



การสร้างฉากทัศน์หลายมิติตามเป้าหมายการพัฒนาพื้นที่ของจังหวัดบุรีรัมย์
CREATING A MULTI-DIMENSIONAL SCENARIOS ACCORDING
TO THE GOALS OF THE AREA DEVELOPMENT OF BURIRAM PROVINCE



ณัฐวุฒิ ทะนันไธสง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2568

การสร้างฉากทัศน์หลายมิติตามเป้าหมายการพัฒนาพื้นที่ของจังหวัดบุรีรัมย์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ

คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

CREATING A MULTI-DIMENSIONAL SCENARIOS ACCORDING
TO THE GOALS OF THE AREA DEVELOPMENT OF BURIRAM PROVINCE



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY
(Ph.D. (Geoinformatics))

Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University

2025

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การสร้างฉากทัศน์หลายมิติตามเป้าหมายการพัฒนาพื้นที่ของจังหวัดบุรีรัมย์

ของ

ณัฐวุฒิ ทะนันไธสง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ)

..... ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อสมภรณ์ สิริธิ)

..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ชีวินศิริวัฒน์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ เมฆแสงสวย)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถาพร มนต์ประภัสสร)

ชื่อเรื่อง	การสร้างฉากทัศน์หลายมิติตามเป้าหมายการพัฒนาพื้นที่ของจังหวัดบุรีรัมย์
ผู้วิจัย	ณัฐวุฒิ ทะนันไธสง
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
ปีการศึกษา	2568
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูเดช โลศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อสมภรณ์ สิทธิ

จังหวัดบุรีรัมย์ปัจจุบันกำลังเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างเศรษฐกิจอย่างก้าวกระโดดจากเมืองผ่านในอดีตสู่เมืองท่องเที่ยวเชิงกีฬาตามยุทธศาสตร์บุรีรัมย์โมเดล การเติบโตอย่างรวดเร็วนี้ส่งผลให้เกิดความท้าทายในการบริหารจัดการทรัพยากรที่ดินอย่างยั่งยืน การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาการขยายตัวของพื้นที่เมืองจังหวัดบุรีรัมย์โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา 2) วิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมืองตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัด และ 3) คาดการณ์แนวโน้มการพัฒนาการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler วิธีการศึกษาใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ครอบคลุมระยะเวลา 21 ปี จำแนกการใช้ที่ดิน 5 ประเภทด้วยวิธี Random Forest บน Google Earth Engine ตรวจสอบความถูกต้องจากจุดตรวจสอบภาคสนาม 400 จุด วิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อน 29 ตัวแปรด้วย Cramér's V ร่วมกับ Multi-Layer Perceptron Neural Network และสร้างฉากทัศน์ 4 รูปแบบ ได้แก่ การพัฒนาตามปกติ การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา การพัฒนาเมือง MICE และการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน ด้วย Cellular Automata-Markov Chain พยากรณ์การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2574 ผลการศึกษาพบว่าการจำแนกข้อมูลด้วยอัลกอริทึม Random Forest บนระบบ Google Earth Engine มีความแม่นยำสูงระหว่างร้อยละ 88.43–93.17 และค่า Kappa อยู่ที่ 0.86–0.92 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานสากลร้อยละ 85 ระหว่างปี พ.ศ. 2544–2565 พื้นที่เมืองเพิ่มขึ้นจาก 351.32 เป็น 1,069.08 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 204.35 การขยายตัวส่งผลให้พื้นที่เกษตรกรรมลดลง 606.33 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 7.30) และพื้นที่ป่าไม้ลดลง 235.04 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 19.61) ปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ ได้แก่ ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว (MLP Coefficient = 0.9002) ระยะห่างจากพื้นที่เมืองเดิม (MLP Coefficient = 0.8953) และระยะห่างจากสนามกีฬาหลัก (V = 0.8869) ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างแข็งแกร่งกับการเติบโตของเมือง ผลการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2574 พบว่าการพัฒนาเมือง MICE มีการขยายตัวสูงสุด (ร้อยละ 7.16) แต่สูญเสียพื้นที่เกษตรกรรมมากที่สุด (ร้อยละ 6.94) ในขณะที่ฉากทัศน์เกษตรกรรมยั่งยืนมีการขยายตัวต่ำสุด (ร้อยละ 0.71) และรักษาพื้นที่เกษตรกรรมได้มากที่สุดจากการวิเคราะห์ Trade-offs พบว่าฉากทัศน์เกษตรกรรมยั่งยืนมีความสมดุลสูงสุดระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ทรัพยากร โดยมีคะแนนความยั่งยืน (9.5/10) สูงที่สุด

คำสำคัญ : การขยายตัวของเมือง, การเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดิน, ฉากทัศน์, ปัจจัยการขับเคลื่อน, แบบจำลอง

Title	CREATING A MULTI-DIMENSIONAL SCENARIOS ACCORDING TO THE GOALS OF THE AREA DEVELOPMENT OF BURIRAM PROVINC E
Author	NATTHAWUT TANANTHAISONG
Degree	DOCTOR OF PHILOSOPHY
Academic Year	2025
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Chudech Losiri
Co Advisor	Assistant Professor Dr. Asamaporn Sitthi

Buriram Province is undergoing rapid economic transformation from a transit city to a sports tourism destination under the "Buriram Model" strategy, posing challenges for sustainable land resource management. This research aimed to 1) examine urban expansion using multi-temporal satellite imagery, 2) analyze factors influencing urban growth, and 3) predict future land use trends using the Land Change Modeler. Landsat imagery spanning 21 years was classified into five land use categories using Random Forest on Google Earth Engine, validated by 400 ground control points. Twenty-nine driving factors were analyzed using Cramér's V and Multi-Layer Perceptron Neural Network. Four scenarios—Business as Usual, Sports Tourism Development, MICE City Development, and Sustainable Agriculture—were developed using Cellular Automata-Markov Chain to forecast land use for 2031. Classification accuracy ranged from 88.43% to 93.17% with Kappa values of 0.86–0.92, exceeding the 85% international standard. Between 2001 and 2022, urban areas expanded from 351.32 to 1,069.08 km² (204.35%), resulting in agricultural land loss of 606.33 km² (7.30%) and forest decline of 235.04 km² (19.61%). The most influential factors were distance from tourist attractions (MLP Coefficient = 0.9002), existing urban areas (MLP Coefficient = 0.8953), and major sports stadiums (V = 0.8869). Projections for 2031 showed that MICE City Development exhibited the highest expansion (7.16%) but the greatest agricultural loss (6.94%), while Sustainable Agriculture showed the lowest expansion (0.71%) with maximum agricultural preservation. Trade-off analysis indicated that the Sustainable Agriculture scenario achieved the optimal balance between economic development and resource conservation, with the highest sustainability score (9.5/10).

Keyword : urban expansion, land use change, scenario, driving factors, modeling

กิตติกรรมประกาศ

ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากบุคคลหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการศึกษาและการทำวิจัย ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อสมภรณ์ สิทธิ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความกรุณาเป็นอย่างยิ่งในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขดุษฎีนิพนธ์ รวมทั้งให้กำลังใจตลอดระยะเวลาการศึกษา ด้วยความเมตตาและความเอาใจใส่อย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ชีวินศิริวัฒน์ ประธานกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะอันมีคุณค่าและแนวทางในการพัฒนาดุษฎีนิพนธ์ให้มีคุณภาพและความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรกรณ์ เมฆแสงสวย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถาพร มนต์ประภัศร กรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการปรับปรุงดุษฎีนิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์และมีคุณภาพ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาและการวิจัย และคณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้โอกาสในการศึกษาและสนับสนุนด้านสถานที่ รวมทั้งขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และประสบการณ์อันมีค่า

ขอขอบคุณ กรมพัฒนาที่ดิน สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์ สำนักงานโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ สำนักงานท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์ สถานีพัฒนาที่ดินจังหวัดบุรีรัมย์ และศูนย์ป่าไม้บุรีรัมย์ ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลที่สำคัญสำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และคูชีวิตที่คอยให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ และเป็นแรงบันดาลใจที่สำคัญในการศึกษาตลอดมา ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา บุรพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณพี่น้องนิสิตปริญญาเอก สาขาวิชาภูมิสารสนเทศทุกท่าน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ

ณัฐวุฒิ ทะนันไธสง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูปภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์.....	5
ขอบเขตของการศึกษา	5
ขอบเขตพื้นที่	5
ขอบเขตเนื้อหา.....	6
ขอบเขตด้านเวลา	7
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	7
กรอบแนวคิดการวิจัย	7
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	11
แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์.....	11
บทวิเคราะห์ภาวะข้อมูลเศรษฐกิจ แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ปี 2565.....	11
แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ (ปี 2566 - 2570).....	17
เป้าหมายการพัฒนาและการใช้ประโยชน์ที่ดินระยะ 10 ปี (พ.ศ.2564 -2574)	19
ทฤษฎีรูปแบบการขยายตัวเมือง	27

การขยายตัวของเมืองตามรูปแบบการตั้งถิ่นฐาน	27
การขยายตัวของเมืองตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน	28
แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้ที่ดิน	32
นิยามและความหมาย	32
การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน	32
ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการ	32
แรงขับเคลื่อนที่ใช้ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน	35
แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน	36
ความเป็นมาของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน	36
กรอบแนวคิดของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน	37
ความซับซ้อนของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน	40
ประเภทของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน	42
ตัวอย่างแบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่เมือง	46
หมวดหมู่แบบจำลอง	50
แบบจำลองทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน	50
แบบจำลองเชิงเทคนิคและวิธีการ	52
แบบจำลองแพลตฟอร์มแบบบูรณาการ	54
แบบจำลอง LCM	55
หลักการทำงาน	55
การประยุกต์ใช้ Markov Chain และ Cellular Automata ใน LCM	56
บทบาทของ Neural Network ในการเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์	57
การประเมินจุดเด่นและข้อจำกัดของ LCM	58
แนวโน้มและทิศทางการวิจัย	58

ทฤษฎีและแนวคิดการสร้างฉากทัศน์.....	59
ความหมายและความสำคัญของฉากทัศน์.....	59
การจำแนกประเภทของฉากทัศน์.....	59
หลักการและระเบียบวิธีการสร้างฉากทัศน์.....	60
การประยุกต์ใช้ฉากทัศน์ในการวางแผนการใช้ที่ดิน.....	61
การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ	62
วิธีการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ	62
ปัจจัยขับเคลื่อนในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินเมือง.....	64
ฉากทัศน์ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินเมือง	66
แนวโน้มและทิศทางการวิจัย	69
ช่องว่างการวิจัยและความเชื่อมโยงกับการศึกษานี้	70
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	72
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	77
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	77
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	77
การรวบรวมข้อมูล	77
จัดการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	78
การประเมินความถูกต้องของการจำแนก (Accuracy Assessment)	79
การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน.....	79
รวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน	80
การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมือง	80
การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง	85
การสร้างฉากทัศน์.....	86

