



การสังเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อน สถานการณ์จำลอง และประเด็นการศึกษา ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเมือง

ณัฐวุฒิ ทะหนัสน้อย* ชูเดช โลศิริ²* และ อสมมาตร สิริ²

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ประเทศไทย

² คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประเทศไทย

A Systematic Review of Driving Factors, Scenarios, and Topics in Urban Land Change Models

Natthawut Tananthaisong¹, Chudech Losiri²*, and Asamaporn Sitthi²

¹ Faculty of Science, Buriram Rajabhat University, Thailand

² Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University, Thailand

Article Info

Academic Article

Article History:

Received 23 September 2025

Revised 10 November 2025

Accepted 20 November 2025

คำสำคัญ

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินเมือง

ปัจจัยขับเคลื่อน

จากทัศน์

การวางแผนเมืองอย่างยั่งยืน

* Corresponding author

E-mail address:

chudech@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

การวางแผนการใช้ที่ดินและการพัฒนาเมืองในอนาคตเป็นงานที่มีความซับซ้อนเนื่องจากความไม่แน่นอนจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม สังคม และเทคโนโลยี แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินเมือง จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการจำลองและทำความเข้าใจพลวัตการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต การศึกษานี้ดำเนินการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนรูปแบบสถานการณ์จำลอง และหัวข้อการศึกษาจากฐานข้อมูลวิชาการ 4 แหล่ง ได้บทความ 124 เรื่องในช่วงปี 2010-2024 ผลการศึกษาพบปัจจัยขับเคลื่อน 135 ปัจจัยที่แตกต่างกัน จำแนกเป็น 4 กลุ่มหลัก คือ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ (ร้อยละ 31) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น (ร้อยละ 40.74) ปัจจัยทางสังคม-เศรษฐกิจ (ร้อยละ 17.04) และปัจจัยอื่น ๆ (ร้อยละ 10.37) โดยระยะทางจากถนนเป็นปัจจัยที่ใช้มากที่สุด (62 ครั้ง) การใช้สถานการณ์จำลองพบในร้อยละ 37.1 ของงานวิจัย โดยรูปแบบหลักคือ สถานการณ์ปกติ การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการพัฒนาแบบกระชับ หัวข้อการศึกษาแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ การพยากรณ์และจำลองการขยายตัวของเมือง (49.2%) การพัฒนาแบบจำลอง (33.9%) และการศึกษาผลกระทบ (16.9%) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นความจำเป็นในการบูรณาการปัจจัยหลายมิติ การพัฒนาสถานการณ์จำลองใหม่ และการเชื่อมโยงการวิจัยสู่การประยุกต์ใช้เชิงนโยบาย

Keywords:

Urban Land Change Modeling,
driving factors,
scenario analysis,
sustainable urban planning

Abstract

Future land use planning and urban development present complex challenges due to uncertainties from environmental, social, and technological factors. Urban Land Change Modeling (Urban LCM) serves as a crucial tool for simulating and understanding the dynamics of future land use change. This study conducted a systematic literature review from four academic databases, analyzing 124 articles from 2010-2024 to examine driving factors, scenario patterns, and research topics. The results identified 135 distinct driving factors classified into four main groups: natural environment factors (31%), built environment factors (40.74%), socio-economic factors (17.04%), and other factors (10.37%). Distance to roads emerged as the most frequently used factor (62 times). Scenario analysis was employed in only 37.1% of studies, with the main patterns including business as usual, environmental conservation, and compact development. Research topics were categorized into three groups: urban growth prediction and modeling (49.2%), model development (33.9%), and impact assessment (16.9%). The findings highlight the necessity for multi-dimensional factor integration, development of new scenario patterns, and bridging research with policy applications for sustainable urban land management in the context of increasing uncertainty and future challenges.

1. บทนำ

การวางแผนการใช้ที่ดินและการพัฒนาเมืองมีความซับซ้อนจากความไม่แน่นอนของปัจจัยที่มีปฏิสัมพันธ์กัน (Kim et al., 2020) ความไม่แน่นอนทางสิ่งแวดล้อมเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อรูปแบบอุณหภูมि ปริมาณน้ำฝน และภัยธรรมชาติ ส่งผลให้การเติบโตของเมืองและสมดุลระบบนิเวศเปลี่ยนแปลง (Ramachandra et al., 2012) ในด้านสังคม โครงสร้างทางสังคมที่เปลี่ยนแปลงสร้างความไม่คาดคิดต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงทางประชากรศาสตร์ การพัฒนาทางเศรษฐกิจ และพฤติกรรมทางวัฒนธรรม (Verburg et al., 2019) การเติบโตอย่างรวดเร็วของเมืองสร้างแรงกดดันต่อทรัพยากรที่ดิน นำไปสู่การเพิ่มพื้นที่ที่สร้างขึ้นในขณะที่พื้นที่สีเขียวและแหล่งน้ำลดลง (Cartwright et al., 2018) การวางแผนการใช้ที่ดินและการพัฒนาเมืองมีความซับซ้อนจากความไม่แน่นอนและปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยขับเคลื่อนด้านสิ่งแวดล้อม สภาพแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น และสังคมเศรษฐกิจ (Kim et al., 2020)

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินในเมืองจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการจำลองและทำความเข้าใจพลวัตของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการปกคลุมที่ดินตลอดเวลา โดยผสานรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ ลำดับเวลา และข้อมูลจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงในอนาคตภายใต้สถานการณ์นโยบายต่าง ๆ (Cartwright et al., 2018) บทบาทหลักประกอบด้วยการจำลองรูปแบบการใช้ที่ดินในอนาคตโดยพิจารณาปัจจัยขับเคลื่อนต่าง ๆ การประเมินผลกระทบของนโยบายที่แตกต่างกันและการสนับสนุนการตัดสินใจของผู้กำหนดนโยบาย (Pontius & Millones, 2011; Y. Liu et al., 2014) เทคนิคที่ใช้ประกอบด้วยแบบจำลองทางสถิติ เซลลูลาร์อโตมาตา แบบจำลองตัวแทน และแบบจำลองผสม (Batty, 2007; Y. Liu & Yang, 2012) ตัวอย่างเช่น ในเมืองเบงกอลอร์ แบบจำลองที่ผสานข้อมูลการตรวจจับทางไกลถูกใช้คาดการณ์แนวโน้มการใช้ที่ดินถึงปี 2025 ภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกัน (Ramachandra et al., 2012)

สถานการณ์จำลองทำหน้าที่เป็นเครื่องมือคาดการณ์อนาคตที่อาจเกิดขึ้นได้หลากหลายรูปแบบ โดยอาศัยสมมติฐานที่แตกต่างกัน ช่วยส่งเสริมระบบเมืองที่มีความยืดหยุ่น (Reed et al., 2010) การทบทวนปัจจัยขับเคลื่อนอย่างครบถ้วนมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นพื้นฐานสำหรับการสร้างแบบจำลองที่แม่นยำ ครอบคลุมการเติบโตทางประชากรศาสตร์ การพัฒนาเศรษฐกิจ กรอบนโยบาย และพลวัตทางสังคม (Lambin & Geist, 2006) การเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องต้องมีความเข้าใจในบริบทสังคมเศรษฐกิจ หากตีความคลาดเคลื่อนจะนำไปสู่แบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือลดลง (Cartwright et al., 2018) การทบทวนหัวข้อการศึกษาช่วยวางตำแหน่งผลลัพธ์ภายในกรอบการศึกษาที่กว้างขึ้น ครอบคลุมประเด็นการขยายตัวของเมือง โครงสร้างพื้นฐานสีเขียว และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (Turner et al., 1995)

แม้แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินในเมืองเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ แต่ยังประสบความท้าทายด้านข้อจำกัดข้อมูล ความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ และความจำเป็นในการได้รับข้อมูลจาก

ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Pontius & Millones, 2011; Y. Liu et al., 2014) ช่องว่างการวิจัยที่สำคัญประกอบด้วยการเลือกใช้ปัจจัยขับเคลื่อนที่ขาดมาตรฐาน (Cartwright et al., 2018) การใช้สถานการณ์จำลองที่มีสัดส่วนต่ำและขาดการสังเคราะห์อย่างเป็นระบบ งานทบทวนที่มีอยู่เน้นประเด็นด้านเทคนิคและวิธีการขาดการวิเคราะห์เชิงบูรณาการ และยังไม่พบการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างภูมิภาคและระดับการพัฒนาของประเทศ การศึกษานี้จึงสังเคราะห์วรรณกรรมอย่างเป็นระบบเพื่อเติมเต็มช่องว่างดังกล่าว โดยวิเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับปัจจัยขับเคลื่อน รูปแบบสถานการณ์จำลอง และหัวข้อการศึกษาเพื่อสนับสนุนนักวิจัย ผู้วางแผน และผู้กำหนดนโยบายในการจัดการการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

2.1 เพื่อจำแนกประเภทและวิเคราะห์ความถี่ของปัจจัยขับเคลื่อนที่สำคัญในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเมืองจากบทความวิจัย

2.2 เพื่อวิเคราะห์รูปแบบและประเภทของสถานการณ์จำลองที่ใช้ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเมืองจากบทความวิจัย

2.3 เพื่อศึกษาแนวโน้มและทิศทางการพัฒนาของหัวข้อการศึกษาแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเมืองจากบทความวิจัย

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินในเมืองเพื่อระบุปัจจัยขับเคลื่อนและรูปแบบสถานการณ์จำลอง ดำเนินการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบตามแนวทางที่ได้รับการยอมรับในชุมชนวิชาการ (Page et al., 2021; Xiao & Watson, 2019) วิธีการนี้ช่วยระบุ ประเมิน และสังเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องได้อย่างครอบคลุม เพื่อให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับแนวทางปฏิบัติและแนวโน้มการวิจัยแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินในเมืองในปัจจุบัน

3.1 กลยุทธ์การค้นหาและคัดเลือกรวบรวม

การค้นหารวบรวมวรรณกรรมดำเนินการใน 4 ฐานข้อมูลหลัก SCOPUS, Springer, Web of Science และ Google Scholar โดยใช้คำค้น ("urban land change model" OR "land use change model" OR "urban growth model") AND ("driving factor" OR "scenario" OR "simulation") จำกัด ค.ศ. 2010-2024 คัดเลือกเฉพาะบทความที่ผ่านการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (peer-reviewed) บทความทบทวนวรรณกรรม และบทหนังสือจากสำนักพิมพ์ระดับนานาชาติ เกณฑ์การคัดเข้า ได้แก่ บทความที่มีแบบจำลอง Urban LCM ระบุปัจจัยขับเคลื่อนชัดเจน และเข้าถึงฉบับเต็มได้ เกณฑ์การคัดออก ได้แก่ บทความที่ไม่มีแบบจำลองการคาดการณ์ ศึกษาด้านอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง ขาดรายละเอียดวิธีการ หรือซ้ำซ้อน กระบวนการ

คัดกรองดำเนินการ 3 ขั้นตอนตาม PRISMA 2020: 1) คัดกรองชื่อเรื่องและบทคัดย่อจาก 161 เรื่อง คัดออก 34 เรื่อง เหลือ 127 เรื่อง 2) ประเมินฉบับเต็มโดยผู้วิจัย คัดออก 10 เรื่อง เหลือ 117 เรื่อง 3) ค้นหาเพิ่มเติมด้วย forward และ backward citation searching ได้ 7 เรื่อง รวม 124 เรื่องสำหรับวิเคราะห์ ซึ่งครอบคลุมสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ และสังคมศาสตร์

3.2 การสกัดและการจำแนกข้อมูล

การสกัดข้อมูลดำเนินการโดยการวิเคราะห์เนื้อหาบทความทั้งหมด 124 เรื่อง โดยใช้แบบฟอร์มการสกัดข้อมูลที่ออกแบบเฉพาะตามวัตถุประสงค์การวิจัย ข้อมูลที่สกัดประกอบด้วยข้อมูลเชิงบรรยาย ข้อมูลเชิงวิธีการ บัญญัติขับเคลื่อนที่ใช้ รูปแบบสถานการณ์จำลอง และวัตถุประสงค์การศึกษา การจำแนกข้อมูลใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหาเชิงปริมาณ โดยประยุกต์ใช้แนวทางการวิเคราะห์เนื้อหาแบบมีทิศทาง (Hsieh & Shannon, 2005) ร่วมกับวิธีการจำแนกหัสแบบนัยและอุปนัย เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการจำแนกข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้ 1) พัฒนารอบการจำแนกหัสเบื้องต้นจากทฤษฎีของ Lambin and Geist (2006) และ Verburg et al. (2019) โดยกำหนดหมวดหมู่หลักของบัญญัติขับเคลื่อน พร้อมคำจำกัดความที่ชัดเจน 2) สร้างคู่มือการจำแนกหัสที่ระบุตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสินสำหรับแต่ละหมวดหมู่ 3) ทดลองและจำแนกหัสบทความ และ 4) จำแนกหัสบทความที่เหลือทั้งหมดตามรอบการจำแนกที่ปรับปรุงแล้ว

