

การตรวจสอบตัวชี้วัดความหนาแน่นและการอพยพของประชากรใน กรุงเทพมหานคร:
ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างปัจจัยด้านการขนส่ง เศรษฐกิจ ที่อยู่อาศัย การแพทย์ และ
การศึกษา

**An investigation of Indicators for Population Density and Immigration in Bangkok: A
Comparative Study of Transportation, Economy, Residence, Healthcare and Education
Factors**

กฤษฎา แสนสมบูรณ์^{1,*} และ ธนาพันธ์ ทับทิมหิน²

¹ คณะการจัดการโลจิสติกส์และการคมนาคมขนส่ง, สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ บางตลาด ปากเกร็ด นนทบุรี 11120

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ, มหาวิทยาลัยนวัตกรรมบูรพา วิทยาลัยพยาบาล ดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

Kritsada Saensomboon^{1,*} and Thanaphan Thapthimhin²

¹ Faculty of Logistics and Transportation Management, Panyapiwat Institute of Management, Bang Talat, Pak Kret,
Nonthaburi, 11120, Thailand

² Faculty of Science and Health Technology, Navamindradhiraj University, Wachira Phayabal, Dusit, Bangkok, 10300,
Thailand

*Corresponding Author E-mail: kritsadasaen@pim.ac.th

Received: Dec 27, 2021; **Revised:** Apr 15, 2022; **Accepted:** Jun 08, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากร และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การอพยพเข้าเมืองของประชากร โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของแต่ละปัจจัยจากเขตทั้งหมด 50 เขต ในกรุงเทพมหานคร โดยมี 5 ปัจจัยหลัก ได้แก่ การขนส่ง เศรษฐกิจ ที่อยู่อาศัย การแพทย์ และการศึกษา ในแต่ละปัจจัยมีตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์รวม 18 ตัวแปร สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยใช้ซอฟต์แวร์ Geo-detector ในการประมวลผลข้อมูล ผลปรากฏว่า มี 5 ตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบต่อ การกระจายตัวและการอพยพเข้าเมืองของประชากรมากที่สุด คือ ความยาวถนนสายหลัก ระยะห่างไกลที่สุดจากสนามบินดอนเมือง ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือน จำนวนอาคารชุด และระยะห่างไกลที่สุดจากสนามบินสุวรรณภูมิ โดยถ้าหากตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปรนี้เกิดร่วมกันก็จะส่งผลให้ความหนาแน่นของประชากรและการอพยพเข้าเมืองของประชากรมีค่ามากขึ้น ในการวางแผนพัฒนากรุงเทพมหานคร หน่วยงานราชการและรัฐวิสาหกิจสามารถนำซอฟต์แวร์นี้มาประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจเลือกโครงการที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาประชากรได้ เพราะสามารถเลือกโครงการที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของประชากร และช่วยแก้ไขปัญหาระบบการกระจายตัวของประชากรอย่างมีประสิทธิภาพ ที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคตได้ สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เรียนรู้วิธีใช้งานซอฟต์แวร์ Geo-detector และสามารถนำวิธีประมวลผลนี้มาช่วยวิเคราะห์ปัญหาอื่น ๆ ของประเทศไทยได้อีกด้วย

คำสำคัญ: ความหนาแน่นประชากร, การอพยพของประชากร, กรุงเทพมหานคร

Abstract

This research studies the factors which have effects on the population distribution and their migration. The researcher collected the data from 50 districts in Bangkok. The five main factors are transportation, economy, residence, medication and education. All factors comprise 18 variables in total, the data concerning each variable was collected from each district in Bangkok. For the data analysis, the Geo-detector software was used in the data processing stage. The results show that “there are 5 influential factors that mostly contribute to the population distribution and their migration” which are “the length of main roads”, “the nearest distance from Don Mueang International Airport”, “the nearest distance from Suvarnabhumi Airport”, “the average monthly expenses”, and “the number of condominiums”. When the 5 variables are detected with other factors, this leads to the population density and migration. Bangkok development planning can apply this software. It can help government agencies and state enterprises decide on the suitable projects. These findings beneficially support the decision involving Bangkok development plan since it can solve the problem concerning the unbalance population distribution which may occur in the future. For this research, the researcher has learned how to use Geo-detector software. Besides, the researcher can also use Geo-detector software to deal with other problems in Thailand.

Keywords: Population density, Population immigration, Krung Thep Maha Nakhon (Bangkok)

1. บทนำ

ปัจจุบันกรุงเทพมหานครแบ่งออกเป็น 50 เขต ซึ่งในแต่ละเขตมีค่าความหนาแน่นของประชากรแตกต่างกัน บางเขตมีประชากรหนาแน่นมาก บางเขตมีประชากรเบาบาง ทำให้เกิดปัญหาด้านประชากร คือ การกระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอ[1-4] ดังนั้นการศึกษาปัจจัยที่ผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากรและการอพยพเข้าเมืองของประชากรจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ถ้าหากสามารถทำให้แต่ละเขตมีความหนาแน่นในระดับที่เหมาะสม หรือใกล้เคียงกัน ก็จะสามารถช่วยลดปัญหาการกระจุกตัวของประชากรในบางพื้นที่ได้

แต่ละปัจจัยที่เกิดขึ้นจากโครงการพัฒนาเมืองล้วนส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากรในสองรูปแบบ คือ “ปัจจัยดูด” และ “ปัจจัยผลัก” ตัวอย่างของปัจจัยดูด เช่น ระบบการขนส่งและเศรษฐกิจที่ดีจะดึงดูดให้ประชากรอพยพเข้ามาในเมืองได้ ในทางตรงกันข้าม ตัวอย่างของปัจจัยผลัก เช่น ปัญหาของระบบการขนส่งและเศรษฐกิจจะส่งผลให้ประชากรอพยพออกนอกเมือง[2-6] ซึ่งในแต่ละพื้นที่อาจจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากรและการอพยพของประชากรที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาในก่อนหน้านี้[7-16] ระยะที่แรกพบว่ามีสองปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นและการอพยพเข้าเมืองของประชากร คือ ปัจจัยทางธรรมชาติและปัจจัยทางเศรษฐกิจสังคม ตัวอย่างตัวแปรของปัจจัยทางธรรมชาติ เช่น สภาพอากาศ ภูมิประเทศ ทรัพยากรน้ำ ฯลฯ ตัวอย่างตัวแปรของปัจจัยทางเศรษฐกิจสังคม เช่น ความเจริญของเมือง การขนส่ง การแพทย์ การศึกษา รายรับเฉลี่ย ฯลฯ ระยะต่อมาเมื่อเริ่มมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและทางวิศวกรรม ปัจจัยทางธรรมชาติจึงลดบทบาทและความสำคัญลงไป เหลือเพียงแค่ปัจจัยด้านเศรษฐกิจสังคมเท่านั้นที่ส่งผลกระทบหลักต่อความหนาแน่นของประชากรและการอพยพเข้าเมืองของประชากร

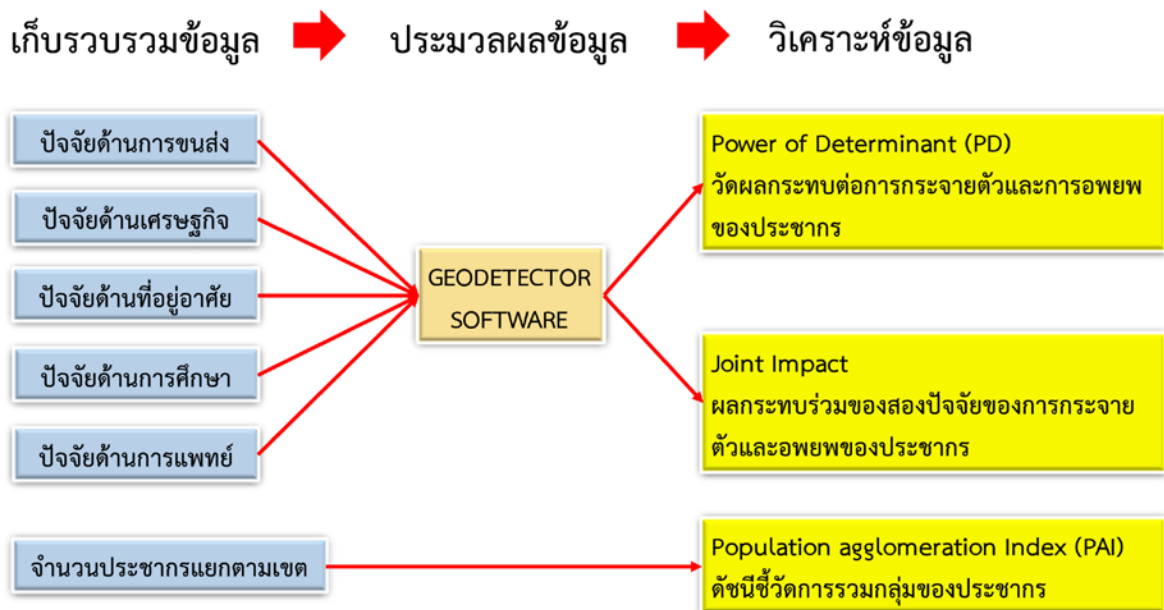
การเลือกโครงการในการพัฒนากรุงเทพมหานครมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความเจริญก้าวหน้าของประเทศไทย ถ้าหากรัฐบาลทราบว่าปัจจัยใดคือปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นและการอพยพเข้าเมืองของประชากร จะทำให้รัฐบาลสามารถเลือกโครงการเพื่อพัฒนาเมืองได้อย่างถูกต้อง ผู้วิจัยจึงแนวคิดที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบว่าปัจจัยใดส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นและการอพยพเข้าเมืองของประชากรมากที่สุด เพื่อช่วยให้