บทที่ 4 ผลการวิจัย	90
วิเคราะห์การขยายพื้นที่เมืองของจังหวัดบุรีรัมย์โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา	91
วิธีการตรวจสอบความถูกต้อง	92
ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน	94
การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	105
การวิเคราะห์การขยายตัวของพื้นที่เมืองในระดับอำเภอ	110
อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่เมือง	116
การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมือง ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์.....	119
ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์	121
ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัย.....	133
การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของปัจจัยต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	142
การจำแนกปัจจัยตามรูปแบบความสอดคล้อง.....	147
แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลง	153
ผลการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลอง LCM.....	164
การเปรียบเทียบแบบจำลอง พ.ศ.2564.....	167
การเปรียบเทียบพื้นที่การใช้ที่ดินระหว่างแบบจำลองกับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2564.....	168
สร้างฉากทัศน์ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ด้วยแบบจำลอง LCM	171
การพัฒนาฉากทัศน์	172
ผลการจำลองฉากทัศน์ปี พ.ศ. 2574	177
การเปรียบเทียบฉากทัศน์ พ.ศ.2567 กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ.2564	179
การเปรียบเทียบและประเมินผลฉากทัศน์.....	187
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผล.....	189

สรุปผลการศึกษา.....	189
การศึกษาการขยายพื้นที่เมืองของจังหวัดบุรีรัมย์.....	189
การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมือง	190
การสร้างฉากทัศน์ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์.....	191
อภิปรายผล	193
ข้อเสนอแนะ	199
ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย	199
ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต.....	200
บรรณานุกรม	202
ภาคผนวก ก แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลง.....	229
ประวัติผู้เขียน.....	236

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 การเปลี่ยนแปลงประชากร ระหว่างปี พ.ศ.2540-พ.ศ.2564 จังหวัดบุรีรัมย์	16
ตาราง 2 แสดงผลิตภัณฑ์มวลรวมของจังหวัด และรายได้เฉลี่ยต่อหัวของประชากร	17
ตาราง 3 โรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดบุรีรัมย์	17
ตาราง 4 แรงขับเคลื่อนหรือปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน	35
ตาราง 5 เปรียบเทียบจุดแข็งและจุดอ่อนของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน	48
ตาราง 6 ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย	78
ตาราง 7 ปัจจัยที่มีผลต่อการขับเคลื่อนการใช้ที่ดินที่สัมพันธ์กับเป้าหมายการพัฒนาของจังหวัดบุรีรัมย์	80
ตาราง 8 การตรวจสอบความถูกต้องและผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2544	94
ตาราง 9 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2554	98
ตาราง 10 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2564	99
ตาราง 11 การเปรียบเทียบภาพถ่ายดาวเทียมและการสำรวจภาคสนาม	101
ตาราง 12 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2565	103
ตาราง 13 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ระหว่างปี พ.ศ. 2544 – 2554	105
ตาราง 14 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ระหว่างปี พ.ศ. 2554 – 2564	107
ตาราง 15 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ระหว่างปี พ.ศ. 2564 – 2565	108
ตาราง 16 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยรวมระหว่างปี พ.ศ. 2544 และ พ.ศ. 2565	109
ตาราง 17 การวิเคราะห์การขยายตัวของพื้นที่เมืองในระดับอำเภอ	110
ตาราง 18 อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่เมืองในระดับอำเภอ	117

ตาราง 19 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง	134
ตาราง 20 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม	134
ตาราง 21 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด	135
ตาราง 22 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เมือง...	136
ตาราง 23 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นแหล่งน้ำ.....	137
ตาราง 24 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากเบ็ดเตล็ดเป็นเกษตรกรรม .	138
ตาราง 25 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากเบ็ดเตล็ดเป็นป่าไม้.....	139
ตาราง 26 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นพื้นที่เมือง	140
ตาราง 27 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นแหล่งน้ำ	141
ตาราง 28 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากแหล่งน้ำเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด	142
ตาราง 29 ผลการทดสอบไคสแควร์และค่าสัมประสิทธิ์ไครเมอร์รี่ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	143
ตาราง 30 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ไครเมอร์รี่กับค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลอง MLP ...	146
ตาราง 31 การจำแนกระดับศักยภาพการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เมือง	159
ตาราง 32 เปรียบเทียบพื้นที่ศักยภาพสูงของ 3 รูปแบบการเปลี่ยนแปลง	161
ตาราง 33 การกระจายตัวของพื้นที่ศักยภาพสูงรายอำเภอ	162
ตาราง 34 สรุปผลการทดสอบความแม่นยำของแต่ละ Sub-model	165
ตาราง 35 ผลการทดสอบความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลอง.....	166
ตาราง 36 Kappa Coefficient ของแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน.....	167
ตาราง 37 การเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองและแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2564.....	168

ตาราง 38 การเปรียบเทียบพื้นที่การใช้ที่ดินระหว่างแผนที่จำลองกับแผนที่จริง พ.ศ.2564	170
ตาราง 39 Transition Probability Matrix จากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา	174
ตาราง 40 Transition Probability Matrix จากทัศน์พัฒนาเมือง MICE	175
ตาราง 41 Transition Probability Matrix จากทัศน์พัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน	177
ตาราง 42 สัดส่วนการใช้ที่ดินจังหวัดบุรีรัมย์ปี พ.ศ. 2564 และการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2574 ภายใต้อาณัติทั้ง 4 อาณัติ.....	178
ตาราง 43 เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากทัศน์การพัฒนาตามปกติ.....	181
ตาราง 44 เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา	181
ตาราง 45 เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากทัศน์ MICE City	183
ตาราง 46 เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากทัศน์จากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน	185
ตาราง 47 Trade-offs Matrix การเปรียบเทียบระหว่างการพัฒนาและการอนุรักษ์.....	187
ตาราง 48 การจัดอันดับจากทัศน์ตามตัวชี้วัดหลัก	188

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิด	9
ภาพประกอบ 2 สถานที่สำคัญ และผลิตภัณฑ์และบริการโมเดลในแคมเปญ BE IN BURIRAM ...	15
ภาพประกอบ 3 ความสอดคล้องแนวทางการพัฒนาประเทศของแผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์.....	26
ภาพประกอบ 4 การตั้งถิ่นฐานแบบแนวยาวของถนนบุรีรัมย์-นางรอง (ซ้าย) การตั้งถิ่นฐานแบบกระจุกตัวในเขตอำเภอนางรอง (ขวา)	27
ภาพประกอบ 5 แบบจำลองศูนย์กลางลักษณะวงกลม (Concentric Zone Model)	29
ภาพประกอบ 6 แบบจำลองลักษณะขยายตัวกึ่งดาว (Sector Model)	29
ภาพประกอบ 7 แบบจำลองลักษณะกระจายเขต (Multiple Nuclei Model)	30
ภาพประกอบ 8 แบบจำลองรูปดาว (Axial Development Model)	30
ภาพประกอบ 9 กรอบแนวความคิดสำหรับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ...	37
ภาพประกอบ 10 มาตราส่วนเชิงพื้นที่ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน	38
ภาพประกอบ 11 การทบทวนและการประเมินแบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน	41
ภาพประกอบ 12 โครงสร้างพื้นฐานของแบบจำลองระบบพลวัต	43
ภาพประกอบ 13 Von Neumann Neighborhood (ซ้าย) และ Moore Neighborhood (ขวา) ...	44
ภาพประกอบ 14 การประยุกต์แบบจำลอง CA ในการจำลองการขยายตัวของพื้นที่เมือง.....	45
ภาพประกอบ 15 การใช้แบบจำลองผสมระหว่างแบบจำลอง MCA กับแบบจำลอง ABM	46
ภาพประกอบ 16 กระบวนการค้นหาและประเมินวรรณกรรมการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเมือง	63
ภาพประกอบ 17 ขั้นตอนการศึกษา.....	89
ภาพประกอบ 18 การตรวจสอบความถูกต้องและการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ. 2544	95

ภาพประกอบ 19 การตรวจสอบความถูกต้องและการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ. 2554	97
ภาพประกอบ 20 การตรวจสอบความถูกต้องและการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ. 2564	100
ภาพประกอบ 21 การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ. 2565.....	104
ภาพประกอบ 22การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วงปี พ.ศ. 2544-2565	109
ภาพประกอบ 23 การขยายตัวของพื้นที่เมืองในระดับอำเภอ ช่วงปี พ.ศ. 2544-2565.....	111
ภาพประกอบ 24 การขยายตัวเมืองสูงสุด 5 อำเภอที่มีปี พ.ศ. 2544, 2554 และ 2565.....	112
ภาพประกอบ 25 การเพิ่มขึ้นของพื้นที่เมืองในอำเภอเมือง อำเภอนางรอง และอำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์.....	115
ภาพประกอบ 26 อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่เมืองในระดับอำเภอ	118
ภาพประกอบ 27 กลุ่มปัจจัยธรรมชาติ แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ความลาดชัน ความลาดเท และปริมาณน้ำฝน.....	122
ภาพประกอบ 28 กลุ่มปัจจัยธรรมชาติ ความเหมาะสมของดิน ระยะห่างจากแม่น้ำ ระยะห่างจาก แหล่งน้ำ และระยะห่างจากระบบชลประทาน.....	124
ภาพประกอบ 29 กลุ่มปัจจัยธรรมชาติ พื้นที่น้ำท่วม และระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้.....	125
ภาพประกอบ 30 กลุ่มปัจจัยสิ่งปลูกสร้าง ระยะห่างจากถนนสายหลัก ระยะห่างจากทางรถไฟ ระยะห่างจากสถานีรถไฟ และระยะห่างจากสนามบิน.....	126
ภาพประกอบ 31 กลุ่มปัจจัยสิ่งปลูกสร้าง ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ ระยะห่างจากพื้นที่เมือง ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม และระยะห่างจากโรงเรียน	128
ภาพประกอบ 32 กลุ่มปัจจัยสิ่งปลูกสร้าง ระยะห่างจากโรงพยาบาล ระยะห่างจากโรงแรม ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว และระยะห่างจากสนามกีฬาหลัก	129
ภาพประกอบ 33 กลุ่มปัจจัยเศรษฐกิจสังคม ระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรม ความหนาแน่น ประชากร การเจริญเติบโตของประชากร อัตราความยากจน และราคาที่ดิน	131