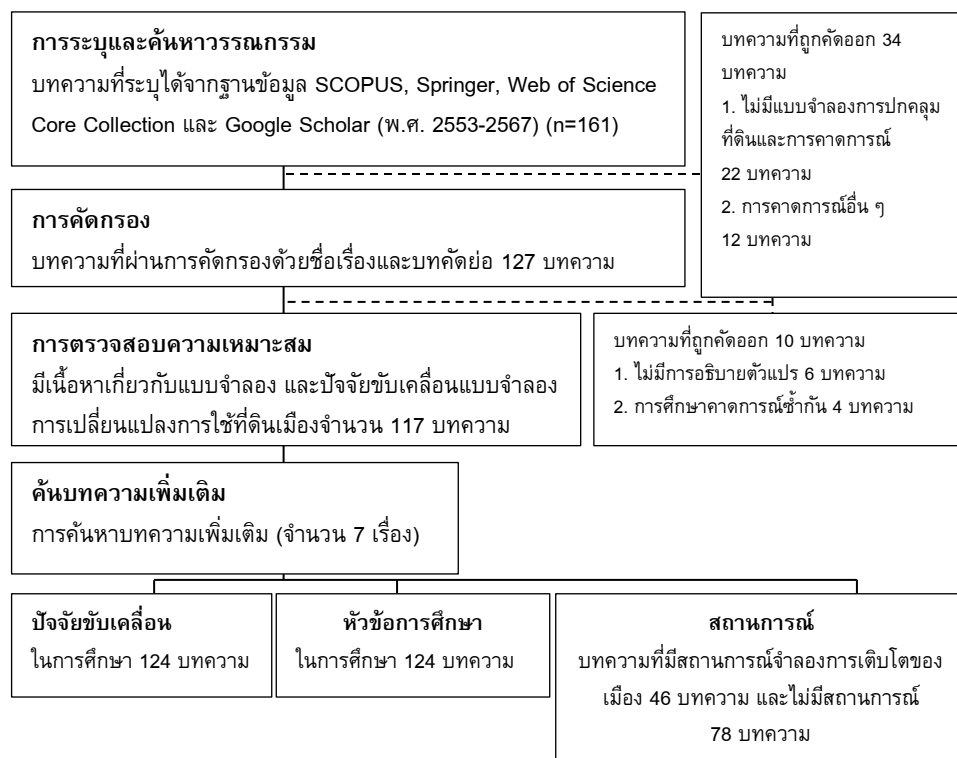
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลและการสังเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่อแสดงแนวโน้มในหมวดหมู่ของบัญญัติขับเคลื่อน หัวข้อการวิจัย และการประยุกต์ใช้สถานการณ์จำลอง (Hsieh & Shannon, 2005) การวิเคราะห์ความถี่ดำเนินการเพื่อระบุบัญญัติขับเคลื่อนที่ใช้บ่อยที่สุดและรูปแบบสถานการณ์จำลองที่ได้รับความนิยม การวิเคราะห์เปรียบเทียบดำเนินการระหว่างบัญญัติขับเคลื่อนที่ระบุในการศึกษาเชิงประจักษ์และที่ใช้ในการศึกษาแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินในเมือง เพื่อประเมินระดับการนำทฤษฎีไปสู่การปฏิบัติ และระบุช่องว่างในการประยุกต์ใช้ การสังเคราะห์ผลการวิจัยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ รูปแบบการใช้งาน และช่องว่างในการวิจัยปัจจุบัน โดยเฉพาะการวิเคราะห์ความแตกต่างในการใช้บัญญัติขับเคลื่อนตามบริบทภูมิศาสตร์ ขนาดการศึกษา และวัตถุประสงค์การวิจัย เพื่อให้ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาการวิจัยแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินในเมืองในอนาคต

กระบวนการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเขตเมือง เริ่มต้นจากการค้นหาข้อมูลจากฐานข้อมูลหลัก 4 แหล่ง: SCOPUS, Springer, Web of Science และ Google Scholar ในช่วง ค.ศ. 2010-2024 ได้บทความเริ่มต้น 161 เรื่อง จากนั้นผ่านกระบวนการคัดกรองตาม PRISMA 2020 ดังแสดงในแผนภาพที่ 1 ดังนี้

แผนภาพที่ 1

กระบวนการค้นหาและประเมินวรรณกรรมการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเมือง



4. ผลการศึกษา

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการขยายตัวของเมืองเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนและเป็นพลวัตสูง ซึ่งเกิดจากปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยหลากหลายประเภทที่ทำงานร่วมกันในระดับเชิงพื้นที่และเวลาที่แตกต่างกัน (Verbarg et al., 2019) การทำความเข้าใจเชิงระบบเกี่ยวกับลักษณะและพฤติกรรมของปัจจัยเหล่านี้ถือเป็นรากฐานสำคัญสำหรับการพัฒนาแบบจำลองที่มีความแม่นยำและการวางแผนการใช้ที่ดินอย่างยั่งยืน (Brown et al., 2005; Seto et al., 2011) จากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบจำนวน 124 บทความ ผลการศึกษานำเสนอการวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้ใน 3 มิติหลัก : ปัจจัยขับเคลื่อนที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเมือง รูปแบบสถานการณ์จำลองที่ใช้จำลองการเติบโตของเมืองในอนาคต และหัวข้อการศึกษาที่สะท้อนแนวโน้มการวิจัยปัจจุบัน

4.1 การจำแนกประเภทและวิเคราะห์ความถี่ของปัจจัยขับเคลื่อนที่สำคัญในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในเมือง

การวิเคราะห์ปัจจัยที่แตกต่างกันทั้งสิ้น 135 ปัจจัย จากรวม 702 ปัจจัยขับเคลื่อนทั้งหมด โดยมีจำนวนเฉลี่ย 5.6 ปัจจัยต่อบทความ การจำแนกปัจจัยเหล่านี้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ 43 ปัจจัย (31.85%) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น 55 ปัจจัย (40.74%) และปัจจัยทางสังคม-เศรษฐกิจ 23 ปัจจัย (17.04%) และอื่น ๆ 14 ปัจจัย (10.37%) ซึ่งครอบคลุมปัจจัยขับเคลื่อนหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเมือง

4.1.1 ปัจจัยขับเคลื่อนหลักในการศึกษาเชิงประจักษ์ การวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนจากงานวิจัยเชิงประจักษ์ทั่วโลกเผยให้เห็นผลลัพธ์เชิงตัวเลขที่สำคัญในแต่ละกลุ่มปัจจัย โดยสามารถระบุผลกระทบและความสำคัญเชิงสถิติที่ชัดเจน 1) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ แสดงผลกระทบต่อโอกาสการพัฒนาเมือง โดยความลาดชันเป็นปัจจัยจำกัดสำคัญที่สุด พื้นที่ความชัน > 15 องศา ลดโอกาสการพัฒนา 85% (ความแม่นยำ 98%, Kappa 0.95) (Torabi Haghighi et al., 2020) ระดับความสูงส่งผลต่อความปลอดภัย โดยพื้นที่ > 10 เมตรจากระดับน้ำทะเลมีโอกาสการพัฒนาเพิ่ม 96% หลังสึนามิ (Achmad et al., 2015) ระยะจากแหล่งน้ำมีผลเชิงบวก โดยความใกล้ชิด < 500 เมตร เพิ่มโอกาสการพัฒนา 45% (Lee-Sallee Index 0.84) ในการศึกษา 120 เมืองทั่วโลก (Zhou et al., 2019) ปัจจัยสภาพอากาศแสดงผลชัดเจน โดยพื้นที่ปริมาณฝน 200-400 มม./ปี มีแนวโน้มขยายสูงสุดและเพิ่มโอกาสการพัฒนา 8% (F. Wu et al., 2015) 2) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น แสดงผลกระทบสูงสุดต่อการกำหนดรูปแบบพัฒนา โดยระยะจากถนนเป็นปัจจัยหลัก พื้นที่ห่างจากถนนสายหลัก ≤ 500 เมตร เพิ่มโอกาสการพัฒนา 73% (ความแม่นยำเฉลี่ย 77.5%) (Park et al., 2017) ปัจจัยด้านโครงสร้างเมืองและการเข้าถึงมีบทบาทต่อรูปแบบการขยายตัวของเมือง โดยแบบจำลอง SLEUTH สามารถอธิบายการเติบโตผ่านกลไกการเกิดศูนย์กลางการเติบโตใหม่ การขยายตัวตามขอบเมือง และการเติบโตที่ได้รับอิทธิพลจากโครงข่ายถนน (Dezhkam et al., 2014) การใช้ที่ดินปัจจุบันแสดงผล path dependency (ความแม่นยำ 85% และ 78% ในลิสบอน-ปอร์โต และ Southeast England ตามลำดับ) (F. Wu & Martin, 2002; Silva & Clarke, 2002) ระยะจากทางรถไฟส่งผลต่อการขยายตัว (ความแม่นยำ 88%) (Zheng et al., 2015) 3) ปัจจัยทางสังคม-เศรษฐกิจ สะท้อนกลไกตลาดและการตัดสินใจ โดยความหนาแน่นประชากรเป็นปัจจัยสำคัญ พื้นที่ความหนาแน่น > 500 คน/ตร.กม. เพิ่มโอกาสการพัฒนา 67% (ความแม่นยำ 86%, Kappa 0.82) (Guan et al., 2005) GDP แสดงความสัมพันธ์เชิงบวกแบบ exponential โดยประเทศที่ GDP per capita เพิ่ม 1% มีพื้นที่เมืองขยาย 1.2-1.5% (Li et al., 2020) มูลค่าทรัพย์สินสะท้อนพลวัตตลาด โดยความใกล้ชิดพื้นที่สีเขียวเพิ่มมูลค่า 5.4% ต่อไมล์ที่ใกล้ขึ้น (R^2 0.73) (Correll et al., 1978) เครื่องมือจัดการการเติบโตมีประสิทธิภาพควบคุมการขยายตัว 15-30% ขึ้นอยู่กับประเภทและความเข้มข้น (Bengston et al., 2004) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ปัจจัยขับเคลื่อนเชิงประจักษ์แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเมือง

หมวดหมู่	ปัจจัยขับเคลื่อน	หมวดหมู่	ปัจจัยขับเคลื่อน
สิ่งแวดล้อมธรรมชาติ		การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ระยะทางจากชุมชน
ภูมิประเทศ	ความลาดชัน		การใช้ประโยชน์ที่ดิน
	ระดับความสูง		ระยะทางจากพื้นที่อยู่อาศัย
	ทิศทาง	การจ้างงาน	ระยะทางจากพื้นที่พาณิชยกรรม
สิ่งอำนวยความสะดวก	ระยะทางจากแหล่งน้ำ		ระยะทางจากพื้นที่เกษตรกรรม
ความสะดวก	ระยะทางจากแม่น้ำ		ระยะทางจากศูนย์กลางเมือง
	ระยะทางจากป่าไม้	การบริการ	ระยะทางจากโรงเรียน
	ระยะทางจากพื้นที่สีเขียว		ระยะทางจากโรงพยาบาล
	ระยะทางจากหิวทัศน์ธรรมชาติ		มูลค่าที่ดิน
	ระยะทางจากชายฝั่ง	สังคม-เศรษฐกิจ	ความหนาแน่นประชากร
สภาพอากาศ	ปริมาณน้ำฝน		แผนการใช้ประโยชน์ที่ดินนโยบาย
	อุณหภูมิ		รายได้
สิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น			
การคมนาคม	ระยะทางจากถนนสายหลัก		
	ระยะทางจากทางหลวง		
	ระยะทางจากทางรถไฟ		

4.1.2 ปัจจัยขับเคลื่อนในการศึกษา Urban LCM ปัจจัยขับเคลื่อนจำแนกได้ 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) สิ่งแวดล้อมธรรมชาติที่ Steiner et al. (2000) พัฒนารอบวิเคราะห์ครอบคลุมอุทกวิทยา ภูมิประเทศ ดิน สภาพอากาศ และนิเวศวิทยา 2) สิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้นที่ Achmad et al. (2015) แสดงความสำคัญของโครงสร้างพื้นฐาน เครือข่ายคมนาคม และความเสี่ยงจากภัยพิบัติ 3) สังคม-เศรษฐกิจที่ Carruthers (2003) เน้นมิติการเมือง เศรษฐกิจ ประชากรศาสตร์ และสังคม และ 4) ปัจจัยระดับโลกที่ Seto et al. (2012) รวมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความหลากหลายทางชีวภาพ เทคโนโลยี และนโยบาย

