



ชื่อเรื่องภาษาไทย อิทธิพลของความเปราะบางทางสังคมต่อการเสียชีวิตจากโควิด-๑๙ ในประเทศไทย
ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ Thailand Social Vulnerability Indices Effect on COVID-19 Fatality
ผู้วิจัย นางสาวทิตยา สกุลมั่งมี อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์พัฒนา ราชวงศ์
หลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์ ปีการศึกษา 2566
สถาบัน คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร


รองศาสตราจารย์พัฒนา ราชวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี


อาจารย์อัญญาลักษณ์ จันทรสมบัติ ประธานหลักสูตร
วท.บ.สาขาวิชาภูมิศาสตร์


ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร.ต.ดร.รังสรรค์ เกตุอืด หัวหน้าภาควิชา
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

Abstract

We find the results of this particular research on The *Thailand Social Vulnerability Indices Effect on COVID-19 Fatality* that the macro-level spatial distribution of case fatality rate and social vulnerability index, with the Moran's I value of CFR, 0.3508, it shows a related direction with the surrounding area. While SVI has a Moran's I 0.2090, indicating that social vulnerability is randomly distributed. There are 4 portions of a set of CFR & SV micro-geographical distribution analysis: HH, HL, LH and LL. The CFR HH portion appears in high-risk areas consists of 12 provinces: Samut Sakhon, Bangkok, Pathum Thani, Nakhon Pathom, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Saraburi, Lopburi, Ang Thong, Singburi, Suphanburi, Chainat, and Uthai Thani. The SVI HH portion is an area with high social vulnerability, consists of 3 provinces: Surin, Yala, and Narathiwat. The Ordinary Least Square Regression, Geographically Weighted Regression, and Random Forest Regression yield the ordinary multiple R-Square values of 0.000617, 0.2991, and 0.5700. The Random Forest Regression constructs the increasing relationship between CFR and SVI in each area. We can create a regression equation to predict this relationship very well. Chiang Rai, Lampang, Tak, Sing Buri, Ang Thong, and Nakhon Pathom are the provinces that are higher CFR +2SD than the average, while Chiang Mai, Kamphaeng Phet, Saraburi, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Suphanburi, Bangkok, Samut Prakan, Samut Songkhram, and Ranong are the provinces that are higher CFR +1SD above average.

คำสำคัญ อัตราการป่วยเสียชีวิต ดัชนีความเปราะบางทางสังคม การกระจายทางพื้นที่ระดับมหภาค-จุลภาค

ที่มาและความสำคัญ

การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ได้เริ่มต้นขึ้นในเดือนธันวาคม 2562 โดยพบครั้งแรกในนครอู่ฮั่น เมืองหลวงของมณฑลหูเป่ย์ สาธารณรัฐ ประชาชนจีน วันที่ 13 มกราคม 2563 กระทรวงสาธารณสุขไทยแถลงข่าวพบผู้ป่วยติดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ เป็นรายแรกของโลกที่พบนอกสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยเป็นนักท่องเที่ยวชาวจีนที่เดินทางมายังประเทศไทย หลังจากนั้นในประเทศไทยก็พบผู้ป่วยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยในช่วงแรกนั้นเป็นนักท่องเที่ยวชาวจีน จนกระทั่ง 31 มกราคม 2563 พบผู้ป่วยคนไทยคนแรกที่ติดเชื้อ SARS-CoV-2 มีอาชีพขับรถแท็กซี่ โดยที่มีประวัติรับผู้ป่วยชาวจีนไปส่งโรงพยาบาล วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2563 องค์การอนามัยโลกประกาศการกำหนดชื่อโรคที่เกิดจากการติดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ให้เรียกว่าโรคโควิด-๑๙ หรือโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 แม้ว่าตลอดระยะเวลากว่า 4 ปี ที่มีการระบาดใหญ่ทั่วโลก ประเทศไทยจะได้รับการยกย่องจากนานาชาติว่า สามารถบริหารจัดการควบคุมการระบาดและการเสียชีวิตได้เป็นอย่างดี โดยมีจำนวนผู้ติดเชื้อยืนยัน 4,755,175 ราย และมีผู้เสียชีวิตเพียง 34,425 ราย แต่ว่าทั้งหมดนี้เป็นภัยอันตรายครั้งใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่อทุกๆ ส่วนทั้งหมดทั้งหมด ที่สำคัญคือการส่งผลกระทบต่อชีวิตประชาชน งานวิจัยฉบับนี้ต้องการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายและความสัมพันธ์เชิงเหตุทางพื้นที่ของการป่วยเสียชีวิตกับดัชนีความเปราะบางทางสังคม เพื่อให้ได้ข้อเสนอสำหรับการบริหารจัดการเชิงพื้นที่ในอนาคตต่อไป

อย่างไรก็ดี เพื่อให้มีแบบอย่างที่ดีและได้มองเห็นช่องว่างของงานวิจัย ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4 เรื่อง เป็นงานวิจัยของ Djalma *et al.* (2021) ที่ชี้ว่าประเทศบราซิลเป็นประเทศขนาดใหญ่ใหญ่ที่มีสภาพเศรษฐกิจ วัฒนธรรม และสังคม แตกต่างกัน ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ระดับอัตราการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ ด้วยการวิเคราะห์กาลเทศะในช่วงเวลาที่มีการระบาดใหญ่ของปี 2020-21 ซึ่งเป็นช่วงการระบาดเป็นคลื่นลูกที่ 1 โดยพบว่า ประเทศบราซิลมีอัตราการป่วยเสียชีวิต ร้อยละ 2.02 ซึ่งเป็นระดับที่ไม่สามารถจะควบคุมอะไรได้แล้ว ขณะที่งานวิจัยของ Andrade *et al.* (2021) ได้ทำการประเมินการกระจายเชิงพื้นที่ของอัตราการป่วยเสียชีวิตและอันตรายร้ายแรง (mortality and lethality rate) ของโควิด-๑๙ ในภูมิภาคที่มีความเปราะบางทางสังคมสูง ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า โรคระบาดที่เป็นสาเหตุของการเสียชีวิตจำนวนมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของบราซิล โดยกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงต่อการป่วยเสียชีวิตส่วนใหญ่อยู่ในเขตเทศบาลบนชายฝั่งและเป็นกลุ่มผู้ที่มีความเปราะบางทางสังคมสูง งานวิจัยของ Girma *et al.* (2022) แสดงปัจจัยทางสุขภาพ 7 ปัจจัยที่ทำให้มีผู้ป่วยเสียชีวิตในแต่ละภูมิภาคของเอธิโอเปีย ผลการศึกษาพบว่า อัตราการป่วยเสียชีวิต ระหว่างร้อยละ 1-20 ขึ้นอยู่กับแต่ละภูมิภาค รวมถึงยังได้เห็นว่า ภาวะโรครวม กลุ่มสูงอายุ เพศชาย การใช้สารเสพติด อาการแสดงทางคลินิก เช่น ระดับความอิมตัวของออกซิเจนที่ผิดปกติ จำนวนเม็ดเลือดขาว การมีภาวะไข้ และภาวะการหายใจลำบาก ความรุนแรงของโรค และประวัติการผ่าตัด/การบาดเจ็บ เหล่านี้เป็นตัวเพิ่มโอกาสในการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ และงานวิจัยของ Lua *et al.* (2021) ที่ใช้ geographically weighted random forest (GW-RF) เพื่อประเมินความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นระหว่างอัตราการป่วยเสียชีวิตจากโควิด-๑๙ และปัจจัยเสี่ยง 47 ประการ

ผลของ GW-RF แสดงให้เห็นว่าปัจจัยเสี่ยงต่างๆ เช่น ไปทำงานโดยการเดิน ความเข้มข้นของสารเบนซีนในอากาศ เจ้าของบ้านที่มีภาระงาน การว่างงาน ความเข้มข้นของ PM2.5 ในอากาศ และสัดส่วนคนผิวดำหรือชาวอเมริกันเชื้อสายแอฟริกัน มีความสัมพันธ์สูงกับการกระจายเชิงพื้นที่ของอัตราการป่วยเสียชีวิตจากโควิด-๑๙

กรอบแนวความคิดและระเบียบวิธีการ

อัตราการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙

ตัวแปรหลักในการทำความเข้าใจลักษณะทางระบาดวิทยาของการระบาดหรือการแพร่ระบาด มีสองอย่าง คือ จำนวนการติดเชื้อ (R_0 : reproduction numbers) และอัตราการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ (CFR: case fatality rate) ทั้งนี้ R_0 เป็นมาตรวัดทางระบาดวิทยาที่ใช้เพื่อประเมินความสามารถในการแพร่เชื้อของเชื้อที่ทำให้เกิดการระบาด ดัชนีตัวนี้อธิบายจำนวนผู้ป่วยรายใหม่โดยเฉลี่ยที่เกิดจากผู้ติดเชื้อ ปริมาณ R_0 ที่สูงขึ้น บ่งชี้ว่าสามารถแพร่เชื้อได้สูงสุด ค่า R_0 โดยประมาณของไวรัสที่ทำให้เกิดโรคโควิด-๑๙ คือ 3.32 มีหมายความว่า ผู้ติดเชื้อหนึ่งรายสามารถแพร่เชื้อไวรัสไปยังบุคคลที่มีความอ่อนแอได้ 3-4 คน ส่วนอัตราการป่วยเสียชีวิตเป็นดัชนีที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งช่วยให้เข้าใจลักษณะทางระบาดวิทยาของการระบาด อัตราการป่วยเสียชีวิต ของโควิด-๑๙ หมายถึงจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ หารด้วยจำนวนผู้ติดเชื้อ SARS-CoV-2 ทั้งหมด รายงานอัตราการป่วยเสียชีวิตของ โรคโควิด-๑๙ ก่อนหน้านี้มีความผันแปรสูง สาเหตุหลักของความแตกต่างนี้อาจแตกต่างกันไปเนื่องจากความไวของระบบเฝ้าระวัง ความไวของระบบเฝ้าระวังต่ำ เนื่องจากกว่าร้อยละ 80 ของผู้ป่วยไม่แสดงอาการของโรคหรือแสดงอาการไม่รุนแรง