ภาพประกอบ 34 กลุ่มปัจจัยนโยบายและข้อจำกัด ระยะห่างจากพื้นที่อนุรักษ์ และระยะห่างจาก เหมืองแร่	133
ภาพประกอบ 35 แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง	154
ภาพประกอบ 36 แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เมือง	156
ภาพประกอบ 37 แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นพื้นที่เมือง	158
ภาพประกอบ 38 ฉากทัศน์การพัฒนาตามปกติ จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ.2574	180
ภาพประกอบ 39 ฉากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ.2574	182
ภาพประกอบ 40 ฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ.2574	184
ภาพประกอบ 41 ฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ.2574	186



บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นปรากฏการณ์ที่มีความสำคัญในระดับโลก โดยกิจกรรมของมนุษย์ได้เปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวโลกไปแล้วประมาณสองในสามส่วน (Li, 2024) การแผ่ขยายของเมือง การพัฒนาอุตสาหกรรม การขยายพื้นที่เกษตรกรรม และการทำลายป่าไม้ ส่งผลกระทบต่อภูมิทัศน์และระบบนิเวศอย่างต่อเนื่อง ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1992-2020 พื้นที่สิ่งปลูกสร้างและพื้นที่เพาะปลูกทั่วโลกเพิ่มขึ้นร้อยละ 133 และร้อยละ 6 ตามลำดับ ส่งผลให้พื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และพื้นที่ป่าไม้ลดลงร้อยละ 4.0 และร้อยละ 3.8 (Li, 2024) นอกจากนี้ พื้นที่เมืองยังเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึงร้อยละ 75 ของปริมาณทั้งหมดในระดับโลก และมีการคาดการณ์ว่าภายในปี ค.ศ. 2050 พื้นที่เมืองทั่วโลกจะขยายตัวเพิ่มขึ้นสองถึงสามเท่า (Espey et al., 2024) ในภูมิภาคเอเชียและแอฟริกาจะเป็นพื้นที่ที่มีการขยายตัวของเมืองสูงที่สุด โดยคาดว่าจะภายในปี ค.ศ. 2050 ประมาณร้อยละ 90 ของการขยายตัวของเมืองทั่วโลกจะเกิดขึ้นในสองทวีปนี้ (United, 2018) ประชากรเมืองของทวีปแอฟริกาจะเพิ่มขึ้นจาก 414 ล้านคน เป็นกว่า 1,200 ล้านคน ในขณะที่ทวีปเอเชียจะเพิ่มขึ้นจาก 1,900 ล้านคน เป็น 3,300 ล้านคน (United, 2012) โดยประเทศอินเดีย จีน และไนจีเรีย จะมีการเพิ่มขึ้นของประชากรเมืองสูงที่สุด คาดว่าอินเดียจะมีประชากรเมืองเพิ่มขึ้น 416 ล้านคน จีน 255 ล้านคน และไนจีเรีย 189 ล้านคน ภายในปี ค.ศ. 2050 ซึ่งสามประเทศนี้รวมกันจะคิดเป็นร้อยละ 35 ของการเติบโตของประชากรเมืองทั่วโลก (United, 2018) การแผ่ขยายของเมืองอย่างรวดเร็วนำมาซึ่งโอกาสทางเศรษฐกิจและการยกระดับคุณภาพชีวิต เนื่องจากเมืองเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้ วัฒนธรรม และนวัตกรรม โดยพื้นที่เมืองสร้างผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) มากกว่าร้อยละ 80 ของโลก (Undp, 2023) อย่างไรก็ตาม การแผ่ขยายของเมืองก็ก่อให้เกิดผลกระทบด้านลบหลายประการ อาทิ ปัญหาการจราจร ความหนาแน่นของประชากร การสูญเสียพื้นที่เกษตรกรรมซึ่งส่งผลต่อความมั่นคงด้านอาหาร (McManamay, 2024) รวมถึงปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมือง (Urban Heat Island) ที่ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวดินเพิ่มสูงขึ้น (Zhao et al., 2024) งานวิจัยพบว่าการแผ่ขยายของเมืองในอนาคตจะนำไปสู่การสูญเสียพื้นที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติ 11-33 ล้านเฮกตาร์ ภายในปี ค.ศ. 2100 และทำให้ความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์มีกระดูกสันหลังบนบกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (He et al., 2022)

นอกจากนี้ การแผ่ขยายของเมืองแบบกระจุกกระจาย ยังก่อให้เกิดการแตกกระจายของแหล่งที่อยู่อาศัยสัตว์ป่า (Habitat Fragmentation) ซึ่งส่งผลกระทบต่อความยืดหยุ่นและการแพร่พันธุ์ของสัตว์ป่า รวมถึงลดความหลากหลายทางพันธุกรรมของกลุ่มประชากรสัตว์ (McDonald et al., 2022) การศึกษาของ Seto et al. (2012) คาดการณ์ว่าภายในปี ค.ศ. 2030 การแผ่ขยายของเมืองทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 200 การเติบโตของเมืองยังส่งผลกระทบต่อบริการระบบนิเวศ (Ecosystem Services) อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะบริการด้านการควบคุม (Regulating Services) เช่น การกักเก็บคาร์บอน การป้องกันอุทกภัย และการรักษาคุณภาพน้ำ รวมถึงบริการด้านการจัดหา (Provisioning Services) เช่น การผลิตอาหาร โดยคาดว่าจะร้อยละ 50-63 ของพื้นที่เมืองใหม่จะเกิดขึ้นบนพื้นที่ทำการเกษตรในปัจจุบัน ส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรทั่วโลกลดลง (Chen et al., 2020) ด้วยผลกระทบที่รุนแรงของการเติบโตของเมืองในระดับโลกดังกล่าว องค์การสหประชาชาติจึงได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เป้าหมายที่ 11 ว่าด้วยเมืองและถิ่นฐานมนุษย์ที่ยั่งยืน โดยมีตัวชี้วัด SDG 11.3.1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนการบริโภคที่ดินต่อการเติบโตของประชากร (Land Consumption Rate to Population Growth Rate: LCRPGR) เพื่อติดตามประสิทธิภาพการใช้ที่ดินของเมือง (Habitat, 2023)

ในบริบทของประเทศไทยซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนาและประสบกับการเติบโตของพื้นที่ชุมชนเมืองอย่างไม่หยุดยั้ง การให้ความสนใจต่อการเฝ้าระวังและจัดทำแผนการจัดสรรที่ดินอย่างยั่งยืนจึงเป็นสิ่งจำเป็นเร่งด่วน ทั้งนี้เพื่อบรรเทาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อระบบนิเวศและความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ตลอดช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา รูปแบบการจัดสรรที่ดินของประเทศไทยได้ผ่านการเปลี่ยนผ่านอย่างรวดเร็ว อันเนื่องมาจากการขยายตัวของประชากร ความเจริญก้าวหน้าทางเศรษฐกิจ และการเติบโตของภาคการผลิต ส่งผลให้เกิดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น ข้อมูลทางสถิติแสดงให้เห็นว่า ในปี พ.ศ. 2544 ประเทศไทยมีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 62,308,887 คน และเพิ่มขึ้นเป็น 66,090,475 คน ในปี พ.ศ. 2565 ซึ่งตลอดระยะเวลา 21 ปี มีการเพิ่มขึ้นของประชากรถึง 3,781,588 คน คิดเป็นอัตราเฉลี่ยปีละ 180,075 คน หรือร้อยละ 5.72 การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรส่งผลโดยตรงต่อความต้องการใช้พื้นที่ที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อทรัพยากรที่ดินมีอยู่อย่างจำกัด จึงทำให้เกิดการแข่งขันในการใช้ประโยชน์จากที่ดินอย่างเข้มข้น นำไปสู่การลดลงของทรัพยากรและปัญหาความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อม ซึ่งกระทบต่อวิถีชีวิตของประชาชนในหลากหลายมิติ ไม่ว่าจะเป็นการขยายตัวของที่อยู่อาศัย การสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ การหดตัวของพื้นที่ทำการเกษตร และการเพิ่มจำนวนของโรงงานอุตสาหกรรม ด้วยเหตุนี้ นักวางแผนและพัฒนาพื้นที่จึงได้มุ่งศึกษาทำความเข้าใจ

ปรากฏการณ์เหล่านี้ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคและกระบวนการวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองต่างๆ บนพื้นฐานของทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับพลวัตการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (ชูเดช โลศิริ, 2559)

การใช้ประโยชน์ที่ดินจากอดีตจนถึงปัจจุบันจึงเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต จังหวัดบุรีรัมย์มีจำนวนประชากร 1,576,915 คน (สำนักบริหารการทะเบียน, 2565) ลำดับที่ 7 ของประเทศ ปี พ.ศ.2544 –พ.ศ.2565 มีจำนวนเพิ่มขึ้น 43,041 คน คิดเป็นร้อยละ 2.73 จากอดีตที่เป็นเมืองผ่านแต่ปัจจุบันกลายเป็นเมืองพัก ปรับทิศสู่การท่องเที่ยวเมืองรอง (Thaipublica, 2564) โดยใช้กีฬาและการท่องเที่ยวเป็นโมเดลในการพัฒนา มีสนามฟุตบอลช้างอารีนาขนาด 32,600 ที่นั่ง (กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, 2564) สนามแข่งรถมาตรฐานสมาพันธ์รถยนต์นานาชาติ ช้างอินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต (Chang International Circuit, 2018) สถานที่ท่องเที่ยวทางด้านประวัติศาสตร์และดินแดนแห่งภูเขาไฟถึง 6 ลูก ได้แก่ เขาพนมรุ้ง เขาอังคาร เขาไพบีดิน เขาหลุบ เขากระโดง และเขาคอก มากที่สุดในประเทศ (กรมศิลปากร, 2563) นักท่องเที่ยวในปี พ.ศ. 2562 จำนวน 2,267,080 คน (กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, 2562) ทำให้มีการลงทุนด้านโรงแรมและร้านอาหาร สร้างอาชีพ รายได้จนปัจจุบันจังหวัดบุรีรัมย์กลายเป็น “เมืองท่องเที่ยวเชิงกีฬา” ที่มีชื่อเสียงในระดับเอเชีย (thestorythailand, 2022)