หน่วยงานของรัฐสามารถตัดสินใจเลือกโครงการพัฒนาเมืองได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลด้านการขนส่ง เศรษฐกิจ ที่อยู่อาศัย การแพทย์ และการศึกษา จากหน่วยงานราชการในกรุงเทพมหานครมาวิเคราะห์ผลกระทบต่อความหนาแน่นและการอพยพเข้าเมืองของประชากร เพื่อทำการศึกษเปรียบเทียบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นและการอพยพเข้าเมืองของประชากรมากที่สุด

2. ระเบียบวิธีการวิจัย

สำหรับวิธีการวิจัยนั้น ผู้วิจัยจะทำการรวบรวมข้อมูลปัจจัยที่สนใจ 5 ปัจจัย คือ การขนส่ง เศรษฐกิจ ที่อยู่อาศัย การศึกษา และการแพทย์ ประมวลผลผ่านซอฟต์แวร์ Geo-detector เพื่อคำนวณค่า PD และ Joint Impact เพื่อวัดค่าผลกระทบของการกระจายตัวของประชากร และใช้ข้อมูลจำนวนประชากรคำนวณค่า PAI เพื่อหาค่าดัชนีการรวมกลุ่มของประชากร ดังรูปที่ 1

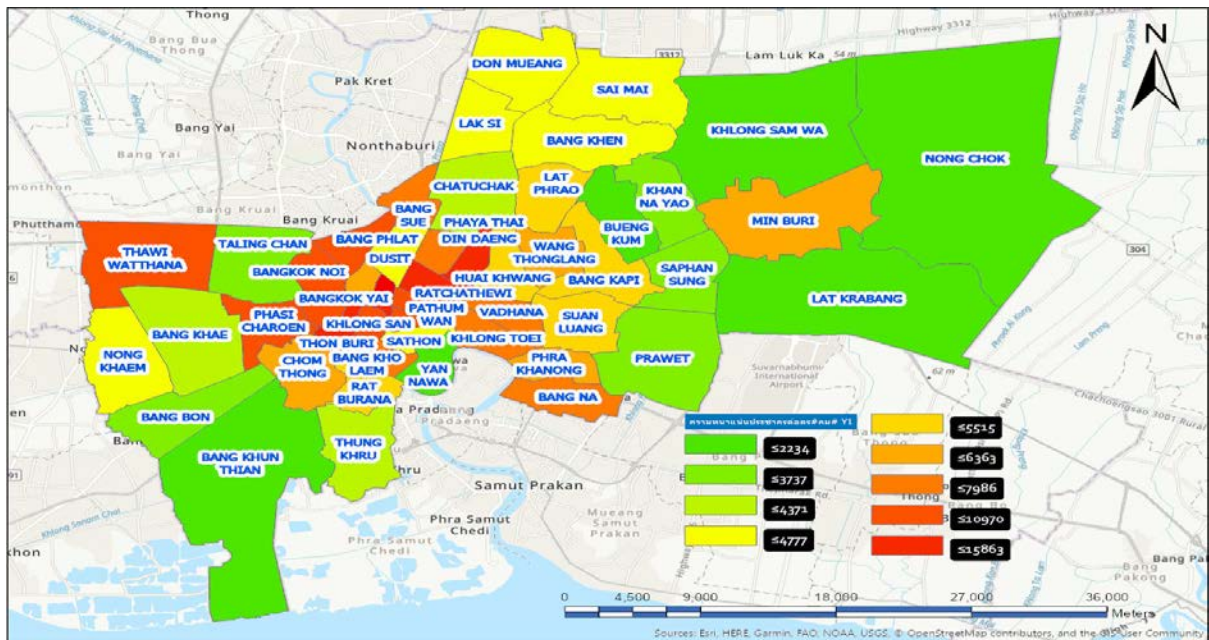


รูปที่ 1 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล ประมวลผลข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 วัตถุประสงค์ สมมติฐาน และขอบเขตของการวิจัย

สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ประเด็นหลัก คือ 1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากรและการอพยพเข้าเมืองของประชากร 5 ปัจจัย อันได้แก่ การศึกษา การขนส่ง การแพทย์ เศรษฐกิจ และที่อยู่อาศัย 2) เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากรและการอพยพเข้าเมืองของประชากรทั้ง 5 ปัจจัย ว่าแต่ละปัจจัยส่งผลกระทบมากน้อยเพียงใด 3) เพื่อศึกษาฟังก์ชันการใช้

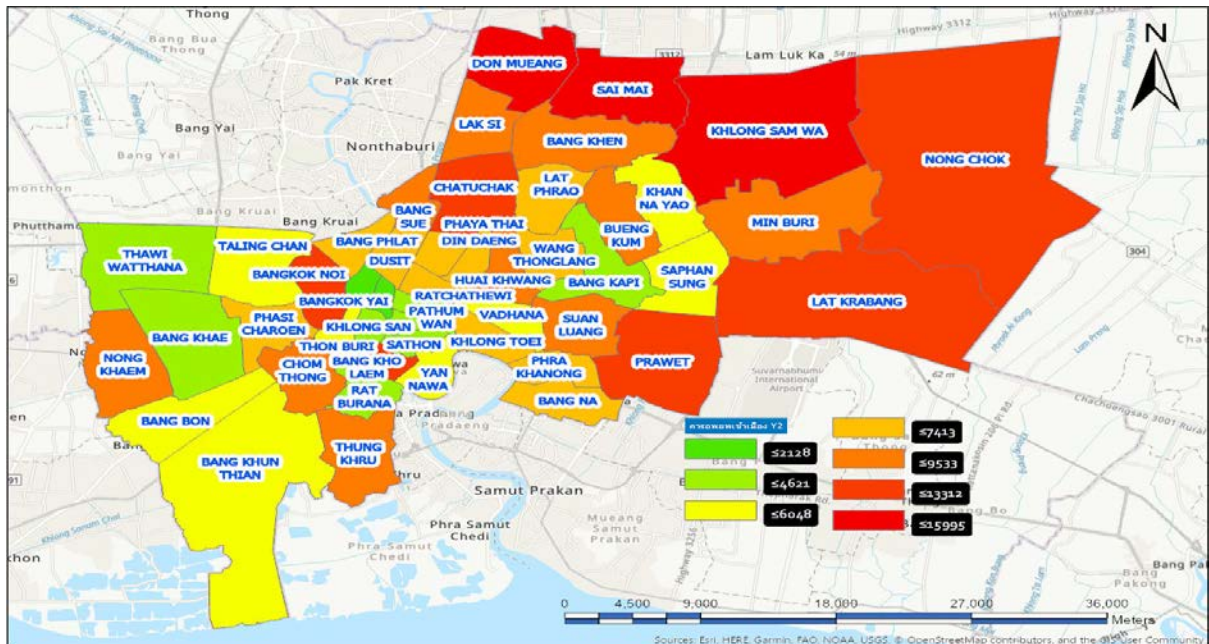
งานของซอฟต์แวร์ Geo-detector ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยอื่น ๆ ในอนาคต สำหรับสมมติฐานของงานวิจัยนี้ คือ ปัจจัยด้านการขนส่ง และเศรษฐกิจส่งผลกระทบต่อกระจายตัวของประชากรและการอพยพเข้าเมืองของประชากรมากที่สุด และขอบเขตของงานวิจัย คือ ผู้วิจัยได้เลือกเขตทั้ง 50 เขต ในกรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ทำการศึกษา โดยในแต่ละเขตของกรุงเทพมหานครจะมีความหนาแน่นของประชากรและการอพยพเข้าออกเมืองของประชากรที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 2 ความหนาแน่นในเขตต่างๆ ของกรุงเทพมหานคร

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นของประชากรในเขตต่างๆ ของกรุงเทพมหานคร โดยสีเขียวหมายถึงประชากรมีความหนาแน่นน้อย และสีแดงหมายถึงประชากร

มีความหนาแน่นมาก โดยในพื้นที่สีแดงหมายถึง เขตที่มีปัญหาการกระจุกตัวของประชากร



รูปที่ 3 จำนวนการอพยพเข้าเมืองในเขตต่างๆ ของกรุงเทพมหานคร

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงการอพยพเข้าเมืองของประชากรในเขตต่างๆ ของกรุงเทพมหานคร โดยสีเขียว

หมายถึง ประชากรมีการอพยพเข้าเมืองน้อย และสีแดงหมายถึงประชากรมีการอพยพเข้าเมืองมาก