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ เป็นตัวกำหนดหลัก โดยภูมิประเทศเป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญที่สุด โดยเฉพาะความลาดชันที่ปรากฏใน 44 เรื่อง (Guan et al., 2005) โดย Zare et al. (2017) พบพื้นที่ความลาดชัน < 15% มีแนวโน้มขยายตัวสูง แต่ > 30% ถูกหลีกเลี่ยงและกัดเซาะดินเพิ่ม 25 เท่า ระดับความสูงกำหนดความปลอดภัย โดย Achmad et al. (2015) พบหลังสึนามิ 2004 พื้นที่ > 10 เมตรจากระดับน้ำทะเลกลายเป็นเป้าหมายหลัก ปัจจัยธรรมชาติแสดงบทบาทสำคัญ Conway (2005) พบพื้นที่ห่างชายฝั่ง ≤ 2 กิโลเมตร ขยายสูงสุดและคาดขยายเพิ่ม 35% ใน 50 ปี การสูญเสียป่าทำคุณค่าระบบนิเวศลด 18.2% ใน 15 ปี (Yirsaw et al., 2017) พื้นที่สีเขียวลด 60% ใน 30 ปี (Nor et al., 2017) และ 80% ของการขยายตัวเกิดในพื้นที่เกษตร (Seto et al., 2012) ปัจจัยภูมิอากาศส่งผลต่อความเหมาะสม F. Wu et al. (2015) พบปริมาณฝน 200-400 มม./ปี มีแนวโน้มขยายสูงสุด Ullah et al. (2019) พบการขยายตัวทำให้อุณหภูมิเพิ่ม 2-4°C สร้าง urban heat island และส่งผลต่อความต้องการพลังงาน (Steiner et al., 2000) ปัจจัยความเสี่ยงเป็นข้อจำกัดสำคัญ de Moel et al. (2015) กำหนดพื้นที่น้ำลึก > 2 เมตร เป็นเขตห้ามพัฒนา Lin et al. (2011) พบ soil drainage และ texture เป็นตัวแปรสำคัญ Han

et al. (2015) กำหนดเขตอนุรักษ์เป็น constraint layer และ Pontius et al. (2008) พบข้อจำกัดสิ่งแวดล้อมช่วยเพิ่มความหนาแน่นการพัฒนา

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น เป็นตัวกำหนดสำคัญ โดยการคมนาคมมีอิทธิพลสูงสุด Hu and Lo (2007) พบระยะจากถนนสายหลักมีความสัมพันธ์ผกผันกับความน่าจะเป็นของการพัฒนา Han et al. (2015) พบทางหลวงส่งผลต่อการพัฒนาชานเมืองและขยายระยะไกล Feng et al. (2011) พบสถานีรถไฟส่งผลแบบรัศมี การพัฒนาพื้นที่เมืองมีความหนาแน่นสูงโดยมีศูนย์กลางอยู่รอบ ๆ สถานีขนส่งมวลชน Achmad et al. (2015) พบสนามบินมีบทบาทเชื่อมโยงภายนอกและเพิ่มราคาที่ดินใกล้เคียง การใช้ที่ดินปัจจุบันเป็นตัวกำหนดอนาคต Ullah et al. (2019) พบแนวคิด path dependency แสดงอิทธิพลของการใช้ที่ดินปัจจุบันต่ออนาคต Kim and Park (2015) พบการควบคุมการใช้ที่ดินกำหนดทิศทางการขยายและป้องกัน urban sprawl ปัจจัยการพัฒนาแสดงว่าระยะจากศูนย์กลางเป็นปัจจัยคลาสสิกตาม monocentric model (Pijanowski et al., 2002) และความหนาแน่นเมืองมี neighborhood effects ดึงดูดการพัฒนา (Mondal et al., 2019) ปัจจัยการจ้างงาน Silva and Clarke (2002) พบย่านธุรกิจเป็นแม่เหล็กดึงดูดและเป็นพื้นที่ราคาสูงสุด Price et al. (2015) พบการจ้างงานส่งผลต่างตามบริบท ปัจจัยบริการ Munshi et al. (2014) พบระยะจากโรงเรียนสำคัญต่อการเลือกที่อยู่และเพิ่มมูลค่าทรัพย์สิน Wang et al. (2013) พบโรงพยาบาลเป็นความต้องการพื้นฐาน ปัจจัยที่อยู่อาศัย Correll et al. (1978) พบราคาทรัพย์สินเป็นทั้งปัจจัยและผลลัพธ์ ปัจจัยเหล่านี้เชื่อมโยงหลายระดับ การทำความเข้าใจครบถ้วนช่วยวางแผนจัดการอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

ปัจจัยทางสังคมและเศรษฐกิจ เป็นองค์ประกอบสำคัญ จำแนกเป็น 3 กลุ่ม ปัจจัยประชากรแสดงความสำคัญหลายมิติ Maithani (2015) พบเมืองขยายบริเวณความหนาแน่น > 200 คน/ตร.กม. Chen et al. (2020) พบภายใต้สถานการณ์การแข่งขันระดับภูมิภาคที่มีการเติบโตประชากรสูงทำพื้นที่เมืองเพิ่ม 3-5 เท่า เทียบกับสถานการณ์ความยั่งยืน Qiang and Lam (2015) พบการอพยพหลัง Katrina ส่งผลต่อรูปแบบการเติบโต Linard et al. (2012) พบในแอฟริกาว่าอัตราเป็นเมืองเพิ่ม 1% ส่งผลพื้นที่เมืองเพิ่ม 2-3% Rimal et al. (2018) พบการเป็นเมืองเพิ่มใน Eastern Tarai เนปาลส่งผลสูญเสียพื้นที่เกษตรและป่าอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจัยการวางแผนมีบทบาทกำหนดทิศทาง Amato et al. (2016) พบนโยบายในหุบเขา Agri อิตาลีลดการขยายแบบกระจาย 30-40% Shoemaker et al. (2019) พบการจัดการแบบกระชับใน Charlotte ลดผลกระทบต่อระบบนิเวศ Chaudhuri and Clarke (2013) พบความแตกต่างระบบปกครองชายแดนอิตาลี-สโลวีเนียส่งผลต่อรูปแบบขยายตัวที่แตกต่าง Henríquez-Dole et al. (2018) พบการบูรณาการแผนในลุ่มน้ำ Maipo ชิลีเพิ่มความแม่นยำ 15-20% ปัจจัยเศรษฐกิจมีอิทธิพลมาก Li et al. (2020) พบ GDP per capita เพิ่ม 1% ส่งผลพื้นที่เมืองขยาย 1.2-1.5% Han et al. (2015) พบ GDP มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการขยายพื้นที่เมืองและอุตสาหกรรมในปักกิ่ง Samie et al. (2017) พบพื้นที่อัตราจ้างงานสูงใน Punjab ปากีสถานดึงดูดการย้ายถิ่น D. Lu et al. (2017) พบการลงทุน R&D ในปักกิ่งส่งผลพัฒนาสู่

พื้นที่เทคโนโลยีสูง Akber and Shrestha (2015) พบการเปลี่ยนจากเกษตรดั้งเดิมเป็นเชิงพาณิชย์ในเชิงรายได้ส่งผลเกิดการรวมที่ดินและเปลี่ยนรูปแบบการตั้งถิ่นฐาน

จากการวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนทั้งสามกลุ่ม พบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้นได้รับความสนใจสูงสุด (40.74%) ในขณะที่ปัจจัยทางสังคม-เศรษฐกิจถูกใช้น้อยที่สุด (17.04%) ความแตกต่างนี้เกิดจาก 1) ความพร้อมของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและแพลตฟอร์มเปิดที่ทำให้เข้าถึงข้อมูลด้านโครงสร้างพื้นฐานได้ง่าย ในขณะที่ข้อมูลทางสังคม-เศรษฐกิจมีข้อจำกัดและปัญหาความเป็นส่วนตัว และรายละเอียดของการจัดเก็บ (Gorelick et al., 2017) 2) ตัวแปรด้านโครงสร้างพื้นฐานมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่สอดคล้องกับทฤษฎีที่พิสูจน์แล้ว ในขณะที่ตัวแปรทางสังคม-เศรษฐกิจมีความซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงตามบริบท (Alonso, 1964; Brown et al., 2005) และ 3) วัตถุประสงค์การวิจัยที่มุ่งเน้นการคาดการณ์รูปแบบเชิงพื้นที่มากกว่าการอธิบายกลไกทางสังคม (Verburg et al., 2019) การค้นพบนี้ชี้ให้เห็นโอกาสในการพัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลทางสังคม-เศรษฐกิจที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น การใช้เทคนิคที่จับความซับซ้อนของพฤติกรรมมนุษย์ และการบูรณาการปัจจัยหลากหลายมิติอย่างสมดุล

ตารางที่ 2

ปัจจัยขับเคลื่อนแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเมือง

หมวดหมู่	ปัจจัยขับเคลื่อน	ความถี่	หมวดหมู่	ปัจจัยขับเคลื่อน	ความถี่
สิ่งแวดล้อมธรรมชาติ (43)			สภาพอากาศ (7)	ปริมาณน้ำฝน	16
ภูมิประเทศ (8)	ความลาดชัน	44		อุณหภูมิ	10
	ระดับความสูง	36		สภาพอากาศ	6
	ทิศลาดเท	14		รังสี	2
	แสงเงา	9		ดัชนี พืชพรรณ NDVI	1
	การกัดเซาะตามแนวราบ	2	การแผ่รังสีพื้นผิว	1	
	จุดสนใจทางภูมิประเทศ	1	ช่วงของแสงแดด	1	
	การเปลี่ยนแปลงภูมิประเทศ	1	ความเสี่ยง (5)	ความเสี่ยง/โซนน้ำท่วม	7
	ภูมิประเทศ	1		การกัดเซาะ	4
สิ่งอำนวยความสะดวก (13)	ระยะทางจากแหล่งน้ำ	34		ระยะทางจากรอยเลื่อน	3
	ป่าไม้/พื้นที่ป่า	10	ความเสี่ยงแผ่นดินไหว	2	
	พื้นที่ชุ่มน้ำ	7	พื้นที่ผลกระทบจากสึนามิ	1	
	พื้นที่เกษตรกรรม	7	นิเวศวิทยา (10)	ดิน	24
	พื้นที่สีเขียว	3		พื้นที่คุ้มครอง	7
	พื้นที่น้ำ/แหล่งน้ำ	2		ข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อม	4
	จุดสนใจทางทิวทัศน์	2		การระบายน้ำของดิน	3
	จุดสนใจทางพืชพันธุ์	1		ธรณีวิทยา	3
	จุดสนใจสัตว์ป่า	1		โซนนิเวศวิทยา	2
	ทุ่งหญ้า	1		การจำแนกประเภทที่ดิน	2
	พื้นที่เปิดโล่ง	1		ระยะทางจากป่าไม้	2
	ระยะทางจากที่นันทนาการ	1		พื้นที่ชุมชนพื้นเมือง	1
	จุดท่องเที่ยว	1		พื้นที่เกษตรคุณภาพสูง	1

ตารางที่ 2

ปัจจัยขับเคลื่อนแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเมือง (ต่อ)

