะห์ พบว่า มี 5 ปัจจัยที่ผ่านเกณฑ์ประกอบด้วย 1) ด้านโบราณสถาน 2) ระยะห่างจากทางหลวงสายหลัก 3) ระยะห่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือคลองขุด 4) ระยะห่างจากแหล่งชุมชน และ 5) ความลาดชัน และนำวิธีการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบหลายกฎเกณฑ์ (MCDA) โดยใช้วิธีการให้ค่าคะแนนในระยะทางของปัจจัยต่าง ๆ ที่อยู่ห่างออกไป และให้ค่าถ่วงน้ำหนักด้วยการวิเคราะห์

แบบลำดับชั้น (AHP) จากผู้เชี่ยวชาญแบบกลุ่ม นำผลลัพธ์ที่ได้แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ พื้นที่เหมาะสมมาก พื้นที่เหมาะสมปานกลาง และพื้นที่เหมาะสมน้อย ถัดมานำมากรองด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอน คือ กันออกพื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่เหมาะสมปานกลาง พื้นที่เหมาะสมน้อย และพื้นที่ป่าไม้ ร่วมกับการพิจารณาขนาดพื้นที่มากกกว่า 500 ไร่ พบว่ามีพื้นที่จำนวน 5 แห่ง คือ ในอำเภอคลองหอยโข่ง 2 แห่ง และอำเภอสะเดา 3 แห่ง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมในการกลบฝังขยะทั้งแบบตามเงื่อนไขของกรมควบคุมมลพิษและงานวิจัยที่ผ่านมา ผลลัพธ์จะเป็นการช่วยให้ข้อมูลแก่เทศบาลนครสงขลาในการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่ (Spatial Decision Support System: SDSS) สำหรับเลือกพื้นที่กลบฝังในอนาคตหรือวางแผนในการบริหารและจัดการขยะในระยะยาวในการสร้างทางเลือกและปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดเก็บและการวางแนวทางในการพิจารณากฎเกณฑ์และพื้นที่ในการกำหนดแหล่งกลบฝังในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่มอบทุนอุดหนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Alkaradaghi, K., Ali, S. S., Al-Ansari, N., Laue, J. and Chabuk, A. (2019). Landfill Site Selection Using MCDM Methods and GIS in the Sulaimaniyah Governorate, Iraq. *Sustainability*. *11*(15), 1-22.

Araiza-Aguilar, J. A., Gutiérrez-Palacios, C., Rojas-Valencia, M. N., Nájera-Aguilar, H. A., Gutiérrez-Hernández, R. F and Aguilar-Vera, R. A. (2019). Selection of Sites for the Treatment and the Final Disposal of Construction and Demolition Waste, Using Two Approaches: An Analysis for Mexico City. *Sustainability*. *11*(15), 1-20.

Iamchuen, N. (2016). The Solid Waste Management by using Geospatial Information Technologies Case Study of Samuthprakarn Province. In *The 7th Hatyai National and International Conference*. (pp. 710-722). Songkhla: Hatyai University. (in Thai)

Injoho, U and Chaiyakarm, T. (2019). A GIS-Based Network Analysis for Finding Suitable Locations for Waste Receptacles Spots in the City-Municipal of Nakhon-Nakhon Ratchasima. *Thai Journal of Science and Technology*, *8*(3), 226-237. (in Thai)

Jukkraboot, A. and Khammaai, Y. (2016). The assessment of suitable landfills Area in Thoen District, Lampang Province. *Scientific Research Journal*, *2*(3), 25-33. (in Thai)

Kaew-in, W. (2013). *Secure landfill site selection for hazardous waste disposal in southern of Thailand using geographic information system*. Songkhla: Prince of Songkhla University. (in Thai)

Maneephan, P. (2012). *Potential surface analysis for new landfill using analytical hierarchy process case study: Mueang district Nakhon Pathom*. Nakhon Pathom: Silpakorn University. (in Thai)

Muenyong, A., Boonyanuphap, J. and Tungtakanpoung, D. (2016). Sanitary landfill site selection, using a geographic information system: a case study of Lamphun province. In *The 41st National and 5th International Graduate Research Conference*. (pp. 231-245). Pathum Thani: Valaya Alongkorn Rajabhat University (in Thai)

Noinumsai, S. and Wachirawongsakorn, P. (2017). The assessment of suitable sanitary landfills area in uttaradit province by using geograpic information system. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, *25*(3), 77-88. (in Thai)

Phailahan, H. (2017). *Application of GIS for Potentiality of Solid Waste Colloection Routes: A Case Study of Thapho Sub-district, Mueang Phitsanulok District, Phitsanulok Province*. Phitsanulok: Naresuan University. (in Thai)

Pluemudom, A. and Smakgahn, K. (2017). The assessment of suitable sanitary landfills area: a case study in Mueang Samutprakarn District, Samutprakarn Province. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*, *4*(4), 101-113. (in Thai)

Pollution Control Department. (2001). *Criteria, standards and guidelines for community solid waste management.* Bangkok: Khurusapha the teachers council of Thailand. Retrieved March 16, 2022, from http://infofile.pcd.go.th/waste/CopMuniwaste.pdf (in Thai)

Putti, K. (2015). *The Assessment of Future Residential Solid Waste: A Case Study of Nonthaburi Municipality*. Bangkok: Thammasat University. (in Thai)

Sirathammathorn, T., Sukitpaneen, M., and Cheewinsiriwat, P. (2017). A GIS-Based Network Analysis for Solid Waste Collection and Transportation Planning: A Case Study of Bangkraui Municipality, Nonthaburi Province. *Journal of Social Sciences Srinakharinwirot University*, *20*, 54-63. (in Thai)

Sungwian, P. and Charoentrakulpeeti, W. (2016). An application of geographic information system for the physical suitability of solid waste landfill site selection: a case study of Samutprakan. *Journal of Environmental Management*, *12*(2), 101-113. (in Thai)

Vichiansinpa, J., Wongram, N. and Wantong, C. (2015). Application of geographic information system on sanitary landfill site selection: a case study of Lam Plai Mat district, Buriram province. *Rommayasan, 13*(2), 19-32. (in Thai)