2.2 ปัจจัยที่ทำการศึกษา

ข้อมูลที่ผู้วิจัยได้นำมาทำการวิเคราะห์นั้นประกอบไปด้วย 5 ปัจจัย คือ 1) การขนส่ง 2) เศรษฐกิจ 3) ที่อยู่อาศัย 4) การแพทย์ และ 5) การศึกษา ซึ่งผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจาก 50 เขต ในกรุงเทพมหานคร ในแต่ละเขตมีทั้งหมด 18 ตัวแปร เพราะทั้ง 18 ตัวแปรนี้เป็นข้อมูลที่สามารถขอได้จากหน่วยราชการที่มีอยู่ในกรุงเทพมหานคร และในงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าตัวแปรด้านการขนส่ง การศึกษา การแพทย์ เศรษฐกิจ และตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเมือง มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของประชากร และการอพยพเข้าเมืองของประชากรมากกว่าปัจจัยอื่น ๆ [16–17] โดยหน่วยงานราชการที่ผู้วิจัยทำการขอข้อมูล คือ 1) ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร 2) สำนักประเมินราคาทรัพย์สิน กรมธนารักษ์ ส่วนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระยะทางผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ Google Map ในการคำนวณ สำหรับข้อมูลด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ผู้วิจัยได้นำเข้าข้อมูลจาก www.bangkokgis.com

สำหรับปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ในหมวดการขนส่ง มี 5 ตัวแปร ประกอบด้วย 1) ระยะทางจากสนามบินดอนเมืองถึงสำนักงานเขต 2) ระยะทางจากสนามบินสุวรรณภูมิถึงสำนักงานเขต 3) จำนวนสถานีรถไฟและสถานีขนส่ง 4) จำนวนท่าเรือ 5) ความยาวถนนสายหลัก สำหรับปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ในหมวดเศรษฐกิจ มี 7 ตัวแปร ประกอบด้วย 1) จำนวนห้างสรรพสินค้า 2) จำนวนร้านสะดวกซื้อ 3) ราคาประเมินที่ดิน 4) รายจ่ายเฉลี่ยต่อเดือนใน 5) จำนวนอาคาร 6) จำนวนบริษัทขนาดใหญ่ 7) จำนวนตลาด สำหรับปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ในหมวดที่อยู่อาศัย มี 2 ตัวแปร ประกอบด้วย 1) จำนวนอาคารชุด ได้มาจากสำนักประเมินราคาทรัพย์สิน กรมธนารักษ์ 2) จำนวนโรงแรมหรือรีสอร์ท สำหรับปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ในหมวดการแพทย์ มี 2 ตัวแปร ประกอบด้วย 1) จำนวนคลินิกหรือสถานอนามัย 2) จำนวนโรงพยาบาล สำหรับปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ในหมวดการศึกษา มี 2 ตัวแปร ประกอบด้วย 1) จำนวนวิทยาลัยหรือมหาวิทยาลัย 2) จำนวนโรงเรียน สำหรับข้อมูล GIS เช่น จำนวนโรงเรียน จำนวนมหาวิทยาลัย จำนวนคลินิกหรือสถานอนามัย จำนวนโรงพยาบาล จำนวนโรงแรมและรีสอร์ท จำนวนอาคาร จำนวนสถานีรถไฟ จำนวนบริษัทขนาดใหญ่ จำนวนร้าน

สะดวกซื้อ จำนวนห้างสรรพสินค้า ในแต่ละเขต ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยผู้วิจัยได้นำเข้าข้อมูลทุกข้อมูลมาจาก www.ezymaps.com และ www.bangkokgis.com

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์และตัวชี้วัด

ปัจจัย	ตัวชี้วัด	ตัวแปร
การขนส่ง	ระยะทางจากสนามบินดอนเมืองถึงสำนักงานเขต	X1
	ระยะทางจากสนามบินสุวรรณภูมิถึงสำนักงานเขต	X2
	จำนวนสถานีรถไฟและสถานีขนส่ง	X3
	จำนวนท่าเรือ	X4
	ความยาวถนนสายหลัก	X5
เศรษฐกิจ	จำนวนห้างสรรพสินค้า	X6
	จำนวนร้านสะดวกซื้อ	X7
	ราคาประเมินที่ดิน	X8
	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือน	X9
	จำนวนอาคาร	X10
	จำนวนบริษัทขนาดใหญ่	X11
	จำนวนตลาด	X12
ที่อยู่อาศัย	จำนวนอาคารชุด	X13
	จำนวนโรงแรมหรือรีสอร์ท	X14
การแพทย์	จำนวนคลินิกหรือสถานอนามัย	X15
	จำนวนโรงพยาบาล	X16
การศึกษา	จำนวนมหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย	X17
	จำนวนโรงเรียน	X18

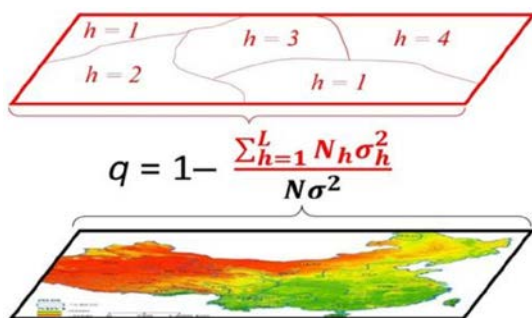
2.3 การประมวลผลข้อมูล

ผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ Geo-detector [14–40] ในการประมวลผลข้อมูล 18 ตัวแปร เพื่อหาผลกระทบต่อความหนาแน่นและการอพยพเข้าเมืองของประชากร โดยซอฟต์แวร์นี้ได้พัฒนามาจากกระทรวงวิทยาศาสตร์ของสาธารณรัฐ

ประชาชนจีน ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก <http://www.geodetector.cn/> ค่าที่ประมวลผลผ่านซอฟต์แวร์นี้ได้แก่ Power of determinant (PD) และ Joint impact (JI) ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) มาจากหน่วยราชการ คือ ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร (ข้อมูลปี 2562) และ กรมธนารักษ์ (ข้อมูลปี 2562) โดยข้อมูลที่น่าสนใจมี 2 ประเภท คือ ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Data) ทั้งข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous Data) และข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Data) และ ระดับของการวัด (Level of Measurement) สำหรับตัวแปรแต่ละชนิด เป็นแบบมาตราส่วนอัตราส่วน (Ratio Scale) แต่สำหรับระดับของการวัด (Level of Measurement) ของค่า PD ค่า JI และค่า PAI เป็นแบบมาตราส่วนอันดับ (Interval Scale)

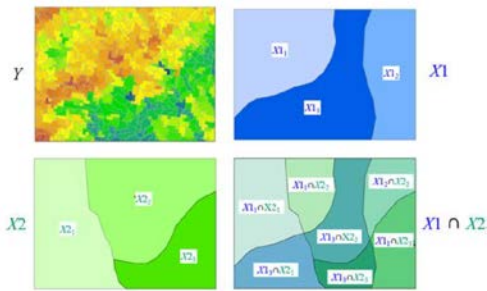
2.3.1 ซอฟต์แวร์ Geo-detector

ซอฟต์แวร์ Geo-detector คือ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลโดยการแบ่งข้อมูลออกเป็นชั้น ๆ แล้วหาความสัมพันธ์ของตัวแปร X และตัวแปร Y จะทำให้ทราบว่าตัวแปร X ส่งผลอย่างไรต่อตัวแปร Y ดังแสดงในรูปที่ 4 นอกจากนี้ยังสามารถหาปฏิสัมพันธ์ภายในระหว่างตัวแปร X1 และ X2 ดังแสดงในรูปที่ 5 ได้อีกด้วย



รูปที่ 4 หลักการทำงานของ Geodetector

จาก รูปที่ 4 แสดงถึงข้อมูลประชากรของ Y รูปด้านบนคือการแบ่งข้อมูล Y ออกเป็น $L = 4$ ชั้น ตามค่าของข้อมูล Y ในแต่ละพื้นที่ ด้วยวิธีแบ่งชั้นข้อมูล โดย N คือ the จำนวนของหน่วยพื้นที่ σ^2 คือ ความแปรปรวนของ Y ในพื้นที่ทำการศึกษา N_h คือ จำนวนของหน่วยพื้นที่ของชั้นข้อมูล h แต่ละระดับ σ_h^2 คือ ความแปรปรวนของ Y ในชั้นข้อมูล h แต่ละระดับ L คือ จำนวนชั้นข้อมูล



รูปที่ 5 ปฏิสัมพันธ์ภายในร่วมกันระหว่างตัวแปร X1 กับ X2 ซึ่งส่งผลกับตัวแปร Y

จาก รูปที่ 5 มีตัวแปร 3 ตัว คือ Y X1 และ X2 ข้อมูล X1 แบ่งออกเป็น 3 ชั้น X2 แบ่งออกเป็น 3 ชั้น พอนำตัวแปร X1 และ X2 มาซ้อนกัน จะได้ $X1 \cap X2$ ออกเป็น 7 ส่วน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าถ้าตัวแปร X1 เกิดคู่กับตัวแปร X2 จะส่งผลอย่างไรต่อตัวแปร Y

2.3.2 ค่า Power of determinant (PD)