หมวดหมู่	ปัจจัยขับเคลื่อน	ความถี่	หมวดหมู่	ปัจจัยขับเคลื่อน	ความถี่
สิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น (51)					
การคมนาคม (12)	ระยะทางจากถนน	62	ที่อยู่อาศัย (4)	ระยะทางจากพื้นที่นันทนาการ	2
	ระยะทางจากทางหลวง	12		ระยะทางจากตลาด	2
	ระยะทางจากทางรถไฟ	9		ระยะทางสถานที่ประวัติศาสตร์	1
	เครือข่ายคมนาคม	9		สิ่งอำนวยความสะดวกเชิงพาณิชย์	1
	ระยะทางจากสนามบิน	7		หน่วยงานของรัฐ	1
	การเข้าถึงขนส่งสาธารณะ	4		จุดบริการทางการแพทย์	1
	การเข้าถึงเส้นทางหลัก	2		การศึกษา/วัฒนธรรม/บันเทิง	1
	เวลาเดินทาง	2		โครงสร้างพื้นฐาน	1
	ความหนาแน่นของถนน	1		ท่าเรือ	1
	ระยะทางจากมอเตอร์เวย์	1		ศูนย์กลางในเครือข่าย	1
การใช้ประโยชน์ที่ดิน (7)	ป้ายรถเมล์	1	สังคม-เศรษฐกิจ (23)	มูลค่า/ราคาทรัพย์สิน	8
	ทางด่วน	1		ความหนาแน่นที่อยู่อาศัย	5
	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	19		เครื่องใช้ตลาดที่อยู่อาศัย	2
	พื้นที่ยกเว้น/จำกัด	9		ระยะทางจากพื้นที่อยู่อาศัย	1
	เขตการควบคุม/การแบ่งเขต	7			
	ขอบเขตเมือง	6	ประชากร (8)	ความหนาแน่นประชากร	31
	ที่ดินของรัฐ	1		การเติบโตของประชากร	11
การพัฒนา (12)	นโยบายการใช้ประโยชน์ที่ดิน	1		ลักษณะทางประชากรศาสตร์	5
	ประวัติการใช้ประโยชน์ที่ดิน	1		อัตราความเป็นเมือง	3
	ระยะทางจากพื้นที่เมือง CBD	39		การเติบโตของครัวเรือน	3
	ความหนาแน่นเมือง	10		อัตราการว่างงาน	2
	ระยะทางจากพื้นที่ก่อสร้าง	7		อัตราการจ้างงาน	2
	ระยะห่างจากชุมชน	6		ระดับอาชญากรรม	1
	ต้นทุนการพัฒนา	4	แผนงาน (6)	นโยบายการวางแผน	3
	การเข้าถึงโครงสร้างพื้นฐาน	4		การจัดการการเติบโต	2
	ขอบเขต/เขตแดนเมือง	2		หน่วยงานท้องถิ่น	2
	ผลกระทบของพื้นที่ใกล้เคียง	2		แผนพัฒนา	1
	ความเหมาะสมในการพัฒนา	2		ข้อจำกัดทางกฎหมาย	1
	ความหนาแน่นอุตสาหกรรม	1		โซนการวางแผนเมือง	1
	ตลาดอสังหาริมทรัพย์	1	เศรษฐกิจ (9)	ผลิตภัณฑ์มวลรวม	16
การจ้างงาน (6)	โครงสร้างพื้นฐาน	1		มูลค่าที่ดิน	8
	ระยะทางจากธุรกิจ	3		ตัวชี้วัดรายได้	7
	ระยะทางจากศูนย์เศรษฐกิจ	3		ปัจจัยการจ้างงาน	5
	ศูนย์การจ้างงาน	2		เศรษฐกิจเกษตร	4
	การจ้างงานในภาคบริการ	2		การลงทุนทางเศรษฐกิจ	3
	การขยายการจ้างงาน	1		ภาษี	1
	แรงดึงดูดทางเศรษฐกิจ	1		อัตราส่วนการก่อสร้างต่อเกษตร	1
การบริการ (14)	ระยะทางจากโรงเรียน	5		การลงทุนด้านเกษตร	16
	บริการสาธารณสุข	3			
	ระยะทางจากโรงพยาบาล	2			
	ระยะทางจากสถานที่สาธารณะ	2			

ตารางที่ 2

ปัจจัยขับเคลื่อนแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเมือง (ต่อ)

หมวดหมู่	ปัจจัยขับเคลื่อน	ความถี่	หมวดหมู่	ปัจจัยขับเคลื่อน	ความถี่
อื่น ๆ (14)			เทคโนโลยี (7)		
เชิงพื้นที่ (5)	พิกัดเชิงพื้นที่	5		การค้นหาข้อมูล	
	ความใกล้ชิด/บริบทเชิงพื้นที่	1		ระบบแนะนำ	1
	ระยะเปลี่ยนผ่าน	1		การกำหนดราคาแบบไดนามิก	1
	ความน่าจะเป็นทางประวัติศาสตร์	1		บริการลูกค้า	1
	ความน่าจะเป็น	1		ความเป็นส่วนตัว	1
ความน่าจะเป็น (2)	พารามิเตอร์แบบจำลอง	2		เสถียรภาพการช้อปปิ้ง	1
	ปัจจัยสุ่ม	1		อิทธิพลของกลุ่ม	1
			รวม (135)	702	

4.2 วิเคราะห์รูปแบบและประเภทของสถานการณ์จำลองที่ใช้ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเมือง

การจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Urban LCM) เป็นเครื่องมือสำคัญในการทำความเข้าใจและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ที่ดินในอนาคต โดยเฉพาะในบริบทของการเติบโตอย่างรวดเร็วของเขตเมือง การใช้การจำลองสถานการณ์ (scenario analysis) ในการวิจัย Urban LCM ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในฐานะวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการสำรวจผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากนโยบายการวางแผนที่แตกต่างกัน การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงที่ดินที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสถานการณ์การเติบโตของเมืองมีจำนวน 46 บทความ (37.1%) แสดงให้เห็นช่องว่างในการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์อย่างแพร่หลายในงานวิจัย Urban LCM รูปแบบการจำลองสถานการณ์การเติบโตในอนาคตที่พบบ่อยประกอบด้วย “สถานการณ์ปกติ” “การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม” “การพัฒนาแบบกระชับ” “การเติบโตตามแผน” และ “การเติบโตทางเศรษฐกิจ” (Conway, 2005; Han et al., 2015; Mondal et al., 2019; Terzi, 2015; Y. Liu & Feng, 2016)

การจำลองสถานการณ์หลัก (Single Theme Scenarios) จากการวิเคราะห์พบว่า การจำลองสถานการณ์ประเภทเดียวยังคงเป็นแนวทางหลักในการวิจัย LCM (56.5%) โดยจำแนกเป็น : 1) สถานการณ์ปกติ รูปแบบการเติบโตคล้ายปัจจุบันโดยไม่มีการแทรกแซงนโยบายเพิ่มเติม (Pettit & Pullar, 2004) ใช้เป็นสถานการณ์อ้างอิงในเกือบทุกการศึกษา 2) การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัดการพัฒนาใหม่ภายในพื้นที่อนุรักษ์ (Landis, 1995) พบ 12 เรื่อง (26.1%) เช่น Park et al. (2017) ที่ตรวจสอบผลกระทบการยกเลิกเขตสีเขียว 3) การพัฒนาแบบกระชับ ส่งเสริมการพัฒนาที่มีความหนาแน่นสูงและต่อเนื่อง พบ 7 เรื่อง (15.2%) เช่น Terzi (2015) ที่เปรียบเทียบการพัฒนาแบบควบคุมกับการกระจายตัว 4) การเติบโตทางเศรษฐกิจ สะท้อนความเร็วของการเติบโตเศรษฐกิจที่ส่งผลต่อความต้องการที่อยู่อาศัย พบ 4 เรื่อง (8.7%) เช่น Y. Liu and Feng (2016) ที่จำลองสถานการณ์เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมในเมือง หินโป 5) การเติบโตตามแผน การพัฒนาตามแผนการใช้ที่ดินที่กำหนดไว้ล่วงหน้า พบ 3 เรื่อง (6.5%) เช่น Mondal et al. (2019) ที่ศึกษาตามแผนพัฒนาชาติ

การจำลองสถานการณ์ผสมผสาน (Multiple Theme Scenarios) แนวโน้มที่เพิ่มขึ้นคือการใช้การจำลองสถานการณ์ที่ผสมผสานหลายรูปแบบ พบ 9 เรื่อง (19.6%) จำแนกเป็น: 1) สถานการณ์

การเติบโตและสิ่งแวดล้อม ผสมผสานการเติบโตทางเศรษฐกิจกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม พบ 5 เรื่อง (10.9%) เช่น Chen et al. (2020) ที่ใช้ Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) และ Li et al. (2020) ที่ศึกษาถึง ค.ศ. 2100 2) สถานการณ์การวางแผน ความหนาแน่น และสิ่งแวดล้อม รวมถึงการวางแผนความหนาแน่นการพัฒนา และการอนุรักษ์ พบ 4 เรื่อง (8.7%) เช่น Zheng et al. (2015) ที่สร้าง Baseline, Open Space, Residential และ Balanced scenarios และ Zhou et al. (2019) ที่ใช้สถานการณ์ SLEUTH ระดับโลก

การจำลองสถานการณ์อื่น ๆ (Other Scenarios) พบ 11 เรื่อง (23.9%) ใช้การจำลองสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับประเด็นพิเศษ เช่น ภัยพิบัติธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และปัจจัยสังคม-เศรษฐกิจที่ซับซ้อน เช่น Achmad et al. (2015) ที่ศึกษาสถานการณ์ความปลอดภัยจากสึนามิใน Banda Aceh และ W. Peng et al. (2015) ที่ศึกษาสถานการณ์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3

สถานการณ์จำลองที่ใช้ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเมือง

หัวข้อ	ประเภทสถานการณ์	เอกสารอ้างอิง
สถานการณ์หลัก		
นิเวศวิทยา/สิ่งแวดล้อม	สถานการณ์ปกติ, นิเวศวิทยา/เขตสีเขียว	ศรัวรณ์ รื่นรมย์ และคณะ 2565; Dezhkam et al., 2014; F. Wu and Martin, 2002; Güneralp and Seto, 2013; Linard et al., 2012; Nor et al., 2017; Park et al., 2017; Seto et al., 2012; Shi et al., 2017; Xi et al., 2009; Y. Lu et al., 2016; Zheng et al., 2015
ความหนาแน่น	สถานการณ์ปกติ, การกระจายตัว, การพัฒนาแบบกระชับ	Bihanta et al., 2015; Han et al., 2015; Hua et al., 2014; Kim and Park, 2015; Liang et al., 2018; Mathioulakis and Photis, 2017; Oguz, 2012; Rimal et al., 2018; Terzi, 2015; Vermeiren et al., 2012
การพยากรณ์เบื้องต้น	การพยากรณ์เดี่ยว วิธีการสอบเทียบ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ	Achmad et al., 2015; Feng et al., 2011; Guan et al., 2005; Hu and Lo, 2007; Ku, 2016; Maitthani, 2015; Mondal et al., 2019; Munshi et al., 2014; Naghibi et al., 2016
การเติบโตทางเศรษฐกิจ/ประชากร	สถานการณ์ปกติ, การเติบโตทางเศรษฐกิจ/ประชากรต่ำและสูง	Allen and Lu, 2003; Bajracharya, 2016; Chen et al., 2020; Huang et al., 2019; Li et al., 2020; Zhou et al., 2019;
แผนงาน	สถานการณ์ปกติ, การวางแผนนโยบาย ที่จัดการ/การวางแผนเชิงพื้นที่	เกศินี นงโพธิ์ และคณะ., 2564; นิตี เอี่ยมชื่น และ สุวิทย์ อ่องสมหวัง, 2556; วันฉัษชา เทพวงศ์ และคณะ., 2565; Amato et al., 2016; D. Lu et al., 2017
อื่น ๆ	การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภัยพิบัติ การสร้างแบบจำลองพิเศษ	Ansari and Golabi, 2019; Pijanowski et al., 2006; Saputra and Lee, 2019
สถานการณ์ผสม		
การเติบโตและสิ่งแวดล้อม	สถานการณ์ปกติ, การเติบโตทางเศรษฐกิจ, การเติบโตด้านสิ่งแวดล้อม/ความยั่งยืน	Goodarzi et al., 2017; Hasan et al., 2020; Samie et al., 2017
แผนงาน/ความหนาแน่นและสิ่งแวดล้อม	สถานการณ์ปกติ, การวางแผน, การกระจายตัว/การพัฒนาแบบกระชับ, สถานการณ์สิ่งแวดล้อม	Lin et al., 2007; M. Liu et al., 2011; F. Wu et al., 2015
ความหนาแน่น/การเติบโตและสิ่งแวดล้อม	ปกติ การเติบโตต่ำและสูง กระชับ สิ่งแวดล้อม	Gude et al., 2007; Henriquez-Dole et al., 2018; Zhen et al., 2014
ความหนาแน่นและการเติบโต	ธุรกิจตามปกติ การเติบโตทางเศรษฐกิจ การขยายตัวกะทัดรัด	Price et al., 2015; te Linde et al., 2011
อื่น ๆ	สังคมเศรษฐกิจ โมเดลที่แตกต่างกัน	Grigorescu et al., 2021; Li et al., 2017; Newman et al., 2016; Shoemaker et al., 2019

