

การศึกษาการขยายตัวของเมืองในพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก
กรณีศึกษาอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

A Study of Urban Expansion in the Eastern Economic Corridor Area:
Case Study in Si Racha District, Chonburi Province

สุภาพร มานะจิตประเสริฐ^{1*}

Supaporn Manajitprasert^{1*}

¹ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร

¹Department of Geography, Faculty of Education, Ramkhamhaeng University, Bangkok

*Corresponding Author: smanajitprasert@gmail.com

Received: April 9, 2025

Revised: July 3, 2025

Accepted: July 22, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและศึกษารูปแบบการขยายตัวของเมืองในอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ระหว่าง ปี พ.ศ. 2559–2566 และใช้วิธีการจำแนกแบบก้ำกับลูแล เพื่อจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน 5 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด การประเมินความแม่นยำของการจำแนกให้ค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ในระดับสูง (ร้อยละ 83.42–86.80) และค่าดัชนีแคปปา เท่ากับ 0.85 ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2559–2566 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นจาก 161.48 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 26.53) เป็น 190.63 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 31.11) ในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ลดลงอย่างต่อเนื่อง รูปแบบการขยายตัวของเมืองมี 2 ลักษณะ คือ การตั้งถิ่นฐานตามแนวเส้นทางคมนาคมหลัก ได้แก่ ถนนสุขุมวิท และทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 และการตั้งถิ่นฐานแบบกระจุกในศูนย์กลางชุมชนหลัก 4 แห่ง คือ บริเวณเทศบาลเมืองศรีราชา บริเวณรอบกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียม (ไทยออยล์) บริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบังและท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง และบริเวณรอบสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ ผลการคาดการณ์ในปี พ.ศ. 2570 โดยใช้แบบจำลอง CA-Markov แสดงให้เห็นว่าพื้นที่เมืองจะเพิ่มขึ้นเป็น 248.78 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 40.60) โดยขยายตัวต่อเนื่องจากพื้นที่พัฒนาเดิมและพื้นที่ใกล้โครงสร้างพื้นฐานหลัก โดยความแม่นยำของแบบจำลองได้รับการประเมินโดยใช้ตารางความคลาดเคลื่อน (Error Matrix) เปรียบเทียบกับข้อมูลจริงในปี พ.ศ. 2566 ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 97.25 และค่าดัชนีแคปปาเท่ากับ 0.93 ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้สนับสนุนการวางแผนและการกำหนดนโยบายการพัฒนาเมืองในเขตระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก เพื่อสร้างสมดุลระหว่างการพัฒนาเมืองและการอนุรักษ์พื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้อย่างยั่งยืนและสามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่มีลักษณะการเติบโตทางอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วในบริบทใกล้เคียง

คำสำคัญ: การขยายตัวของเมือง, พื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก, แบบจำลอง CA-Markov, อำเภอศรีราชา

Abstract

This research aims to analyze land use changes and study patterns of urban expansion in Si Racha District, Chonburi Province. Sentinel-2 satellite imagery from 2016 to 2023 was analyzed using supervised classification methods to classify land use into five types: urban and built-up areas, agricultural areas, forest areas, water bodies, and miscellaneous areas. Classification accuracy evaluation showed overall accuracy at a high level (83.42% to 86.80%) and a Kappa index of 0.85. The study results showed that during 2016–2023, urban and built-up areas increased from 161.48 km² (26.53%) to 190.63 km² (31.11%), while agricultural and forest areas continuously declined. Urban expansion patterns showed two characteristics: linear settlements along major transportation routes—namely Sukhumvit Road and Motorway No. 7—and clustered settlements in four main urban centers: Si Racha Municipal area, the area around the Petroleum Industrial Group (Thai Oil), Laem Chabang Industrial Estate and Commercial Port, and the Saha Group Industrial Park. Forecasting results for 2027 using the CA-Markov model indicated that urban areas would increase to 248.78 km² (40.60%), expanding continuously from existing developed areas and areas near major infrastructure. Model accuracy was evaluated using an error matrix compared to actual 2023 data, yielding an overall accuracy of 97.25% and a Kappa index of 0.93. The findings can support urban planning and policy development in the Eastern Economic Corridor (EEC) to promote balance between urban development and sustainable conservation of agricultural and forest areas and can be applied to other areas with similar rapid industrial growth characteristics.

Keywords: Urban expansion, Eastern Economic Corridor Area, CA-Markov model, Si Racha District

1. บทนำ

การขยายตัวของเมืองเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นทั่วโลก อันเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากรและการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว องค์การสหประชาชาติ (United Nations Population Fund, 2022) รายงานว่าในปี พ.ศ. 2566 โลกมีประชากรประมาณ 8.1 พันล้านคน และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 9.8 พันล้านคนภายในปี พ.ศ. 2593 โดยสัดส่วนประชากรในเขตเมืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา (SDG Knowledge Hub, 2023; Prasartkul, 2024)

สำหรับประเทศไทย การขยายตัวของเมือง โดยเฉพาะเมืองขนาดใหญ่ที่มีลักษณะเป็นเมืองโตเดี่ยว (Primate City) เช่น กรุงเทพมหานคร และเมืองหลักในภูมิภาคต่าง ๆ ถือเป็นปัญหาที่มีความสำคัญ จังหวัดชลบุรีเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีการขยายตัวของเมืองอย่างเด่นชัด เนื่องจากเป็นพื้นที่ยุทธศาสตร์สำคัญในโครงการระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor: EEC) ซึ่งมีบทบาทในการรองรับกิจกรรมทางเศรษฐกิจและการลงทุนอุตสาหกรรมเป้าหมายของประเทศตามนโยบายไทยแลนด์ 4.0 (Eastern Economic Corridor Office of Thailand, 2021) จังหวัดชลบุรีมีการเติบโตทางประชากรและเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง โดยจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นจาก 1,483,049 คนในปี พ.ศ. 2559 เป็น 1,618,066 คนในปี พ.ศ. 2566 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.1 (Chonburi Provincial Statistical Office, 2024) ขณะที่ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) เพิ่มขึ้นจาก 897,452 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2559 เป็น 1,173,449 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2565 จากข้อมูลแผนพัฒนาจังหวัดชลบุรี (พ.ศ. 2566–2570) ฉบับบททวน พบว่าโครงสร้างเศรษฐกิจของจังหวัดพึ่งพาภาคอุตสาหกรรมเป็นหลัก (ร้อยละ 56.2 ของ GPP) รองลงมาคือภาคบริการ (ร้อยละ 41.8) ขณะที่ภาคเกษตรกรรมมีสัดส่วนเพียงร้อยละ 2

ของ GPP (Chonburi Provincial Office, 2024) โครงสร้างเศรษฐกิจดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงบทบาทของภาคอุตสาหกรรมและบริการในฐานะกลไกหลักในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของจังหวัด ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าการเติบโตทางเศรษฐกิจของจังหวัดชลบุรีมีความเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับโครงการ EEC โดยเฉพาะในพื้นที่อำเภอศรีราชา ซึ่งเป็นหนึ่งในพื้นที่สำคัญที่รองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมภายใต้โครงการ EEC โดยมีนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่หลายแห่ง เช่น นิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง นิคมอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ และนิคมอุตสาหกรรมบึงทอง พื้นที่เหล่านี้เป็นศูนย์กลางการลงทุนและแหล่งจ้างงานสำคัญของจังหวัด อีกทั้งยังมีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและพื้นที่เมืองอย่างต่อเนื่อง (Eastern Economic Corridor Policy Committee, 2024)

งานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาใช้ในการวิเคราะห์การขยายตัวของเมืองในอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในปี พ.ศ. 2559, 2562 และ 2566 เพื่อจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน รวมถึงศึกษารูปแบบการขยายตัวของเมืองในแต่ละช่วงเวลา ทั้งนี้ การเลือกช่วงเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมสะท้อนให้เห็นถึงเหตุการณ์สำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เมือง ได้แก่ ปี พ.ศ. 2559 เป็นช่วงก่อนเริ่มขับเคลื่อนโครงการ EEC ปี พ.ศ. 2562 เป็นช่วงที่มีการลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ เช่น การขยายท่าเรือแหลมฉบัง และโครงการรถไฟความเร็วสูงเชื่อมสามสนามบิน และปี พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นปีที่ดำเนินการวิจัยและเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์แนวโน้มการขยายตัวของพื้นที่เมือง นอกจากนี้ ยังได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง Cellular Automata-Markov (CA-Markov) เพื่อคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต โดยแบบจำลองนี้มีศักยภาพในการแสดงการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ เพื่อนำไปสู่การคาดการณ์รูปแบบการขยายตัวของเมืองในปี พ.ศ. 2570 ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างความเข้าใจในทิศทางการพัฒนาเมืองในระยะยาว โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัย ได้แก่ 1) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน และศึกษารูปแบบการขยายตัวของเมืองในอำเภอศรีราชา โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในปี พ.ศ. 2559, 2562, 2566 และ 2) เพื่อคาดการณ์แนวโน้มการขยายตัวของเมืองในอำเภอศรีราชาในปี พ.ศ. 2570 โดยใช้แบบจำลอง CA-Markov