ค่า PD คือ ค่าที่เป็นตัวชี้วัดว่าปัจจัยนั้น ๆ ส่งผลกระทบอย่างไรต่อการกระจายตัวของประชากร ถ้าค่า PD มาก แสดงว่าส่งผลกระทบมาก โดยที่ค่า PD มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 เมื่อ 1 หมายถึง ปัจจัยนั้นส่งผลกระทบ 100% ต่อการกระจายของประชากร และ 0 หมายถึง ปัจจัยนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากร

กำลังของค่าดีเทอร์มิแนนท์ (Power of determinant) หรือ ค่า PD คำนวณได้จากสูตร

$$PD = 1 - \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{i=1}^L n_{D,i} \sigma_{D,i}^2 \quad (1)$$

สมการที่ (1) สูตรการคำนวณค่า PD โดย PD คือ การกระจายของประชากร n คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมดในบริเวณที่สนใจ σ_D^2 คือ ความแปรปรวนของประชากรในบริเวณที่ศึกษา σ^2 คือ ความแปรปรวนของประชากรทั้งหมด L คือ จำนวนของข้อมูลที่ใช้คำนวณในบริเวณที่สนใจ

2.3.3 ค่า Joint impact

ค่า Joint impact คือ ค่าปฏิสัมพันธ์ร่วมภายในของตัวแปรสองตัวที่แตกต่างกัน ค่า Joint impact ของความหนาแน่นประชากร จะแสดงให้เห็นว่าถ้ามีสองตัวแปรใดเกิดร่วมกัน จะส่งผลอย่างไรต่อการกระจายตัวของประชากร ค่า Joint

impact ถูกกำหนดในรูปของตัวแปร C โดย A คือ ค่า PD ของตัวแปร A และ B คือ ค่า PD ของตัวแปร B

ความหมายของค่า Joint impact (C) อธิบายไว้ในตารางที่ 2 ดังนี้

$C = A \cap B$ โดย $\cap$ หมายถึง จุดร่วมกันของตัวแปร A และ B

การวิเคราะห์ค่า Joint impact (C) เทียบกับค่า PD ของตัวแปร A และ B ในกรณีต่างๆ สื่อความหมายได้ดังนี้

ถ้า $C = A + B$ แสดงว่า A กับ B เป็นอิสระต่อกัน

ถ้า $C > A \cap B$ แสดงว่า A กับ B ส่งเสริมซึ่งกันและกัน

ถ้า $C < A + B$ สามารถสื่อความหมายได้ 3 กรณี คือ กรณี 1 ถ้า $C > A$ และ $C > B$ แสดงว่า A และ B ส่งเสริมซึ่งกันและกัน กรณี 2 สามารถวิเคราะห์ได้ 2 แบบ คือ ถ้า $C > A$ หรือ $C > B$ แสดงว่า A และ B ส่งเสริมซึ่งกันและกัน แต่มีตัวแปรหนึ่งที่มีค่าอ่อนกว่าอีกตัวแปรหนึ่ง

ถ้า $C < A$ หรือ $C < B$ แสดงว่า A และ B มีตัวแปรหนึ่งส่งเสริม แต่อีกตัวแปรหนึ่งไม่ส่งเสริม กรณี 3 ถ้า $C < A$ และ $C < B$ แสดงว่า A และ B ไม่ส่งเสริมกัน และความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ค่า Joint Impact

Graphical representation	Description	Interaction	Legend	
	$X1 \cap X2 < \text{Min}(X1, X2)$	Weaken, nonlinear		$\text{Min}(X1, X2)$
	$\text{Min}(X1, X2) < X1 \cap X2 < \text{Max}(X1, X2)$	Weaken, uni-		$\text{Max}(X1, X2)$
	$X1 \cap X2 > \text{Max}(X1, X2)$	Enhance, bi-		$X1 + X2$
	$X1 \cap X2 = X1 + X2$	Independent		$X1 \cap X2$
	$X1 \cap X2 > X1 + X2$	Enhance, nonlinear		

จากตารางที่ 2 แสดงหลักการวิเคราะห์ค่า Joint impact ของตัวแปร $X1$ และ $X2$ ว่ามีความสัมพันธ์กันในลักษณะใด ส่งเสริมกัน หักล้างกัน หรือเป็นอิสระต่อกัน ลักษณะความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงหรือไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งการวิเคราะห์ผลนี้ต้องทำการวิเคราะห์ร่วมกับค่า PD จึงจะสามารถทำการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง

2.3.4 Population Agglomeration Index (PAI)

ค่า PAI เป็นอัตราส่วนที่แสดงการรวมกลุ่มกันของประชากร โดย PAI สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$PAI = \frac{\left(\frac{P_i}{P_n}\right) \times 100\%}{\left(\frac{A_i}{A_n}\right) \times 100\%} = \frac{\frac{P_i}{A_i}}{\frac{P_n}{A_n}} \quad (2)$$

สมการที่ (2) สูตรการคำนวณค่า PAI โดย P_i คือ ประชากร

ของเมือง i P_n คือ ประชากรของเมือง n A_i คือ พื้นที่ของเมือง i A_n คือ พื้นที่ของเมือง n ถ้า $PAI > 2$ หมายถึง มีการรวมกลุ่มกันของประชากรในระดับหนาแน่นมาก ถ้า PAI อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 2 หมายถึง มีการรวมกลุ่มกันในระดับปกติ และ $PAI < 0.5$ หมายถึง มีการรวมกลุ่มกันในระดับเบาบาง

3. ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลการวิจัยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ประเด็น คือ 1) วิเคราะห์ผลกระทบต่อการกระจายและอพยพของประชากร โดยใช้ค่า PD ของตัวแปรจำนวน 18 ตัวแปร 2) วิเคราะห์ผลกระทบร่วมของสองปัจจัยต่อการกระจายและอพยพของประชากร โดยใช้ค่า Joint impact ของคู่ตัวแปร 18 ตัวแปร 3) วิเคราะห์การรวมกันเป็นกลุ่มของประชากร โดยทำการวัดค่า PAI ของพื้นที่ทั้ง 50 เขต ในกรุงเทพมหานคร

3.1 การวิเคราะห์ผลกระทบต่อการกระจายตัวและอพยพ เข้าเมืองของประชากร

สำหรับการวิเคราะห์ Power of Determinant ถ้าหากตัวแปรใดมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากรมาก สำหรับงานวิจัยนี้ค่า PD ที่ระดับ 0.7 ขึ้นไปถือว่าส่งผลต่อความหนาแน่นและการอพยพเข้าเมืองของประชากรมาก ผู้วิจัยได้ทำการวัดผลกระทบของตัวแปรต่อความหนาแน่นของประชากร และการอพยพเข้าเมืองของประชากร ซึ่งได้ผลลัพธ์ออกมาตามตารางที่ 3 จากข้อมูลในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากรมีทั้งหมด 5 ตัว

แปร เรียงลำดับจากผลกระทบมากไปหาผลกระทบน้อย คือ ความยาวถนนสายหลัก ระยะห่างใกล้สุดจากสนามบินดอนเมือง ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือน จำนวนอาคารชุดในเขตนั้น และระยะห่างใกล้สุดจากสนามบินสุวรรณภูมิ และตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบต่อการอพยพเข้าเมืองของประชากร มีทั้งหมด 5 ตัวแปร เรียงลำดับจากผลกระทบมากไปหาผลกระทบน้อย คือ ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือน ระยะห่างใกล้สุดจากสนามบินดอนเมือง ความยาวถนนสายหลัก ระยะห่างใกล้สุดจากสนามบินสุวรรณภูมิ และจำนวนอาคารชุดในเขตนั้น

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ค่า PD

ตัวแปร	PD ของความหนาแน่น ของประชากร	PD ของการอพยพเข้าเมืองประชากร
ระยะทางจากสนามบินดอนเมืองถึงสำนักงานเขต (X1)	0.98	0.99
ระยะทางจากสนามบินสุวรรณภูมิถึงสำนักงานเขต (X2)	0.8	0.84
จำนวนสถานีรถไฟและสถานีขนส่ง (X3)	0.29	0.27
จำนวนท่าเรือ (X4)	0.2	0.24
ความยาวถนนสายหลัก (X5)	0.99	0.96
จำนวนห้างสรรพสินค้า (X6)	0.09	0.19
จำนวนร้านสะดวกซื้อ (X7)	0.41	0.58
ราคาประเมินที่ดิน (X8)	0.35	0.49
ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือน (X9)	0.88	0.99
จำนวนอาคาร (X10)	0.59	0.46
จำนวนบริษัทขนาดใหญ่ (X11)	0.53	0.43
จำนวนตลาด (X12)	0.47	0.26
จำนวนอาคารชุด (X13)	0.84	0.75
จำนวนโรงแรมหรือรีสอร์ท (X14)	0.53	0.49
จำนวนคลินิกหรือสถานอนามัย (X15)	0.15	0.12
จำนวนโรงพยาบาล (X16)	0.16	0.17
จำนวนมหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย (X17)	0.21	0.27
จำนวนโรงเรียน (X18)	0.48	0.59