4.2.2 หลักการพื้นฐานของการสร้างจำลองสถานการณ์ การวิเคราะห์วรรณกรรมแสดงให้เห็นว่าการจำลองสถานการณ์ใน Urban LCM ได้รับการออกแบบโดยยึดหลักการสำคัญ 3 ประการของการเปลี่ยนแปลงที่ดินในเมือง : ตำแหน่งที่ตั้ง (location) พื้นที่ดิน (area) และปัจจัยขับเคลื่อน (drivers) (Conway, 2005) การจัดการตำแหน่งที่ตั้ง (Location Management) เป็นแนวทางที่พบบ่อยที่สุด โดยใช้การยกเว้น (exclusion layers) เพื่อกำหนดหรือยกเว้นพื้นที่ที่ไม่สามารถพัฒนาได้ ใช้กำหนดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและควบคุมรูปแบบการพัฒนา (Xi et al., 2012; Q. Wu et al., 2006) เช่น Park et al. (2017) ที่ตรวจสอบผลกระทบของการยกเลิกเขตสีเขียวโดยใช้ชั้นข้อมูลยกเว้นที่แตกต่างกัน การปรับจำนวนพื้นที่ (Area Adjustment) เน้นการกำหนดความต้องการพื้นที่สำหรับการเติบโตของเมืองตามการเติบโตของประชากรและความต้องการที่อยู่อาศัยที่แตกต่างกันตามอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจหรือ GDP Hasan et al. (2020) ได้จำลองสถานการณ์การเติบโตทางเศรษฐกิจโดยใช้อัตราการเติบโตสูงพร้อมจำนวนพื้นที่ดินมากกว่าสถานการณ์พื้นฐาน การปรับเปลี่ยนปัจจัยขับเคลื่อน (Driver Modification) ใช้การผสมผสานปัจจัยที่แตกต่างกันในแต่ละสถานการณ์หรือการถ่วงน้ำหนักปัจจัยขับเคลื่อน Fuglsang et al. (2013) ได้สร้างสถานการณ์ 3 แบบ ที่แตกต่างกันโดยการใช้และถ่วงน้ำหนักปัจจัยขับเคลื่อนที่แตกต่างกัน

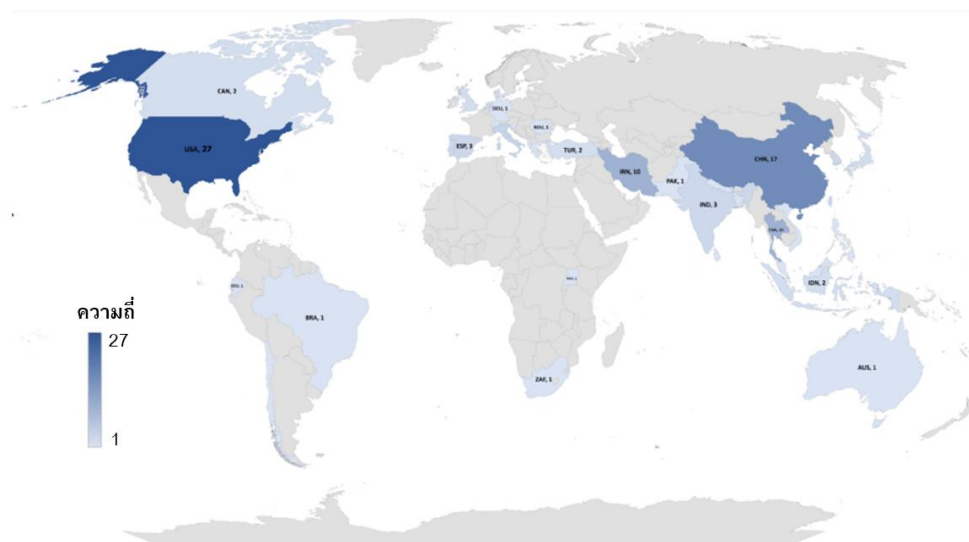
4.2.3 วัตถุประสงค์และการประยุกต์ใช้ การจำลองสถานการณ์ Urban LCM มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ : 1) จำลองผลเชิงพื้นที่ที่เป็นไปได้ของการเติบโตของเมืองในอนาคตโดยพิจารณาเงื่อนไขการวางแผนเฉพาะ (Landis, 1995) 2) คำนวณผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน (Hilferink & Rietveld, 1999) และ 3) สร้างกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับการเติบโตในอนาคตที่พึงประสงค์ (Yang & Lo, 2003) การประยุกต์ใช้ยังขยายไปสู่การประเมินความยั่งยืนของการพัฒนาเมือง การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย โดยเฉพาะในบริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความไม่แน่นอนทางสังคม-เศรษฐกิจ การจำลองสถานการณ์จึงกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการสำรวจอนาคตที่เป็นไปได้หลากหลายและเตรียมการรับมือกับความท้าทาย

4.2.4 การกระจายตัวทางภูมิศาสตร์และแหล่งเผยแพร่ของงานวิจัย

การกระจายตัวทางภูมิศาสตร์ พบความเหลื่อมล้ำอย่างชัดเจน โดยเอเชียครองสัดส่วนสูงสุด 61 บทความ (48.8%) ตามด้วยอเมริกาเหนือ 29 บทความ (23.2%) และยุโรป 22 บทความ (17.7%) ในขณะที่ทวีปอื่น ๆ มีสัดส่วนต่ำ : อเมริกาใต้ 2.4% แอฟริกา 2.4% และโอเชียเนีย 0.8% เมื่อพิจารณาระดับประเทศ สหรัฐอเมริกามีการศึกษามากที่สุด 27 บทความ (21.8%) รองลงมาคือจีน 17 บทความ (13.7%) ส่วนไทยและอิหร่านมีจำนวนเท่ากัน 10 บทความ (8.1%) แสดงถึงความสำคัญของประเด็นในบริบทของประเทศกำลังพัฒนา

แผนภาพที่ 2

การกระจายตัวทางภูมิศาสตร์ของการศึกษา Urban LCM ใน 39 ประเทศจาก 124 บทความ



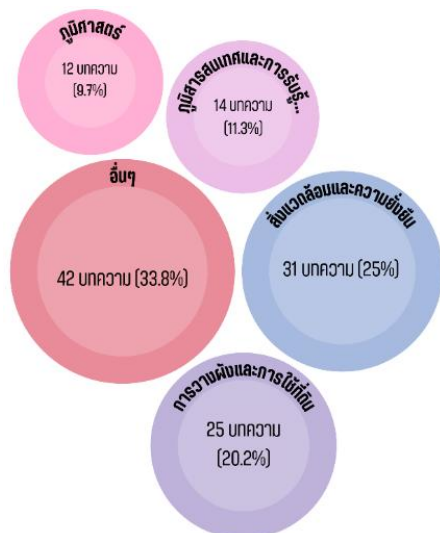
การวิเคราะห์ตามระดับการพัฒนาของประเทศ พบว่าประเทศกำลังพัฒนามีสัดส่วน 50.4% และประเทศพัฒนาแล้ว 49.6% สะท้อนลักษณะเฉพาะของปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงในประเทศที่กำลังประสบการเติบโตทางเศรษฐกิจและการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม การกระจายตัวดังกล่าวยังแสดงถึงช่องว่างการวิจัยที่สำคัญ โดยเฉพาะในแอฟริกาที่แม้จะกำลังเผชิญกับปัญหาการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็ว แต่ยังขาดการศึกษาวิจัยที่เพียงพอ

การวิเคราะห์แหล่งเผยแพร่วารสาร แสดงลักษณะสหวิทยาการของงานวิจัย โดยวารสารที่มีการเผยแพร่มากที่สุด 5 อันดับแรกได้แก่ : Sustainability 10 บทความ (8.06%), Landscape and Urban Planning 5 บทความ (4.03%), Computers, Environment and Urban Systems และ Applied Geography 4 บทความ (3.23%) เท่ากัน และ Environment and Planning B: Planning and Design 4 บทความ (3.23%)

เมื่อจำแนกตามสาขาวิชา พบว่าวารสารด้านสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนมีสัดส่วนสูงสุด 31 บทความ (25.0%) รองลงมาคือการวางผังและการใช้ที่ดิน 25 บทความ (20.2%) ภูมิสารสนเทศและการรับรู้จากระยะไกล 14 บทความ (11.3%) และภูมิศาสตร์ 12 บทความ (9.7%) การกระจายตัวไปยังสาขาวิชาที่หลากหลายนี้สะท้อนความซับซ้อนและความเชื่อมโยงข้ามสาขาของประเด็นการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเมือง ซึ่งต้องอาศัยความรู้และเครื่องมือจากหลายสาขาวิชา คุณภาพของงานวิจัยสะท้อนผ่านการเผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติที่อยู่ในฐานข้อมูล Scopus และ Web of Science ที่มีค่า Impact Factor และ CiteScore ในระดับสูง ซึ่งแสดงถึงมาตรฐานและการยอมรับระดับนานาชาติ ดังแผนภาพที่ 3

แผนภาพที่ 3

การกระจายของงานวิจัยจำแนกตามหมวดหมู่สาขาวิชา



4.3 แนวโน้มและทิศทางการพัฒนาของหัวข้อการศึกษาแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเมือง

การคาดการณ์การขยายตัวของเมือง (Urban LCM) สามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มหลักตามจุดมุ่งหมายและวิธีการวิจัย แผนภาพที่ 4 ประกอบด้วย

การคาดการณ์และการจำลองการขยายตัวของเมือง แสดงแนวโน้มการพัฒนาของการศึกษา Urban LCM จำนวน 61 บทความ คิดเป็นร้อยละ 49.2 ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 หมวดย่อย ได้แก่ การคาดการณ์ระยะสั้น (5-10 ปี) 12 บทความ การคาดการณ์ระยะยาว (2030-2100) 15 บทความ การคาดการณ์การขยายตัวของเมืองเฉพาะพื้นที่ 22 บทความ และการศึกษาสถานการณ์จำลองอนาคต 12 บทความ

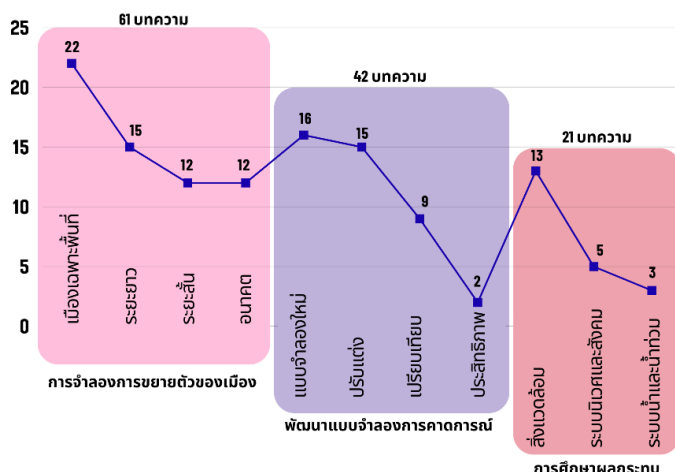
การแนะนำและพัฒนาแบบจำลองการคาดการณ์ จำนวน 42 บทความ คิดเป็นร้อยละ 33.9 ประกอบด้วย การแนะนำและพัฒนาแบบจำลองใหม่ 16 บทความ การปรับแต่งและปรับปรุงแบบจำลอง 15 บทความ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลอง 9 บทความ และการประเมินประสิทธิภาพ 2 บทความ

การศึกษาผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับการเติบโต จำนวน 21 บทความ คิดเป็นร้อยละ 16.9 โดยมุ่งเน้นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 13 บทความ ผลกระทบต่อระบบน้ำและน้ำท่วม 3 บทความ และผลกระทบต่อบริการระบบนิเวศและสังคม 5 บทความ

การกระจายตัวของงานวิจัยในลักษณะดังกล่าวสะท้อนถึงแนวโน้มหลักของชุมชนนักวิจัยที่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาเครื่องมือและเทคนิคการคาดการณ์มากกว่าการประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาผลกระทบ

แผนภาพที่ 4

แนวโน้มและทิศทางการพัฒนาของหัวข้อการศึกษาแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเมือง



4.3.1 วิวัฒนาการของการศึกษา Urban LCM แบ่งเป็น 3 ช่วงตามการพัฒนา 2 ด้าน : 1) เทคนิคและวิธีการ และ 2) ความสามารถในการเข้าถึง (Accessibility/User Interface) : ยุคก่อตั้ง (1995-2000) พัฒนาแบบจำลองรุ่นแรก เช่น California Urban Futures Model (Landis, 1995) และ CLUE-S model (Verburg et al., 2002) ยุคพัฒนา (2000-2010) เกิดแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ได้แก่ SLEUTH model (Silva & Clarke, 2002) และ CA-Markov model (Guan et al., 2005) โดยมุ่งปรับปรุงประสิทธิภาพและความแม่นยำ ยุคปัญญาประดิษฐ์ (2010–ปัจจุบัน) มีการประยุกต์ใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้ของเครื่องร่วมกับแบบจำลองเชิงพื้นที่ เช่น การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Maithani, 2015) รวมถึงการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการหาค่าเหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Feng et al., 2011; Naghibi et al., 2016)