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลจากดาวเทียมมากมายมาเป็นข้อมูลที่สำคัญในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Intarat & Sillaparat, 2019)ปัจจุบันมีข้อมูลจากดาวเทียม Landsat ที่ให้บริการโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ซึ่งสามารถดาวน์โหลดมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายโดยเฉพาะการติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในแต่ละช่วงเวลา (Abdi, 2020; Mazzia et al., 2020; Piedelobo et al., 2019) ข้อมูลจากดาวเทียมจะถูกนำมาใช้งานร่วมกับวิธีการจำแนกแบบไม่กำกับดูแล และวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล โดยวิธีแบบกำกับดูแลต้องสร้างตัวอย่างชุดข้อมูลการฝึกหัด (Training dataset samples) เพื่อใช้เป็นตัวจำแนก(classifier) (Richards, 2013) ในการจำแนกข้อมูลจากดาวเทียมรายละเอียดปานกลางนิยมใช้วิธีการจำแนกแบบกำกับดูแลด้วยวิธีความน่าจะเป็นสูงสุด (maximum likelihood: MLC) เป็นวิธีจำแนกมาตรฐานที่นิยมใช้และให้ความถูกต้องสูง (de Oliveira Duarte et al., 2018) แต่ยังพบปัญหาในด้านของความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน (noise) ที่เกิดขึ้นและกำกับดูแลตัวอย่างชุดข้อมูลการฝึกหัดต้องมีการกระจายแบบปกติ (Rodriguez-Galiano et al., 2012) ในปัจจุบันมีการพัฒนาอัลกอริทึมเรียนรู้เครื่อง (machine learning; ML) ในการจำแนกข้อมูลจากดาวเทียมให้มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวอย่างเช่น การ

จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Abdi, 2020; Majnoui-Toutakhane, 2020) และการจำแนกพืชพรรณ (Macintyre et al., 2020) และวิธีการจำแนกการเรียนรู้เครื่องด้วยตัวจำแนกป่าสุ่มมีประสิทธิภาพในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินมากที่สุด (Kritchayan, 2022)

การสร้างแบบจำลองเชิงพลวัตเพื่อวิเคราะห์การเติบโตของเมืองและการเปลี่ยนผ่านของรูปแบบการใช้ที่ดินภายใต้เงื่อนไขที่หลากหลายถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับนักวางผังเมืองและผู้กำหนดทิศทางการนโยบาย เพื่อให้สามารถคาดการณ์ทิศทางการขยายตัวของพื้นที่เมืองในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Rimal et al., 2019) ในปัจจุบัน มีการคิดค้นและพัฒนาแบบจำลองและเทคนิคการวิเคราะห์หลากหลายรูปแบบที่สามารถทำงานประสานกับเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลและระบบภูมิสารสนเทศ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการจำลองแบบแผนการขยายตัวของเมืองและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Aburas et al., 2021) งานวิจัยจำนวนมากได้ดำเนินการศึกษาพลวัตการเปลี่ยนแปลงทั้งในมิติเชิงพื้นที่และเชิงเวลาของการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน อาทิ Patel and Ramesh (2023) ได้ทำการศึกษาการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินด้วยข้อมูลจากดาวเทียม Landsat ในลุ่มน้ำก้นฮาร์ รัฐอุตตรประเทศ ประเทศอินเดีย และ Shimizu et al. (2023) ได้ศึกษาการทำแผนที่การใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินในประเทศเวียดนาม ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม Landsat รวมถึง Sujarwo et al. (2023) ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat ในการติดตามพลวัตการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ลุ่มน้ำมายัง ขวาทะวันออก แบบจำลอง Land Change Modeler เป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง โดยผสมผสานหลักการ Markov Chain และ Cellular Automata ในการจำลองรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ (Eastman, 2020) แบบจำลองดังกล่าวมีศักยภาพในการสร้างฉากทัศน์การใช้ที่ดินภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งเอื้อประโยชน์อย่างมากต่อนักวางผังเมืองและผู้กำหนดนโยบายในการวางแผนและบริหารจัดการการเติบโตของเมืองอย่างยั่งยืน (Aburas et al., 2021; Rimal et al., 2018) การศึกษาในหลายพื้นที่ทั่วโลก เช่น ภาคใต้ของจีน (Shahbaz et al., 2020) ลุ่มน้ำไนล์ตอนบนในเอธิโอเปีย (Gashaw et al., 2021) และเมืองอุฮั่น ประเทศจีน (Zhou et al., 2022) ยืนยันความน่าเชื่อถือของแบบจำลองในการคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจของจังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งมีอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดด ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดบุรีรัมย์ (GPP) ปี พ.ศ. 2564 มีมูลค่าเท่ากับ 84,763 ล้านบาท (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2564) ทำให้มีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ทั้งด้านพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง เกษตรกรรม การท่องเที่ยว และอาจเกิดปัญหาตามมาจากการใช้ประโยชน์

ที่ดินที่ไม่เหมาะสม การแผ่ขยายเมืองแบบไร้ทิศทาง และการบุกรุกพื้นที่อนุรักษ์ (Auttarat & Srivanit, 2019)

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้แบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง LCM เป็นเครื่องมือหลักในการพยากรณ์ทิศทางการเปลี่ยนผ่านของการใช้ที่ดินในอนาคต โดยอาศัยชุดข้อมูลการใช้ที่ดินจากสองช่วงเวลาประกอบกับตัวแปรปัจจัยขับเคลื่อนที่เกี่ยวข้อง แบบจำลอง LCM ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานวิเคราะห์เชิงพื้นที่ เนื่องจากสามารถประเมินความเหมาะสมของการใช้ที่ดินแต่ละประเภทโดยพิจารณาจากปัจจัยขับเคลื่อนที่เกี่ยวข้อง ตามแนวทางและเทคนิคที่พัฒนาโดย Eastman (2012) แบบจำลองนี้มีขีดความสามารถในการวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลง ประเมินศักยภาพการเปลี่ยนผ่าน และคาดการณ์แนวโน้มการใช้ที่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาพลวัตการเติบโตของเมืองและการพัฒนาตามเป้าหมายที่หลากหลายของจังหวัดบุรีรัมย์ จำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองเฉพาะทางที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาที่หลากหลายของจังหวัด ดังนั้น การจัดทำจากทัศนจึงเป็นกระบวนการสร้างภาพจำลองการใช้ที่ดินตามทิศทางการพัฒนาที่กำหนด เพื่อให้สามารถมองเห็นแนวโน้มการใช้ที่ดินในอนาคตได้อย่างชัดเจนและเป็นรูปธรรม

วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์การขยายพื้นที่เมืองของจังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา
2. วิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมือง ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์
3. การพัฒนาของการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler

ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตพื้นที่

จังหวัดบุรีรัมย์ มีเนื้อที่ 10,066.99 ตารางกิโลเมตร แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 23 อำเภอ มีความโดดเด่นทางกายภาพในฐานะพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศเอื้ออำนวยต่อการพัฒนาทั้งด้านเกษตรกรรมและการท่องเที่ยว โดยสภาพพื้นที่เป็นที่ราบสูงที่ลาดเอียงจากทิศใต้ลงไปทิศเหนือ ทำให้มีลักษณะภูมิประเทศที่สำคัญ ได้แก่ 1) พื้นที่สูงและภูเขาทางตอนใต้ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของทิวเขาพนมดงรักและเทือกเขาบรรทัด 2) พื้นที่ลูกคลื่นลอนตื้นบริเวณตอนกลางของจังหวัด

และ 3) พื้นที่ราบลุ่มตอนเหนือริมฝั่งแม่น้ำมูล (องค์การบริหารส่วนจังหวัดบุรีรัมย์, 2567) แม่น้ำมูล ซึ่งเป็นแม่น้ำสายหลักของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีความยาวประมาณ 640 กิโลเมตร ไหลผ่านพื้นที่จังหวัดจากอำเภอพุทไธสง คุเมือง แคนดง สตึก และลำปลายมาศ ทำให้บุรีรัมย์มีแหล่งทรัพยากรน้ำที่สำคัญสำหรับภาคเกษตรกรรมและเป็นแหล่งน้ำหลักในการดำรงชีวิตของประชาชน นอกจากนี้ จังหวัดยังได้รับการขนานนามว่าเป็นดินแดนภูเขาไฟเมืองไทย และเป็นแหล่งรวมอารยธรรมขอมโบราณที่มีคุณค่าในฐานะแหล่งท่องเที่ยวทางประวัติศาสตร์ (การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 2567) สภาพทางกายภาพที่หลากหลายเหล่านี้ส่งผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรมของจังหวัดอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

ขอบเขตเนื้อหา

1. ศึกษาการขยายพื้นที่เมืองของจังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา Landsat -5 TM , Landsat-8 OLI (Path : 127, Row : 049) (Path : 127, Row : 050) (Path : 128, Row : 049) (Path : 128, Row : 050)

2. วิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของเมือง ทั้งด้านกายภาพ เศรษฐกิจ สังคม ประชากร หรือที่สัมพันธ์กับเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้สถิติ Cramer's V ในการคัดกรองตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยกำหนดเกณฑ์ค่า Cramer's V มากกว่า 0.15 อิงตามการศึกษาของ Cohen (1988) $\square$ ซึ่งระบุว่าค่า $V > 0.15$ บ่งบอกความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญระดับปานกลางถึงสูง เหมาะสมกับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เพื่อกำหนดปัจจัยด้านกายภาพ เศรษฐกิจ สังคม และประชากรที่มีนัยสำคัญ จากนั้นนำตัวแปรที่ผ่านเกณฑ์มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงลึกด้วย Multi-Layer Perceptron Neural Network เพื่อประเมินทิศทางและระดับอิทธิพลของปัจจัยแต่ละตัวต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้สถิติ ร้อยละความถูกต้องโดยรวมของแบบจำลอง (Accuracy Rate), Skill Measure, RMS Error, Regression Coefficients และค่า ROC (Area Under Curve) ในการประเมินความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง สถิติเหล่านี้จะช่วยให้สามารถระบุและทำความเข้าใจปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของเมืองในจังหวัดบุรีรัมย์ได้อย่างชัดเจนบนพื้นฐานของหลักฐานเชิงประจักษ์

3. ประยุกต์ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ เพื่อจัดทำฉากทัศน์ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ 4 ฉากทัศน์ ได้แก่ การเติบโตแบบปกติ การท่องเที่ยวเชิงกีฬา การพัฒนาเมือง MICE และการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน

ขอบเขตด้านเวลา

1. ศึกษาการขยายพื้นที่เมืองของจังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา พ.ศ. 2545 – พ.ศ. 2565
2. สร้างฉากทัศน์ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler ตามแผนพัฒนาจังหวัด พ.ศ. 2575

นิยามศัพท์เฉพาะ

ฉากทัศน์ (Scenario) หมายถึง มโนภาพที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในอนาคต โดยให้ความสำคัญกับปัจจัยที่มีอิทธิพล ในการขับเคลื่อนสถานการณ์ปัจจุบันไปสู่อนาคต