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geoinformatics) ประกอบด้วย เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing: RS) ใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง ข้อมูลจาก RS สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบการขยายตัวของเมืองและการประเมินแนวโน้มการเติบโตของชุมชนเมืองได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System: GNSS) ใช้ในการระบุตำแหน่งบนพื้นผิวโลกเป็นไปอย่างแม่นยำ ซึ่งมีประโยชน์ในกระบวนการติดตามและประเมินผลกระทบจากการขยายตัวของเมือง นอกจากนี้ ยังใช้ในการจัดทำฐานข้อมูลตำแหน่งของโครงสร้างพื้นฐานสำคัญ เช่น ถนน สะพาน สถานที่สำคัญ และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ใช้ในการจัดเก็บ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ เช่น การกำหนดพื้นที่ใช้ประโยชน์ที่ดิน การวางผังเมือง และการจัดการโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน (Tonsiri, et al, 2018; Teeravech et al., 2023)

แบบจำลอง CA-Markov เป็นการผสมผสานระหว่างแนวคิดการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ตามลำดับเวลา (Markov Chain) กับการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในบริบทของพื้นที่ใกล้เคียง (Cellular Automata หรือ CA) เพื่อสร้างการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตอย่างแม่นยำและสมจริง (Tonsiri et al., 2018; Thirakunthomorn et al., 2020)

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CA-Markov ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ ในประเทศไทย Thirakunthomorn et al. (2020) ใช้แบบจำลอง CA-Markov ในการตรวจสอบและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในระดับภูมิภาค แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแบบจำลองในการระบุทิศทางการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ได้อย่างแม่นยำ Khunrattanasiri et al. (2024) ศึกษาการใช้แบบจำลอง CA-Markov ร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 เพื่อคาดการณ์พื้นที่ในเขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลน้อย พบว่าแบบจำลองสามารถสะท้อนแนวโน้มการบุกรุกพื้นที่ธรรมชาติได้อย่างชัดเจน Tonsiri et al. (2018) ใช้แบบจำลองในการประเมินการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว ช่วยสนับสนุนการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พื้นที่สีเขียว ส่วน Teeravech et al. (2023) ติดตามการขยายเขตเมืองในจังหวัดจันทบุรีโดยใช้ภาพจาก Google Earth Engine ร่วมกับแบบจำลอง CA-Markov เพื่อประเมินแนวโน้มการเติบโตของเมืองในเชิงพื้นที่ สำหรับในต่างประเทศ การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CA-Markov ได้รับการศึกษาในบริบทที่หลากหลาย Choudhury et al. (2024) ศึกษาการขยายตัวของเมืองกัมรับ รัฐอัสสัม ประเทศอินเดีย เพื่อวางแผนการจัดการพื้นที่สีเขียวและแหล่งน้ำในเขตเมือง Liu et al. (2023) ประยุกต์ใช้แบบจำลองในเมืองเฉิงตู ประเทศจีน เพื่อสร้างตัวชี้วัดเตือนภัยล่วงหน้า โดยผสมผสานกับการเรียนรู้ของเครื่อง Oliveira et al. (2022) ศึกษาเมืองฟอร์ตเลซา ประเทศบราซิล เพื่อวางแผนควบคุมการขยายตัวของเมืองแบบไร้ทิศทาง

แบบจำลอง CA-Markov ให้ผลแม่นยำในเชิงพื้นที่และเวลา แต่ก็มีข้อจำกัดสำคัญคือไม่สามารถรวมปัจจัยทางสังคม เศรษฐกิจ หรือโครงสร้างพื้นฐานเข้าในแบบจำลองได้โดยตรง ส่งผลต่อความแม่นยำในระยะยาว โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความเปลี่ยนแปลงซับซ้อน ดังนั้น แบบจำลองอื่นๆ ที่นำมาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ได้แก่ แบบจำลอง CLUE-S (Conversion of Land Use and its Effects at Small regional extent) ซึ่งสามารถรวมปัจจัยขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ สังคม และกายภาพ เช่น ความลาดชัน ระยะทางจากถนนหลัก และการเข้าถึงบริการสาธารณะ เข้าในการจำลองได้โดยตรง (Sun et al., 2022) นอกจากนี้ แบบจำลองเชิงประสาทเทียม (ANN) มีความสามารถในการเรียนรู้จากข้อมูลที่หลากหลาย และจัดการกับข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดี (Sarastika et al., 2024) รวมถึงแบบจำลอง Land Change Modeler (LCM) สามารถวิเคราะห์ตัวขับเคลื่อนและสร้างสมมติฐานเชิงนโยบายได้ (Zhao et al., 2023)

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยเลือกใช้แบบจำลอง CA-Markov เนื่องจากมีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินของอำเภอศรีราชา โดยเฉพาะการคาดการณ์แนวโน้มการขยายตัวของพื้นที่เมืองในระยะกลาง ซึ่งสอดคล้องกับข้อจำกัดของแบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์แม่นยำในช่วงเวลาที่ไม่ยาวนานเกินไป สำหรับการประเมินความแม่นยำของผลการจำลอง ใช้ดัชนี Kappa ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับในการวัดความสอดคล้องระหว่างผลการจำแนกกับข้อมูลจริง โดยคำนึงถึงความถูกต้องที่อาจเกิดขึ้นโดยบังเอิญ (Foody, 2020) อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยตระหนักถึงข้อจำกัดของแบบจำลอง CA-Markov ที่ไม่สามารถรองรับปัจจัยด้านสังคมและเศรษฐกิจได้โดยตรง และเห็นว่าการบูรณาการข้อมูลด้านดังกล่าวในอนาคตจะช่วยเพิ่มความครอบคลุมและความแม่นยำของแบบจำลองให้ดียิ่งขึ้น

2.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ขอบเขตพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งตั้งอยู่ในเขตระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก โดยมีพิกัดทางภูมิศาสตร์ระหว่างละติจูดที่ 13 องศา 10 ลิปดาเหนือ และลองจิจูดที่ 100 องศา 55 ลิปดาตะวันออก รวมพื้นที่ทั้งหมด 612.76 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วย 8 ตำบล ได้แก่ ตำบลศรีราชา ตำบลสุรศักดิ์ ตำบลทุ่งสุขลา ตำบลบึง ตำบลหนองขาม ตำบลเขาคันทรง ตำบลบางพระ และตำบลบ่อวิน

2.3 เครื่องมือที่ใช้วิจัย

เครื่องมือที่ใช้วิจัย ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ปี พ.ศ. 2559, 2562 และ 2566 โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และแบบจำลอง CA-Markov

2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.4.1 ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 จากเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov/> ของ USGS (2023) ปี พ.ศ. 2559, 2562 และ 2566 ซึ่งผ่านกระบวนการ Preprocessing โดยใช้ Sen2Cor Processor เพื่อทำ Atmospheric Correction และ Cloud Masking ข้อมูลที่มีเมฆบังหรือ Atmospheric Haze จะถูกตัดออก

2.4.2 ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ 1) ข้อมูลขอบเขตการปกครอง มาตราส่วน 1:50,000 จากกรมแผนที่ทหาร 2) ข้อมูลเส้นทางคมนาคม มาตราส่วน 1:50,000 จากกรมแผนที่ทหาร และ 3) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (Land Development Department, 2024b)