4.3.2 การคาดการณ์และการจำลองการขยายตัวของเมือง เป็นกลุ่มการศึกษาที่มีจำนวนมากที่สุด (61 บทความ) แบ่งเป็น 3 ประเภทการคาดการณ์ระยะสั้น (5-10 ปี) เน้นการวางแผนเมืองระยะใกล้ เช่น Munshi et al. (2014) ในเมืองอาเมดาบาด และ Han et al. (2015) ในปักกิ่งที่ใช้ปัจจัยขับเคลื่อนหลักระยะทางจากถนนหลัก ความหนาแน่นประชากร และระยะทางจากศูนย์กลางเมือง การคาดการณ์ระยะยาว (2030-2100) มุ่งประเมินแนวโน้มภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น Chen et al. (2020) ที่ใช้ SSPs scenarios และ Li et al. (2020) ที่คาดการณ์พื้นที่เมืองระดับโลกถึงปี 2100 การศึกษาสถานการณ์จำลองอนาคต วิเคราะห์ทางเลือกเชิงนโยบาย เช่น Henríquez-Dole et al. (2018) ในลุ่มน้ำ Maipo และ Gude et al. (2007) ใน Greater Yellowstone

4.3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลอง มีความสำคัญในการประเมินความเหมาะสมและข้อจำกัดของแบบจำลองต่าง ๆ Lin et al. (2011) เป็นงานบุกเบิกที่เปรียบเทียบ Logistic Regression, Auto-logistic Regression และ Neural Networks พบว่า Neural Networks มีประสิทธิภาพสูงสุดในพื้นที่ซับซ้อน แต่ Logistic Regression มีความเสถียรมากกว่าในพื้นที่ที่มีข้อมูลจำกัด Pontius et al. (2008) พัฒนามาตรฐานการประเมินผ่านตัวชี้วัดทางสถิติเฉพาะ รวมถึง Figure of Merit (FoM) และ fuzzy set theory ขณะที่ Camacho Olmedo et al. (2015) เปรียบเทียบแบบจำลองด้านปริมาณและการจัดสรรอย่างเป็นระบบ และ Shafizadeh-Moghadam et al. (2018) พัฒนาการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนสำหรับ Land Transformation Model (LTM)

4.3.4 การประยุกต์ใช้เชิงนโยบาย แม้มีสัดส่วนน้อยที่สุด (16.9%) แต่มีความสำคัญสูงในการเชื่อมโยงการคาดการณ์เข้ากับการประยุกต์ใช้เชิงนโยบาย Sekovski et al. (2015) เป็นงานบุกเบิกในการศึกษาความเชื่อมโยงระหว่างการเติบโตของเมืองและอันตรายจากน้ำท่วมชายฝั่งใน Emilia-Romagna โดยพัฒนา integrated modeling framework ที่เชื่อมต่อ urban expansion scenarios เข้ากับ coastal flood risk assessment Seto et al. (2012) ประเมินผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพและการเก็บคาร์บอนระดับโลก พบผลกระทบต่อ biodiversity hotspots ถึง 25% Wilson and Weng (2010) วิเคราะห์ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำ Heihe โดยใช้ SWAT model ร่วมกับ land use change scenarios และ Güneralp and Seto (2013) คาดการณ์การขยายตัวของเมืองระดับโลกถึง ค.ศ. 2030

5. อภิปรายผลและบทสรุป

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการขยายตัวของเมืองเป็นความท้าทายที่ซับซ้อนในยุคปัจจุบันซึ่งเกิดจากปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยหลากหลายประเภท (Kim et al., 2020) การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบนี้มุ่งวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับปัจจัยขับเคลื่อน รูปแบบสถานการณ์จำลอง และหัวข้อการศึกษาในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดิน จากการวิเคราะห์ 124 บทความ ระหว่าง ค.ศ. 2010-2024 ผลการศึกษาให้ข้อมูลเชิงลึกในสามมิติหลัก 1) เกี่ยวกับปัจจัยขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน พบปัจจัยขับเคลื่อน 135 ปัจจัย จำแนกเป็น 4 กลุ่ม : ปัจจัยสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ (31%) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น (40.74%) ปัจจัยสังคม-เศรษฐกิจ (17.04%) และปัจจัยอื่น ๆ (10.37%) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้นมีความสำคัญสูงสุด โดยเฉพาะระยะทางจากถนน (62 ครั้ง) และระยะทางจากพื้นที่เมือง (39 ครั้ง) ซึ่งสะท้อนความสำคัญของการเข้าถึงและผลของการรวมกลุ่มทางเศรษฐกิจ (Alonso, 1964; Carruthers, 2003) การค้นพบนี้สอดคล้องกับทฤษฎีการพัฒนาเมืองแบบคลาสสิก แต่เผยให้เห็นความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ นักวิจัยและนักวางแผนควรบูรณาการปัจจัยจากทั้งสามกลุ่มในแบบจำลองเดียวกันเพื่อเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ 2) เกี่ยวกับหัวข้อการศึกษาและแนวโน้มการวิจัย พบว่า 49.2% มุ่งเน้นการคาดการณ์และการจำลองการขยายตัวของเมือง รองลงมาคือการพัฒนาแบบจำลอง (33.9%) และการศึกษาผลกระทบ (16.9%) การกระจายตัวนี้สะท้อนแนวโน้มที่ให้ความสำคัญ

กับการพัฒนาเครื่องมือและเทคนิคการคาดการณ์มากกว่าการประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาผลกระทบเชิงสาเหตุและผล อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่เชื่อมโยงการคาดการณ์เข้ากับการประยุกต์ใช้เชิงนโยบายยังมีสัดส่วนต่ำ ดังเห็นจาก Sekovski et al. (2015) และ Seto et al. (2012) ที่เป็นตัวอย่างการวิจัยที่มีผลกระทบสูงในการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย นักวิจัยในอนาคตควรมุ่งสร้างสะพานเชื่อมระหว่างการพัฒนาเทคนิคกับการประยุกต์ใช้จริง โดยเฉพาะการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมที่สนับสนุนการวางแผนเมืองอย่างยั่งยืน 3) เกี่ยวกับการใช้สถานการณ์จำลองใน Urban LCM พบเพียง 37.1% ของงานวิจัยที่ใช้การวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง ข้อค้นพบนี้นำไปสู่คำถามสองประการ : เหตุใดเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับว่ามีความสำคัญต่อการวางแผนเมืองเชิงกลยุทธ์จึงถูกใช้เพียงหนึ่งในสาม และอะไรคือข้อจำกัดหลักที่ทำให้ให้นักวิจัยไม่นำมาใช้ สัดส่วนที่ต่ำนี้สะท้อนช่องว่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างศักยภาพทางทฤษฎีกับการประยุกต์ใช้จริง

การวิเคราะห์เชิงลึกชี้ให้เห็นข้อจำกัดหลัก 5 ประการ 1) ความซับซ้อนทางเทคนิค การสร้างสถานการณ์จำลองหลายรูปแบบต้องทดสอบแบบจำลองหลายครั้งด้วยพารามิเตอร์แตกต่างกัน รวมถึงการเปรียบเทียบและทดสอบแยก ซึ่งใช้เวลาและทรัพยากรมาก ดังเห็นได้จาก Torabi Haghighi et al. (2020) ที่แม้ได้ความแม่นยำ 98% และค่าแคปปา 0.95 แต่ต้องใช้เวลาพัฒนายาวนาน 2) การขาดข้อมูลและความเชี่ยวชาญด้านนโยบาย นักวิจัยส่วนใหญ่มีความเชี่ยวชาญด้านเทคนิคมากกว่าด้านนโยบาย ขาดข้อมูลและการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ทำให้สถานการณ์ที่สร้างไม่สะท้อนทางเลือกนโยบายที่เป็นไปได้จริง 3) ความไม่เชื่อมโยงกับการปฏิบัติ หลายการศึกษามีวัตถุประสงค์เพียงทดสอบเทคนิค เช่น Park et al. (2017) ที่แสดงผลการวิเคราะห์แต่ไม่มุ่งสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย 4) ความท้าทายในการสื่อสาร การใช้หลายสถานการณ์อาจทำให้ผู้กำหนดนโยบายสับสน ขาดแนวทางมาตรฐานในการประเมินและสื่อสาร 5) การทดสอบในบริบทเดียว 78% ของการศึกษาพัฒนาแบบจำลองในพื้นที่เดียวโดยไม่ตรวจสอบความสามารถในการถ่ายโอนไปยังบริบทอื่น

รูปแบบสถานการณ์จำลองที่พบบ่อย ได้แก่ สถานการณ์ปกติ การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการพัฒนาแบบกระชับ อย่างไรก็ตาม สถานการณ์เหล่านี้มักมุ่งเน้นเพียงมิติเดียวและไม่สะท้อนความซับซ้อนของการตัดสินใจที่ต้องสมดุลหลายวัตถุประสงค์ การวิเคราะห์เชิงปริมาณจาก 124 บทความแสดงความไม่สมดุลของปัจจัยขับเคลื่อน : ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้นมีความถี่สูงสุด (55 ปัจจัย, 40.74%) เมื่อเทียบกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ (43 ปัจจัย, 31%) และปัจจัยสังคม-เศรษฐกิจ (23 ปัจจัย, 17.04%) ความไม่สมดุลนี้สะท้อนการออกแบบสถานการณ์ที่กำหนดจากนักวิจัยมากกว่าการสำรวจความเป็นไปได้ที่หลากหลาย แม้มีแนวโน้มการผสมผสาน เช่น Chen et al. (2020) ที่ใช้ Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) แต่ยังมีช่องว่างสามประการ : ขาดสถานการณ์ใหม่ที่ตอบสนองความท้าทายร่วมสมัย ขาดการบูรณาการกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และขาดการประเมินผลกระทบหลายมิติ

การค้นพบนี้ชี้ให้เห็นความจำเป็นในการปรับเปลี่ยนแนวทางการวิจัยจากการเน้นความซับซ้อนทางเทคนิคไปสู่ความสามารถในการประยุกต์ใช้จริงและความเกี่ยวข้องกับนโยบาย โดยเฉพาะในบริบท

ของ SDG 11: Sustainable Cities and Communities และ Climate-Resilient Cities แม้การวิเคราะห์สถานการณ์จำลองจะมีข้อเด่นสำคัญในการมองเห็นอนาคตที่หลากหลาย จัดการความไม่แน่นอน สื่อสารกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ แต่การนำไปใช้จริงยังคงจำกัดอยู่ที่ 37.1% ทิศทางอนาคต ควรมุ่งเน้น 4 ประการ : 1) พัฒนาแบบจำลองบูรณาการที่รวมมิติสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจอย่างสมดุล 2) สร้างสถานการณ์จำลองที่ตอบสนองความท้าทายร่วมสมัย เช่น การลดก๊าซเรือนกระจก การปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการสร้างความเท่าเทียมในการเข้าถึงทรัพยากรเมือง 3) พัฒนารอบการทำงานที่เข้าถึงง่ายเพื่อสนับสนุนกระบวนการวางแผนมีส่วนร่วม และ 4) สร้างสะพานเชื่อมนักวิจัยกับผู้กำหนดนโยบาย การเลือกใช้เทคนิค ควรพิจารณาตามบริบท : ผู้เริ่มต้นควรใช้ Logistic Regression LCM และ Dinamica EGO นักวิจัยที่มีประสบการณ์ควรทดลอง Random Forest และ Hybrid Models ผู้กำหนดนโยบายควรมุ่งเน้นการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองและใช้เครื่องมือที่มีความสามารถในการแสดงผลภาพข้อมูลเชิงพื้นที่ควบคู่กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยการใช้เทคนิคและเครื่องมือควรคำนึงถึงความสมดุลระหว่างความแม่นยำของแบบจำลอง ความสามารถในการตีความผลลัพธ์ และทรัพยากรที่มีอยู่

สำหรับประเทศไทย ที่มีการศึกษาน้อยกว่า 10% และกำลังเผชิญความท้าทายจากการเติบโตของเมืองอย่างรวดเร็ว โอกาสสำคัญอยู่ที่ : การพัฒนาแบบจำลองที่สะท้อนบริบทเฉพาะ (เมืองท่องเที่ยว เมืองกีฬา) การบูรณาการปัจจัยสังคม-เศรษฐกิจและนโยบาย การใช้เครื่องมือที่เข้าถึงง่าย และการสร้างความร่วมมือในการพัฒนาฐานข้อมูล เพื่อสนับสนุนการวางแผนเมืองที่ยั่งยืนและสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาแห่งชาติและระดับสากล ผู้กำหนดนโยบาย ควรส่งเสริมการใช้สถานการณ์จำลอง เนื่องจากเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินผลกระทบของนโยบายต่อความยั่งยืนของเมือง มองเห็นทางเลือกที่หลากหลาย เตรียมพร้อมรับมือความไม่แน่นอนจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเป็นเวทีอภิปรายที่ช่วยให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเข้าใจผลกระทบของการตัดสินใจร่วมกัน