เป้าหมายการพัฒนา (Goals) หมายถึง ทิศทางการพัฒนาที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ พ.ศ. 2566-2575 ซึ่งประกอบด้วย การเติบโตแบบปกติ (Business as Usual :BAU) การท่องเที่ยวเชิงกีฬา (Sports Tourism Development :STD) การพัฒนาเมือง MICE (MICE City Development :MICED) และการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน (Sustainable Agriculture Development:SAD)

Land Change Modeler (LCM) หมายถึง แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่พัฒนาโดย Clark Labs ซึ่งใช้ Neural Network ในการวิเคราะห์ปัจจัยและ Cellular Automata-Markov Chain ในการจำลองการเปลี่ยนแปลง

กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้กำหนดกรอบแนวคิดเพื่อศึกษาการจัดทำฉากทัศน์แบบหลายมิติที่สอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วนสำคัญ ดังปรากฏในภาพประกอบ 1 ส่วนที่หนึ่งคือการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ และส่วนที่สองคือการประมวลข้อมูลเพื่อสนับสนุนการพัฒนาพื้นที่ให้บรรลุตามเป้าหมายที่กำหนด ทั้งสองส่วนจะถูกเชื่อมโยงและผนวกเข้าด้วยกันเพื่อนำไปสู่การจัดทำฉากทัศน์ที่สะท้อนบริบทและแนวทางการพัฒนาของจังหวัดบุรีรัมย์ได้อย่างเหมาะสม

กระบวนการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาพื้นที่ ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้

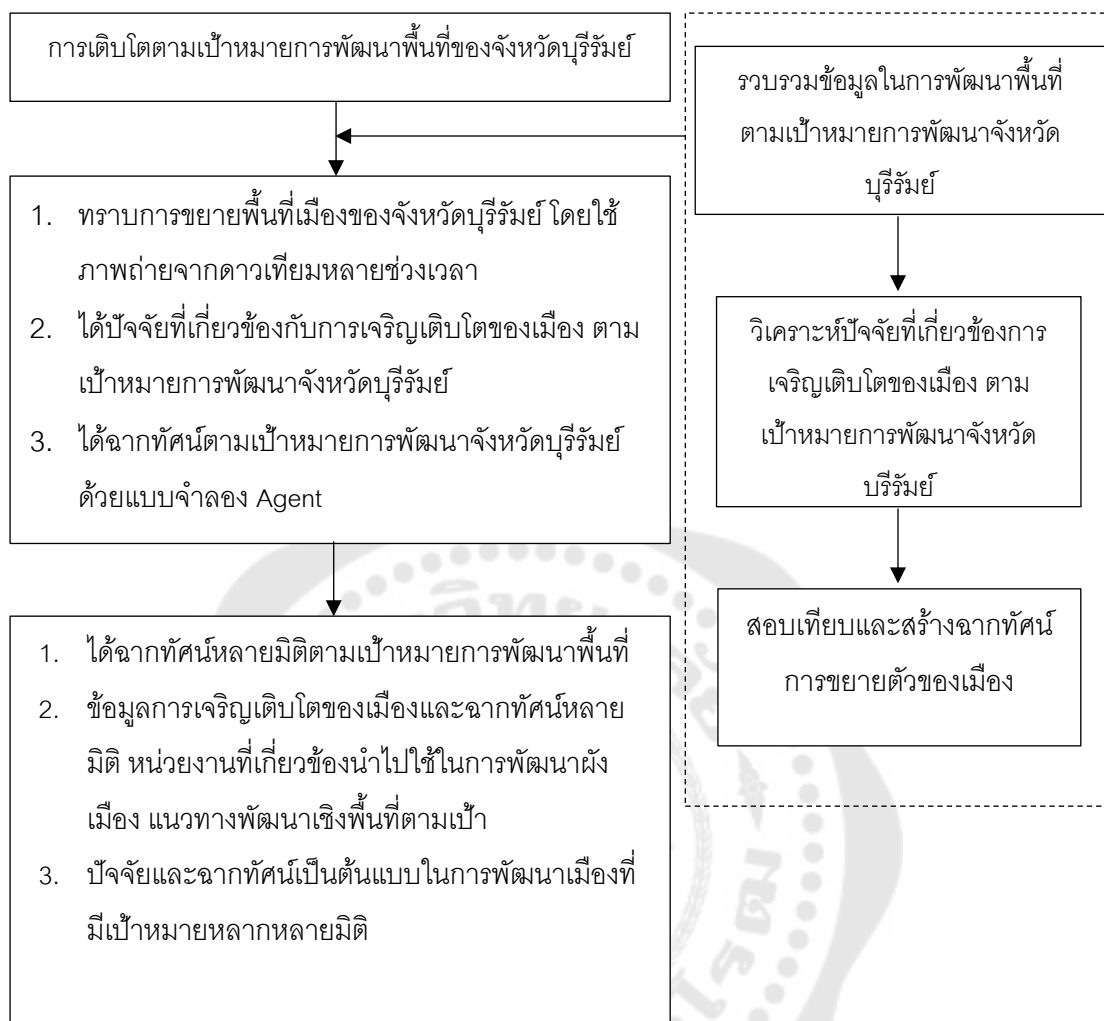
องค์ประกอบแรก การติดตามพลวัตการขยายตัวของเขตเมืองในจังหวัดบุรีรัมย์ผ่านการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมต่างช่วงเวลา ครอบคลุมช่วงระยะเวลา 21 ปี (พ.ศ. 2544-2565) เพื่อประเมินรูปแบบและทิศทางการเปลี่ยนผ่านของการใช้ที่ดินในอดีต โดยอาศัยเทคนิคการจำแนก

แบบมีผู้สอน (Supervised Classification) ด้วยอัลกอริทึม Random Forest บนแพลตฟอร์ม Google Earth Engine และตรวจสอบความแม่นยำด้วย Confusion Matrix

องค์ประกอบที่สอง การคัดสรรปัจจัยที่มีความเกี่ยวเนื่องกับการเติบโตของเมืองตามยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งได้คัดเลือกตัวแปรจำนวน 29 ตัวแปร ครอบคลุมมิติด้านสภาพแวดล้อมทางกายภาพ ระบบโครงสร้างพื้นฐาน สถานการณ์ทางสังคม-เศรษฐกิจ และทิศทางการนโยบายการพัฒนา

องค์ประกอบที่สาม การวิเคราะห์คุณลักษณะเชิงพื้นที่เบื้องต้นตามแนวทางการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งครอบคลุมทั้งข้อมูลภูมิสารสนเทศและแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัด

ข้อมูลจากทั้งสามองค์ประกอบดังกล่าวจะถูกนำไปประมวลผลในขั้นตอนถัดไป ซึ่งประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์ข้อมูลเป้าหมายการพัฒนาเชิงพื้นที่ เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับบริบทและแนวทางการพัฒนาที่พึงประสงค์ 2) การวิเคราะห์ข้อมูลพลวัตการเติบโตของเมืองและคุณลักษณะของพื้นที่แต่ละประเภท โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron Neural Network) ร่วมกับการทดสอบทางสถิติ เพื่อระบุปัจจัยขับเคลื่อนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง และ 3) การผนวกปัจจัยและคุณลักษณะเชิงพื้นที่เข้าด้วยกันเพื่อสร้างแบบจำลอง LCM ผสานกับเทคนิค Cellular Automata-Markov Chain



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิด

การรวบรวมข้อมูลในการพัฒนาพื้นที่ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัด เป็นกระบวนการที่ดำเนินไปพร้อมกันกับส่วนแรกและมีบทบาทสำคัญในการกำหนดทิศทางของฉากทัศน์ที่จะจัดทำขึ้น โดยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลในการพัฒนาพื้นที่ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัด ซึ่งรวมถึงแผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ นโยบายการพัฒนาในระดับภูมิภาคและระดับชาติ โครงการพัฒนาที่สำคัญ เช่น การพัฒนาสนามบินช้างอารีนา สนามช้างอินเตอร์เนชั่นแนลเซอร์กิต และการพัฒนาเป็นศูนย์กลาง MICE ของภูมิภาค CLMV ตลอดจนเป้าหมายการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน จากนั้นจึงวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของเมืองตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ เพื่อกำหนดน้ำหนักและ Transition Potential ที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละฉากทัศน์ สุดท้ายคือการสอบเทียบและจัดทำฉากทัศน์การขยายตัวของเมือง โดยสร้างสถานการณ์จำลอง 4 สถานการณ์ ได้แก่ 1) BAU ซึ่งเป็น baseline scenario ที่การพัฒนาดำเนินไปตามแนวโน้มปัจจุบัน 2) STD ที่เน้นการ

พัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา 3) MICED ที่เน้นการพัฒนาเป็นศูนย์กลาง MICE และ 4) SAD ที่เน้นการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน แต่ละฉากทัศน์จะถูกจัดทำขึ้นโดยการปรับเปลี่ยนน้ำหนักของปัจจัยขับเคลื่อนและกำหนด Transition Potential ให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนา และคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตระยะ 10 ปี

ความเชื่อมโยงระหว่างสองส่วนหลักของกรอบแนวคิดนี้สะท้อนแนวคิดการวางแผนแบบบูรณาการที่ผนวกระหว่างการวิเคราะห์เชิงประจักษ์จากข้อมูลในอดีตกับการกำหนดทิศทางการพัฒนาในอนาคตตามเป้าหมายที่ต้องการ ข้อมูลจากส่วนแรกเป็นรากฐานสำคัญในการทำความเข้าใจรูปแบบการเปลี่ยนแปลงและตัวขับเคลื่อน ขณะที่ข้อมูลจากส่วนที่สองทำหน้าที่กำหนดทิศทางและแนวทางการพัฒนาที่สอดคล้องกับบริบทท้องถิ่น เมื่อนำทั้งสองส่วนมาผนวกเข้าด้วยกัน จะได้ฉากทัศน์การพัฒนาที่มีความเป็นไปได้สูง สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาจังหวัด และสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนและกำหนดนโยบายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ Trade-offs Matrix ระหว่างฉากทัศน์ต่างๆ จะช่วยให้ผู้กำหนดนโยบายสามารถประเมินจุดเด่นและจุดด้อยของทางเลือกการพัฒนาแต่ละแบบ และเลือกจากทัศน์ที่มีความสมดุลสูงสุดระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนอันเป็นรากฐานสำคัญของงานวิจัยนี้

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

ในการศึกษาการขยายพื้นที่เมือง โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา วิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมืองและสร้างฉากทัศน์ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ด้วยการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ผู้วิจัยได้รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์