ดังนั้น กรณีที่ระบบเฝ้าระวังผิดพลาดไปจะไม่ถูกพิจารณาในส่วน และอาจนำไปสู่การประเมินค่าอัตราการป่วยเสียชีวิต สูงเกินไป มีการศึกษาเบื้องต้นหลายการศึกษาเพื่อประเมิน อัตราการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ ทั่วโลก และรายงานขนาดที่แตกต่างกันอย่างมา อย่างไรก็ตาม ไม่มีการศึกษาทบทวนใดพยายามที่จะประเมิน อัตราการป่วยเสียชีวิตรวมของโรคโควิด-๑๙ จากเอกสารที่มีอยู่ เพื่อให้เข้าใจธรรมชาติของการระบาดและความรุนแรงของโรคได้ดีขึ้น ดังนั้น การศึกษาจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมิน อัตราการป่วยเสียชีวิตรวมของโรคโควิด-๑๙ จากการศึกษาหลักที่รายงานจากประเทศต่างๆ โดยใช้การทบทวนอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์อภิมาน

อย่างไรก็ตาม อัตราการป่วยเสียชีวิตขึ้นอยู่กับกรณีและการเสียชีวิตที่ได้รับการยืนยันเป็นอย่างมาก และอาจไม่สามารถสะท้อนภาพโดยรวมภายในประชากรได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากมีผู้ป่วยที่ไม่ได้รายงานและการเสียชีวิตตามมา อาจแตกต่างกันมากสำหรับโรคเดียวกันในเมืองและประเทศต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับลักษณะของประชากร เช่น อายุเฉลี่ย ตลอดจนการเข้าถึงระบบการรักษาพยาบาลที่มีประสิทธิภาพและให้เปล่า ระดับภูมิคุ้มกันก่อนหน้า (เช่น การฉีดวัคซีน) และกลยุทธ์การรักษา อัตราการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ อาจแตกต่างกันมากสำหรับโรคเดียวกันในเมืองและประเทศต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับลักษณะของประชากร

เช่น อายุเฉลี่ย ตลอดจนการเข้าถึงระบบการรักษาพยาบาลที่มีประสิทธิภาพและฟรี ระดับภูมิคุ้มกันก่อนหน้า (เช่น การฉีดวัคซีน) และกลยุทธ์การรักษา

ดัชนีความเปราะบางทางสังคม

สมการที่ใช้ในการคำนวณดัชนีความเปราะบางทางสังคม (SVI: social vulnerability index) ของแต่ละจังหวัดของประเทศไทยครั้งนี้ พิจารณาจากตัวกำหนดความเปราะบางทางสังคม 3 ส่วน คือ สาธารณูปโภค ทุนมนุษย์ และสังคมเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นตัวกำหนดขององค์การอนามัยโลก (WHO: world health organization) การวิจัยครั้งนี้ได้เลือกเฉพาะปัจจัยที่มีความสำคัญในแต่ละส่วน โดยส่วนของสาธารณูปโภคใช้สัดส่วนแพทย์ต่อประชากรแสนคนเป็นปัจจัยชี้วัดเพียงปัจจัยเดียว ทุนมนุษย์ใช้สุขภาพของประชาชนเป็นตัวชี้วัดผ่านภาวะการเจ็บป่วยของประชาชน ซึ่งมีสัดส่วนการเจ็บป่วยเป็นโรคไม่ติดต่อ 5 โรคต่อประชากรพันคน และสังคมเศรษฐกิจใช้ภาวะความยากจนที่มีสัดส่วนความยากจนต่อประชากรร้อยละเป็นตัวชี้วัด

ในเชิงหลักการเพื่อนำหลักการไปสร้างเป็นสมการคณิตศาสตร์ ตัวแปรสาธารณูปโภค (INF: infrastructure) ที่ใช้จำนวนแพทย์เป็นตัวชี้วัด ตัวชี้วัดนี้พิจารณาถึงไปให้เห็นถึงอิทธิพลที่ปัจจัยนี้มีต่อความเปราะบางทางสังคม พบว่า มีอิทธิพลเชิงลบ กล่าวคือ หากพื้นที่ใดมีสัดส่วนจำนวนแพทย์มาก พื้นที่นั้นๆ จะมีระดับความเปราะบางต่ำ ตรงกันข้าม หากพื้นที่ใดมีสัดส่วนจำนวนแพทย์น้อย พื้นที่นั้นๆ จะมีระดับความเปราะบางสูง ในที่นี้จึงถือว่า ตัวแปรสาธารณูปโภคที่ใช้จำนวนแพทย์เป็นตัวชี้วัดมีอิทธิพลเชิงลบ (-INF) ต่อความเปราะบางทางสังคม เขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$SVI = -INF$$

ตัวแปรทุนมนุษย์ (HC: human capital) ที่ใช้จำนวนผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อ 5 โรค เป็นตัวชี้วัด ตัวชี้วัดนี้มีอิทธิพลเชิงบวกต่อความเปราะบางทางสังคม กล่าวคือ หากพื้นที่ใดมีสัดส่วนจำนวนผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อน้อย พื้นที่นั้นๆ จะมีระดับความเปราะบางสูง และเป็นเช่นเดียวกัน หากพื้นที่ใดมีสัดส่วนจำนวนผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อน้อย พื้นที่นั้นๆ จะมีระดับความเปราะบางต่ำ ในที่นี้จึงถือว่า ตัวแปรทุนมนุษย์ที่ใช้จำนวนผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อเป็นตัวชี้วัดมีอิทธิพลเชิงบวก (+HC) ต่อความเปราะบางทางสังคม เขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$SVI = +HC$$

ตัวแปรสังคมเศรษฐกิจ (ECON: socio-economic feature) ที่ใช้สัดส่วนความยากจน เป็นตัวชี้วัด ตัวชี้วัดนี้มีอิทธิพลเชิงบวกต่อความเปราะบางทางสังคม กล่าวคือ หากพื้นที่ใดมีสัดส่วนความยากจนมาก พื้นที่นั้นๆ จะมีระดับความเปราะบางสูง และเป็นเช่นเดียวกัน หากพื้นที่ใดมีสัดส่วนความยากจนน้อย พื้นที่นั้นๆ จะมีระดับความเปราะบางต่ำ ในที่นี้จึงถือว่า ตัวแปรสังคมเศรษฐกิจที่ใช้สัดส่วนความยากจนเป็นตัวชี้วัดมีอิทธิพลเชิงบวก (+ECON) ต่อความเปราะบางทางสังคม เขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$SVI = +ECON$$

เมื่อนำสมการทั้งสามมาผนวกกันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ดัชนีความเปราะบางทางสังคม จึงเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ขึ้นมาใหม่ได้ว่า

$$SVI = HC + ECON - INF$$

สมการคณิตศาสตร์ข้างบน อธิบายตามกรอบการวิจัยครั้งนี้ว่าดัชนีความเปราะบางทางสังคม เป็นส่วนผสมของตัวแปรสาธารณสุขภาคที่ใช้จำนวนแพทย์เป็นตัวชี้วัด ตัวแปรทุนมนุษย์ที่ใช้จำนวนผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อ 5 โรคเป็นตัวชี้วัด และตัวแปรสังคมเศรษฐกิจที่ใช้สัดส่วนความยากจนเป็นตัวชี้วัด โดยมีสองตัวแปร คือ ทุนมนุษย์และสภาพสังคมเศรษฐกิจ มีอิทธิพลเชิงบวกต่อดัชนีความเปราะบางทางสังคม และอีกตัวแปรหนึ่ง คือ สาธารณูปโภค มีอิทธิพลเชิงลบต่อดัชนีความเปราะบางทางสังคม