3.2 การวิเคราะห์ผลกระทบร่วมของสองปัจจัยต่อการกระจายและอพยพของประชากร

สำหรับการวิเคราะห์ค่า Joint impact ของสองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากร จากตัวแปรทั้งหมด 18 ตัวแปร ได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 4 จากผลการวิเคราะห์ค่า Joint impact ด้วยซอฟต์แวร์ Geo-detector จากตารางที่ 4 สามารถอธิบายได้ว่า ตัวแปรที่ผู้วิจัยทำการศึกษาทั้ง 18 ตัวแปร ถ้าหากมี 2 ตัวแปรใดเกิดคู่กัน จะส่งเสริมให้มีความหนาแน่นของประชากรมากขึ้น เช่น ถ้าในเขตนั้นมีโรงเรียนและจำนวนท่าเรือมาก จำนวนโรงเรียนและท่าเรือจะส่งผลร่วมกันทำให้มีความหนาแน่นของประชากรมากขึ้น จากค่า Joint impact ในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่ามี 5 ตัวแปรที่มีความโดดเด่น และเมื่อเกิดคู่กับปัจจัยอื่นๆ จะส่งผลให้มีค่าความหนาแน่นของประชากรเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ามี 5 ตัวแปรหลัก เมื่อเกิดคู่กับตัวแปรอื่นๆ จะส่งเสริมให้มีความ

หนาแน่นของประชากรมากขึ้นอย่างยิ่งवाद โดย 5 ตัวแปรนั้นได้แก่ 1) ระยะทางใกล้สุดจากสนามบินดอนเมืองถึงสำนักงานเขต (X1) 2) ระยะทางใกล้สุดจากสนามบินสุวรรณภูมิถึงสำนักงานเขต(X2) 3) ความยาวถนนสายหลักแยกตามเขตของกรุงเทพมหานคร (X5) 4) รายจ่ายเฉลี่ยต่อเดือนแยกตามเขตของกรุงเทพมหานคร (X9) 5) จำนวนอาคารชุดแยกตามเขตของกรุงเทพมหานคร (X13) สำหรับตัวแปรอื่น ๆ ที่จะส่งผลกระทบต่อเมื่อเกิดคู่กับตัวแปรเหล่านี้ ได้แก่ 1) จำนวนสถานีรถไฟ (X3) 2) จำนวนท่าเรือ (X4) 3) จำนวนห้างสรรพสินค้า (X6) 4) จำนวนร้านสะดวกซื้อ (X7) 5) ราคาที่ดิน(X8) 6) จำนวนอาคาร (X10) 7) จำนวนบริษัท (X11) 8) จำนวนตลาด (X12) 9) จำนวนโรงแรมหรือรีสอร์ท (X14) 10) จำนวนคลินิกหรือศูนย์บริการสุขภาพ (X15) 11) จำนวนโรงพยาบาล (X16) 12) จำนวนวิทยาลัยหรือมหาวิทยาลัย (X17) 13) จำนวนโรงเรียน (X18) ในแต่ละเขตพื้นที่

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ค่า Joint Impact (JI)

Joint-Impact	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18
X1	0.98																	
X2	1.00	0.80																
X3	1.00	1.00	0.29															
X4	1.00	0.90	0.71	0.20														
X5	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99													
X6	0.99	1.00	0.51	0.54	1.00	0.09												
X7	1.00	0.96	0.64	0.97	1.00	0.79	0.41											
X8	0.99	0.97	0.73	0.60	1.00	0.71	0.99	0.35										
X9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	0.99	0.88									
X10	1.00	1.00	0.73	0.93	1.00	0.80	0.96	0.99	1.00	0.59								
X11	1.00	1.00	0.92	0.92	1.00	0.92	0.97	0.90	1.00	0.86	0.53							
X12	1.00	0.97	0.91	0.65	1.00	0.73	0.98	0.84	1.00	0.96	0.96	0.47						
X13	1.00	1.00	0.94	0.94	1.00	0.94	1.00	0.94	1.00	1.00	0.94	1.00	0.84					
X14	1.00	1.00	0.80	0.91	1.00	0.78	0.98	0.64	1.00	0.81	1.00	0.94	0.99	0.53				
X15	1.00	0.97	0.48	0.54	1.00	0.40	0.73	0.70	0.95	0.76	0.90	0.66	0.98	0.89	0.15			
X16	0.99	1.00	0.57	0.77	1.00	0.46	0.96	0.60	0.94	0.77	0.95	0.70	1.00	0.75	0.54	0.16		
X17	1.00	0.97	0.65	0.63	1.00	0.51	0.70	0.73	0.94	0.79	0.87	0.72	0.96	0.77	0.54	0.67	0.21	
X18	1.00	1.00	0.87	0.73	1.00	0.79	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	0.78	1.00	0.97	0.78	0.96	0.97	0.48

3.3 การวิเคราะห์การรวมกันเป็นกลุ่มของประชากร

สำหรับการวิเคราะห์การรวมกันเป็นกลุ่มของประชากร ผู้วิจัยได้ใช้ค่า PAI เป็นตัวชี้วัด จากตารางที่ 5 ผู้วิจัยได้จำแนกค่า PAI ออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1: $PAI > 2$ มีจำนวนทั้งสิ้น 16 เขต กลุ่มที่ 2: PAI อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 2 มีจำนวนทั้งสิ้น 30 เขต กลุ่มที่ 3: $PAI < 0.5$ มีจำนวนทั้งสิ้น 4 เขต โดยสรุปก็คือ เขตที่มีการรวมกลุ่มของประชากรมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย เขตสัมพันธวงศ์ และเขตดินแดง และเขตที่มีการรวมกลุ่มของประชากรเบาบางที่สุด 3 อันดับสุดท้าย ได้แก่ เขตบางขุนเทียน เขตลาดกระบัง และเขตหนองจอก ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่า PAI นี้สอดคล้องกับข้อมูลจากศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร คือ ค่าความหนาแน่น

ของประชากรในแต่ละเขต ส่งผลต่อการวิเคราะห์ค่า PAI โดยเขตป้อมปราบศัตรูพ่าย เขตสัมพันธวงศ์ และเขตดินแดงเป็นเขตที่มีความหนาแน่นของประชากรมากที่สุด 3 อันดับแรก และเขตบางขุนเทียน เขตลาดกระบัง และเขตหนองจอก เป็นเขตที่มีความหนาแน่นของประชากรน้อยที่สุดเป็น 3 อันดับสุดท้าย อย่างไรก็ตามสำหรับเขตที่มีค่าความหนาแน่นประชากรน้อยเกินไป ($PAI < 0.5$) จะต้องเพิ่มปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของประชากร เช่น การสร้างสนามบิน การเพิ่มรายได้เฉลี่ยของประชากรในเขต การสร้างถนนสายหลักเพิ่มมากขึ้น เพื่อดึงดูดให้มีการอพยพของประชากรเข้ามาให้เขตพื้นที่ให้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ค่า PAI ให้อยู่ในระดับปกติ (PAI อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 2)

ตารางที่ 5 ตารางแสดงค่า PAI ของทั้ง 50 เขต

ลำดับ	เขต	ประชากร (คน)	พื้นที่ (ตรม.)	PAI	ลำดับ	เขต	ประชากร (คน)	พื้นที่ (ตรม.)	PAI	ลำดับ	เขต	ประชากร (คน)	พื้นที่ (ตรม.)	PAI
1	คลองเตย	101,244	13.0	2.2	18	บางเขน	189,000	42.1	1.2	35	ยานนาวา	77,814	50.2	0.4
2	คลองสาน	71,197	7.1	2.8	19	บางคอแหลม	86,898	12.6	1.9	36	ราชเทวี	72,568	6.1	3.3
3	คลองสามวา	202,094	110.7	0.5	20	บางแค	193,491	44.5	1.2	37	ราษฎร์บูรณะ	80,509	15.0	1.5
4	คันนายาว	97,095	26.0	1.0	21	บางซื่อ	126,310	17.8	2.0	38	ลาดกระบัง	177,769	123.9	0.4
5	จตุจักร	156,605	35.8	1.2	22	บางนา	90,125	11.4	2.2	39	ลาดพร้าว	118,574	21.5	1.5
6	จอมทอง	150,108	26.3	1.6	23	บางบอน	105,684	34.7	0.8	40	วังทองหลาง	109,653	18.9	1.6
7	ดอนเมือง	170,021	36.8	1.3	24	บางพลัด	90,869	10.7	2.3	41	วัฒนา	87,225	10.9	2.2
8	ดินแดง	119,150	8.4	3.9	25	บางรัก	48,227	5.5	2.4	42	สวนหลวง	124,048	23.7	1.4
9	ดุสิต	89,769	18.8	1.3	26	บึงกุ่ม	142,237	63.6	0.6	43	สะพานสูง	96,059	28.1	0.9
10	คลองจั่น	104,779	29.5	1.0	27	ปทุมวัน	47,085	5.5	2.4	44	สัมพันธวงศ์	22,463	1.4	4.4
11	ทวีวัฒนา	78,548	9.3	2.3	28	ประเวศ	180,769	52.5	1.0	45	สาทร	77,773	16.7	1.3
12	ทุ่งครุ	123,048	30.7	1.1	29	ป้อมปราบศัตรูพ่าย	43,485	1.9	6.2	46	สายไหม	206,278	44.6	1.3
13	ธนบุรี	106,049	8.6	3.4	30	พญาไท	69,382	9.6	2.0	47	หนองแขม	156,354	32.9	1.3
14	บางกอกน้อย	107,732	11.9	2.5	31	พระโขนง	88,998	14.0	1.8	48	หนองจอก	176,022	236.3	0.2
15	บางกอกใหญ่	66,152	6.2	3.0	32	พระนคร	47,701	8.4	1.6	49	หลักสี่	104,285	22.8	1.3
16	บางกะปิ	146,108	28.5	1.4	33	ภาษีเจริญ	126,160	11.5	3.0	50	ห้วยขวาง	84,340	15.8	1.5
17	บางขุนเทียน	185,824	120.7	0.4	34	มีนบุรี	142,586	24.3	1.6					