ทฤษฎีรูปแบบการขยายตัวเมือง

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้ที่ดิน

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

หมวดหมู่แบบจำลอง

แบบจำลอง LCM

ทฤษฎีและแนวคิดการสร้างฉากทัศน์

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์

บทวิเคราะห์ภาวะข้อมูลเศรษฐกิจ แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ปี 2565

1.1 แหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญจังหวัดบุรีรัมย์

อุทยานประวัติศาสตร์พนมรุ้ง ได้รับการยกย่องว่าเป็นหนึ่งในปราสาทหินที่งดงามที่สุดในประเทศไทย ตั้งอยู่บนยอดภูเขาพนมรุ้ง ตัวปราสาทสร้างขึ้นจากหินทรายสีชมพูผสมศิลาแลง มีการออกแบบผังตามคติความเชื่อที่สอดคล้องกับลักษณะภูมิศาสตร์ของพื้นที่ ส่วนประกอบทางศาสนาแต่ละจุดประดับด้วยงานแกะสลักที่ละเอียดประณีต โดยเฉพาะภาพศิวนาฏราชบนหน้าบันและทับหลังรูปพระนารายณ์บรรทมสินธุ์ที่มีความวิจิตรงดงามเป็นอย่างยิ่ง นับเป็นมรดกทางวัฒนธรรมอันทรงคุณค่าที่ควรไปเยี่ยมชม ทุกปีในช่วงวันขึ้น 15 ค่ำ เดือน 5 จะมีประเพณีเดินขึ้นเขาพนมรุ้งเพื่อชมปรากฏการณ์อันน่าอัศจรรย์ คือดวงอาทิตย์จะส่องแสงลอดผ่านประตูปราสาทครบทั้ง 15 ช่องเป็นแนวตรง เปรียบเสมือนสิ่งมหัศจรรย์ที่เกิดขึ้นเพียงปีละครั้งเท่านั้น

เขตห้ามล่าสัตว์ป่าเขากระโดง เป็นภูเขาไฟที่หยุดการปะทุโดยสิ้นเชิงแล้ว สามารถมองเห็นรูปปากปล่องได้อย่างชัดเจน พื้นที่โดยรอบปกคลุมด้วยผืนป่าที่สมบูรณ์ เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าขนาดเล็กโดยเฉพาะนกหลากหลายสายพันธุ์ ภายในมีซากโบราณสถานยุคขอม

รอยพระพุทธรูปจำลอง และพระพุทธรูปองค์ใหญ่ที่ประชาชนในพื้นที่ให้ความเคารพนับถือ ผู้มาเยือนนิยมขึ้นไปขึ้นชมวิวยุคทัศน์และกราบไหว้ขอพรเพื่อความเป็นมงคล

ปราสาทเมืองต่ำ เป็นเมืองโบราณที่มีอายุใกล้เคียงกับปราสาทพนมรุ้ง เป็นศาสนสถานขอมโบราณขนาดใหญ่ที่สร้างขึ้นตามคติฮินดูเพื่อใช้ในการประกอบพิธีกรรม มีสัดส่วนโครงสร้างที่ลงตัว พื้นที่โดยรอบเคยเป็นชุมชนขอมที่มีบารายโบราณสำหรับกักเก็บน้ำใช้ในการเพาะปลูก

สนามช้างอารีนา เป็นสนามฟุตบอลมาตรฐานแห่งแรกและแห่งเดียวของประเทศไทยที่ไม่มีลู่วิ่งท่ามกลางอัมพันท์กับสนาม และผ่านการรับรองจากสหพันธ์ฟุตบอลนานาชาติ สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นสนามเหย้าของทีมบุรีรัมย์ยูไนเต็ด ตั้งอยู่ในอำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ รองรับผู้ชมได้ 32,600 คน สนามช้าง อินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต เป็นสนามแข่งรถที่ผ่านมาตรฐานสหพันธ์รถยนต์นานาชาติ (FIA) เป็นสนามระดับโลกสำหรับการแข่งขันซูเปอร์คาร์ ในช่วงปี พ.ศ. 2561-2563 ประเทศไทยได้เป็นเจ้าภาพจัดการแข่งขันโมโตจีพีต่อเนื่อง 3 ปี ส่งผลให้มีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศหลั่งไหลเข้ามายังจังหวัดบุรีรัมย์เพิ่มมากขึ้น

BURIRAM CASTLE เป็นแหล่งท่องเที่ยวสมัยใหม่ที่รวบรวมเอกลักษณ์ของบุรีรัมย์ ผลงานวัฒนธรรมสองยุคสมัยได้อย่างกลมกลืน นำความงามของอารยธรรมขอมในอดีตมาเชื่อมต่อกับวิถีชีวิตคนรุ่นใหม่ในระดับสากล ภายในประกอบด้วยปราสาทพนมรุ้งจำลอง สวนหินและสวนกระบองเพชรขนาดใหญ่ ศูนย์การค้าชุมชน และลานจัดกิจกรรม

เพลาเพลิน บุติศรีสอร์ท แอนด์แอดเวนเจอร์แคมป์ ตั้งอยู่ในอำเภอกุฉินารายณ์ เป็นแหล่งท่องเที่ยวในรูปแบบศูนย์การเรียนรู้ ภายในมีสวนดอกไม้และพันธุ์ไม้หลากหลายชนิด รองรับการจัดประชุมสัมมนาและทัศนศึกษาสำหรับเยาวชน มีพื้นที่รวมกว่า 300 ไร่ แบ่งออกเป็น 3 โซน ได้แก่ ที่พักรีสอร์ท สวนไม้ดอกไม้ประดับ และศูนย์เรียนรู้ด้านเกษตรกรรมและปศุสัตว์

จังหวัดบุรีรัมย์ให้ความสำคัญและมุ่งเน้นส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับอารยธรรมโบราณ ควบคู่กับการท่องเที่ยวเชิงกีฬา เพื่อพัฒนาให้เป็นเมืองท่องเที่ยวและกีฬาระดับโลก การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทยได้คัดเลือกบุรีรัมย์เป็นหนึ่งในโครงการ 12 เมืองต้องห้ามพลาด ปัจจุบันมีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติเดินทางมาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในวันที่มีการแข่งขันฟุตบอลและมอเตอร์สปอร์ต ปราสาทพนมรุ้งทำหน้าที่เป็นจุดศูนย์กลางเชื่อมต่อไปยังแหล่งท่องเที่ยวอื่นๆ ในจังหวัด เช่น ภูเขาไฟกระโดง ปราสาทเมืองต่ำ และเขาวังนคร บุรีรัมย์ยังเป็นเมืองภูเขาไฟที่มีภูเขาไฟดับแล้วถึง 6 ลูก โดยเฉพาะภูเขาไฟกระโดงที่สามารถมองเห็นปล่องได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังมีจุดผ่อนปรนการค้าชายแดน สะพานข้ามลำน้ำ

กรวด ซึ่งมีพรมแดนติดกับประเทศกัมพูชา เพื่อกระตุ้นการท่องเที่ยวตลอดทั้งปี จังหวัดได้จัดทำปฏิทินกิจกรรม "เที่ยวบุรีรัมย์เที่ยวได้ทั้งปี" ประกอบด้วย งานประเพณีขึ้นเขาพนมรุ้ง งานปราสาทเมืองต่ำตามรอยอารยธรรมขอม มหกรรมดนตรีเทิดไท้องค์ราชัน เทศกาลเปิดเมืองบุรีรัมย์ บุรีรัมย์มาราธอน Buriram Bike Fest สงกรานต์เฟสติวัล เทศกาลกินชาหมุดบอelonอนบุรีรัมย์ งานแข่งเรือยาวชิงถ้วยพระราชทาน มหกรรมว่าวอีสาน บุรีรัมย์วิ่งมันส์ปั่นสนุก และการแข่งขันโมโตจีพี (พ.ศ. 2561-2563) ในปี พ.ศ. 2561 บุรีรัมย์ได้รับการประกาศให้เป็นเมืองกีฬา (Sports City) โดยมุ่งพัฒนาอุตสาหกรรมกีฬาย่างครบวงจร เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจผ่านอุตสาหกรรมกีฬา และการท่องเที่ยวเชิงกีฬา คาดว่าเมื่อสถานการณ์โควิด-19 คลี่คลาย จะมีนักท่องเที่ยวหลั่งไหลเข้ามาอีกครั้ง (สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์, 2559a)