ภาพที่ 1 กรอบแนวความคิดการวิจัย

การวิเคราะห์การกระจายระดับมหภาคด้วย Global Moran's I

Moran's I เป็นตัววัดความสัมพันธ์อัตโนมัติเชิงพื้นที่ที่พัฒนาโดย Patrick Alfred Pierce Moran ทั้งนี้ความสัมพันธ์อัตโนมัติเชิงพื้นที่แสดงลักษณะเฉพาะด้วยสหสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างสถานที่ใกล้เคียงบนพื้นที่หนึ่งๆ โดยสหสัมพันธ์อัตโนมัติเชิงพื้นที่นี้มีความซับซ้อนมากกว่าสหสัมพันธ์อัตโนมัติเชิงพื้นที่ทั่วๆ ไป เนื่องจากเป็นสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่หลายมิติและหลายทิศทาง ค่า Moran's I ขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่สร้างขึ้นในเมทริกซ์น้ำหนักเชิงพื้นที่ได้ไม่น้อย เมทริกซ์เป็นสิ่งที่จำเป็นเนื่องจาก เพื่อที่จะจัดการกับความสัมพันธ์อัตโนมัติเชิงพื้นที่และแบบจำลองปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่ เราจำเป็นต้องกำหนดโครงสร้างเพื่อจำกัดจำนวนเพื่อนบ้านที่จะพิจารณา สิ่งนี้เกี่ยวข้องกับกฎภูมิศาสตร์ข้อที่หนึ่งของทอบเลอร์ (Tobler's first law of geography) ซึ่งระบุว่าทุกสิ่งขึ้นอยู่กับสิ่งอื่นทั้งหมด แต่สิ่งที่อยู่ใกล้กว่านั้นมากกว่านั้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง กฎดังกล่าวเป็นนัยถึงฟังก์ชันการสลายตัวของระยะห่างเชิงพื้นที่ ถึงแม้ว่าการสังเกตทั้งหมดจะมีอิทธิพลต่อสิ่งอื่นๆ ทั้งหมด หลังจากเกณฑ์ระยะทางที่มีอิทธิพลสามารถละเลยได้

แนวคิดคือการสร้างเมทริกซ์ที่สะท้อนสมมติฐานของคุณเกี่ยวกับปรากฏการณ์เชิงพื้นที่นั้นๆ ได้อย่างถูกต้อง วิธีการทั่วไปคือการให้น้ำหนักเป็น 1 ถ้าสองโหนดเป็นเพื่อนบ้าน และให้ 0 ถ้าเป็นอย่างอื่น แม้ว่าค่าจำกัดความของ 'เพื่อนบ้าน' จะแตกต่างกันไปก็ตาม วิธีทั่วไปอีกวิธีหนึ่งคือให้น้ำหนัก 1 ถึง k เพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด หรือ 0 หากไม่เช่นนั้น อีกทางเลือกหนึ่งคือการใช้ฟังก์ชันการสลายตัวของระยะทางในการกำหนดน้ำหนัก บางครั้งความยาวของขอบที่ใช้ร่วมกันจะถูกใช้เพื่อกำหนดน้ำหนักที่แตกต่างกันให้กับเพื่อนบ้าน การเลือกเมทริกซ์น้ำหนักเชิงพื้นที่ควรได้รับคำแนะนำจากทฤษฎีเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เป็นปัญหา ค่าของ I ค่อนข้างอ่อนไหวต่อน้ำหนักและสามารถมีอิทธิพลต่อข้อสรุปที่คุณทำเกี่ยวกับปรากฏการณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ระยะทาง

การวิเคราะห์การกระจายระดับจุลภาคด้วย Cluster and Outlier Analysis

การวิเคราะห์ global spatial autocorrelation analysis ให้ผลเพียงสถิติเดียวในการสรุปพื้นที่การศึกษาทั้งหมด กล่าวอีกนัยหนึ่ง การวิเคราะห์ระดับกว้างถือว่ามีความเป็นเนื้อเดียวกัน หากสมมติฐานดังกล่าวไม่เป็นไปตามนั้น การมีสถิติเพียงรายการเดียวก็ไม่สมเหตุผล เนื่องจากสถิติควรแตกต่างกันตามพื้นที่ ยิ่งไปกว่านั้น แม้ว่า จะไม่มีความสัมพันธ์อัตโนมัติระดับกว้างหรือไม่มีการจัดกลุ่ม แต่เรายังสามารถค้นหากลุ่มในระดับท้องถิ่นได้โดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์อัตโนมัติเชิงพื้นที่ในพื้นที่ ความจริงที่ว่า Moran's I เป็นผลรวมของผลิตภัณฑ์ข้ามแต่ละอันถูกใช้ประโยชน์โดย "ตัวบ่งชี้ท้องถิ่นของการเชื่อมโยงเชิงพื้นที่" (LISA: local indicators of spatial association) เพื่อประเมินการจัดกลุ่มในแต่ละหน่วยเหล่านั้นโดยการคำนวณ Moran's I ในพื้นที่สำหรับแต่ละหน่วยเชิงพื้นที่และประเมินนัยสำคัญทางสถิติสำหรับแต่ละหน่วย ทั้งนี้เครื่องมือนี้ยังจะได้ระบุค่าผิดปกติเชิงพื้นที่โดยจะคำนวณค่า local Moran's I , z-score, pseudo p-value และรหัสแสดงประเภทของคลัสเตอร์สำหรับคุณลักษณะที่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่ละรายการ ค่า z-score และ pseudo p-value จะเป็นตัวแสดงถึงนัยสำคัญทางสถิติของค่าดัชนีที่คำนวณ พร้อมแสดงรูปแบบทางพื้นที่ออกมาเป็นแผนที่คลอโรพลีต

การวิเคราะห์การถดถอยระดับมหภาคด้วย Ordinary Least Square Regression

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นชุดของกระบวนการทางสถิติสำหรับการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (dependent or predicted variable) และตัวแปรอิสระ (explanatory variable) ตั้งแต่หนึ่งตัวขึ้นไป รูปแบบทั่วไปของการวิเคราะห์การถดถอย คือ การถดถอยเชิงเส้น ซึ่งการวิเคราะห์จะเป็นการค้นหาเส้นที่มีโอกาสใกล้เคียงกับข้อมูลมากที่สุด ตามเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์เฉพาะ ทั้งนี้ในการดำเนินการการถดถอยเชิงเส้นมหภาค (OLS: ordinary least squares) เพื่อสร้างการคาดการณ์หรือเพื่อสร้างแบบจำลองตัวแปรตามในแง่ของความสัมพันธ์กับชุดตัวแปรอธิบาย เส้นทางแบบเต็มไปยังตารางเสริมซึ่งจะได้รับค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน ข้อผิดพลาดมาตรฐาน และความน่าจะเป็นสำหรับตัวแปรอธิบายแต่ละตัว

การวิเคราะห์ถดถอยระดับท้องถิ่นด้วย Geographically Weighted Regression

การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักทางภูมิศาสตร์ (GWR: geographically weighted regression) เป็นเทคนิคทางสถิติเชิงพื้นที่เฉพาะที่ใช้เพื่อวิเคราะห์ความไม่คงที่เชิงพื้นที่ เช่น สภาพภูมิอากาศ ปัจจัยทางประชากร ลักษณะสภาพแวดล้อมทางกายภาพ และจำลองความสัมพันธ์ในท้องถิ่นระหว่างตัวทำนายเหล่านี้กับผลลัพธ์ที่น่าสนใจ ซึ่งหมายถึงเมื่อการวัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแตกต่างกันไปในแต่ละตำแหน่ง (Fotheringham et al., 2002) การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักทางภูมิศาสตร์ เป็นรูปแบบท้องถิ่นของการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ที่นำมาใช้ในปี 1996 ในวรรณกรรมทางภูมิศาสตร์ที่วาดจากแนวทางทางสถิติสำหรับการประยุกต์ใช้การปรับเส้นโค้งและทำให้เรียบ วิธีการนี้ใช้แนวคิดที่เรียบง่ายแต่ทรงพลังในการประมาณแบบจำลองในท้องถิ่นโดยใช้ชุดย่อยของการสังเกตที่มีศูนย์กลางอยู่ที่จุดโฟกัส นับตั้งแต่เปิดตัวการถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักทางภูมิศาสตร์ ได้รับความสนใจอย่างรวดเร็วจากหลาย ๆ คนในภูมิศาสตร์และสาขาอื่น ๆ ในเรื่องศักยภาพในการตรวจสอบความสัมพันธ์ที่ไม่คงที่ในการวิเคราะห์การถดถอย แนวคิดพื้นฐานยังถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้สถิติเชิงพรรณนาในท้องถิ่นและแบบจำลองอื่นๆ เช่น การถดถอยและโปรบิตของ วิธีการนี้มีประโยชน์ในการเน้นย้ำถึงการมีอยู่ของความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่อาจซับซ้อน ในเวลาเดียวกัน มีการถกเถียงกันหลายครั้งเกี่ยวกับลักษณะและขอบเขตของการประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าว รวมถึงการใช้ในการวิเคราะห์เชิงอนุพันธ์หรือการแก้ไขด้วย หลักฐานที่มีอยู่ชี้ให้เห็นว่าการถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักทางภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ (หากไม่สมบูรณ์) สำหรับการอนุมานกระบวนการเชิงพื้นที่ และเป็นเครื่องมือที่ค่อนข้างง่ายและมีประสิทธิภาพสำหรับการแก้ไขเชิงพื้นที่ การพัฒนาทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องของปรับปรุงการถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักทางภูมิศาสตร์ (เช่น การทดสอบความสัมพันธ์อัตโนมัติและการปรับการเปรียบเทียบหลายรายการ) และ/หรือ เสริมแนวทางอื่นๆ ให้ทางเลือกแทนการใช้การถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักทางภูมิศาสตร์