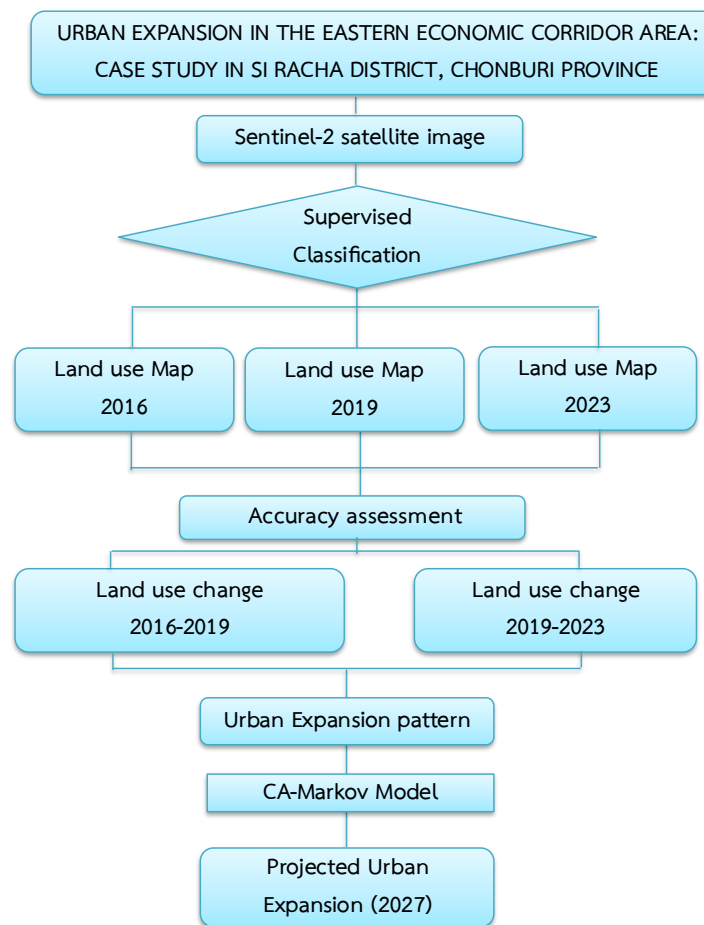


Figure 1. Conceptual Framework

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.5.1 การเตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ข้อมูล ดำเนินการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ให้อยู่ในระบบพิกัด Universal Transverse Mercator (UTM) WGS84 โดยควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ไม่เกิน 1 จุดภาพ (Pixel) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในงานวิจัยด้านภูมิสารสนเทศ (Liu et al., 2020; Xu et al., 2022)

2.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ใช้เทคนิคการจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) ซึ่งอาศัยข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ (Training Data) ในการระบุประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน โดยอ้างอิงคำจำกัดความจากกรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department, 2024a) จำแนกออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ 1) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 2) พื้นที่เกษตรกรรม 3) พื้นที่ป่าไม้ 4) พื้นที่แหล่งน้ำ และ 5) พื้นที่เบ็ดเตล็ด ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลตัวอย่าง ได้ดำเนินการแปลและตีความประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยสายตา (Visual Interpretation) จากภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายอ้างอิง เช่น Google Earth โดยพิจารณาจากลักษณะเชิงพื้นที่ เช่น สี รูปร่าง รูปแบบ และความสัมพันธ์กับโครงสร้างพื้นฐาน ทั้งนี้ การวิเคราะห์ด้วยสายตาเป็นวิธีมาตรฐานหนึ่งในงานวิจัยด้านภูมิสารสนเทศที่ใช้ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Paheding et al. 2024; Lu et al. 2025; Adegun et al. 2023; Turan et al. 2023)

2.5.3 การประเมินค่าความถูกต้องของการจำแนก (Accuracy Assessment) ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำแนก โดยใช้จุดตัวอย่างจำนวน 250 จุดต่อปี โดยสุ่มจากแต่ละคลาสอย่างน้อย 50 จุด ด้วยวิธี Stratified Random Sampling เพื่อให้มั่นใจว่าทุกคลาสได้รับการตรวจสอบอย่างสมดุล โดยใช้ข้อมูลจริงจากภาพถ่าย Google Earth และผลการสำรวจภาคสนาม จากนั้นจัดทำตารางความคลาดเคลื่อน (Error Matrix) เพื่อคำนวณค่าทางสถิติ ได้แก่ ความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy: OA) และดัชนีแคปปา (Kappa Index) ตามสมการที่ (1)

$$Kappa = \frac{(P_o - P_e)}{(1 - P_e)} \quad (1)$$

โดยที่ P_o คือ ความถูกต้องที่สังเกตได้จากการจำแนก (Observed Accuracy)

P_e คือ ความถูกต้องที่คาดหวังโดยบังเอิญ (Expected Accuracy)

การแปลผลค่าดัชนีแคปปา แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ค่ามากกว่า 0.80 แสดงว่า การจำแนกมีความถูกต้องในระดับสูง ค่า 0.40-0.80 แสดงว่าการจำแนกมีความถูกต้องในระดับปานกลาง และค่าน้อยกว่า 0.40 แสดงว่า การจำแนกมีความถูกต้องในระดับต่ำ (Foody, 2020)

2.5.4 การวิเคราะห์รูปแบบการขยายตัวของเมืองในอำเภอศรีราชา นำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินใน 3 ช่วงเวลาเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้เทคนิค Cross Tabulation Analysis ซึ่งนำผลการจำแนกภาพในช่วงปี พ.ศ. 2559–2562 และ พ.ศ. 2562–2566 มาสร้าง Change Matrix เพื่อศึกษาทิศทางการเปลี่ยนแปลง เช่น พื้นที่เกษตรเปลี่ยนเป็นที่อยู่อาศัย เป็นต้น เพื่อระบุแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่ ทั้งในเชิงปริมาณ (เช่น พื้นที่ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง) และเชิงคุณภาพ (เช่น ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงจากประเภทหนึ่งไปสู่อีกประเภทหนึ่ง)

2.5.5 การคาดการณ์การขยายตัวของเมือง ใช้แบบจำลอง CA-Markov โดยกำหนดพารามิเตอร์ Cell size เท่ากับ 10 เมตร ให้สอดคล้องกับความละเอียดของ Sentinel-2 และกำหนด Neighborhood rule ขนาด 3×3 เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของการใช้ที่ดินรอบข้าง สร้าง Transition Probability Matrix จากข้อมูลปี พ.ศ. 2559 และ พ.ศ. 2566 เพื่อคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ และใช้เทคนิค Transitional Area ในการระบุพื้นที่ที่มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลง โดยพิจารณาจากความเป็นไปได้จาก Transition Matrix และบริบทเชิงพื้นที่ของแผนที่ต้นฉบับ จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลการคาดการณ์ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงในปี พ.ศ. 2566 (Li et al., 2021; Zhang et al., 2022)

3. ผลการวิจัย

3.1 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน พ.ศ.2559-2566

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ด้วยเทคนิคการจำแนกแบบกำกับดูแล โดยใช้ตัวอย่างจุดควบคุมจากภาคสนามและภาพจาก Google Earth จาก Table 1. แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2559 มีพื้นที่ 161.48 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 26.35) ในปี พ.ศ. 2562 และ 2566 เพิ่มขึ้นเป็น 174.91 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 28.54) และ 190.63 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 31.11) โดยรวมแล้วพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น 29.15 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 75.52) พื้นที่เกษตรกรรมลดลงอย่างต่อเนื่อง จากในปี พ.ศ. 2559 มีพื้นที่ 146.76 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 23.95) ลดลงเหลือ 140.88 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 22.99) และ 132.27 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 21.59) ในปี พ.ศ. 2562 และ 2566 โดยรวมพื้นที่เกษตรกรรมลดลง 14.49 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 17.77) พื้นที่ป่าไม้ลดลงเช่นเดียวกัน ในปี พ.ศ. 2559 มีพื้นที่ 261.89 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 42.74) ลดลงเป็น 252.18 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 41.15) และ 236.57 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 38.61) ในปี พ.ศ. 2562 และ 2566 รวมพื้นที่ป่าไม้ลดลง 25.32 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 63.37) สำหรับพื้นที่แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยในปี พ.ศ. 2559 มีพื้นที่ 19.98 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.26) เพิ่มขึ้นเป็น 20.44 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.34) และ 21.28 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.47) ในปี พ.ศ. 2562 และ 2566 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ดเพิ่มขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2559 มีพื้นที่ 22.65 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.70) เพิ่มขึ้นเป็น 24.35 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.98) และ 32.01 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 5.22) ในปี พ.ศ. 2562 และปี พ.ศ. 2566 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 1. และ Figure 2.