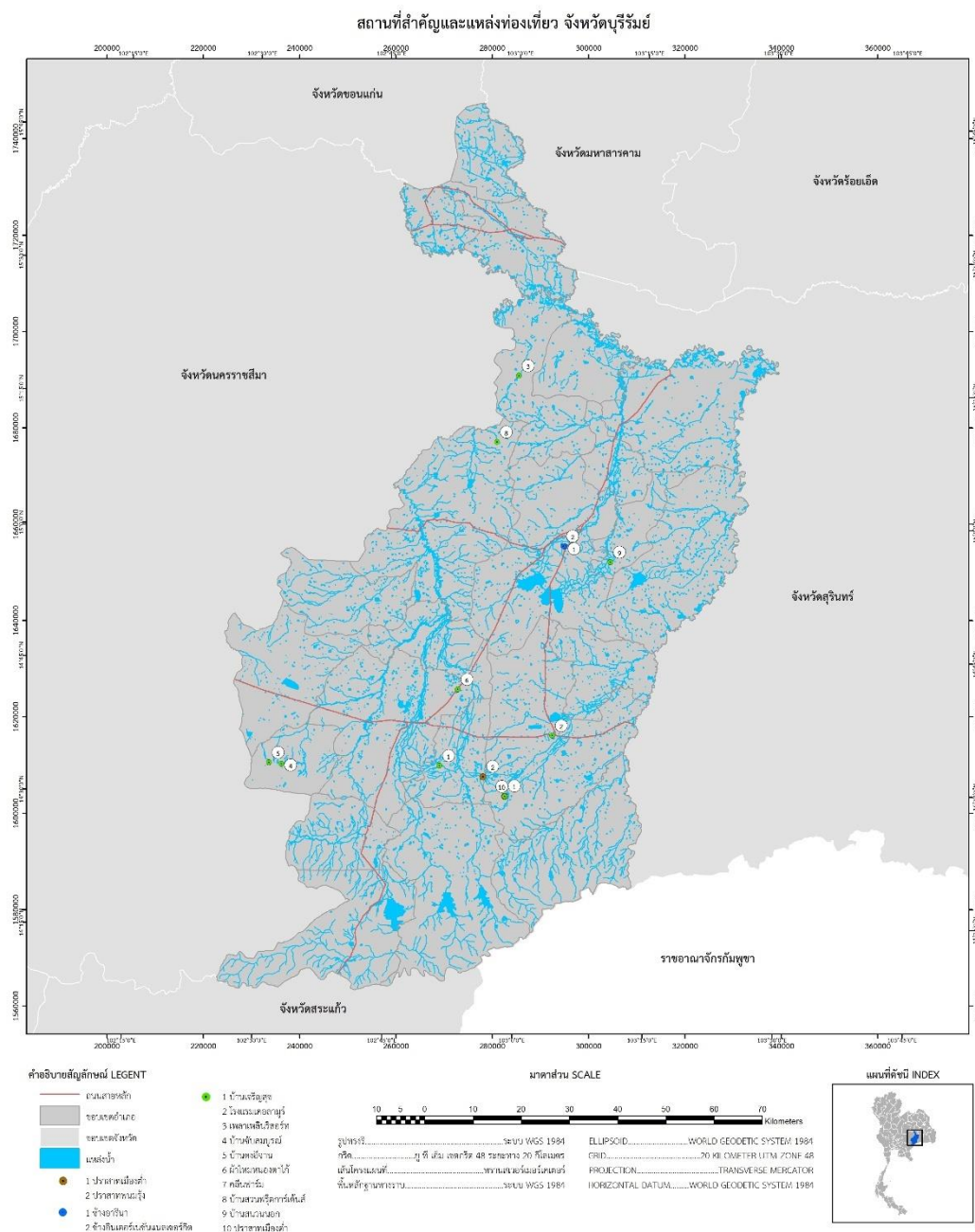
ไมซ์บุรีรัมย์ สำนักงานส่งเสริมการจัดประชุมและนิทรรศการ (องค์การมหาชน) หรือทีเส็บ มีนโยบายสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชน และชุมชน เพื่อให้อุตสาหกรรมไมซ์เป็นกลไกขับเคลื่อนเศรษฐกิจและกระจายรายได้สู่ท้องถิ่น จึงเดินทางยกระดับเมืองไมซ์ที่ดีและเมืองที่มีศักยภาพ (เมืองรอง) ให้สามารถสร้างรายได้และกระตุ้นเศรษฐกิจภูมิภาคผ่านกิจกรรมไมซ์ บุรีรัมย์เป็นจังหวัดที่มีศักยภาพสูงในการเป็นจุดหมายปลายทางไมซ์ เนื่องจากมีโมเดลการพัฒนาและความพร้อมของพื้นที่ ทีเส็บจึงผลักดันให้บุรีรัมย์รองรับนักท่องเที่ยวกลุ่มไมซ์ในฐานะเมืองอีเวนต์ที่ดี พร้อมพัฒนาผลิตภัณฑ์ไมซ์ใหม่ภายใต้ชื่อ MICE 7 Magnificent Themes โดยให้ความสำคัญกับการตอบสนองกระแสความยั่งยืนของโลก ผลักดันอุตสาหกรรมไมซ์ให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของสหประชาชาติและนโยบายประเทศไทย 4.0 วางกลยุทธ์ส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพอุตสาหกรรมไมซ์ผ่านการให้ความรู้ กลยุทธ์การตลาด และมาตรฐานทั้งระดับชาติและนานาชาติ ปัจจุบันมีเมืองไมซ์ที่ดี 10 แห่ง ได้แก่ กรุงเทพฯ พัทยา เชียงใหม่ ภูเก็ต ขอนแก่น อุตรดิตถ์ สงขลา นครราชสีมา พิษณุโลก สุราษฎร์ธานี และเมืองรอง 6 แห่ง ได้แก่ ระยอง เชียงราย นครศรีธรรมราช เพชรบุรี กาญจนบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และบุรีรัมย์ ซึ่งมีองค์ประกอบไมซ์ครบ 4 ด้าน สามารถจัดงานแสดงสินค้าและกิจกรรมสำหรับกลุ่มเป้าหมายต่างๆ ได้ ผลิตภัณฑ์และบริการไมซ์ในแคมเปญ BE IN BURIRAM มี 10 รายการ ดังนี้ (Thaipublica, 2564) บ้านเจริญสุข - ความมหัศจรรย์ของดินภูเขาไฟที่ถ่ายทอดลงบนผืนผ้า 2) ปราสาทเมืองต่ำ - ปราสาทขอมโบราณอายุนับพันปี และบ้านตาลอง - ลวดลายผ้าไหมจากเปลือกข้าว 3) โรงแรมไฮเทล เดอลามูร์ - ที่พักที่ผสมผสานความหรูหราและกลิ่นอายขอม 4) บ้านหนองตาไก่ - แหล่งเรียนรู้ผ้าไหมบุรีรัมย์ 5) คลื่นฟาร์มเมล่อน - ฟาร์มเมล่อนปลอดสารพิษ 6) เพลาเพลิน - อาณาจักรดอกไม้และพืชพรรณใหญ่ที่สุดในอีสาน 7) บ้านสวนฟรุ๊ตการ์เด้นส์ - แหล่งเรียนรู้เกษตรผสมผสานและศึกษาดู

งานกัญชา 8) บ้านสนวนนอก - ชุมชนปลูกหม่อนเลี้ยงไหม 9) บ้านชัยสมบุญ - ชุมชนเห็ดน้ำแร่
ชื่อดัง 10) บ้านดงอีจาน - แหล่งน้ำแร่จากภูเขาไฟอายุกว่าล้านปี

1.2 สภาพสังคม

จังหวัดบุรีรัมย์ มีพื้นที่ทำการเกษตร 3.97 ล้านไร่ แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 23 อำเภอ 189 ตำบล 2,546 หมู่บ้าน มีประชากรรวม 1,579,805 คน แยกเป็นเพศชาย 784,354 คน และเพศหญิง 795,441 คน ข้อมูลจำนวนประชากรของจังหวัดบุรีรัมย์ในช่วงปี พ.ศ. 2540-2564 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงรายอำเภอดังตาราง 1 สำหรับการปกครองส่วนท้องถิ่น ประกอบด้วย องค์การบริหารส่วนจังหวัด 1 แห่ง เทศบาลเมือง 3 แห่ง เทศบาลตำบล 60 แห่ง และ องค์การบริหารส่วนตำบล 145 แห่ง พื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตรกรรม คิดเป็นร้อยละ 78.08 รองลงมาคือพื้นที่ป่าไม้ ร้อยละ 9.30 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ร้อยละ 7.33 และพื้นที่แหล่งน้ำ ร้อยละ 3.83





ภาพประกอบ 2 สถานที่สำคัญ และผลิตภัณฑ์และบริการไมชีในแคมเปญ BE IN BURIRAM

1.3 ภาพเศรษฐกิจ

สภาพทางเศรษฐกิจจังหวัดบุรีรัมย์ ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดบุรีรัมย์ มูลค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยปี 2562 มีมูลค่าเท่ากับ 89,356 ล้านบาท ขยายตัวเพิ่มขึ้นกว่าร้อยละ

4.94 จากปี 2561 มีมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมต่อหัวประชากร ปี 2562 เท่ากับ 69,355 บาท/คน/ปี
 ดังตาราง 2

ตาราง 1 การเปลี่ยนแปลงประชากร ระหว่างปี พ.ศ.2540-พ.ศ.2564 จังหวัดบุรีรัมย์

ลำดับ	ชื่ออำเภอ	พ.ศ.2540	พ.ศ.2564	เปลี่ยนแปลง (คน)	(ร้อยละ)
1	อำเภอนาโพธิ์	33,754	32,184	(1,570.00)	(4.65)
2	อำเภอพุทไธสง	47,192	45,770	(1,422.00)	(3.01)
3	อำเภอลำปลายมาศ	132,874	132,190	(684.00)	(0.51)
4	อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์	26,287	26,393	106.00	0.40
5	อำเภอเฉลิมพระเกียรติ	39,320	40,179	859.00	2.18
6	อำเภอสตึก	107,308	109,786	2,478.00	2.31
7	อำเภอหนองกี่	68,533	70,483	1,950.00	2.85
8	อำเภอคูเมือง	65,743	67,812	2,069.00	3.15
9	อำเภอบ้านด่าน	29,868	30,826	958.00	3.21
10	อำเภอประโคนชัย	128,991	134,839	5,848.00	4.53
11	อำเภอแคนดง	30,940	32,370	1,430.00	4.62
12	อำเภอบ้านกรวด	72,776	76,967	4,191.00	5.76
13	อำเภอละหานทราย	69,581	73,915	4,334.00	6.23
14	อำเภอกระสัง	98,776	104,940	6,164.00	6.24
15	อำเภอปะคำ	42,492	45,452	2,960.00	6.97
16	อำเภอห้วยราช	35,028	37,563	2,535.00	7.24
17	อำเภอหนองหงส์	46,550	49,921	3,371.00	7.24
18	อำเภอพลับพลาชัย	40,826	44,971	4,145.00	10.15
19	อำเภอเมืองบุรีรัมย์	199,618	220,843	21,225.00	10.63
20	อำเภอชำนิ	31,701	35,382	3,681.00	11.61
21	อำเภอนางรอง	101,774	113,743	11,969.00	11.76
22	อำเภอโนนสุวรรณ	21,391	25,108	3,717.00	17.38
23	อำเภอโนนดินแดง	23,513	28,168	4,655.00	19.80
รวม		1,494,836	1,579,805	84,969.00	100.00

ที่มา : กรมการปกครอง (2563). ข้อมูลสถิติประชากร.