การวิเคราะห์ถดถอยระดับท้องถิ่นด้วย Random Forest Regression

สร้างแบบจำลองและสร้างการคาดการณ์โดยใช้การปรับอัลกอริทึมแรนดอมฟอเรสต์ ซึ่งเป็นวิธีการเรียนรู้ของเครื่องที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาโดย Leo Breiman and Adele Cutler เมื่อปี 2006 การทำนายสามารถทำได้ทั้งตัวแปรเชิงหมวดหมู่ (การจำแนกประเภท) และตัวแปรต่อเนื่อง (การถดถอย) ตัวแปรอธิบายอาจอยู่ในรูปแบบของฟิลต์ในตารางคุณลักษณะของคุณลักษณะการเรียนรู้ ชุดข้อมูลแรสเตอร์ และคุณลักษณะระยะทางที่ใช้ในการคำนวณค่าความใกล้เคียงเพื่อใช้เป็นตัวแปรเพิ่มเติม นอกเหนือจากการตรวจสอบความถูกต้องของประสิทธิภาพของแบบจำลองตามข้อมูลการเรียนรู้แล้ว การคาดการณ์ยังสามารถทำกับคุณสมบัติหรือแรสเตอร์การคาดการณ์ได้อีกด้วย

เครื่องมือนี้สร้างต้นไม้หลายร้อยต้น เรียกว่า กลุ่มต้นไม้ตัดสินใจ (ensemble of decision trees) ซึ่งใช้เพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถนำมาใช้ในการทำนายได้ แผนผังการตัดสินใจแต่ละแผนผังถูกสร้างขึ้นโดยใช้ส่วนที่สร้างแบบสุ่มของข้อมูลต้นฉบับ (การเรียนรู้) ต้นไม้แต่ละต้นสร้างคำทำนายและโหวตผลลัพธ์ของตัวเอง แบบจำลองแรนดอมฟอเรสต์จะพิจารณาคะแนนเสียงจากแผนผังการตัดสินใจทั้งหมด เพื่อทำนายหรือจำแนกผลลัพธ์ของกลุ่มตัวอย่างที่ไม่รู้จัก นี่เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากต้นไม้แต่ละต้นอาจมีปัญหาในการปรับแบบจำลองมากเกินไป อย่างไรก็ตาม การรวมต้นไม้หลายต้นในป่าเพื่อการพยากรณ์ ช่วยแก้ปัญหาการโอเวอร์ฟิตที่เกี่ยวข้องกับต้นไม้ต้นเดียว โดยเครื่องมือนี้สามารถใช้ได้ในโหมดการทำงานที่แตกต่างกัน 3 โหมด ตัวเลือกฝึกสามารถใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองต่างๆ ในขณะที่สำรวจตัวแปรอธิบายและการตั้งค่าเครื่องมือที่แตกต่างกัน เมื่อพบแบบจำลองที่ดีที่สุด ก็สามารถใช้ตัวเลือก predict to features หรือ predict to raster ได้ นี่เป็นเครื่องมือที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลและทำงานได้ดีที่สุดกับชุดข้อมูลขนาดใหญ่ เครื่องมือนี้ควรได้รับการเรียนรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติหลายร้อยอย่างเป็นอย่างน้อยเพื่อผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และไม่ใช้เครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับชุดข้อมูลขนาดเล็กมาก

ตัวแปรอธิบาย (explanatory variables) อาจมาจากฟิลด์หรือคำนวณจากคุณลักษณะระยะทางหรือแยกจากแรสเตอร์ คุณสามารถใช้ประเภทตัวแปรอธิบายเหล่านี้ผสมกันได้ก็ได้ แต่ต้องมีอย่างน้อยหนึ่งประเภท ตัวแปรอธิบาย (จากฟิลด์ คุณลักษณะระยะทางหรือแรสเตอร์) ที่ใช้ควรมีค่าที่หลากหลาย หากตัวแปรอธิบายเป็นแบบหมวดหมู่ ให้ทำเครื่องหมายในช่อง categorical (ตัวแปรประเภทจริงจะถูกตรวจสอบโดยอัตโนมัติ) ตัวแปรอธิบายเชิงหมวดหมู่จะถูกจำกัดไว้ที่ 60 ค่าที่ไม่ซ้ำกัน แม้ว่าหมวดหมู่น้อยกว่าจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของโมเดลได้ สำหรับขนาดข้อมูลที่กำหนด ยิ่งตัวแปรมีหมวดหมู่มากเท่าใด ก็ยังมีโอกาสมากขึ้นที่ตัวแปรจะมีอิทธิพลเหนือโมเดลและนำไปสู่ผลลัพธ์การทำนายที่มีประสิทธิภาพน้อยลง

คุณสมบัติระยะทาง (distance features) ใช้เพื่อสร้างตัวแปรอธิบายโดยอัตโนมัติซึ่งแสดงถึงระยะห่างจากคุณสมบัติที่นำมาจนถึงค่าคุณสมบัติเรียนรู้ที่นำเข้ามาในแบบจำลอง ระยะทางจะถูกคำนวณจากค่าคุณลักษณะระยะทางที่จัดให้มีการเรียนรู้ที่ต้องการอธิบาย (explanatory training distance features) แต่ละรายการไปจนถึงค่าคุณลักษณะการเรียนรู้ที่นำเข้ามาที่อยู่ใกล้ที่สุด หากค่าคุณสมบัติระยะทางการเรียนรู้ที่ต้องการอธิบายที่ป้อนเข้ามา เป็นรูปหลายเหลี่ยมหรือเส้น คุณสมบัตินี้จะถูกคำนวณเป็นระยะทางระหว่างส่วนที่ใกล้เคียงที่สุดของคุณสมบัติ อย่างไรก็ตาม ระยะทางสำหรับรูปหลายเหลี่ยมและเส้นจะคำนวณแตกต่างกัน คู่มือที่เครื่องมือวัดระยะทางคำนวณระยะทางเพื่อดูรายละเอียด

ลิขสิทธิ์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ระดับกว้างของอัตราการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ และดัชนีความเปราะบางทางสังคม การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ระดับท้องถิ่นของอัตราการป่วย

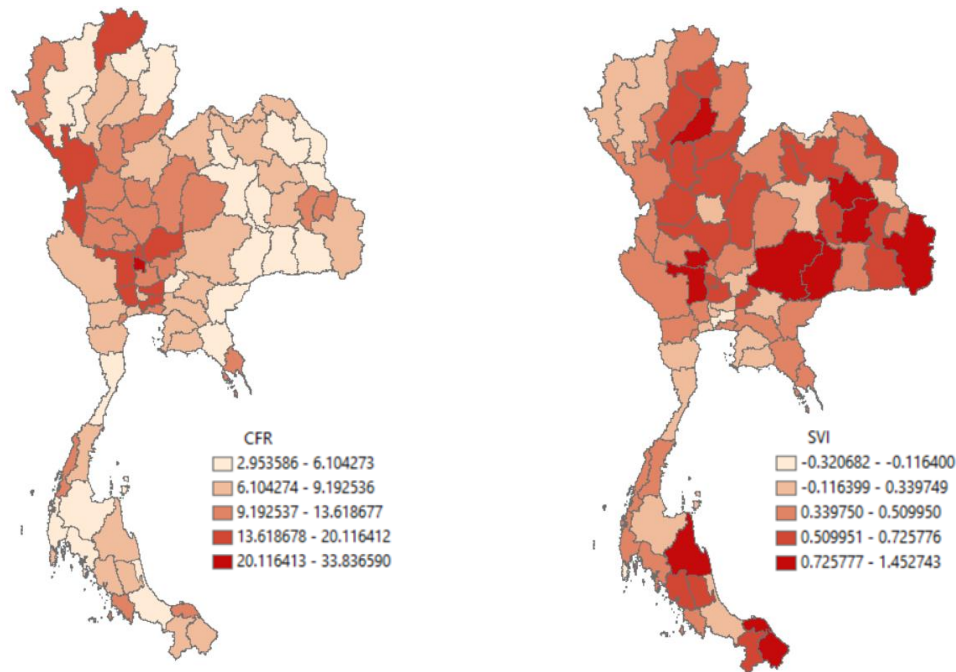
เสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ และดัชนีความเปราะบางทางสังคม และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป่วยเสียชีวิตและดัชนีความเปราะบางทางสังคม ด้วยวิธี OLS, GWR และ GW-RF

1. การกระจายระดับมหภาคของอัตราการป่วยเสียชีวิตและดัชนีความเปราะบางทางสังคม

การวิเคราะห์ Global Moran's Indication เพื่อแสดงการกระจายทางพื้นที่ของอัตราการป่วยเสียชีวิต และดัชนีความเปราะบางทางสังคม ที่แสดงเอาไว้ในภาพที่ 2 จากการที่ได้คำนวณหาค่าดัชนีของ อัตราการป่วยเสียชีวิต และ ดัชนีความเปราะบางทางสังคม ซึ่งจะเห็นว่า อัตราการป่วยเสียชีวิต หาได้จากการนำเอาสัดส่วนจำนวนผู้ติดเชื้อกับจำนวนผู้เสียชีวิตต่อจำนวนประชากรหนึ่งพันคน จึงได้อัตราการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ ของจังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย ได้ดังภาพที่ 2(ก) โดยพบว่าจังหวัดอ่างทอง เป็นจังหวัดที่มีอัตราการป่วยเสียชีวิตสูงกว่าค่าเฉลี่ย +2SD ขณะที่จังหวัดตาก สุพรรณบุรี สิงห์บุรี ลพบุรี นครปฐม ปทุมธานี และกรุงเทพมหานคร เป็นจังหวัดที่มีอัตราการป่วยเสียชีวิตสูงกว่าค่าเฉลี่ย +1SD และ ดัชนีความเปราะบางทางสังคม (ข) หาได้จากสัดส่วนของ 3 ปัจจัย จากนั้นทำการคำนวณนำเอาค่าที่สูงที่สุดของจังหวัดทั้งหมดมาหาค่าตั้งสมการ จึงได้ดัชนีความเปราะบางทางสังคมของจังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย ได้ดังภาพที่ 1(ข) โดยพบว่าจังหวัดแพร่ ชัยนาท สุพรรณบุรี นครราชสีมา บุรีรัมย์ กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด อุบลราชธานี นครศรีธรรมราช ปัตตานี และนราธิวาส เป็นจังหวัดที่มีอัตราการป่วยเสียชีวิตสูงกว่าค่าเฉลี่ย +2SD