Table 1. Land Use and Land Cover Classification for the Years 2016, 2019 and 2023 and Change Analysis

Land Use/Land Cover Types	Area									
	2559		2562		2566		Changes (2016–2019)		Changes (2019–2023)	
	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)
Urban and Built-up Areas	161.48	26.35	174.91	28.54	190.63	31.11	13.43	43.07	15.72	32.45
Agricultural Area	146.76	23.95	140.88	22.99	132.27	21.59	-5.88	-18.86	-8.61	-17.77
Forest Area	261.89	42.74	252.18	41.15	236.57	38.61	-9.71	-31.14	-15.61	-32.23
Water Area	19.98	3.26	20.44	3.34	21.28	3.47	0.46	1.48	0.84	1.73
Miscellaneous Area	22.65	3.70	24.35	3.98	32.01	5.22	1.70	5.45	7.66	5.82
Total	612.76	100.0	612.76	100.0	612.76	100.0	31.18	100.00	48.44	100.00

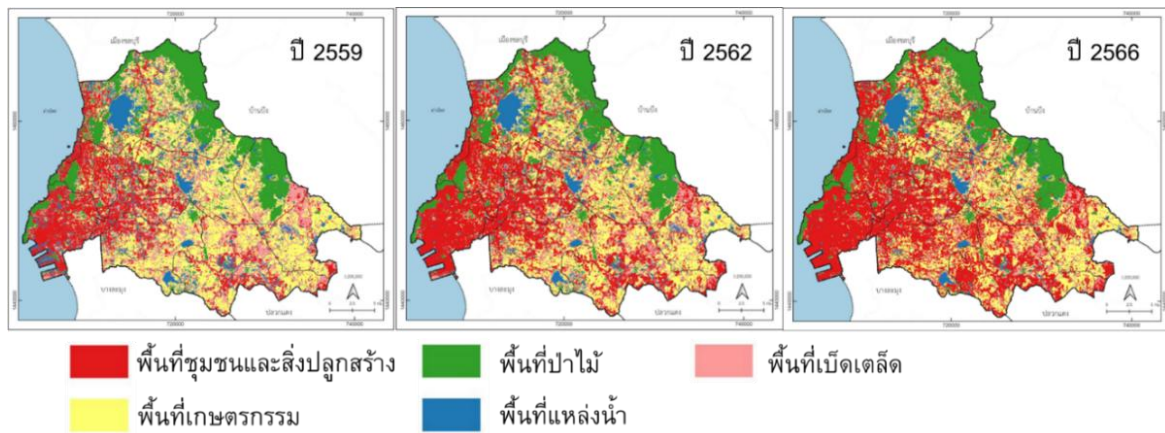


Figure 2. Land Use Maps during 2016-2023

3.2 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน พ.ศ.2559-2566

การประเมินความถูกต้องของผลการจำแนกการใช้ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในปี พ.ศ. 2559, 2562 และ 2566 โดยใช้เทคนิค Error Matrix และการสุ่มตัวอย่างแบบมีชั้น (Stratified Random Sampling) จำนวนอย่างน้อย 50 จุดตรวจสอบต่อคลาสข้อมูล รวมทั้งสิ้น 250 จุดต่อปี โดยอ้างอิงค่าจริงจากภาพถ่ายออร์โธและภาพจาก Google Earth เพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำแนก ซึ่งผลการประเมินความถูกต้องสามารถสรุปได้ดังนี้

ในปี พ.ศ. 2559 (Table 2.) ค่าความถูกต้องโดยรวม (OA) เท่ากับร้อยละ 86.80 และค่าดัชนีแคปปา เท่ากับ 0.85 ซึ่งอยู่ในระดับความถูกต้องสูง โดยคลาสที่มี Producer's Accuracy (PA) และ User's Accuracy (UA) สูงที่สุดคือ พื้นที่แหล่งน้ำ มีค่า PA และ UA เท่ากับร้อยละ 98.0 รองลงมาคือ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีค่า UA เท่ากับร้อยละ 96.0 และ PA เท่ากับร้อยละ 94.12 ในปี พ.ศ. 2562 (Table 3.) ค่า OA ลดลงเล็กน้อยอยู่ที่ร้อยละ 83.42 และค่าดัชนีแคปปา เท่ากับ 0.85 โดยค่าความถูกต้องของแต่ละคลาสยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยเฉพาะพื้นที่แหล่งน้ำมี PA เท่ากับร้อยละ 96.0 และ UA เท่ากับร้อยละ 96.0 ขณะที่คลาสพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ป่าไม้มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยระหว่างร้อยละ 88.00–90.20 แสดงถึงความแม่นยำที่น่าเชื่อถือในการจำแนกภาพ สำหรับปี พ.ศ. 2566 (Table 4.) พบว่าค่า OA อยู่ที่ร้อยละ 86.45 และค่าดัชนีแคปปา เท่ากับ 0.85 แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำในระดับสูงเช่นกัน โดยคลาสที่มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดยังคงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำ มี PA เท่ากับร้อยละ 100.0 และ UA เท่ากับร้อยละ 98.0 ส่วนคลาสอื่น ๆ เช่น พื้นที่เมืองและพื้นที่ป่าไม้ มีค่าความถูกต้องทั้ง UA และ PA สูงกว่าร้อยละ 90.0

จากผลการประเมินข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองการจำแนกการใช้ที่ดินในทั้ง 3 ช่วงเวลามีความแม่นยำอยู่ในระดับสูง (OA มากกว่าร้อยละ 85 และ Kappa มากกว่า 0.80) ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ตามมาตรฐานในงานด้านการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียม และมีความเหมาะสมในการนำผลไปใช้วิเคราะห์เชิงพื้นที่เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดิน และการคาดการณ์การขยายตัวของเมือง

Table 2. Error Matrix for Land Use Classification (Year 2016)

Land Use Types	Ur	Agri	Fo	Wa	Mis	Total	User's Accuracy (%)
Ur	48	1	0	0	1	50	96.0
Agri	2	46	2	0	0	50	92.0
Fo	0	2	46	1	1	50	92.0
Wa	0	0	0	49	1	50	98.0
Mis	1	1	1	0	47	50	94.0
Total	51	50	49	50	50	250	
Producer's Accuracy (%)	94.12	92.0	93.88	98.0	94.0		
Overall Accuracy (OA) = 86.80%			Kappa Index =0.85			Accuracy Level: High	

Table 3. Error Matrix for Land Use Classification (Year 2019)

Land Use Types	Ur	Agri	Fo	Wa	Mis	Total	User's Accuracy (%)
Ur	46	2	1	0	1	50	92.0
Agri	3	44	3	0	0	50	88.0
Fo	1	3	44	1	1	50	88.0
Wa	0	0	1	48	1	50	96.0
Mis	1	1	1	1	46	50	92.0
Total	51	50	50	50	49	250	
Producer's Accuracy (%)	90.20	88.0	88.0	96.0	93.88		
Overall Accuracy (OA) = 83.42%			Kappa Index =0.85			Accuracy Level: High	

Table 4. Error Matrix for Land Use Classification (Year 2023)

Land Use Types	Ur	Agri	Fo	Wa	Mis	Total	User's Accuracy (%)
Ur	47	2	0	0	1	50	94.0
Agri	2	45	2	0	1	50	90.0
Fo	1	2	46	0	1	50	92.0
Wa	0	0	0	49	1	50	98.0
Mis	1	1	0	0	48	50	96.0
Total	51	50	48	49	52	250	
Producer's Accuracy (%)	92.16	90.0	95.83	100.0	92.31		
Overall Accuracy (OA) = 86.45%			Kappa Index =0.85			Accuracy Level: High	

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในอำเภอศรีราชา ระหว่างปี พ.ศ. 2559–2566 โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Transition Matrix เพื่อตรวจสอบและติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่แต่ละประเภทตามช่วงเวลาต่างๆ พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในหลายประเภทของพื้นที่

ผลการวิเคราะห์ในช่วงปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2562 (Table 5.) พบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีขนาดเพิ่มขึ้นจาก 157.44 ตารางกิโลเมตร เป็น 174.91 ตารางกิโลเมตร โดยเปลี่ยนจากพื้นที่เกษตรกรรม (12.30 ตารางกิโลเมตร) และพื้นที่ป่าไม้ (4.00 ตารางกิโลเมตร) ซึ่งสะท้อนถึงกระบวนการขยายตัวของเมืองและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่แผ่ขยายเข้าสู่พื้นที่โดยรอบ ส่วนพื้นที่ป่าไม้ลดลงจาก 261.89 ตารางกิโลเมตร เหลือ 252.18 ตารางกิโลเมตร โดยเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม (13.00 ตารางกิโลเมตร) และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (4.00 ตารางกิโลเมตร) ขณะเดียวกัน พื้นที่เกษตรกรรมลดลงจาก 146.76 ตารางกิโลเมตร เหลือ 140.88 ตารางกิโลเมตร โดยเป็นพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงไปสู่ประเภทอื่นมากที่สุด โดยเฉพาะพื้นที่เมืองและพื้นที่เบ็ดเตล็ด (7.26 ตารางกิโลเมตร) พื้นที่เบ็ดเตล็ดมีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้ (4.00 ตารางกิโลเมตร) และพื้นที่เกษตรกรรม (4.93 ตารางกิโลเมตร) ส่วนพื้นที่น้ำยังคงมีขนาดค่อนข้างคงที่ โดยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 19.98 ตารางกิโลเมตร เป็น 20.44 ตารางกิโลเมตร