4. สรุปผลการวิจัย

สำหรับงานวิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยด้านการขนส่งและสังคมต่อการกระจายตัวของประชากรในกรุงเทพมหานคร” มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ 3 เรื่อง คือ 1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากรและการอพยพเข้าเมืองของประชากร 5 ปัจจัย อันได้แก่ การศึกษา การขนส่ง การแพทย์ เศรษฐกิจ และที่อยู่อาศัย 2. เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากรและการอพยพเข้าเมืองของประชากรทั้ง 5 ปัจจัย ว่าแต่ละปัจจัยส่งผลกระทบมากน้อยเพียงใด 3. เพื่อศึกษาฟังก์ชันการใช้งานของซอฟต์แวร์ Geo-detector ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

จากการวิจัยในครั้งนี้ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากรในกรุงเทพมหานครมากที่สุด คือ ปัจจัยด้านการขนส่ง ปัจจัยด้านที่อยู่อาศัย และปัจจัยด้านเศรษฐกิจตามลำดับ สำหรับปัจจัยด้านการขนส่ง ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากร คือ ความยาวถนน และระยะห่างจากสนามบิน สำหรับปัจจัยด้านที่อยู่อาศัย ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากร คือ จำนวนอาคารชุด สำหรับปัจจัยด้านเศรษฐกิจ ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากร คือ ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนซึ่งสัมพันธ์กับรายรับต่อเดือนของประชากร

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการอพยพเข้าเมืองของประชากรในกรุงเทพมหานครมากที่สุด คือ ปัจจัยด้านการขนส่ง ปัจจัยด้านที่อยู่อาศัย และปัจจัยด้านเศรษฐกิจตามลำดับ สำหรับปัจจัยด้านการขนส่ง ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการอพยพเข้าเมืองของประชากร คือ ความยาวถนน และระยะห่างจากสนามบิน สำหรับปัจจัยด้านที่อยู่อาศัย ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการอพยพเข้าเมืองของประชากร คือ จำนวนอาคารชุด สำหรับปัจจัยด้านเศรษฐกิจ ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการอพยพเข้าเมืองของประชากร คือ ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนซึ่งสัมพันธ์กับรายรับเฉลี่ยต่อเดือนของประชากร ซึ่งปัจจัยดังกล่าวสอดคล้องกับความเป็นจริง เพราะจากการศึกษาในงานที่ผ่านมา เรื่องการกลายเป็นเมืองของสถาบัน

สิ่งแวดล้อมไทย[26] ปัจจัยทั้ง 5 สามารถดึงดูดประชากรเข้ามาในเมืองและทำให้ความหนาแน่นของประชากรเพิ่มมากขึ้น

ปัจจัยทั้ง 5 ถ้าหากเกิดร่วมกันจะส่งเสริมให้มีการกระจายตัวของประชากรและการอพยพของประชากรเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะถ้าหากมีตัวแปรหลัก 5 ตัวแปรนี้เกิดร่วมกับตัวแปรอื่น ๆ ตัวแปรหลักเหล่านั้น คือ ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือน ระยะห่างใกล้สุดจากสนามบินคอนเมือง ความยาวถนนสายหลัก ระยะห่างใกล้สุดจากสนามบินสุวรรณภูมิ และจำนวนอาคารชุด

ซอฟต์แวร์ Geo-detector สามารถประมวลผลข้อมูลเพื่อคำนวณค่า PD ค่า Joint Impact ได้อย่างรวดเร็ว เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอื่น ๆ ในอนาคต

5. อภิปรายผล

ผลการวิจัยสอดคล้องกับสมมติฐานของการวิจัย คือ ปัจจัยด้านการขนส่ง และเศรษฐกิจส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากรและการอพยพเข้าเมืองของประชากรมากที่สุด และผู้วิจัยได้ค้นพบเพิ่มเติม คือ สำหรับกรุงเทพมหานครปัจจัยด้านที่อยู่อาศัยส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวและการอพยพเข้าเมืองของประชากรมาก เช่นเดียวกับปัจจัยด้านการขนส่งและปัจจัยด้านเศรษฐกิจ และค่าดัชนีการรวมกลุ่มของประชากร (PAI) ที่ผู้วิจัยคำนวณได้มีความสอดคล้องกับความหนาแน่นของประชากรในแต่ละเขต

ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต[16] สำหรับตัวแปรแรกที่สอดคล้อง คือ ระยะห่างจากสนามบินส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากรและการอพยพเข้าออกเมืองของประชากร ซึ่งในงานวิจัยเดิมได้ผลลัพธ์ คือ จำนวนเที่ยวบินต่อวันส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากรและการอพยพเข้าออกเมืองของประชากร ตัวแปรที่สองที่มีความสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต คือ รายจ่ายต่อหัวของประชากรส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากรและการอพยพเข้าออกเมืองของประชากร ซึ่งผลการวิจัยที่ผ่านมาได้ผลลัพธ์ คือ รายได้ต่อ

หัวของประชากรส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากรและการอพยพเข้าออกเมืองของประชากร

สำหรับผลการวิจัยที่มีความแตกต่างจากงานวิจัยในอดีต คือ ความยาวถนนสายหลัก จำนวนบ้านและอาคารชุดที่อยู่ในเขตนั้น ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นและการอพยพเข้าเมืองของประชากรมาก ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งสามปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากรและการอพยพเข้าออกเมืองไม่มากนัก สำหรับผลการวิจัยที่มีความแตกต่างจากงานวิจัยในอดีตอย่างชัดเจน คือ จำนวนมหาวิทยาลัยที่อยู่ในเขตไม่ได้ส่งผลต่อความหนาแน่นและการอพยพของประชากรมากเท่ากับงานวิจัยในอดีต สาเหตุที่ผลการวิจัยมีความแตกต่างกัน เนื่องจากการศึกษาในอดีตดำเนินการในชุมชนเมืองของสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งมีบริบททางด้านเศรษฐกิจ สังคม และรูปแบบการดำเนินชีวิตในชุมชนเมืองที่แตกต่างจากกรุงเทพมหานคร

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการทดสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นและการอพยพเข้าเมืองของประชากรการทดสอบด้วยวิธี Multiple Regression พบว่าตัวแปรอิสระบางตัวไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม และไม่สามารถอธิบายผลการศึกษารหรืออธิบายผลการศึกษได้น้อย[25] ซึ่งผู้วิจัยได้ทดสอบนำข้อมูลที่ได้มาทดสอบด้วย Multiple Regression และได้ผลลัพธ์สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา คือ ไม่สามารถอธิบายผลการศึกษารหรืออธิบายผลการศึกษได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์กับ Geo-detector พบว่า Geo-detector สามารถอธิบายผลการศึกษารตัวแปรได้ดีกว่า เพราะสามารถเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรได้ทั้งหมด และ Geo-detector มีความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ดีกว่า Multiple Regression แต่ Geo-detector มีข้อจำกัด คือ เมื่อประมวลผลข้อมูลด้วย Geo-detector ผลลัพธ์ที่ได้ไม่แสดงว่าปัจจัยใดส่งผลบวกหรือลบต่อตัวแปรตาม ซึ่งเป็นจุดที่ Geo-detector ค่อนข้างกว่า Multiple Regression แต่อย่างไรก็ตาม การหาว่าปัจจัยใดเป็นบวกหรือลบต่อตัวแปรตาม ผู้วิจัยสามารถหาข้อมูลได้จากงานวิจัยในลักษณะเดียวกัน และ Geo-detector ยังสามารถใช้วิเคราะห์ผลร่วมกับ Multiple Regression ได้อีก

ด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ตัวแปรต้นทั้ง 18 ตัวแปรที่ผู้วิจัยทำการศึกษามีอิทธิพลเป็นบวกต่อความหนาแน่นและการอพยพของประชากร เนื่องจากตามหลักการกลายเป็นเมือง การศึกษา การขนส่ง การแพทย์ เศรษฐกิจ และที่อยู่อาศัย เป็นปัจจัยที่ทำให้ชนบทกลายเป็นเมือง เนื่องจากสามารถดึงดูดประชากรเข้ามาในเมืองได้มากขึ้น

จากการศึกษาของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย[26] พบว่าสิ่งที่ทำให้ความหนาแน่นและการอพยพเข้าเมืองของประชากรมากขึ้น จนเกิดการเปลี่ยนจากชนบทเป็นเมือง คือ การศึกษา การจ้างงาน และการท่องเที่ยว สำหรับด้านการศึกษาประชากรส่วนใหญ่อพยพเข้าเมือง เพราะต้องการเข้าถึงระดับการศึกษาที่สูงขึ้น ดังนั้นตัวแปรสำคัญ คือ จำนวนโรงเรียนและมหาวิทยาลัย สำหรับด้านการจ้างงานประชากรส่วนใหญ่อพยพเข้าเมือง เพราะต้องการหางานทำ ดังนั้นตัวแปรสำคัญ คือ จำนวนสถานที่ทำงาน จำนวนอาคารที่เกี่ยวข้องกับการจ้างงาน สำหรับด้านการท่องเที่ยว ประชากรส่วนใหญ่มาอพยพเข้ามาในเมืองที่มีสถานที่เที่ยวและมินท์ท่องเที่ยวมาก ตัวแปรสำคัญ คือ จำนวนสถานที่ท่องเที่ยวของเมืองนั้น ๆ

6. ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะแบ่งออกเป็น 2 ประเด็น คือ ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะในการศึกษาค้นคว้าครั้งต่อไป

สำหรับข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ในการวางแผนนโยบายการพัฒนาเมืองของรัฐบาล ถ้าหากต้องการกระตุ้นการเจริญเติบโตของเมือง โครงการพัฒนาเมืองควรมุ่งเน้นความสำคัญในเรื่องของ ระยะทางใกล้สุดจากสนามบิน ความยาวถนนสายหลัก รายรับรายจ่ายเฉลี่ยต่อเดือน การพัฒนาที่อยู่อาศัย ถ้าหากมีการวางแผนโครงการพัฒนาสิ่งเหล่านี้ขึ้นพร้อม ๆ กัน จะส่งผลให้อัตราการเติบโตของประชากรมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลดีต่อการพัฒนาเมืองของรัฐบาล ผู้วิจัยได้เรียนรู้การใช้ซอฟต์แวร์ Geo-detector และเข้าใจความหมายของการวิเคราะห์ผล ผู้วิจัยสามารถนำความรู้จากการศึกษาไปต่อยอดให้กับโครงการขนส่งด้านอื่น ๆ ที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคต และ

มีความพร้อมในการเผยแพร่ซอฟต์แวร์ Geo-detector ให้แก่ผู้ที่สนใจศึกษา สิ่งที่ผู้วิจัยค้นพบสามารถใช้ในการตัดสินใจเลือกนโยบายพัฒนาระบบขนส่งของประเทศไทยในอนาคต ซอฟต์แวร์ Geo-detector นี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับหน่วยงานราชการในกรุงเทพมหานครเพื่อแก้ปัญหาของเมืองได้ เพราะมีข้อมูลจำนวนมากมายของกรุงเทพมหานครที่สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ Geo-detector ได้ ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะจัดทำคู่มือการใช้ซอฟต์แวร์ Geo-detector เป็นฉบับภาษาไทยเพื่อแจกจ่ายให้กับหน่วยงานราชการ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีอยู่ในประเทศไทย นอกจากนี้ในจังหวัดอื่น ๆ ก็สามารถใช้ซอฟต์แวร์ Geo-detector วิเคราะห์ข้อมูล เพื่อแก้ไขปัญหาการพัฒนาเมือง เช่น ถ้าหากจังหวัดต้องการดึงดูดคนต้องทำอะไร การใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่ในจังหวัดจะทำให้การตัดสินใจเลือกโครงการพัฒนาเมืองของหน่วยงานราชการมีความเหมาะสมกับบริบทของเมืองนั้น ๆ มากขึ้น

สำหรับข้อเสนอแนะในการศึกษาค้นคว้าครั้งต่อไป ในการขอข้อมูลจากหน่วยงานราชการค่อนข้างใช้เวลานาน เพราะต้องขอข้อมูลในหลายส่วน โดยเฉพาะการเก็บข้อมูลย่อยไปถึงในระดับเขตพื้นที่ ข้อมูลบางอย่างไม่ได้ทำการบันทึกไว้ ทำให้ผู้วิจัยต้องหาข้อมูลทดแทน ถ้าหากต้องการให้การข้อมูลมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ควรขอข้อมูลในระดับจังหวัดขึ้นไป จะทำให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์และมีความเป็นปัจจุบันมากขึ้น ในการศึกษาครั้งต่อไป ตัวแปรที่จำเป็นต้องมี คือ ระยะห่างจากสนามบิน จำนวนอาคารชุด ความยาวถนน รายรับและรายจ่ายเฉลี่ยต่อเดือน ส่วนตัวแปรควรนำออก คือ จำนวนโรงพยาบาล จำนวนคลินิก จำนวนท่าเรือ และจำนวนมหาวิทยาลัย และควรเพิ่มเติมตัวแปรจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญ เพราะสถานที่ท่องเที่ยวเป็นปัจจัยดึงดูดซึ่งเป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของประชากร[26]

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือจากหน่วยงานหลายภาคส่วน ขอขอบคุณสำนักประเมินราคาทรัพย์สิน กรมธนารักษ์

ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลราคาประเมินที่ดินและจำนวนที่พักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ขอขอบคุณสำนักงานโยธา ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลความยาวของถนนสายหลักแยกตามเขตของกรุงเทพมหานคร ขอขอบคุณสำนักงานสถิติแห่งชาติที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลค่าใช้จ่ายของประชากรในกรุงเทพมหานคร ขอขอบคุณ www.ezymaps.com ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลจำนวนห้างสรรพสินค้า ร้านสะดวกซื้อ จำนวนท่าเรือ จำนวนสถานีรถไฟ จำนวนสถานศึกษา ขอขอบคุณคณะกรรมการจัดการโลจิสติกส์และการคมนาคมขนส่ง โดยเฉพาะ คุณสุธิดา เล็กแหลมหลัก ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำเอกสารติดต่อประสานงานกับหน่วยงานราชการ ขอขอบคุณ ดร.อนุพงศ์ ทิ้งในธรรม ที่ให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยในการดาวน์โหลดบทความวิจัยในต่างประเทศ ขอขอบคุณ ดร. ภูวศล ศิริรังษี ที่ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยให้แก่ผู้วิจัย ขอขอบคุณ บริษัท อีเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย) จำกัด ที่คอยให้แนะนำทางด้านเทคนิคการใช้ซอฟต์แวร์ ArcGIS ในการนำเสนอข้อมูล นอกจากนี้ ส่วนสำคัญที่ช่วยให้งานวิจัยราบรื่นไปได้ด้วยดี คือ ซอฟต์แวร์ Geo-detector จากถูกพัฒนา โดยทีมคณาจารย์ของมหาวิทยาลัยจากสาธารณรัฐประชาชนจีน ได้แก่ 1) Professor Jin-Feng Wang 2) Professor Xin-Hu Li 3) Professor George Christakos 4) Professor Yi-Lan Liao 5) Professor Tin Zhang 6) Professor Xue Gu และ 7) Professor Xia-Ying Zheng ผู้ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้นมาให้บุคคลทั่วไปสามารถใช้งานได้ และมีงานวิจัยมากกว่า 1,000 ชิ้น ที่เกิดขึ้นจากซอฟต์แวร์นี้ในสาธารณรัฐประชาชนจีน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนา สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ ที่ให้การสนับสนุนทุนพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีการศึกษา 2562 แก่ผู้วิจัย ขอขอบคุณผู้ประสานงานโครงการวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณเมธพร ใจสุทธิ ที่คอยให้คำแนะนำในการทำวิจัยและติดตามผลการดำเนินงานของผู้วิจัยมาโดยตลอด