การกระจายของอัตราการป่วยเสียชีวิตจากการติดเชื้อ SARS-CoV-2 รายจังหวัดของประเทศไทย ที่ได้จากการวิเคราะห์ Global Moran's Indication มีค่า Moran's I ทั้งนี้โดยค่าแสดงสัดส่วนผู้ป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-19 กับจำนวนผู้ติดเชื้อ SARS-CoV-2 1 พันคน เท่ากับ 0.3508 หมายความว่า การป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-19 กับจำนวนผู้ติดเชื้อ SARS-CoV-2 1 พันคน มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับพื้นที่โดยรอบ แต่เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์อีก 2 ตัว คือ z-score และ p-value ซึ่งมีค่าน้อยมาก หมายความว่า การกระจายที่สัมพันธ์กับพื้นที่โดยรอบนั้น ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อวิเคราะห์แยกเป็นรายภาค พบว่า สัดส่วนผู้ป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-19 กับจำนวนผู้ติดเชื้อ SARS-CoV-2 หนึ่งพันคน รายจังหวัดในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่า Moran's I เท่ากับ -0.1782 0.0962 0.1315 และ -0.3646 ตามลำดับ หมายความว่า อัตราการป่วยเสียชีวิตของภูมิภาคเหล่านั้น มีการกระจายแบบสุ่ม ขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ มีค่า Moran's I เท่ากับ -0.0481 และ -0.0872 หมายความว่า ความเปราะบางทางสังคม มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับพื้นที่โดยรอบ



อัตราการป่วยเสียชีวิต

ดัชนีความแปรปรวนทางสังคม

ภาพที่ 2 Global Moran's Indication ของอัตราการป่วยเสียชีวิต (ก) และดัชนีความแปรปรวนทางสังคม (ข)

ตารางที่ 1 อัตราการป่วยเสียชีวิตและดัชนีความแปรปรวนทางสังคม descriptive statistics

	อัตราการป่วยเสียชีวิต	ดัชนีความแปรปรวนทางสังคม
Moran's I index	0.3508	0.2090
Expected index	-0.0132	-0.0132
Variance	0.0072	0.0077
z-score	4.2890	2.5354
p-value	0.0000	0.0112
n	77	77

การกระจายของความแปรปรวนทางสังคมรายจังหวัดของประเทศไทย ที่ได้จากการวิเคราะห์ Global Moran's Indication มีค่า Moran's I เท่ากับ 0.2090 หมายความว่า ความแปรปรวนทางสังคมมีการกระจายแบบสุ่ม แต่เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์อีก 2 ตัว คือ z-score และ p-value ซึ่งมีค่าน้อย แสดงว่า การกระจายของความแปรปรวนทางสังคมมีความสัมพันธ์กับพื้นที่โดยรอบนั้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อวิเคราะห์แยกเป็นรายภาค พบว่า การกระจายของความแปรปรวนทางสังคมรายจังหวัดในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันตก และภาคใต้ มีค่า Moran's I เท่ากับ 0.2090 0.2850 0.2200 -0.2215 และ 0.3181 ตามลำดับ หมายความว่า ความแปรปรวนทางสังคมของภูมิภาคเหล่านั้น มีการกระจายแบบสุ่ม ขณะที่

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่า Moran's I เท่ากับ -0.0785 หมายความว่า ความแปรปรวนทางสังคม มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับพื้นที่โดยรอบ

ตารางที่ 2 Global Moran'I index of อัตราการป่วยเสียชีวิต

ภูมิภาค	พารามิเตอร์				
	Moran's I	expected Index	variance	z-score	p-value
ประเทศไทย	0.3508	-0.0132	0.0072	4.2889	0.0000
ภาคเหนือ	-0.1782	-0.1250	0.1302	-0.1476	0.0027
ภาคกลาง	0.0963	-0.0477	0.0138	1.2252	0.2205
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	-0.0481	-0.0526	0.0455	0.0213	0.8041
ภาคตะวันออก	-0.3646	-0.1667	0.1219	-0.5670	0.5707
ภาคตะวันตก	0.1316	-0.2500	0.0248	2.4221	0.0154
ภาคใต้	-0.0873	-0.0769	0.0738	-0.0382	0.9695

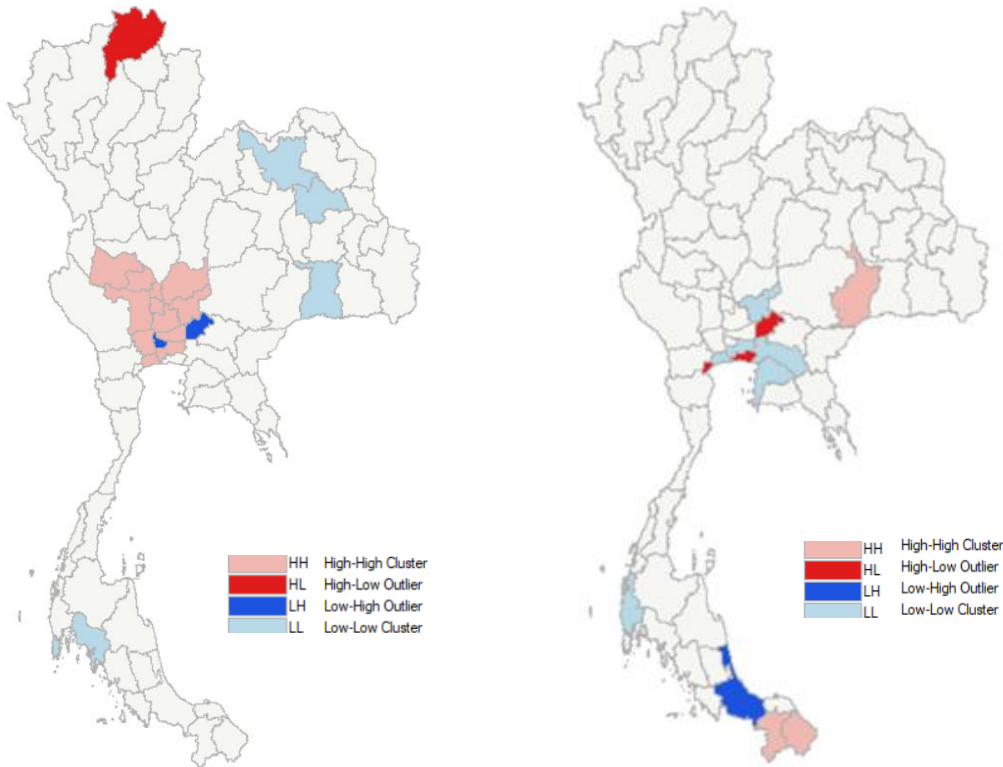
ตารางที่ 3 Global Moran'I index ของดัชนีความแปรปรวนทางสังคม

ภูมิภาค	พารามิเตอร์				
	Moran's I	expected Index	variance	z-score	p-value
ประเทศไทย	0.2090	-0.0131	0.0076	2.5354	0.0112
ภาคเหนือ	0.2090	-0.0131	0.0076	2.5354	0.0112
ภาคกลาง	0.2850	-0.0667	0.0296	2.0425	0.0425
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	0.2200	-0.0526	0.0387	1.3859	0.1657
ภาคตะวันออก	-0.0785	-0.1428	0.0808	0.2263	0.8209
ภาคตะวันตก	-0.2215	-0.2500	0.1016	0.0891	0.9289
ภาคใต้	0.3181	-0.0770	0.0260	1.6682	0.0952

2. การกระจายระดับคุณภาพของอัตราการป่วยเสียชีวิตและดัชนีความแปรปรวนทางสังคม

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การกระจายทางพื้นที่ระดับคุณภาพของอัตราการป่วยเสียชีวิตและดัชนีความแปรปรวนทางสังคม ด้วย Cluster and Outlier Analysis หรือ LISA แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ HH LL HL และ LH ทั้งนี้ การวิเคราะห์การกระจาย อัตราการป่วยเสียชีวิตบนพื้นที่ระดับท้องถิ่นด้วย LISA ผลลัพธ์ที่ได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ HH LL HL และ LH ทั้งนี้ HH - พื้นที่ที่มีความถี่ของการเสียชีวิตจากการติดเชื้อ SARS-Cov-2

สูง โดยพื้นที่รอบๆ มีความถี่ของการเสียชีวิตสูงซึ่งประกอบไปด้วยพื้นที่ 12 จังหวัด คือ สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร ปทุมธานี นครปฐม พระนครศรีอยุธยา สระบุรี ลพบุรี อ่างทอง สิงห์บุรี สุพรรณบุรี ชัยนาท อุทัยธานี