สำหรับช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2566 (Table 6.) พบว่าการขยายตัวของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างยังคงดำเนินต่อไป โดยเพิ่มขึ้นเป็น 190.63 ตารางกิโลเมตร โดยมาจากพื้นที่เกษตรกรรม (10.55 ตารางกิโลเมตร) พื้นที่ป่าไม้ (5.30 ตารางกิโลเมตร) และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (4.48 ตารางกิโลเมตร) สะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการพัฒนาเมืองที่รุกเข้าสู่อำเภอพื้นที่ธรรมชาติและพื้นที่การเกษตรอย่างต่อเนื่อง ส่วนพื้นที่ป่าไม้ยังมีแนวโน้มลดลง มีพื้นที่ 236.57 ตารางกิโลเมตร โดยเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด (11.48 ตารางกิโลเมตร) และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (5.30 ตารางกิโลเมตร) ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบที่ไม่สามารถจำแนกได้อย่างชัดเจน เช่น พื้นที่ก่อสร้างชั่วคราว พื้นที่รกร้าง หรือพื้นที่เปลี่ยนผ่าน ขณะที่พื้นที่เกษตรกรรมลดลงเหลือ 132.27 ตารางกิโลเมตร โดยเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (10.55 ตารางกิโลเมตร) และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (9.23 ตารางกิโลเมตร) ส่วนพื้นที่น้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 21.28 ตารางกิโลเมตร โดยมีการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้และเบ็ดเตล็ด พื้นที่เบ็ดเตล็ดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดจาก 22.65 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2559 เป็น 32.01 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2566 โดยเปลี่ยนจากพื้นที่ป่าไม้ เกษตรกรรม และพื้นที่เมือง ซึ่งสะท้อนถึงความหลากหลายของการใช้ที่ดินในพื้นที่เมือง

Table 5. Land Use Transition Matrix (2016 to 2019)

From\To	Area (km ²)					Total (2016)
	Ur	Agri	Fo	Wa	MS	
Urban and Built-up Areas (Ur)	157.44	1.50	1.30	0.45	0.79	161.48
Agricultural Area (Agri)	12.30	121.20	5.00	1.00	7.26	146.76
Forest Area (Fo)	4.00	13.00	240.00	0.89	4.00	261.89
Water Area (Wa)	0.50	0.25	0.20	18.50	0.53	19.98
Miscellaneous Area (Ms)	0.67	4.93	5.68	0.60	10.77	22.65
Total (2019)	174.91	140.88	252.18	20.44	24.35	612.76

Table 6. Land Use Transition Matrix (2019 to 2023)

From\To	Area (km ²)					Total (2019)
	Ur	Agri	Fo	Wa	MS	
Urban and Built-up Areas (Ur)	169.80	1.00	1.40	0.55	2.16	174.91
Agricultural Area (Agri)	10.55	116.00	4.00	1.10	9.23	140.88
Forest Area (Fo)	5.30	10.60	224.00	0.80	11.48	252.18
Water Area (Wa)	0.50	0.20	0.30	19.00	0.44	20.44
Miscellaneous Area (Ms)	4.48	4.47	6.87	0.83	15.36	32.01
Total (2023)	190.63	132.27	236.57	21.28	32.01	612.76

3.3 รูปแบบการขยายตัวของเมืองในอำเภอศรีราชา

การวิเคราะห์รูปแบบการขยายตัวของเมืองจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน เฉพาะพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 3 ช่วงเวลา พบว่า

3.3.1 ในปี พ.ศ. 2559 (พื้นที่สีแดง) รูปแบบการตั้งถิ่นฐานปรากฏใน 2 ลักษณะหลัก ได้แก่ การตั้งถิ่นฐานแบบแนวยาว (Linear Settlement) ตามแนวเส้นทางคมนาคมสายหลัก เช่น ถนนสุขุมวิท (ทางหลวงหมายเลข 3) ทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 331 และ 3241 และการตั้งถิ่นฐานแบบกระจุก (Cluster Settlement) บริเวณศูนย์กลางชุมชนหลัก 4 แห่ง ประกอบด้วย เทศบาลเมืองศรีราชา พื้นที่รอบกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียม (ไทยออยล์) นิคมอุตสาหกรรมและท่าเรือแหลมฉบัง และสวนอุตสาหกรรมศรีราชาพัฒนา

3.3.2 ในปี พ.ศ. 2562 (พื้นที่สีส้ม) รูปแบบการตั้งถิ่นฐานยังคงลักษณะเดิมจากปี พ.ศ. 2559 ทั้งแบบแนวยาวและแบบกระจุก แต่มีพัฒนาการเพิ่มเติมในลักษณะเริ่มเกิดการกระจายตัวเข้าสู่พื้นที่ชั้นใน (Infill Development) คือการพัฒนาแทรกตัวในพื้นที่ว่างภายในเมือง ซึ่งเดิมยังไม่มีสิ่งปลูกสร้างหนาแน่น โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยโครงข่ายคมนาคม เช่น ตำบลสุรศักดิ์ ซึ่งเริ่มมีการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรอย่างต่อเนื่อง การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ได้หมายถึงการขยายตัวจากศูนย์กลางออกสู่ชายขอบเมืองแบบดั้งเดิมเท่านั้น แต่ยังหมายถึงการเติมเต็มพื้นที่ว่างภายใน ซึ่งเกิดขึ้นได้เมื่อเมืองมีโครงสร้างพื้นฐานรองรับ เช่น ถนน สาธารณูปโภค และการเข้าถึงระบบขนส่งที่ดี จึงกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาในพื้นที่ที่เคยถูกละเลยมาก่อน

3.3.3 ในปี พ.ศ. 2566 (พื้นที่สีเขียว) รูปแบบการตั้งถิ่นฐานมีลักษณะการขยายตัวแบบผสมผสาน ได้แก่ การขยายตามแนวถนนสายหลัก (Linear Expansion) การขยายตัวแบบกลุ่มรอบศูนย์กลางเศรษฐกิจ (Cluster Expansion) และการแทรกตัวของพัฒนาใหม่ในพื้นที่ที่ถูกพัฒนาอยู่แล้ว (Infill) นอกจากนี้ยังพบการขยายตัวแบบไร้ทิศทาง (Urban Sprawl) โดยเฉพาะบริเวณชายขอบของอำเภอทางทิศใต้และตะวันออกเฉียงใต้ การเติบโตของภาคอุตสาหกรรมยังคงเป็นแรงผลักดันหลักของการขยายตัวของเมือง โดยเฉพาะในตำบลหนองขาม บ่อวิน บึง และตำบลเขาคันทรง มีการพัฒนาเมืองในลักษณะแนวตั้ง และแนวซอยย่อยที่ชัดเจน พื้นที่สีเขียวใน Figure 3. แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างแทนที่พื้นที่สีแดงและสีส้มเดิมในหลายบริเวณ ซึ่งสะท้อนถึงการพัฒนาเมืองที่เกิดขึ้นทั้งในพื้นที่ชั้นในและชั้นนอกอย่างต่อเนื่อง แม้ไม่สามารถระบุชนิดของที่อยู่อาศัยได้โดยตรงจากภาพถ่าย (เช่น หมู่บ้านจัดสรร คอนโดมิเนียม หรือหอพัก) แต่สามารถตีความได้ว่าเป็นการใช้ที่ดินเพื่อรองรับความต้องการที่อยู่อาศัยในเขตอุตสาหกรรมที่กำลังขยายตัว