เอกสารอ้างอิง/References

- เกศินี นงโพธิ์, ชูเดช โลศิริ, และ สุชาติพิทย์ ชวนะเวสสกุล. (2564). การติดตามและการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตจังหวัดอุดรธานี. *วารสารสังคมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 24(1), 13-34. <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/JOS/article/view/13778>
- นิติ เอี่ยมชื่น และ สุวิทย์ อ่องสมหวัง. (2556). การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยแบบจำลองคลูเอส (CLUE-S): กรณีศึกษาบริเวณพื้นที่โดยรอบกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา. *วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย*, 15(1), 26-31.
- วันฉัษฐา เทพวงศ์, บุญศิริ สุขพร้อมสรรพ, ธิดาภัทร อนุชาญ, และ นิติ เอี่ยมชื่น. (2565). การพยากรณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินของเมืองชายแดนด้วยแบบจำลองฟลัส (FLUS): กรณีศึกษาอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย. *วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนาวัตกรรมการแข่งขันพื้นที่*, 3(1), 1-14.
- ศรีวรรณ รื่นรัมย์, มานัส ศรีวินิช, และ นิติ เอี่ยมชื่น. (2565). การจำลองและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้แบบจำลองคลูมอนโดในจังหวัดปัตตานี. *วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนาวัตกรรมการแข่งขันพื้นที่*, 3(3), 73-90.
- Achmad, A., Hasyim, S., Dahlan, B., & Aulia, D. N. (2015). Modeling of urban growth in tsunami-prone city using logistic regression: Analysis of Banda Aceh, Indonesia. *Applied Geography*, 62, 237-246. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.05.001>
- Akber, M. A., & Shrestha, R. P. (2015). Land use change and its effect on biodiversity in Chiang Rai province of Thailand. *Journal of Land Use Science*, 10(1), 108-128. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2013.807315>
- Alonso, W. (1964). *Location and land use: Toward a general theory of land rent*. Harvard University Press.
- Allen, J., & Lu, K. (2003). Modeling and prediction of future urban growth in the Charleston region of South Carolina: A GIS-based integrated approach. *Conservation Ecology*, 8(2), Article 2. <http://www.consecol.org/vol8/iss2/art2>
- Amato, F., Pontrandolfi, A., & Murgante, B. (2016). Using spatiotemporal analysis in urban sprawl assessment and prediction. In B. Murgante, S. Misra, A. M. A. C. Rocha, C. Torre, J. G. Rocha, M. I. Falcão, D. Taniar, B. O. Apduhan, & O. Gervasi (Eds.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2016* (pp. 758-773). Springer.
- Ansari, A., & Golabi, M. H. (2019). Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for Desert Wetlands – A case study: Meighan Wetland, Iran. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1), 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.10.001>

- Batty, M. (2007). *Cities and complexity: Understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. MIT Press.
- Bajracharya, P. (2016). *Modeling urban growth and land use change in Albuquerque using SLEUTH* [Master's thesis, University of New Mexico]. UNM Digital Repository. http://digitalrepository.unm.edu/geog_etds/26
- Bengston, D. N., Fletcher, J. O., & Nelson, K. C. (2004). Public policies for managing urban growth and protecting open space: Policy instruments and lessons learned in the United States. *Landscape and Urban Planning*, 69(2-3), 271-286. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.007>
- Bihamta, N., Soffianian, A., Fakheran, S., & Gholamalifard, M. (2015). Using the SLEUTH Urban Growth Model to Simulate Future Urban Expansion of the Isfahan Metropolitan Area, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43(2), 407-414. <https://doi.org/10.1007/s12524-014-0402-8>
- Brown, D. G., Johnson, K. M., Loveland, T. R., & Theobald, D. M. (2005). Rural land-use trends in the conterminous United States, 1950-2000. *Ecological Applications*, 15(6), 1851-1863. <https://doi.org/10.1890/03-5220>
- Camacho Olmedo, M. T., Paegelow, M., Mas, J. F., Escobar, F. (2018). *Geomatic approaches for modeling land change scenarios*. In M. Camacho Olmedo, M. Paegelow, JF. Mas, F. Escobar (Eds.), *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography* (pp. 1-8). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60801-3_1
- Carruthers, J. I. (2003). Growth at the fringe: The influence of political fragmentation in United States metropolitan areas. *Papers in Regional Science*, 82(4), 475-499. <https://doi.org/10.1007/s10110-003-0148-0>
- Cartwright, A., Palmer, T., Taylor, A., Methner, N., & Ziervogel, G. (2018). Developing country urban areas are increasingly exposed to the impacts of climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 30, 1-8.
- Chaudhuri, G., & Clarke, K. C. (2013). The SLEUTH land use change model: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(8), 3535-3561.
- Chen, G., Li, X., Liu, X., Chen, Y., Liang, X., Leng, J., Xu, X., Liao, W., Qui, Y., Wu, Q., & Huang, K. (2020). Global projections of future urban land expansion under shared socioeconomic pathways. *Nature Communications*, 11, Article 537. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14386-x>

- Conway, T. M. (2005). Current and future patterns of land-use change in the coastal zone of New Jersey. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32(6), 877-893. <https://doi.org/10.1068/b31170>
- Correll, M. R., Lillydahl, J. H., & Singell, L. D. (1978). The effects of greenbelts on residential property values: Some findings on the political economy of open space. *Land Economics*, 54(2), 207-217. <https://doi.org/10.2307/3146234>
- de Moel, H., Jongman, B., Kreibich, H., Merz, B., Penning-Rowsell, E., & Ward, P. J. (2015). Flood risk assessments at different spatial scales. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20, 865-890. <https://doi.org/10.1007/s11027-015-9654-z>
- Dezhkam, S., Jabbarian Amiri, B., Darvishsefat, A. A., & Sakieh, Y. (2014). Simulating the urban growth dimensions and scenario prediction through SLEUTH model: A case study of Rasht County, Guilan, Iran. *GeoJournal*, 79(5), 591-604. <https://doi.org/10.1007/s10708-013-9515-9>
- Feng, Y., Liu, Y., Tong, X., Liu, M., & Deng, S. (2011). Modeling dynamic urban growth using cellular automata and particle swarm optimization rules. *Landscape and Urban Planning*, 102(3), 188-196. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.04.004>
- Fuglsang, M., Münier, B., & Hansen, H. S. (2013). Modelling land-use effects of future urbanization using cellular automata and artificial neural networks. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(6), 1083-1102.
- Goodarzi, M. R., Abedi-Koupai, J., Hosseinfard, S. J., Ahmadi, S. H., & Tabatabaei, S. H. (2017). Comparison of auto-logistic regression and CA-Markov model in spatial modeling of land use/cover change (case study: Birjand region, Iran). *Desert*, 22(1), 1-12.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Grigorescu, I., Kucsicsa, G., Popovici, E.-A., Mitrică, B., Mocanu, I., & Dumitrașcu, M. (2021). Modelling land use/cover change to assess future urban sprawl in Romania. *Geocarto International*, 36(7), 721-739.
- Guan, Q., Wang, L., & Clarke, K. C. (2005). An artificial-neural-network-based, constrained CA model for simulating urban growth. *Cartography and Geographic Information Science*, 32(4), 369-380. <https://doi.org/10.1559/152304005775194746>

- Gude, P. H., Hansen, A. J., Rasker, R., & Maxwell, B. (2007). Rates and drivers of rural residential development in the Greater Yellowstone. *Landscape and Urban Planning*, 77(1-2), 131-151. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.004>
- Güneralp, B., & Seto, K. C. (2013). Futures of global urban expansion: Uncertainties and implications for biodiversity conservation. *Environmental Research Letters*, 8(1), Article 014025. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/014025>
- Han, J., Hayashi, Y., Cao, X., & Imura, H. (2015). Application of an integrated system dynamics and cellular automata model for urban growth assessment: A case study of Shanghai, China. *Landscape and Urban Planning*, 91(3), 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.12.002>
- Hasan, S. S., Zhen, L., Miah, M. G., Ahamed, T., & Samie, A. (2020). Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environmental Development*, 34, Article 100527. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100527>
- Henríquez-Dole, L., Usón, T. J., Vicuña, S., Henríquez, C., Gironás, J., & Meza, F. (2018). Integrating strategic land use planning in the construction of future land use scenarios and its performance: The Maipo River Basin, Chile. *Land Use Policy*, 78, 353–366. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.045>
- Hilferink, M., & Rietveld, P. (1999). Land use scanner: An integrated GIS based model for long term projections of land use in urban and rural areas. *Journal of Geographical Systems*, 1, 155-177. <https://doi.org/10.1007/s101090050010>
- Hsieh, H. F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative Health Research*, 15(9), 1277-1288. <https://doi.org/10.1177/1049732305276687>
- Hua, L., Tang, L., Cui, S., & Yin, K. (2014). Simulating urban growth using the SLEUTH model in a coastal peri-urban district in China. *Sustainability*, 6(6), 3899-3914. <https://doi.org/10.3390/su6063899>
- Hu, Z., & Lo, C. P. (2007). Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(6), 667-688. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2006.11.001>
- Huang, K., Li, X., Liu, X., & Seto, K. C. (2019). Projecting global urban land expansion and heat island intensification through 2050. *Environmental Research Letters*, 14(11), Article 114037. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab4b71>

- Kim, Y., & Park, K. (2015). A sustainable development model for an urban heritage area: The case of downtown Seoul, South Korea. *Sustainability*, 7(11), 14723-14750.
- Ku, C.-A. (2016). Incorporating spatial regression model into cellular automata for simulating land use change. *Applied Geography*, 69, 1-9.
- Lambin, E. F., & Geist, H. (Eds.). (2006). *Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts*. Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7>
- Landis, J. D. (1995). Imagining land use futures: Applying the California urban futures model. *Journal of the American Planning Association*, 61(4), 438-457. <https://doi.org/10.1080/01944369508975656>
- Li, X., Chen, G., Liu, X., Liang, X., Wang, S., Chen, Y., Pei, F., & Xu, X. (2017). A new global land-use and land-cover change product at a 1-km resolution for 2010 to 2100 based on human-environment interactions. *Annals of the American Association of Geographers*, 107(5), 1040-1059. <https://doi.org/10.1080/24694452.2017.1303357>
- Li, X., Zhou, Y., Zhao, M., & Zhao, X. (2020). A harmonized global nighttime light dataset 1992-2018. *Scientific Data*, 7, Article 168. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0510-y>
- Liang, X., Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tian, H., & Yao, Y. (2018). Delineating multi-scenario urban growth boundaries with a CA-based FLUS model and morphological method. *Landscape and Urban Planning*, 177, 47-63. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.04.016>
- Lin, Y. P., Hong, N. M., Wu, P. J., & Lin, C. J. (2007). Modeling and assessing land-use and hydrological processes to future land-use and climate change scenarios in watershed land-use planning. *Environmental Geology*, 53, 623-634. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0677-y>
- Lin, Y. P., Chu, H.-J., Wu, C.-F., Chang, T.-K., & Chen, C.-Y. (2011). Hotspot analysis of spatial environmental pollutants using kernel density estimation and geostatistical techniques. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(1), 75-88. <https://doi.org/10.3390/ijerph8010075>
- Linard, C., Gilbert, M., Snow, R. W., Noor, A. M., & Tatem, A. J. (2012). Population distribution, settlement patterns and accessibility across Africa in 2010. *PLoS One*, 7(2), Article e31743. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031743>
- Liu, M., Hu, Y., Zhang, W., Zhu, J., Chen, H., & Xi, F. (2011). Application of land-use change model in guiding regional planning: A case study in Hun-Taizi River watershed, Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 21(5), 609-618. <https://doi.org/10.1007/s11769-011-0497-6>