ภาพที่ 3 แผนที่แสดงการกระจายบนพื้นที่ของอัตราการป่วยเสียชีวิต (ก) และดัชนีความเปราะบางทางสังคม (ข) ที่วิเคราะห์ด้วย Cluster and Outlier Analysis

ขณะที่ HL-หมายถึงพื้นที่ที่มีความถี่ของการเสียชีวิตจากการติดเชื้อ SARS-Cov-2 สูง โดยพื้นที่รอบๆ มีความถี่ของการเสียชีวิตต่ำในพื้นที่จังหวัดเชียงราย ส่วน LL- พื้นที่ที่มีความถี่ของการเสียชีวิตจากการติดเชื้อ SARS-Cov-2 ต่ำ โดยพื้นที่รอบๆ มีความถี่ของการเสียชีวิตต่ำซึ่งประกอบไปด้วยพื้นที่ 5 จังหวัด คือ อุตรดิตถ์ กาฬสินธุ์ สุรินทร์ ภูเก็ต และกระบี่ และ LH - พื้นที่ที่มีความถี่ของการเสียชีวิตจากการติดเชื้อ SARS-Cov-2 ต่ำ โดยพื้นที่รอบๆ มีความถี่ของการเสียชีวิตสูงซึ่งประกอบไปด้วย พื้นที่ 2 จังหวัด คือ นนทบุรี และนครนายก

สำหรับการวิเคราะห์ LISA เพื่ออธิบายการกระจายของดัชนีความเปราะบางทางสังคมบนพื้นที่ระดับท้องถิ่น ผลลัพธ์ที่ได้ HH - พื้นที่ที่มีความเปราะบางทางสังคมสูง โดยพื้นที่รอบๆ มีความเปราะบางทางสังคมสูงด้วย ซึ่งประกอบไปด้วยพื้นที่ 3 จังหวัด คือ สุรินทร์ ยะลา และนราธิวาส ส่วน HL - พื้นที่ที่มีความเปราะบางทางสังคมสูง โดยพื้นที่รอบๆ มีความเปราะบางทางสังคมต่ำ ซึ่งประกอบไปด้วยพื้นที่ 3 จังหวัด คือ นครนายก สมุทรปราการ และสมุทรสงคราม ขณะที่ LL - พื้นที่ที่มีความเปราะบางทางสังคมต่ำ โดยพื้นที่รอบๆ มีความ

เปราะบางทางสังคมต่ำ ซึ่งประกอบไปด้วยพื้นที่ 6 จังหวัด คือ สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร ฉะเชิงเทรา ชลบุรี สระบุรี และพังงา และ LH - พื้นที่ที่มีความเปราะบางทางสังคมต่ำ โดยพื้นที่รอบๆ มีความเปราะบางทางสังคมสูง ในพื้นที่จังหวัดสงขลา

3. ผลลัพธ์ OLS, GWR & GW-RF อัตราการป่วยเสียชีวิตและดัชนีความเปราะบางทางสังคม

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป่วยเสียชีวิตกับดัชนีความเปราะบางทางสังคมด้วย OLS ด้วย AICs 465.185498 ได้ Multiple R-Squared 0.000617 ที่มี Prob $F_{1,75} = 0.977407$ และเมื่อสร้างสมการ Simple regression ได้ค่า Intercept 9.190593 ที่มี Std Error = 0.549859 และ Probability = 0.000000 โดยมีค่า Coefficient ของ ดัชนีความเปราะบางทางสังคม = -0.118363 ที่มี Std Error = 0.549859 และ Probability = 0.830149 และเมื่อนำพารามิเตอร์ทั้งสองนี้ไปใช้ในสมการ global regression เพื่อทำนายอัตราการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ ของจังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย ได้ดังภาพที่ 4(ก) โดยพบว่า กรุงเทพมหานคร และภูเก็ต เป็นจังหวัดที่มีอัตราการป่วยเสียชีวิตสูงกว่าค่าเฉลี่ย +2SD ขณะที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ พิจิตร หนองคาย ขอนแก่น มุกดาหาร สระบุรี ปราจีนบุรี ชลบุรี ระยอง ปทุมธานี นนทบุรี สมุทรสงคราม เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี และสงขลา เป็นจังหวัดที่มีอัตราการป่วยเสียชีวิตสูงกว่าค่าเฉลี่ย +1SD

ตารางที่ 4 OLS Summary Results

Variable	Coefficient	StdError	t-Statistic	Probability	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr ^b
Intercept	9.190593	0.549859	16.714455	0.000000*	0.542671	16.935849	0.000000*
S_SVI	-0.118363	0.549859	-0.215261	0.830149	0.434234	-0.272579	0.785929

ตารางที่ 5 OLS Diagnostics Results

Input Features	Province_GWR_SVI	Dependent Variable	CFR
Number of Observation	77	Akai's Information Criterion (AICs) ^d	465.185498
Multiple R-Squared ^d	0.000617	Adjusted R-Squared ^d	-0.012708
Joint F-Statistic ^e	0.046337	Prob (>F), (1, 75) df	0.977407
Joint Wald Statistic ^e	0.074299	Prob (>chi-Squared), (1) df	0.785177
Koenker (BP) Statistic ^f	0.010402	Prob (>chi-Squared), (1) df	0.918766
Jarque-Bera Statistic ^g	245.958532	Prob (>chi-Squared), (2) df	0.000000*

จากตารางที่ 6 model diagnostics ข้างบน ที่วิเคราะห์ด้วย GWR ภายใต้เงื่อนไข AICs 216.846 และ effective degree of freedom 64.7853 ได้ค่า multiple R-Squared 0.2991 ที่มีค่า sigma-squared MLE

0.7009 ซึ่งจะเห็นว่าการวิเคราะห์ด้วยการนำเอาปัจจัยความใกล้เคียงกันของพื้นที่มาพิจารณาด้วยนั้น ทำให้ระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อนำพารามิเตอร์เหล่านี้ไปใช้ในสมการ local regression เพื่อทำนายอัตราการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ ของจังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย ได้ดังภาพที่ 3(ข) โดยพบว่าจังหวัดกำแพงเพชร พิจิตร นครสวรรค์ อุทัยธานี ชัยนาท ลพบุรี สระบุรี สิงห์บุรี อ่างทอง สุพรรณบุรี ปทุมธานี อยุธยา นครปฐม และราชบุรี เป็นจังหวัดที่มีอัตราการป่วยเสียชีวิตสูงกว่าค่าเฉลี่ย +2SD

ตารางที่ 6 GWR Model Diagnostics Results

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้
R2	0.2991
Adj-R2	0.1649
AICc	215.8546
Sigma-Squared	0.8331
Sigma-Squared MLE	0.7009
Effective Degrees of Freedom	64.7853
Adjusted Critical Value of Pseudo-t Statistics	2.6232

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป่วยเสียชีวิตกับดัชนีความเปราะบางทางสังคม ด้วยวิธี random forest regression โดยพิจารณาจากเงื่อนไขของคุณลักษณะที่ปรากฏในตารางที่ 7 ข้างล่าง ที่กำหนดให้มีจำนวนต้นไม้ ความสูงเฉลี่ย ร้อยละของจำนวนตัวอย่าง และร้อยละของตัวอย่างที่ดึงออก ทำให้ได้จำนวนต้นไม้ที่จะทำการทำนายในระดับ 50 และ 100 ที่มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (MSE) 36.054 และ 34.405 มีความแปรปรวนในการอธิบาย ร้อยละ -60.870 และ -53.512 โดยตัวแปรค่าดัชนีความเปราะบางทางสังคม มีความสำคัญร้อยละ 100 ดังตารางที่ 8 ข้างล่าง

ตารางที่ 7 Model characteristics

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้
Number of Trees	100
Leaf Size	5
Tree Depth Range	5-19
Mean Tree Depth	8
% of Training Available per Tree	100
Number of Randomly Sampled Variables	1
% of Training Data Excluded for Validation	10

ตารางที่ 8 Model out of bag errors

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้	
	50%	100%
Number of Trees	50	100
MSE	36.054	34.405
% of variation explained	-60.870	-53.512

ตารางที่ 9 Top variables importance

Variable	Importance	%
SVI	1324.62	100

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสาม ที่ใช้ในการกำหนดดัชนีความเปราะบางทางสังคม กับ อัตราการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ ของจังหวัดต่าง ๆ ในประเทศไทย มีค่า R-Squared ของข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ เท่ากับ 0.791 ระดับความเชื่อมั่น 0.000 และความผิดพลาดมาตรฐาน 0.033 ทำให้พบว่า ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในการอธิบายได้จริง มีค่า R-Squared ร้อยละ 57 ระดับความเชื่อมั่น 0.050 และความผิดพลาดมาตรฐาน 0.117