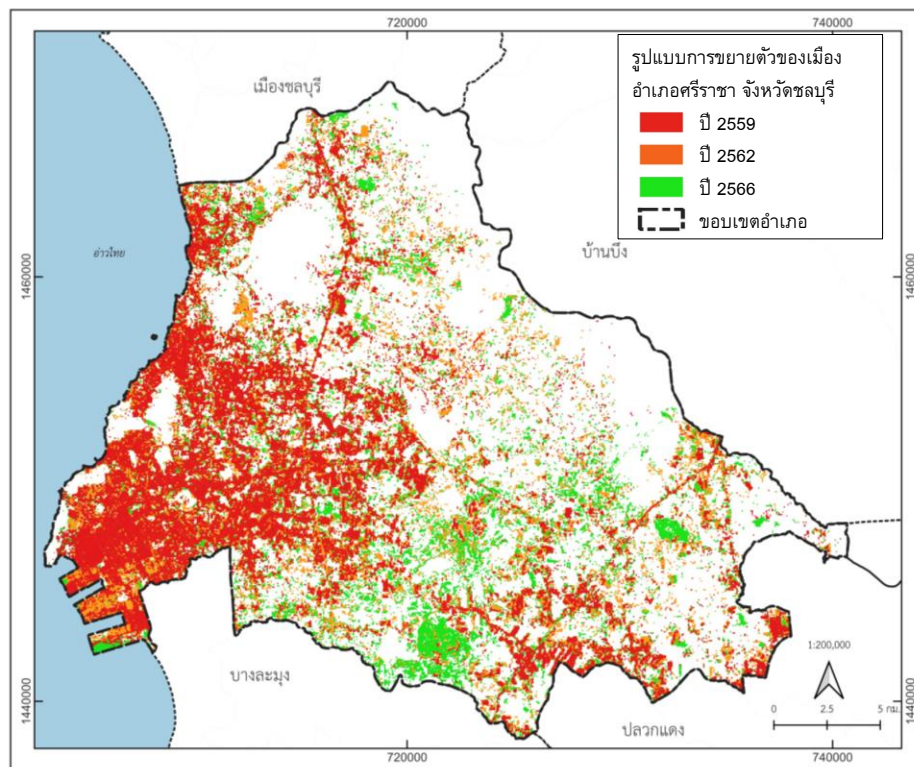


Figure 3. Patterns of Urban Expansion in Si Racha District During 2016–2023

3.4 การคาดการณ์แนวโน้มการขยายตัวของเมืองในอำเภอศรีราชาของแบบจำลอง CA-Markov ปี พ.ศ. 2570

3.4.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ในปี พ.ศ. 2566

การเปรียบเทียบผลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในปี พ.ศ. 2566 ระหว่างการแปลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา (Visual Interpretation) และผลจากแบบจำลอง CA-Markov แสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีมีความสอดคล้องกันในระดับสูง โดยเฉพาะในพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งมีพื้นที่ตามการแปลภาพถ่ายดาวเทียมเท่ากับ 190.63 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 31.11) ขณะที่แบบจำลอง CA-Markov ให้ผลใกล้เคียงคือ 190.28 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 31.05) คิดเป็นความแตกต่างเพียง 0.34 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 1.21 ผลการเปรียบเทียบพื้นที่ประเภทอื่น เช่น พื้นที่เกษตรกรรม ป่าไม้ แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด แสดงรายละเอียดใน Table 7. ซึ่งพบว่าพื้นที่ป่าไม้มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับประเภทอื่นๆ นอกจากนี้ ยังได้มีการประเมินค่าความถูกต้องโดยรวมของทั้งสองวิธี (Table 8.) พบว่าการแปลภาพถ่ายดาวเทียมมีค่า OA เท่ากับร้อยละ 90.89 และค่า Kappa เท่ากับ 0.89 ขณะที่แบบจำลอง CA-Markov มีค่า OA เท่ากับร้อยละ 97.25 และค่า Kappa เท่ากับ 0.93 ซึ่งทั้งสองวิธีมีความถูกต้องสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ยอมรับได้ในงานด้านการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียม แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริง

Table 7. Comparison of Land Use and Land Cover from the CA-Markov Model and Visual Interpretation in 2023

Land Use/Land Cover Types	Visual Interpretation		CA-Markov		Difference	
	Area (km ²)	(%)	Area (km ²)	(%)	Area (km ²)	(%)
Urban and Built-up Areas (Ur)	190.63	31.11	190.28	31.05	-0.34	-1.21
Agricultural Area (Agri)	132.27	21.59	130.32	21.27	-1.94	-6.87
Forest Area (Fo)	236.57	38.61	224.79	36.69	-11.78	-41.65
Water Area (Wa)	21.28	3.47	21.20	3.46	-0.08	-0.28
Miscellaneous Area (Ms)	32.01	5.22	46.16	7.53	14.15	50.00
Total	612.76	100.0	612.76	100.0		

* (+) indicates an increase in area, (–) indicates a decrease in area

Table 8. Accuracy Assessment of Visual Interpretation and CA-Markov Model

Method	Overall Accuracy (OA)	Kappa Index	Accuracy Level
Visual Interpretation	90.89%	0.89	High
CA-Markov Model	97.25%	0.93	High

3.4.2 การคาดการณ์แนวโน้มการขยายตัวของเมืองโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov ปี พ.ศ. 2570

ผลการคาดการณ์จากแบบจำลอง CA-Markov ปี พ.ศ. 2570 (Table 9.) พบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 190.63 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 31.11) เป็น 248.78 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 40.60) คิดเป็นการเพิ่มขึ้น 58.15 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 39.81 สะท้อนถึงกระบวนการเพิ่มขึ้นของความเป็นเมือง ขณะเดียวกัน พื้นที่ป่าไม้มีแนวโน้มลดลงจาก 236.57 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 38.61) เหลือเพียง 173.38 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 28.30) คิดเป็นการลดลง 63.19 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 43.26 และพื้นที่เกษตรกรรมลดลงจาก 132.27 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 21.59) เป็น 122.42 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 19.98) หรือลดลง 9.85 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 6.74) ส่วนพื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 21.28 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.47) เป็น 22.39 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.65) หรือเพิ่มขึ้น 1.11 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 0.76) และพื้นที่เบ็ดเตล็ดเพิ่มขึ้นจาก 32.01 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 5.22) เป็น 45.78 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 7.47) เพิ่มขึ้น 13.77 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 9.43 ซึ่งอาจรวมถึงพื้นที่เปลี่ยนผ่าน (transitional zones) ที่ยังไม่ได้กำหนดการใช้ที่ดินอย่างชัดเจน เช่น พื้นที่ก่อสร้างชั่วคราว พื้นที่รกร้าง ดัง Figure 4.

Table 9. Urban Expansion Forecast in Si Racha District for the Year 2027 Based on the CA-Markov Model

Land Use/Land Cover Types	Area					
	2023		2027		Changes	
	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)
Urban and Built-up Areas (Ur)	190.63	31.11	248.78	40.6	58.15	39.81
Agricultural Area (Agri)	132.27	21.59	122.42	19.98	-9.85	-6.74
Forest Area (Fo)	236.57	38.61	173.38	28.30	-63.19	-43.26
Water Area (Wa)	21.28	3.47	22.39	3.65	1.11	0.76
Miscellaneous Area (Ms)	32.01	5.22	45.78	7.47	13.77	9.43
Total	612.76	100.0	612.76	100.00	146.07	100.00

* (+) indicates an increase in area, (–) indicates a decrease in area

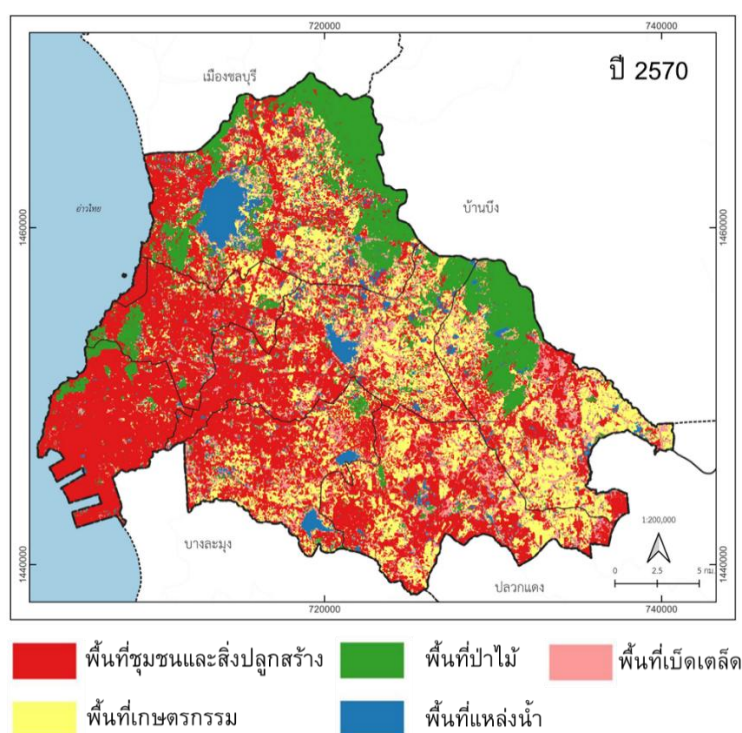


Figure 4. Land Use Map and Urban Expansion Pattern for the Year 2027

4. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2559–2566 พบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีการขยายตัวต่อเนื่องจาก 161.48 ตารางกิโลเมตร เป็น 190.63 ตารางกิโลเมตร ซึ่งสะท้อนถึงกระบวนการเพิ่มขึ้นของความเป็นเมือง (urbanization) โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีโครงสร้างพื้นฐานรองรับ เช่น ทางหลวงหมายเลข 7 นิคมอุตสาหกรรม การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้สอดคล้องกับงานของ Thirakunthomorn et al. (2020) ที่พบว่าเมืองในจังหวัดนครราชสีมา มีการเติบโตอย่างรวดเร็วในพื้นที่ที่เชื่อมโยงกับโครงสร้างพื้นฐาน ขณะที่พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ป่าไม้มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยด้านการขยายตัวเมืองและการสูญเสียพื้นที่เกษตร พบว่ากรณีศึกษาพื้นที่เขตเออีซีในเขตคามอนยี ประเทศวันดา ในช่วงปี 2023 มีการเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตรลดลงและเสี่ยงต่อความมั่นคงด้านอาหารในระยะยาว (Munyanenza et al.,