- Liu, Y., & Feng, Y. (2016). Simulating the impact of economic and environmental strategies on future urban growth scenarios in Ningbo, China. *Sustainability*, 8(10), Article 1045. <https://doi.org/10.3390/su8101045>
- Liu, Y., Feng, Y., & Pontius, R. G. (2014). Spatially-explicit simulation of urban growth through self-adaptive genetic algorithm and cellular automata modelling. *Land*, 3(3), 719-738. <https://doi.org/10.3390/land3030719>
- Liu, Y., & Yang, R. (2012). The spatial characteristics and formation mechanism of the county urbanization in China. *Acta Geographica Sinica*, 67(8), 1011-1020. <https://www.geog.com.cn/CN/10.11821/xb201208001>
- Lu, D., Xu, J., Yang, D., & Zhao, J. (2017). Spatio-temporal variation and influence factors of PM2.5 concentrations in China from 1998 to 2014. *Atmospheric Pollution Research*, 8(6), 1151-1159. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.05.005>
- Lu, Y., Wang, X., Xie, Y., Li, K., & Xu, Y. (2016). Integrating future land use scenarios to evaluate the spatio-temporal dynamics of landscape ecological security. *Sustainability*, 8(12), Article 1242. <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/12/1242>
- Mahiny, A. S., & Clarke, K. C. (2012). Guiding SLEUTH land-use/land-cover change modeling using multicriteria evaluation: Towards dynamic sustainable land-use planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 39(5), 925-944. <https://doi.org/10.1068/b37092>
- Maithani, S. (2015). Neural networks-based simulation of land cover scenarios in Doon valley, India. *Geocarto International*, 30(2), 163-185. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.927535>
- Mathioulakis, S., & Photis, Y. N. (2017). Using the SLEUTH model to simulate future urban growth in the Greater Eastern Attica area, Greece. *European Journal of Geography*, 8(2), 107-120. <https://www.eurogeojournal.eu/index.php/egj/article/view/292>
- Mondal, M. S., Sharma, N., Kappas, M., & Garg, P. K. (2019). CA Markov modeling of land use land cover dynamics and sensitivity analysis to identify sensitive parameter(s). In L. Halounova & V. Šafář (Eds.), *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (Vol. XLII-2/W13, pp. 723-729). <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-723-2019>
- Munshi, T., Zuidgeest, M. H. P., Brussel, M. J. G., & van Maarseveen, M. F. A. M. (2014). Logistic regression and cellular automata-based modelling of retail, commercial and residential development in the city of Ahmedabad, India. *Cities*, 39, 68-86. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.02.007>

- Naghibi, F., Delavar, M. R., & Pijanowski, B. (2016). Urban growth modeling using cellular automata with multi-temporal remote sensing images calibrated by the artificial bee colony optimization algorithm. *Sensors*, 16(12), Article 2122. <https://doi.org/10.3390/s16122122>
- Newman, G., Lee, J., & Berke, P. (2016). Using the land transformation model to forecast vacant land. *Journal of Land Use Science*, 11(4), 450-475. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2016.1162861>
- Nor, A. N. M., Corstanje, R., Harris, J. A., Grafius, D. R., & Siriwardena, G. M. (2017). Ecological connectivity networks in rapidly expanding cities. *Heliyon*, 3(6), Article e00325. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00325>
- Oguz, H. (2012). Simulating future urban growth in the city of Kahramanmaraş, Turkey from 2009 to 2040. *Journal of Environmental Biology*, 33(2 Suppl.), 381–386.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, Article n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Park, S., Clarke, K. C., Choi, C., & Kim, J. (2017). Simulating land use change in the Seoul Metropolitan Area after greenbelt elimination using the SLEUTH model. *Journal of Sensors*, 2017, Article 4012929. <https://doi.org/10.1155/2017/4012929>
- Peng, W., Wang, G., Zhou, J., Zhao, J., & Yang, C. (2015). Studies on the temporal and spatial variations of urban expansion in Chengdu, western China, from 1978 to 2010. *Sustainable Cities and Society*, 17, 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.03.004>
- Pijanowski, B. C., Brown, D. G., Shellito, B. A., & Manik, G. A. (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: A Land Transformation Model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6), 553-575. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00015-1)
- Pijanowski, B. C., Alexandridis, K. T., & Müller, D. (2006). Modelling urbanization patterns in two diverse regions of the world. *Journal of Land Use Science*, 1(2-4), 83-108. <https://doi.org/10.1080/17474230601058310>
- Pontius, R. G., Jr., & Millones, M. (2011). Death to Kappa: Birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 32(15), 4407-4429. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.552923>

- Pontius, R. G., Jr., Boersma, W., Castella, J. C., Clarke, K., de Nijs, T., Dietzel, C., Duan, Z., Fotsing, E., Goldstein, N., Kok, K., Koomen, E., Lippitt, C. D., McConnell, W., Mohd Sood, A., Pijanowski, B., Pithadia, S., Sweeney, S., Trung, T. N., Veldkamp, A. T., & Verburg, P. H. (2008). Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change. *The Annals of Regional Science*, 42(1), 11-37. <https://doi.org/10.1007/s00168-007-0138-2>
- Price, B., Kienast, F., Seidl, I., Ginzler, C., Verburg, P. H., & Bolliger, J. (2015). Future landscapes of Switzerland: Risk areas for urbanisation and land abandonment. *Applied Geography*, 57, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.12.009>
- Qiang, Y., & Lam, N. S. N. (2015). Modeling land use and land cover changes in a vulnerable coastal region using artificial neural networks and cellular automata. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, Article 57. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4298-8>
- Ramachandra, T. V., Aithal, B. H., & Sanna, D. D. (2012). Insights to urban dynamics through landscape spatial pattern analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 329–343. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.03.005>
- Reed, M. S., Evely, A. C., Cundill, G., Fazey, I., Glass, J., Laing, A., Newig, J., Parrish, B., Prell, C., Raymond, C., & Stringer, L. C. (2010). What is social learning? *Ecology and Society*, 15(4), Article r1. <https://doi.org/10.5751/ES-03564-1504r01>
- Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Sun, X., & Rijal, S. (2018). Quantifying the spatiotemporal pattern of urban expansion and hazard and risk area identification in the Kaski district of Nepal. *Land*, 7(1), Article 37. <https://doi.org/10.3390/land7010037>
- Samie, A., Deng, X., Jia, S., & Chen, D. (2017). Scenario-based simulation on dynamics of land-use-land-cover change in Punjab Province, Pakistan. *Sustainability*, 9(8), Article 1285. <https://doi.org/10.3390/su9081285>
- Saputra, M. H., & Lee, H. S. (2019). Prediction of land use and land cover changes for North Sumatra, Indonesia, using an artificial-neural-network-based cellular automaton. *Sustainability*, 11(11), Article 3024. <https://doi.org/10.3390/su11113024>
- Sekovski, I., Armaroli, C., Calabrese, L., Ciavola, P., Dentale, F., Bonaldo, D., & Carniel, S. (2015). Coupling scenarios of urban growth and flood hazards along the Emilia-Romagna coast (Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(10), 2331-2346. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2331-2015>
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083-16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>

- Seto, K. C., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. K. (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PLoS One*, 6(8), Article e23777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>
- Seto, K. C., Parnell, S., & Elmqvist, T. (2013). A global outlook on urbanization. In *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities* (pp. 1-12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_1
- Shafizadeh-Moghadam, H., Valavi, R., Shahabi, H., Chapi, K., & Shirzadi, A. (2018). Novel forecasting approaches using combination of machine learning and statistical models for flood susceptibility mapping. *Journal of Environmental Management*, 217, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.089>
- Shi, Y., Wu, J., & Shi, S. (2017). Study of the simulated expansion boundary of construction land in Shanghai based on a SLEUTH model. *Sustainability*, 9(6), Article 876. <https://doi.org/10.3390/su9060876>
- Shoemaker, D. A., BenDor, T. K., & Meentemeyer, R. K. (2019). Anticipating trade-offs between urban patterns and ecosystem service production: Scenario analyses of sprawl alternatives for a rapidly urbanizing region. *Computers, Environment and Urban Systems*, 74, 114-125. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.10.003>
- Silva, E. A., & Clarke, K. C. (2002). Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6), 525-552. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00014-X](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00014-X)
- Steiner, F., McSherry, L., & Cohen, J. (2000). Land suitability analysis for the upper Gila River watershed. *Landscape and Urban Planning*, 50(4), 199-214. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(00\)00093-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00093-1)
- Terzi, F. (2015). Scenario-based land use estimation: The case of Sakarya. *A|Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*, 12(1), 181-203.
- te Linde, A. H., Bubeck, P., Dekkers, J. E. C., de Moel, H., & Aerts, J. C. J. H. (2011). Future flood risk estimates along the river Rhine. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(2), 459-473. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-459-2011>
- Torabi Haghighi, A., Darabi, H., Shahedi, K., Solaimani, K., & Kløve, B. (2020). A scenario-based approach for assessing the hydrological impacts of land use and climate change in the Marboreh watershed, Iran. *Environmental Modeling & Assessment*, 25(1), 41–57. <https://doi.org/10.1007/s10666-019-09665-x>

- Turner, B. L., II, Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L., & Leemans, R. (1995). *Land-use and land-cover change: Science/research plan* (IGBP Global Change Report No. 35; HDP Report No. 7). International Geosphere-Biosphere Programme.
- Ullah, S., Tahir, A. A., Akbar, T. A., Hassan, Q. K., Dewan, A., Khan, A. J., & Khan, M. (2019). Remote sensing-based quantification of the relationships between land use land cover changes and surface temperature over the lower Himalayan region. *Sustainability*, 11(19), Article 5492. <https://doi.org/10.3390/su11195492>
- Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., & Mastura, S. S. A. (2002). Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model. *Environmental Management*, 30(3), 391-405. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2630-x>
- Verburg, P. H., Alexander, P., Evans, T., Magliocca, N. R., Malek, Z., Rounsevell, M. D., & van Vliet, J. (2019). Beyond land cover change: Towards a new generation of land use models. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 38, 77-85. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.05.002>
- Vermeiren, K., Van Rompaey, A., Loopmans, M., Serwajja, E., & Mukwaya, P. (2012). Urban growth of Kampala, Uganda: Pattern analysis and scenario development. *Landscape and Urban Planning*, 106(2), 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.03.006>
- Wang, H., He, S., Liu, X., Dai, L., Pan, P., Hong, S., & Zhang, W. (2013). Simulating urban expansion using a cloud-based cellular automata model: A case study of Jiangxia, Wuhan, China. *Landscape and Urban Planning*, 110, 99-112. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.10.016>
- Wilson, C. O., & Weng, Q. (2010). Assessing surface water quality and its relation with urban land cover changes in the Lake Calumet Area, Greater Chicago. *Environmental Management*, 45, 1096-1111. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9482-6>
- Wu, F., & Martin, D. (2002). Urban expansion simulation of Southeast England using population surface modelling and cellular automata. *Environment and Planning A*, 34(10), 1855-1876. <https://doi.org/10.1068/a3520>
- Wu, F., Zhan, J., Su, H., Yan, H., & Ma, E. (2015). Scenario-based impact assessment of land use/cover and climate changes on watershed hydrology in Heihe River Basin of Northwest China. *Advances in Meteorology*, 2015, Article 410198. <https://doi.org/10.1155/2015/410198>
- Wu, Q., Li, H., Wang, R., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, B., & Wang, Z. (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*, 78(4), 322-333. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.10.002>

- Xi, F., He, H. S., Clarke, K. C., Hu, Y., Wu, X., Liu, M., Shi, T., Geng, Y., & Gao, C. (2012). The potential impacts of sprawl on farmland in Northeast China: Evaluating a new strategy for rural development. *Landscape and Urban Planning*, 104(1), 34-46. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.09.003>
- Xi, F., He, H. S., Hu, Y., Bu, R., Chang, Y., Wu, X., Liu, M., & Shi, T. (2009). Simulating the impacts of ecological protection policies on urban land use sustainability in Shenyang-Fushun, China. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 1(1-2), 111-127. <https://doi.org/10.1080/19463130903458326>
- Xiao, Y., & Watson, M. (2019). Guidance on conducting a systematic literature review. *Journal of Planning Education and Research*, 39(1), 93-112. <https://doi.org/10.1177/0739456X17723971>
- Yang, X., & Lo, C. P. (2003). Modelling urban growth and landscape changes in the Atlanta metropolitan area. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(5), 463-488. <https://doi.org/10.1080/1365881031000086965>
- Yirsaw, E., Wu, W., Shi, X., Temesgen, H., & Bekele, B. (2017). Land use/land cover change modeling and the prediction of subsequent changes in ecosystem service values in a coastal area of China, the Su-Xi-Chang Region. *Sustainability*, 9(7), Article 1204. <https://doi.org/10.3390/su9071204>
- Zare, M., Panagopoulos, T., & Loures, L. (2017). Simulating the impacts of future land use change on soil erosion in the Kasilian watershed, Iran. *Land Use Policy*, 67, 558-572. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.028>
- Zheng, H. W., Shen, G. Q., Wang, H., & Hong, J. (2015). Simulating land use change in urban renewal areas: A case study in Hong Kong. *Habitat International*, 46, 23-34. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.10.008>
- Zhou, Y., Varquez, A. C. G., & Kanda, M. (2019). High-resolution global urban growth projection based on multiple applications of the SLEUTH urban growth model. *Scientific Data*, 6, Article 34. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0048-z>
- Zhen, L., Deng, X., Wei, Y., Jiang, Q., Lin, Y., Helming, K., Wang, C., König, H. J., & Hu, J. (2014). Future land use and food security scenarios for the Guyuan district of remote western China. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 7(6), 372-384. <https://doi.org/10.3832/ifer1170-007>