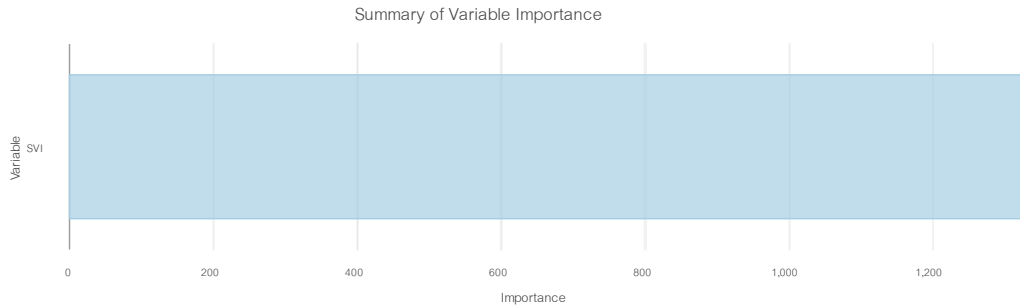
ตารางที่ 10 Training data and Validation data: regression diagnostics

พารามิเตอร์	Training data	Validation data
R-Squared	0.791	0.570
p-value	0.000	0.050
Standard Error	0.033	0.117

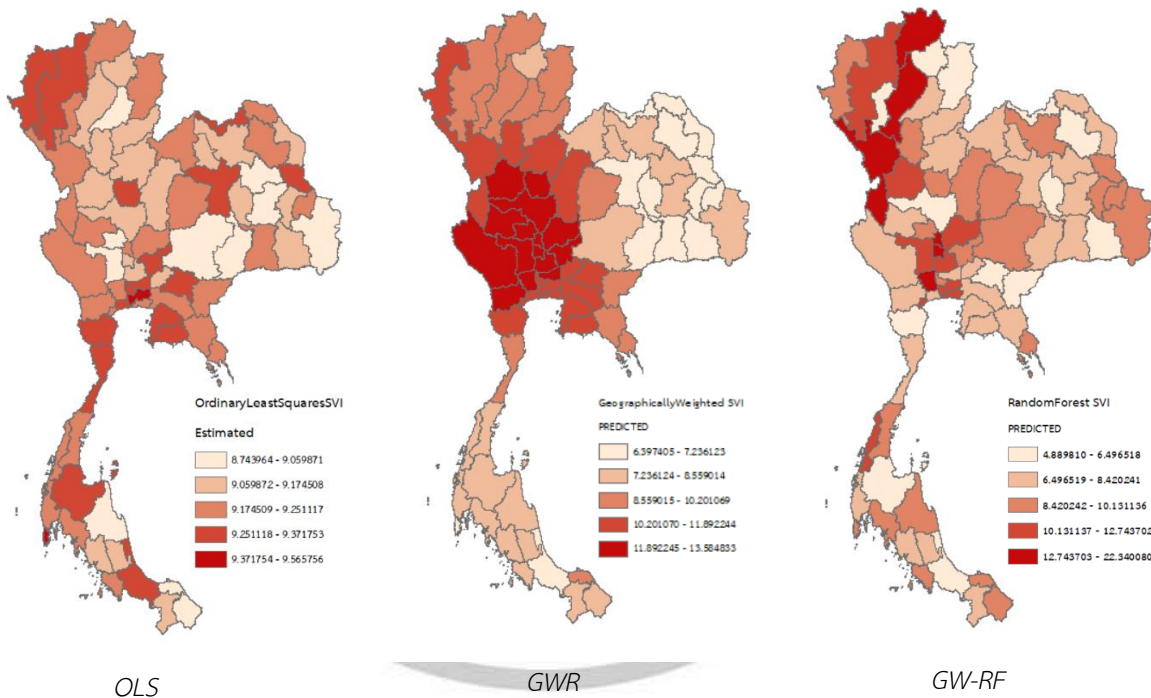
ตารางที่ 11 Explanatory variable range diagnostics

Variable	Training		Validation		Share	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Training ^a	Validation ^b
SVI	-0.32	1.45	0.15	0.77	1.00	0.35*

ทั้งนี้ ตารางที่ 11 ข้างบน แสดงให้เห็นว่าตัวแปรทั้งสามสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ ได้อย่างถูกต้องตั้งแต่ 0.15 จนถึง 0.77 โดยค่าดัชนีความเปราะบางทางสังคม 0.15 – 0.77



ภาพที่ 4 Summary of variable importance



ภาพที่ 5 อัตราการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ ประมาณค่าด้วย OLS (ก) GWR (ข) และ GW-RF (ค)

จากตารางที่ 10 Validation Data: Regression Diagnostics ที่วิเคราะห์ด้วย GW-RF ซึ่งจะเห็นว่าการวิเคราะห์ด้วยการนำเอาปัจจัยความใกล้เคียงกันของพื้นที่มาพิจารณา ผนวกกับการใช้ machine learning ด้วย random forest ทำให้ระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อนำพารามิเตอร์เหล่านี้ไปใช้ในสมการ local regression เพื่อทำนายอัตราการป่วยเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ ของจังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย ได้ดังภาพที่ 3(ค) โดยพบว่าจังหวัดเชียงราย ลำปาง ตาก สิงห์บุรี อ่างทอง และนครปฐม เป็นจังหวัดที่มีอัตราการป่วยเสียชีวิตสูงกว่าค่าเฉลี่ย +2SD ขณะที่จังหวัดเชียงใหม่ กำแพงเพชร สระบุรี พระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ สมุทรสงคราม และระนอง เป็นจังหวัดที่มีอัตราการป่วยเสียชีวิตสูงกว่าค่าเฉลี่ย +1SD

อภิปรายผล

การกระจายทางพื้นที่ระดับจุลภาคของอัตราการป่วยเสียชีวิต & ดัชนีความเปราะบางทางสังคม ที่เป็น HH ของอัตราการป่วยเสียชีวิต จะขึ้นตรงบริเวณพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงประกอบด้วยพื้นที่ มี 12 จังหวัด คือ สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร ปทุมธานี นครปฐม พระนครศรีอยุธยา สระบุรี ลพบุรี อ่างทอง สิงห์บุรี สุพรรณบุรี ชัยนาท และ อุทัยธานี HH ของดัชนีความเปราะบางทางสังคมจะขึ้นตรงบริเวณพื้นที่ที่มีความเปราะบางทางสังคมสูง ประกอบด้วยพื้นที่ มี 3 จังหวัด คือ สุรินทร์ ยะลา และนราธิวาส ซึ่งโดย HH ของอัตราการป่วยเสียชีวิตและดัชนีความเปราะบางทางสังคมไม่ได้มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันมากนัก และ LL ของอัตราการป่วยเสียชีวิต พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำประกอบด้วยพื้นที่ 5 จังหวัด คือ อุดรธานี กาฬสินธุ์ สุรินทร์ ภูเก็ต และกระบี่ LL ของดัชนีความเปราะบางทางสังคม พื้นที่ที่มีความเปราะบางทางสังคมต่ำประกอบด้วยพื้นที่ มี 6 จังหวัด คือ สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร ฉะเชิงเทรา ชลบุรี สระบุรี และพังงา โดย LL ของอัตราการป่วยเสียชีวิตและดัชนีความเปราะบางทางสังคมไม่ได้มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันมากนัก และมี HL ของอัตราการป่วยเสียชีวิต ซึ่งแสดงพื้นที่ที่มีความถี่ของการเสียชีวิตจากการติดเชื้อ SARS-Cov-2 สูง โดยพื้นที่รอบๆ มีความถี่ของการเสียชีวิตต่ำในพื้นที่จังหวัดเชียงราย HL ของดัชนีความเปราะบางทางสังคม พื้นที่ที่มีความเปราะบางทางสังคมสูง โดยพื้นที่รอบๆ มีความเปราะบางทางสังคมต่ำ ซึ่งประกอบไปด้วยพื้นที่ 2 จังหวัด คือ นครนายก และสมุทรปราการ ซึ่งโดย HL ของอัตราการป่วยเสียชีวิตและดัชนีความเปราะบางทางสังคมไม่ได้มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันมากนัก และ LH ของอัตราการป่วยเสียชีวิต พื้นที่ที่มีความถี่ของการเสียชีวิตจากการติดเชื้อ SARS-Cov-2 ต่ำ โดยพื้นที่รอบๆ มีความถี่ของการเสียชีวิตสูงซึ่งประกอบไปด้วย พื้นที่ 2 จังหวัด คือ นนทบุรี และนครนายก และ LH ของดัชนีความเปราะบางทางสังคม พื้นที่ที่มีความเปราะบางทางสังคมต่ำ โดยพื้นที่รอบๆ มีความเปราะบางทางสังคมสูง ในพื้นที่จังหวัดสงขลา ซึ่งโดย LH ของอัตราการป่วยเสียชีวิตและดัชนีความเปราะบางทางสังคมไม่ได้มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันมากนัก

ขณะที่การวิเคราะห์ Ordinary Least Square, Geographically Weighted Regression และ Random Forest Regression ได้ค่า Multiple R-Square 0.000617 0.2991 และ 0.5700 ซึ่งการวิเคราะห์ด้วย Random Forest Regression ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป่วยเสียชีวิตกับความเปราะบางทางสังคมของแต่ละพื้นที่เพิ่มมากขึ้น จนสามารถสร้างสมการถดถอยเพื่อทำนายความสัมพันธ์ดังกล่าวได้เป็นอย่างดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Andrade et al. (2021) ที่ได้ทำการประเมินการกระจายเชิงพื้นที่ของอัตราการเสียชีวิตและความสามารถในการทำให้เกิดการหรืออันตรายร้ายแรงของโควิด-๑๙ ในภูมิภาคที่มีความเปราะบางทางสังคมสูง แสดงให้เห็นว่า โรคระบาดเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตจำนวนมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของบราซิล โดยกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเสียชีวิตส่วนใหญ่อยู่ในเขตเทศบาลชายฝั่งและผู้ที่มี ดัชนีความเปราะบางทางสังคมสูง เช่นเดียวกับผลการทำนายของกรวิจัยครั้งนี้ ที่พบว่า จังหวัดเชียงราย ลำปาง ตาก สิงห์บุรี อ่างทอง และนครปฐม เป็นจังหวัดที่มีอัตราการป่วยเสียชีวิตสูงกว่าค่าเฉลี่ย +2SD ขณะที่จังหวัดเชียงใหม่ กำแพงเพชร สระบุรี

พระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ สมุทรสงคราม และระนอง เป็นจังหวัดที่มีอัตราการป่วยเสียชีวิตสูงกว่าค่าเฉลี่ย +1SD นอกจากนี้ ยังมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lua et al. (2021) ที่ใช้ GW-RF ทำการประเมินความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นระหว่างอัตราการเสียชีวิตจากโควิด-๑๙ ด้วยปัจจัยเสี่ยง 47 ประการ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าปัจจัยเสี่ยงจากการไปทำงานด้วยการเดิน ความเข้มข้นของสารเบนซีน ในอากาศ เจ้าของบ้านที่มีภาระงาน การว่างงาน ความเข้มข้นของ PM2.5 ในอากาศ และร้อยละของคนที่สูบบุหรี่หรือชาวอเมริกันเชื้อสายแอฟริกัน มีความสัมพันธ์สูงกับการกระจายเชิงพื้นที่ของอัตราการเสียชีวิตจากโควิด-๑๙

อย่างไรก็ตามงานวิจัยของ Girma et al. (2022) ที่เกี่ยวกับปัจจัยด้านสุขภาพ 7 ปัจจัย ที่มีผลต่อการเสียชีวิตจากโควิด-๑๙ ในประเทศเอธิโอเปียแต่ละภูมิภาคไม่เท่ากัน โดยมีค่า อัตราการป่วยเสียชีวิต อยู่ระหว่างร้อยละ 1-20 ขึ้นอยู่กับแต่ละภูมิภาค รวมถึงยังได้เห็นว่า ภาวะโรคร่วม กลุ่มสูงอายุ เพศชาย การใช้สารเสพติด อาการแสดงทางคลินิก (เช่น ระดับความอึดตัวของออกซิเจนที่ผิดปกติ จำนวนเม็ดเลือดขาว การมีภาวะไข้ และภาวะการหายใจลำบาก) ความรุนแรงของโรค และประวัติการผ่าตัด/การบาดเจ็บ เหล่านี้เป็นตัวเพิ่มโอกาสในการเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ หากนำเข้าไปพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของความแปรปรวนทางสังคมของงานวิจัยฉบับนี้ น่าจะทำให้ดัชนีความแปรปรวนทางสังคมมีความครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

สรุป

การกระจายทางพื้นที่ระดับมหภาคของอัตราการป่วยเสียชีวิตและดัชนีความแปรปรวนทางสังคม โดยค่า Moran's I ของอัตราการป่วยเสียชีวิต มีค่า Moran's I เท่ากับ 0.3508 แสดงว่า การเสียชีวิตจากโรคโควิด-๑๙ กับจำนวนผู้ติดเชื้อ SARS-CoV-2 หนึ่งพันคน มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับพื้นที่โดยรอบ โดยการกระจายที่สัมพันธ์กับพื้นที่โดยรอบนั้น ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ดัชนีความแปรปรวนทางสังคม มีค่า Moran's I เท่ากับ 0.2090 แสดงว่า ความแปรปรวนทางสังคมมีการกระจายแบบสุ่ม โดยการกระจายของความแปรปรวนทางสังคมมีความสัมพันธ์กับพื้นที่โดยรอบนั้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่การกระจายทางพื้นที่ระดับจุลภาคของอัตราการป่วยเสียชีวิตและดัชนีความแปรปรวนทางสังคม โดยส่วนที่มีลักษณะเป็น HH ของอัตราการป่วยเสียชีวิตจะขึ้นตรงบริเวณพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง ประกอบด้วยพื้นที่ 12 จังหวัด คือ สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร ปทุมธานี นครปฐม พระนครศรีอยุธยา สระบุรี ลพบุรี อ่างทอง สิงห์บุรี สุพรรณบุรี ชัยนาท และอุทัยธานี ส่วน HH ของดัชนีความแปรปรวนทางสังคมที่เป็นพื้นที่ที่มีความแปรปรวนทางสังคมสูง ประกอบด้วยพื้นที่ 3 จังหวัด คือ สุรินทร์ ยะลา และนราธิวาส

การวิเคราะห์ Ordinary Least Square, Geographically Weighted Regression และ Random Forest Regression ได้ค่า Multiple R-Square 0.000617 0.2991 และ 0.5700 ซึ่งการวิเคราะห์ด้วย Random Forest Regression ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป่วยเสียชีวิตกับความแปรปรวนทางสังคมของแต่ละพื้นที่เพิ่มมากขึ้น จนสามารถสร้างสมการถดถอยเพื่อทำนายความสัมพันธ์ดังกล่าวได้เป็นอย่างดี โดยผลการทำนาย

พบว่า จังหวัดเชียงราย ลำปาง ตาก สิงห์บุรี อ่างทอง และนครปฐม เป็นจังหวัดที่มีอัตราการป่วยเสียชีวิตสูงกว่าค่าเฉลี่ย +2SD ขณะที่จังหวัดเชียงใหม่ กำแพงเพชร สระบุรี พระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ สมุทรสงคราม และระนอง เป็นจังหวัดที่มีอัตราการป่วยเสียชีวิตสูงกว่าค่าเฉลี่ย +1SD

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรีฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ได้รับความกรุณาจากรองศาสตราจารย์พัฒนา ราชวงศ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์ธัญญาลักษณ์ จันทน์สมบัติ ที่กรุณาเป็นตัวแทนนำส่วนหนึ่งของงานวิจัยฉบับนี้ไปนำเสนอในที่ประชุมสัมมนาระดับนานาชาติ GISIDEAS 2023 วันที่ 7-9 พฤศจิกายน 2023 ที่ Hanoi University of Natural Resources and Environment ประเทศเวียดนาม และขอขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิชาภูมิศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ต่างๆ ให้กับผู้วิจัยเพื่อที่ให้นำเอาความรู้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป ขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนทุกคน ที่คอยให้กำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับการช่วยเหลืออีกจำนวนมาก ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณ และขอบคุณไว้โอกาสนี้

บรรณานุกรม

- องค์การอนามัยโลก กรมควบคุมโรค,กองโรคติดต่อทั่วไป กองระบาดวิทยา (2564) “สถานการณ์โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โรคโควิด-๑๙) มาตรการสาธารณสุข และปัญหาอุปสรรคการป้องกันควบคุมโรคในผู้เดินทาง” สืบค้นเมื่อวันที่ 5 สิงหาคม 2566 จาก<https://ddc.moph.go.th/uploads/files/2017420210820025238.pdf>
- Derara Girma, Hiwot Dejene, Leta Adugna, Mengistu Tesema, and Mukemil Awol. (2022) “โรคโควิด-๑๙ Case Fatality Rate and Factors Contributing to Mortality in Ethiopia: A Systematic Review of Current Evidence”. Retrieved 26 February 2023, From <https://doi.org/10.2147/IDR.S369266>
- Djalma de Siqueira junior, Tassiane Cristina Morais, Isabella Portugal, Matheus Paiva Emidio Cavalcanti, Blanca Elena Guerrero Daboin, Rodrigo Daminello Raimundo, Lucas Cauê Jacintho, Jorge de Oliveira Echeimberg, Khalifa Elmusharaf, and Carlos Eduardo Siqueira. (2021) “Trends in โรคโควิด-๑๙ mortality and case-fatality rate in the State of Parana, South Brazil: spatiotemporal analysis over one year of the Pandemic”. Retrieved 7 January 2023, From <http://dx.doi.org/10.36311/jhgd.v31.12792>
- Fotheringham, A. Steward.; Brundon, Chris., and Charlton, Martin. (2002). **Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships**. New Jersey: Wiley 2002

Lucas Almeida Andrade, Wandklebson Silva da Paz, Alanna G. C. Fontes Lima, Damião da Conceição Araújo, Andrezza M. Duque, Marcus Valerius S. Peixoto, Marco Aurélio O. Góes, Carlos Dornels Freire de Souza, Caique J. Nunes Ribeiro, Shirley V. M. Almeida Lima, Márcio Bezerra-Santos, and Allan Dantas dos Santos (2021) “Spatiotemporal Pattern of โรคโควิด-๑๙-Related Mortality during the first Year of the Pandemic in Brazil: A Population-based Study in a Region of High Social Vulnerability”. Retrieved 15 January 2023, From <https://www.ajtmh.org/view/journals/tpmd/106/1/article-p132.xml>

Yaowen Luo, Jianguo Yan, and Stephen McClure. (2021) “Distribution of the environmental and socioeconomic risk factors on โรคโควิด-๑๙ death rate across continental United States: A spatial nonlinear analysis”. Retrieved 12 February 2023, From <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-61369/v1>



ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Copyright by Naresuan University

All rights reserved