หากผลการศึกษานี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้เพื่อปรับปรุงและแก้ไขสำหรับการศึกษาในภายภาคหน้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Dasgupta, “The population problem: theory and evidence. *Journal of economic literature*,” *Journal of Economic Literature*, vol. 33, no. 4, pp. 1879–1902, 1995.
- [2] Y. Liu and F. Yamauchi, “Population density, migration, and the returns to human capital and land: Insights from Indonesia,” *Food Policy*, vol. 48, pp. 182–193, 2014, doi: 10.1016/j.foodpol.2014.05.003.
- [3] S. S. Kim, C. K. Lee and D. B. Klenosky, “The influence of push and pull factors at Korean national parks,” *Tourism management*, vol. 24, no. 2, pp. 169–180, 2003, doi: 10.1016/S0261-5177(02)00059-6.
- [4] E. Swyngedouw, F. Moulaert and A. Rodriguez, “Neoliberal urbanization in Europe: large-scale urban development projects and the new urban policy,” *Antipode*, vol. 34, no. 3, pp. 542–577, 2002, doi: 10.1111/1467-8330.00254.
- [5] D. L. Carr, L. Suter and A. Barbieri, “Population dynamics and tropical deforestation: state of the debate and conceptual challenges,” *Population and Environment*, vol. 27, no. 1, pp. 89–113, 2005, doi: 10.1007/s11111-005-0014-x.
- [6] Y. N. Guo, J. Cheng, Y. Y. Cao and Y. Lin, “A novel multi- population cultural algorithm adopting knowledge migration,” *Soft computing*, vol. 15, pp. 897–905, 2011, doi: 10.1007/s00500-010-0556-4.
- [7] P. H. Gleick, “Transitions to freshwater sustainability,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, no.36, pp. 8863–8871, 2018, doi: 10.1073/pnas.1808893115.
- [8] M. T. Hannan and J. Freeman, “The population ecology of organizations,” *American journal of sociology*, vol. 82, no. 5, pp. 929–964, 1977.
- [9] G. P. Li and X. X. Chen, “Empirical research on influencing factors on population growth of Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region,” *Geographical Research*, vol. 28, pp. 191–202, 2009.
- [10] A. Lomnicki, “Individual- based models and the individual-based approach to population ecology,” in *eLs*, New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011, [Online]. Available: <http://doi.org/10.1002/9780470015902.a0003312.pub2>
- [11] J. Damuth, “Population density and body size in mammals,” *Nature*, vol. 290, pp. 699–700, 1981, Art. no. 5808.
- [12] Y. Ren, L. Deng, S. Zuo, Y. Luo, G. Shao, X. Wei, L. Hua and Y. Yang, “Geographical modeling of spatial interaction between human activity and forest connectivity in an urban landscape of southeast China,” *Landscape Ecology*, vol. 29, pp. 1741–1758, 2014, doi: 10.1007/s10980-014-0094-z.
- [13] M. Renkow and D. Hoover, “Commuting, migration, and rural – urban population dynamics,” *Journal of regional science*, vol. 40, no. 2, pp. 261–287, 2000, doi: 10.1111/0022-4146.00174.
- [14] J. Shen, N. Zhang, Gexigeduren, B. He, C. -Y. Liu, Y. Li, H. -Y. Zhang, , X. -Y. Chen and H. Lin, “Construction of a GeogDetector-based model system to indicate the potential occurrence of grasshoppers in Inner Mongolia steppe habitats,” *Bulletin of Entomological Research*, vol. 105, pp. 335–346, 2015, doi: 10.1017/S0007485315000152.
- [15] A. Shrestha, “Application of Geodetector Method and Other Statistical Methods to Study Groundwater Vulnerability to Nitrate Contamination in The Central Valley Aquifer, California,” Ph.D. dissertation, Dept. Geographic and Atmospheric Sciences, Northern Illinois Univ., Northeast Illinois, IL, USA, 2019.
- [16] L. Wang and L. Chen, “The impact of new transportation modes on population distribution in

- Jing- Jin- Ji region of China,” *Scientific data*, vol. 5, 2018, Art. no. 170204, doi: 10.1038/sdata.2017.204.
- [17] Walters, A. J. C. & Freeman, G. M. The quality of big (geo) data. *Dia. In Hum. Geogr* 3, 280–284 (2013).
- [18] J. F. Wang, X. H. Li, G. Christakos, Y. -L. Liao, T. Zhang, X. Gu and X. -Y Zheng, “Geographical detectors- based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China,” *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 24, no. 1, pp. 107–217, 2010, doi: 10.1080/13658810802443457.
- [19] S. Uttayanin, A. Intaraksa and K. Duangmal, “Influences of Socio- Economic Factors Affecting to Population Dynamics in Thung Rangsit Area, Pathum Thani,” *Journal of the Association of Researchers*, vol. 24, no. 2, pp. 111–122, 2020.
- [20] H. Wang, J. Gao and W. Hou, “Quantitative attribution analysis of soil erosion in different geomorphological types in karst areas: Based on the geodetector method,” *Journal of Geographical Sciences*, vol. 29, pp. 271–286, 2019, doi: 10.1007/s11442-019-1596-z.
- [21] W. Xinge, X. Jianchao, Y. Dongyang, and C. Tian, “Spatial Differentiation of Rural Touristization and Its Determinants in China: A Geo-Detector- Based Case Study of Yesanpo Scenic Area,” *Journal of Resources and Ecology*, vol. 7, no. 6, pp. 464–471, 2016, doi: 10.5814/j.issn.1674-764x.2016.06.006.
- [22] Y. Yang, X. Yang, M. He and G. Christakos, “Beyond mere pollution source identification: Determination of land covers emitting soil heavy metals by combining PCA/APCS, GeoDetector and GIS analysis,” *Catena*, vol. 185, 2020, Art. no. 104297, doi: 10.1016/j.catena.2019.104297.
- [23] K. Kopczewska, P. Churski, A. Ochojski, and A. Polko, “SPAG: Index of spatial agglomeration,” *Papers in Regional Science*, vol. 98, no. 6, pp. 2391–2424, 2019, doi: 10.1111/pirs.12470.
- [24] K. Zhang, D. Sun, S. Shen and Y. Zhu, “Analyzing spatiotemporal congestion pattern on urban roads based on taxi GPS data,” *Journal of Transport and Land Use*, vol. 10, no. 1, pp. 675–694, 2017, doi: 10.5198/jtlu.2017.954.
- [25] C. Rodjam, “Factors affecting towards migration of labor from rural areas to Bangkok,” Rajapruk University, Nonthaburi, Thailand, Final Rep, 2011.(in Thai)
- [26] W. Khuan-arch and P. Thinphanga, “Definition of Urban and Urbanization,” in *Urbanisation in Thailand*, Bangkok, Thailand: Environment Institute, pp. 1–34, [Online] Available: <http://www.tei.or.th/thaicityclimate/public/research-46.pdf>
- [27] S. Wang, D. Yu, X. Ma and X. Xing, “Analyzing urban traffic demand distribution and the correlation between traffic flow and the built environment based on detector data and POIs,” *European Transport Research Review*, vol. 10, 2018, Art. no. 50, doi: 10.1186/s12544-018-0325-5.
- [28] X. Wang, L. Gu, T. J. Kwon and T. Z. Qiu, “A geostatistical investigation into the effective spatiotemporal coverage of road weather information systems in Alberta,” *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2018, 2018, Art. no. 5179694, doi: 10.1155/2018/5179694.
- [29] X. Lin, J. Yang, Z. Tao, J. Song and T. Ren, “Transport investment, economic spatial aggregation, and multiple paths: A joint estimation by spatial panel and structural equation modeling,” *Acta Geographica Sinica*, vol. 73, no. 10, pp. 1970–1984, 2018, doi: 10.11821/dlxb201810011.
- [30] J. Cai, B. Xu, K. K. Y. Chan, X. Zhang, B. Zhang, Z. Chen and B. Xu, “Roles of different transport modes in the spatial spread of the 2009 influenza A(H1N1)

- pandemic in mainland China,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, no. 2, 2019, doi: 10.3390/ijerph16020222.
- [31] X. Lin, I. MacLachlan, T. Ren and F. Sun, “Quantifying economic effects of transportation investment considering spatiotemporal heterogeneity in China: a spatial panel data model perspective,” *The Annals of Regional Science*, vol. 63, pp. 437–459, 2019, doi: 10.1007/s00168-019-00937-8.
- [32] X. Q. Hao, Y. P. Shi and X. N. Zhang XN, “The distribution of traffic crashes and the geographical detection of influencing factors in county,” *Transportation Engineering*, vol. 19, no. 6, pp. 53-60, 2019.
- [33] J. B. Zhang and Q. L. Chen, “Analysis of spatial temporal evolution and influencing factor in regional integrated transport efficiency differences,” *Journal of Guizhou University (Social Sciences)*, vol. 37, no. 6, pp. 34-42, 2019.
- [34] S. Li, D. Lyu, G. Huang, X. Zhang, F. Gao, Y. Chen, X. Liu, “Spatially varying impacts of built environment factors on rail transit ridership at station level: A case study in Guangzhou, China,” *Journal of Transport Geography*, vol. 82, 2020, Art. no. 102631, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2019.102631.
- [35] J. Liu, S. Nambisan, X. Li and X. Fu, “Are young Americans carless across the United States? A spatial analysis,” *Transportation Research Part D*, vol. 78, 2020, doi: 10.1016/j.trd.2019.11.026.
- [36] Y. Song, P. Wu, D. Gilmore and Q. Li, “A spatial heterogeneity- based segmentation model for analyzing road deterioration network data in multi- scale infrastructure systems,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 22, no. 11, pp. 7073–7083, 2020, doi: 10.1109/TITS.2020.3001193.
- [37] B. Lu, M. Liu, Q. Ming, A. Liu and T. Li, “Coupling and coordination situation and dynamic mechanism between tourism and transportation industry in China,” *World Regional Studies*, vol. 29, no. 1, pp. 148–158, 2020, doi: 10.3969/j.issn.1004-9479.2020.01.2018429.
- [38] A. Shrestha and W. Luo, “An assessment of groundwater contamination in Central Valley aquifer, California using geodetector method,” *Annals of GIS*, vol. 23, no. 3, pp. 149–166, 2017 doi: 10.1080/19475683.2017.1346707.
- [39] A. Shrestha and W. Luo “Analysis of groundwater nitrate contamination in the central valley: comparison of the Geodetector Method, Principal Component Analysis and Geographically Weighted Regression,” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 6, no. 10, pp. 297, 2017, doi: 10.3390/ijgi6100297.
- [40] W. Jinfeng. (2018). Geodetector & Its Applications in Natural & Social Sciences [Online]. Available: <http://www.sssampling.cn/down/181203Geodetector-open.pdf>