2023) และการศึกษาในเอธิโอเปียพบว่า การขยายตัวของเมืองในเขตเมืองใหญ่ มีผลกระทบต่อพื้นที่เพาะปลูกอย่างชัดเจน และจำเป็นต้องออกแบบเมืองแบบบูรณาการเพื่อรองรับการเติบโตอย่างยั่งยืน (Schaffert et al., 2025)

รูปแบบการขยายตัวของเมืองในการวิจัยนี้ มีลักษณะสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ การตั้งถิ่นฐานแบบแนวยาวตามเส้นทางคมนาคมสายหลัก เช่น ทางหลวงหมายเลข 7 และถนนสุขุมวิท และการขยายตัวแบบกระจุกตัว บริเวณศูนย์กลางเศรษฐกิจ ได้แก่ เทศบาลเมืองศรีราชา พื้นที่รอบนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และสวนอุตสาหกรรมศรีสทพัฒน์ รูปแบบดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ Hoyt (1939) ที่เสนอว่าเมืองมักขยายตัวตามแนวเส้นทางคมนาคมและเศรษฐกิจ (Sector Model) และยังตรงกับข้อค้นพบของ Teeravech et al. (2023) ที่ศึกษาการเติบโตของเมืองในจังหวัดจันทบุรี ซึ่งพบการกระจายตัวจากศูนย์กลางสู่ออกนอกในแนวที่เชื่อมกับโครงสร้างพื้นฐานหลัก

ผลการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง CA-Markov แสดงให้เห็นว่า ภายในปี พ.ศ. 2570 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 40.60 จากปี พ.ศ. 2559 และเพิ่มขึ้นร้อยละ 39.81 จากปี พ.ศ. 2566 ซึ่งถือเป็นอัตราการขยายตัวที่สูง แสดงถึงการเติบโตต่อเนื่องจากพื้นที่พัฒนาเดิมและการรุกกล้าเข้าสู่พื้นที่ชนบท โดยเฉพาะในเขตทิศตะวันตกเฉียงเหนือของอำเภอศรีราชา เช่น ตำบลบึง และตำบลหนองขาม ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมเดิมที่กำลังเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่อยู่อาศัยและอุตสาหกรรมเบา ในขณะเดียวกันยังพบว่าเมืองมีการขยายตัวเข้าสู่พื้นที่ชั้นในมากขึ้น โดยพื้นที่ชั้นใน หมายถึงศูนย์กลางเศรษฐกิจและเขตเมืองหลัก เช่น เทศบาลเมืองศรีราชาและพื้นที่ใกล้เคียงกับนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง ซึ่งมีความหนาแน่นของกิจกรรมเมืองและโครงสร้างพื้นฐานพร้อมรองรับการเติบโต ลักษณะการกระจายตัวของเมืองสอดคล้องกับแนวคิด Concentric Zone Model ของ Burgess (2015) ที่เสนอว่าการขยายตัวของเมืองมีลักษณะเป็นวงแหวน โดยมีศูนย์กลางที่หนาแน่นและขยายออกไปยังชานเมือง ซึ่งตรงกับลักษณะการขยายตัวของเมืองในพื้นที่ศึกษานี้ ทั้งการเติบโตแบบกระจุก (Clustered) และแบบกระจาย (Dispersed) ไปยังพื้นที่ชนบทโดยรอบ

รูปแบบการขยายตัวในพื้นที่ศึกษาสะท้อนความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจจากนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) แต่การเติบโตในลักษณะการขยายตัวของเมืองแบบไร้ทิศทาง (urban sprawl) หากไม่มีการควบคุม อาจก่อให้เกิดผลกระทบหลายประการ ได้แก่ การสูญเสียพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ ความไม่สมดุลของระบบนิเวศ และการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของงานวิจัยโดย Sun et al. (2022) ที่ระบุถึงความสำคัญของการวางแผนเมืองควบคู่กับการขยายตัวของเมือง จากข้อค้นพบดังกล่าว จึงควรมีการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างเป็นระบบ และบูรณาการนโยบายระดับท้องถิ่นและภูมิภาค เช่น การกำหนดขอบเขตการเติบโตของเมือง (Urban Growth Boundary) การพัฒนาแบบเติมเต็ม (Infill Development) และการคุ้มครองพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ผ่านมาตรการควบคุมการใช้ที่ดิน เพื่อให้เมืองศรีราชาเติบโตอย่างมีทิศทาง และยั่งยืนทั้งในมิติสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และคุณภาพชีวิตของประชาชนในระยะยาว

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการขยายตัวของเมืองในพื้นที่ระยองเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก กรณีศึกษาอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและศึกษารูปแบบการขยายตัวของเมืองในอำเภอศรีราชา โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ระหว่างปี พ.ศ. 2559–2566 โดยจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล อ้างอิงเกณฑ์การจำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department, 2024b) แบ่งเป็น 5 ประเภทหลัก ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 การจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (พ.ศ. 2559–2566) จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 พบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง เพิ่มขึ้นจาก 161.48 ตารางกิโลเมตร เป็น 190.63 ตารางกิโลเมตร

เพิ่มขึ้น 29.15 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 75.52 พื้นที่เกษตรกรรม ลดลงจาก 146.76 ตารางกิโลเมตร เหลือ 132.27 ตารางกิโลเมตร ลดลง 14.49 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 17.77 พื้นที่ป่าไม้ ลดลงจาก 261.89 ตารางกิโลเมตร เหลือ 236.57 ตารางกิโลเมตร ลดลง 25.32 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 63.37 พื้นที่แหล่งน้ำและพื้นที่เบ็ดเตล็ด มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะพื้นที่เบ็ดเตล็ดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

5.2 ความถูกต้องของการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ค่าความถูกต้องโดยรวม (OA) อยู่ในเกณฑ์สูง (มากกว่าร้อยละ 85) และค่า Kappa เท่ากับ 0.85 คลาสที่มีความแม่นยำสูงสุดคือ พื้นที่แหล่งน้ำ (PA และ UA สูงถึงร้อยละ 98–100) แสดงว่าแบบจำลองถือว่ามีความน่าเชื่อถือ เหมาะสำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงและวิเคราะห์แนวโน้มการใช้ที่ดิน

5.3 รูปแบบการขยายตัวของเมือง พบว่า ปี พ.ศ. 2559 มีลักษณะเป็นแนวยาวตามแนวคมนาคม และกระจุกในศูนย์กลางชุมชน ปี พ.ศ. 2562 เริ่มมีลักษณะการพัฒนาแทรกใน (Infill) และปี พ.ศ. 2566 แสดงถึงการกระจายตัวและเชื่อมต่อพื้นที่เมืองอย่างต่อเนื่อง (Expansion & Connection)

5.4 ข้อเสนอแนะจากการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

5.4.1 เพิ่มการใช้เทคนิคการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่หลากหลาย เช่น การจำแนกแบบไม่กำกับ (Unsupervised Classification) การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) หรือวิธีการจำแนกด้วยวัตถุ (Object-based Classification) เพื่อเปรียบเทียบระดับความถูกต้องและประสิทธิภาพของแต่ละวิธี และเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ศึกษา

5.4.2 ควรนำแบบจำลองการคาดการณ์ประเภทอื่นๆ มาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของผลการวิจัย เช่น แบบจำลอง SLEUTH, Artificial Neural Network (ANN) หรือแบบจำลองเชิงเศรษฐมิติ เพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง CA-Markov

5.5 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยในอนาคต

5.5.1 ขยายขอบเขตพื้นที่ศึกษาไปยังอำเภอ หรือจังหวัดใกล้เคียงในเขตระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (EEC) เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการขยายตัวของเมือง และวิเคราะห์ความเชื่อมโยงเชิงพื้นที่ระหว่างเขตพัฒนาอุตสาหกรรมต่างๆ

5.5.2 บูรณาการข้อมูลจากหลายแหล่ง เช่น ข้อมูลภาพถ่ายจากโดรน (UAV) ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม ข้อมูลเชิงสถิติด้านประชากรและเศรษฐกิจ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ และเชื่อมโยงปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

5.5.3 ใช้แบบจำลองการคาดการณ์ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น แบบจำลอง CLUE-S ซึ่งสามารถรวมปัจจัยขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ สังคม และกายภาพ เช่น ความลาดชัน ระยะทางจากถนนหลัก และการเข้าถึงบริการสาธารณะ เข้าในการจำลองได้โดยตรง (Sun et al., 2022) หรือแบบจำลองเชิงระบบพลวัต (System Dynamics), Agent-Based Model หรือการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อตอบสนองความซับซ้อนของพฤติกรรมและการขยายตัวของเมืองในระยะยาว

6. เอกสารอ้างอิง

- Adegun, A. A., Kumar, D., & Singh, M. (2023). Review of deep learning methods for remote sensing satellite images classification: Experimental survey and comparative analysis. *Journal of Big Data*, 10(1), 108. <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00772-x>
- Burgess, E. W. (2015). The growth of the city: an introduction to a research project. In *The city reader* (pp. 212–220). Routledge.
- Chonburi Provincial Office. (2024). Chonburi provincial development plan 2023–2027 (Revised edition 2025) [Online]. Retrieved February 15, 2025, from: <https://www.chonburi.go.th/ebook/detail/27> (in Thai)

- Chonburi Provincial Statistical Office. (2024). Chonburi province population statistics [Online]. Retrieved September 18, 2024, from: <https://chonburi.nso.go.th/reports-publications/provincial-statistics-report.html> (in Thai)
- Choudhury, U., Kanga, S., Singh, S. K., Kumar, A., Meraj, G., Kumar, P., & Singh, S. (2024). Projecting urban expansion by analyzing growth patterns and sustainable planning strategies—A case study of Kamrup Metropolitan, Assam, North-East India. *Earth*, 5(2), 169–194. <https://doi.org/10.3390/earth5020009>
- Eastern Economic Corridor Office of Thailand. (2021). Overview of the Eastern Economic Corridor (EEC) development project. [Online]. Retrieved September 18, 2024, from: <https://www.eeco.or.th/th/government-initiative> (in Thai)
- Eastern Economic Corridor Policy Committee. (2024). Infrastructure and utilities implementation plan for the Eastern Economic Corridor development area 2023–2027 [Online]. Retrieved September 18, 2024, from: <https://eeco.or.th/web-upload/filecenter/eecdevelopment-plan/plan.pdf> (in Thai)
- Foody, G. M. (2020). Explaining the unsuitability of the kappa statistic for assessing the accuracy of thematic maps obtained by remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 239, 111630. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111630>
- Hoyt, H. (1939). The structure and growth of residential neighborhoods in American cities. U.S. Federal Housing Administration.
- Khunrattanasiri, W., Klayjaroen, S., and Suksard, S. (2024). Using CA-Markov model and Landsat 8 imagery data for land use prediction in Thale Noi non-hunting area. *Thai Journal of Forestry*, 43(2), 37–50. (in Thai)
- Land Development Department. (2024a). DIN online [Online]. Retrieved August 6, 2024, from: <https://dinonline.ddd.go.th/> (in Thai)
- Land Development Department. (2024b). Land use map definition [Online]. Retrieved August 6, 2024, from: <https://webapp.ddd.go.th/lpd/LandUseconditions.php> (in Thai)
- Li, S., Zhang, Y., & Fang, S. (2021). Enhanced CA-Markov model for land-use simulation by incorporating neighborhood effect and terrain constraints. *Environmental Modelling & Software*, 142, 105073. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105073>
- Liu, R., Xu, Y., Xue, C., Xia, Z., Li, G., Gou, X., & Luo, S. (2023). Simulation of early warning indicators of urban expansion derived from machine learning. *Journal of Urban Planning and Development*, 149(1). <https://doi.org/10.1061/jupddm.upeng-4127>
- Liu, S., Chen, H., & Zhou, J. (2020). A review of geometric correction methods in high-resolution satellite imagery. *Remote Sensing*, 12(5), 800. <https://doi.org/10.3390/rs12050800>
- Lu, S., Guo, J., Zimmer-Dauphinee, J. R., Nieusma, J. M., Wang, X., Wernke, S. A., & Huo, Y. (2025). Vision foundation models in remote sensing: A survey. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*.
- Munyaneza, J. P., Rwema, P., Ndolimana, E., Nzayinambaho, J., Nsanzumukiza, M. V., & Barahira, A. (2023). The impact of urbanization expansion on agriculture land in Rwanda: Case study of Runda Sector, Kamonyi District. *American Journal of Environmental Protection*, 12(4), 85–91. <https://doi.org/10.11648/j.ajep.20231204.11>
- Oliveira, L. M. de, Silva, S. M. O. da, Souza Filho, F. A. de, Rufino, I. A. A., Brito, H. C. de, & Lopes, T. M. X. de M. (2022). Dynamic modeling of urban expansion using cellular automata: The case of Fortaleza-CE. *SciELO journals. Dataset*. [Online]. Retrieved December 21, 2024, from: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.20039888>
- Paheding, S., Saleem, A., Siddiqui, M. F. H., Rawashdeh, N., Essa, A., & Reyes, A. A. (2024). Advancing horizons in remote sensing: a comprehensive survey of deep learning models and applications in image classification and beyond. *Neural Computing and Applications*, 36(27), 16727–16767.
- Prasartkul, P. (2024). On the occasion of World Population Day 2024. [Online]. Retrieved December 11, 2024, from: <https://www.theprachakorn.com/newsDetail.php?id=928> (in Thai)
- Sarastika, T., Saraswati, Y., Triyadi, R. A., & Susena, Y. (2024). Pemodelan prediksi konversi penggunaan lahan berbasis ANN-CA di wilayah peri-urban Kabupaten Sleman. *JTSL (Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan)*, 11(1), Article 18. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2024.011.1.18>

- Schaffert, M., Sahinkaya, C., & Wolff, C. (2025). Visualizing urban sprawl to raise local awareness. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1456772. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1456772>
- SDG Knowledge Hub. (2023). World population data sheet 2023 supports climate resilience [Online]. Retrieved December 11, 2024, from: <https://sdg.iisd.org/news/world-population-data-sheet-2023-supports-climate-resilience/>
- Sun, C., Bao, Y., Vandansambu, B., & Bao, Y. (2022). Simulation and prediction of land use/cover changes based on CLUE-S and CA-Markov models: A case study of a typical pastoral area in Mongolia. *Sustainability*, 14(23), 15707. <https://doi.org/10.3390/su142315707>
- Teeravech, K., Yarak, K., & Chanchaen, T. (2023). Urban growth monitoring in Chanthaburi using remote sensing data on Google Earth Engine. *Journal of Information Science and Technology*, 13(2), 69–78. (in Thai)
- Thirakunthomorn, T., Prasomsap, W., & Phinyoyang, A. (2020). Land use/land cover change detection and prediction using CA-MARKOV model. *Proceedings of the 25th National Civil Engineering Conference*, 1–6. (in Thai)
- Tonsiri, S., Arunpraparut, W., & Khunrattanasiri, W. (2018). Application of CA-Markov model to predict land use changes in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary, Chanthaburi Province. *Thai Journal of Forestry*, 37(2), 138–150. (in Thai)
- Turan, D. E., Aptoula, E., Ertürk, A., & Taskin, G. (2023). Interpreting hyperspectral remote sensing image classification methods via explainable artificial intelligence. In *IGARSS 2023-2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 5950-5953). IEEE.
- United Nations Population Fund. (2022). World population trends [Online]. Retrieved March 20, 2024, from: <https://www.unfpa.org/world-population-trends#readmore-expand>
- USGS. (2023). Sentinel-2 satellite images [Online]. Retrieved December 15, 2023, from: <https://www.usgs.gov/search?keywords=Sentinel-2+satellite+images>
- Xu, Y., Wang, M., & Li, X. (2022). Assessment of geometric correction accuracy using RMSE criteria in satellite remote sensing. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19(7), 1123–1127. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2022.3161234>
- Zhang, Q., Wang, J., & Liu, Y. (2022). Simulation of land use changes using improved CA-Markov model: Case study in rapidly urbanized area. *Sustainable Cities and Society*, 81, 103837. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103837>
- Zhao, M.-S., Gao, Y., Wang, T., & Wang, S. (2023). Multiscenario simulation and prediction of land use in Huaibei City based on CLUE-S and PLUS models. *Applied Sciences*, 13(12), 7142. <https://doi.org/10.3390/app13127142>