ตาราง 2 แสดงผลิตภัณฑ์มวลรวมของจังหวัด และรายได้เฉลี่ยต่อหัวของประชากร

ข้อมูล	ปี พ.ศ. 2560	ปี พ.ศ. 2561	ปี พ.ศ. 2562
ผลิตภัณฑ์มวลรวมของจังหวัด (ล้านบาท)	85,389	85,145	89,356
รายได้เฉลี่ยประชากร (บาท/คน/ปี)	69,230	69,355	73,305

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2559). สรุปสาระสำคัญแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560-2564

1.4 ภาคอุตสาหกรรม

ภาคอุตสาหกรรมในจังหวัดบุรีรัมย์ ส่วนใหญ่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก มีโรงงานที่ได้รับอนุญาตประกอบกิจการ (ยอดสะสม) จำนวนทั้งสิ้น 416 โรงงาน เงินลงทุนรวม 32,110.29 ล้านบาท และมีจำนวนคนงาน 11,503 คน ดังตาราง 3

ตาราง 3 โรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดบุรีรัมย์

ขนาดโรงงาน	จำนวนโรงงาน	เงินลงทุน (บาท)	คนงาน
เล็ก	35	727,346,083	602
กลาง	140	2,012,246,679	3,044
ใหญ่	241	29,370,698,536	7,851
รวม	416	32,110,291,298	11,503

ที่มา : สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดบุรีรัมย์ (2562). การลงทุนด้านอุตสาหกรรม จังหวัดบุรีรัมย์

แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ (ปี 2566 - 2570)

1. วิสัยทัศน์การพัฒนา จังหวัดบุรีรัมย์กำหนดวิสัยทัศน์ในการพัฒนาให้เป็น "ศูนย์กลางการท่องเที่ยวอารยธรรมขอมและกีฬามาตรฐานโลก เศรษฐกิจมั่นคง สังคมเข้มแข็งอย่างยั่งยืน" โดยมุ่งเน้นการบูรณาการพัฒนาทั้งมิติเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างสมดุล

2. กรอบแนวคิดการพัฒนา แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ประกอบด้วยวัตถุประสงค์หลัก 11 ประการ ครอบคลุมตั้งแต่การพัฒนาเศรษฐกิจการท่องเที่ยวและกีฬา การยกระดับการผลิตสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม การพัฒนาคุณภาพชีวิตประชาชน การสร้างความเข้มแข็งของ

สังคมตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง ไปจนถึงการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ตัวชี้วัดความสำเร็จหลักประกอบด้วย: การขยายตัวของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด ร้อยละ 2 รายได้การท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 การลดครัวเรือนยากจนร้อยละ 50 และการจัดการขยะอย่างมีประสิทธิภาพร้อยละ 50

3. ประเด็นยุทธศาสตร์การพัฒนา

3.1 มิติเศรษฐกิจ: ศูนย์กลางการท่องเที่ยวและการผลิต ประเด็นแรกมุ่งเน้นการพัฒนาบุรีรัมย์ให้เป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยวอารยธรรมขอมและกีฬาระดับมาตรฐานโลก ควบคู่กับการส่งเสริมเศรษฐกิจจากการผลิตสินค้าเกษตร อุตสาหกรรม และภาคบริการ แนวทางการพัฒนาครอบคลุม 18 มาตรการ ได้แก่ การพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน การยกระดับโครงสร้างพื้นฐาน การพัฒนาบุคลากรด้านการท่องเที่ยว การส่งเสริมการท่องเที่ยวโดยชุมชน 365 วัน การพัฒนาสู่ Smart City และ MICE City การยกระดับผลิตภัณฑ์ OTOP การสนับสนุนการค้าชายแดน และการพัฒนาเกษตรอินทรีย์และเกษตรปลอดภัย

เป้าหมายหลักคือการเพิ่มมูลค่าการจำหน่ายสินค้า OTOP และมูลค่าการค้าชายแดนอย่างละร้อยละ 10 โดยมีกลยุทธ์สำคัญคือการบริหารจัดการภาคเกษตรแบบ Zoning และการเชื่อมโยงเส้นทางท่องเที่ยวแบบครบวงจร

3.2 มิติสังคมและคุณภาพชีวิต ประเด็นที่สองมุ่งยกระดับคุณภาพชีวิตประชาชนทุกช่วงวัยอย่างสมดุลทั้งด้านร่างกาย สติปัญญา และคุณธรรมจริยธรรม พร้อมเสริมสร้างความเข้มแข็งของสังคมตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง ตัวชี้วัดสำคัญได้แก่ การลดดัชนีความยากจนหลายมิติ (MPI) การพัฒนาสุขภาพประชากรตามช่วงวัยร้อยละ 10 การยกระดับอายุเฉลี่ยเป็น 80 ปี การเข้าถึงกัญชาทางการแพทย์เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 และการช่วยเหลือครัวเรือนเปราะบางด้านที่อยู่อาศัยร้อยละ 2 ต่อปี

แนวทางการพัฒนาประกอบด้วย 7 กลยุทธ์หลัก ได้แก่ การเสริมสร้างศักยภาพประชาชนทุกช่วงวัย การยกระดับระบบสาธารณสุข การส่งเสริมคุณภาพชีวิตตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง การพัฒนาด้านการศึกษา การเสริมสร้างศีลธรรม การส่งเสริมอาชีพและพัฒนาทักษะแรงงาน และการพัฒนากลไกขับเคลื่อนนโยบายสังคม เป้าหมายคือชุมชนร้อยละ 50 นำหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน

3.3 มิติทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ประเด็นที่สามเน้นการฟื้นฟูและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ การจัดการขยะและของเสีย การบริหารจัดการน้ำ และการสนับสนุน

พลังงานทดแทน ตัวชี้วัดครอบคลุมการเพิ่มพื้นที่ป่าไม้ การจัดการขยะอย่างมีประสิทธิภาพร้อยละ 50 การพัฒนาแหล่งน้ำและแก้ไขปัญหาภัยแล้งน้ำท่วม และการขยายการใช้พลังงานทดแทน

แนวทางการพัฒนา 5 ประการ ได้แก่ การอนุรักษ์ฟื้นฟูป่าไม้และป้องกันไฟป่า การบริหารจัดการขยะแบบครบวงจร การส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน การพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งน้ำรวมถึงคุณภาพน้ำ และการสร้างองค์ความรู้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กลยุทธ์สำคัญคือการสร้างชุมชนและองค์กรต้นแบบในการบริหารจัดการขยะแบบครบวงจร

3.4 มิติความมั่นคงและความสงบ ประเด็นสุดท้ายมุ่งเสริมสร้างความมั่นคงและความสงบให้กับสังคม โดยมีวัตถุประสงค์ 3 ประการ คือ การสร้างความสงบสุขและความมั่นคงในพื้นที่ การรักษาความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน และการป้องกันแก้ไขปัญหายาเสพติด

แนวทางการพัฒนา 8 ประการ ประกอบด้วย การพัฒนาชุมชนเป้าหมายเพื่อความมั่นคง การเสริมสร้างศักยภาพบุคลากรรักษาความสงบ การส่งเสริมกิจกรรมสร้างความสามัคคีปรองดอง การประสานความร่วมมือทุกภาคส่วนเป็นเครือข่ายด้านความมั่นคง การนำศาสตร์พระราชาและหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงมาประยุกต์ใช้ การบริหารจัดการผู้หลบหนีเข้าเมือง การรณรงค์ป้องกันยาเสพติด และการเสริมสร้างความเข้มแข็งชุมชนชายแดน

เป้าหมายการพัฒนาและการใช้ประโยชน์ที่ดินระยะ 10 ปี (พ.ศ.2564 -2574)

จังหวัดบุรีรัมย์กำหนดวิสัยทัศน์หลักว่า บุรีรัมย์ศูนย์กลางการท่องเที่ยวอารยธรรมขอมและกีฬามาตรฐานโลก เศรษฐกิจมั่นคง ผู้สังคมเข้มแข็งอย่างยั่งยืน (สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์, 2566) วิสัยทัศน์นี้สะท้อนถึงการมุ่งเน้นการพัฒนาสามมิติหลัก คือ 1) มิติทางเศรษฐกิจผ่านการท่องเที่ยว กีฬา และการยกระดับเกษตรกรรม 2) มิติทางสังคมผ่านการพัฒนาคุณภาพชีวิต และ 3) มิติทางสิ่งแวดล้อมผ่านการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน โดยมีเป้าหมายการใช้ประโยชน์ที่ดินเชิงพื้นที่ ดังนี้

เป้าหมายที่ 1 การพัฒนาศูนย์กลางเศรษฐกิจและการกระจายการพัฒนา มุ่งเสริมสร้างความแข็งแกร่งของอำเภอเมืองบุรีรัมย์เป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยว กีฬา และบริการระดับภูมิภาค ขณะเดียวกันพัฒนาศูนย์กลางรองในอำเภอสำคัญ เพื่อกระจายโอกาสทางเศรษฐกิจ การพัฒนาแบบนี้จะช่วยลดแรงกดดันต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเขตเมืองหลักและสร้างความสมดุลระหว่างพื้นที่

เป้าหมายที่ 2 การพัฒนาแนวแกนเศรษฐกิจและการเชื่อมโยง พัฒนาแนวแกนเศรษฐกิจหลักในแนวเหนือ-ใต้ที่เชื่อมโยงอำเภอเมืองกับพื้นที่ชายแดน และแนวแกนรองในแนวตะวันออก-ตะวันตกที่เชื่อมโยงกับจังหวัดสุรินทร์และนครราชสีมา การพัฒนานี้ครอบคลุมการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อโครงสร้างพื้นฐานการคมนาคม โลจิสติกส์ และกิจกรรมทางเศรษฐกิจตลอดแนวแกน

เป้าหมายที่ 3 การพัฒนาพื้นที่ชายแดนเศรษฐกิจ ยกกระดับพื้นที่บริเวณจุดผ่านแดนช่องสายตะกูและพื้นที่โดยรอบให้เป็นศูนย์กลางการค้าชายแดน การท่องเที่ยว และการลงทุน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่นี้จากเกษตรกรรมแบบดั้งเดิมสู่การค้า อุตสาหกรรมแปรรูป และการบริการ

เป้าหมายที่ 4 การพัฒนาเส้นทางท่องเที่ยวเชิงพื้นที่ พัฒนาเส้นทางท่องเที่ยวที่เชื่อมโยงแหล่งท่องเที่ยวหลายประเภท ประกอบด้วย 1) เส้นทางท่องเที่ยวอารยธรรมขอมที่เชื่อมโยงปราสาทและโบราณสถาน 2) เส้นทางท่องเที่ยวธรรมชาติที่เชื่อมโยงภูเขาไฟและแหล่งธรรมชาติวิทยา 3) เส้นทางท่องเที่ยวเชิงเกษตรและวัฒนธรรมที่เชื่อมโยงชุมชนและแหล่งผลิตสินค้าบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ และ 4) เส้นทางท่องเที่ยวเชิงกีฬาและสุขภาพ การพัฒนานี้ต้องการการจัดสรรพื้นที่เพื่อโครงสร้างพื้นฐานท่องเที่ยว สิ่งอำนวยความสะดวก และการอนุรักษ์ภูมิทัศน์

เป้าหมายที่ 5 การพัฒนาโซนนิ่งเกษตรกรรมตามศักยภาพเชิงพื้นที่ จัดการใช้ประโยชน์ที่ดินการเกษตรตามความเหมาะสมของพื้นที่ โดยแบ่งเป็น 1) โซนเกษตรอินทรีย์คุณภาพสูง พื้นที่ดินภูเขาไฟ สำหรับผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์ 2) โซนคลัสเตอร์หม่อนไหม สำหรับหม่อนไหมอินทรีย์ครบวงจร 3) โซนเกษตรหลากหลาย พื้นที่ลุ่มสำหรับเกษตรผสมผสาน และ 4) โซนเกษตรเชื่อมโยงอุตสาหกรรม พื้นที่เหมาะสมกับอ้อยและมันสำปะหลังเชื่อมโยงกับ BCG Economy

เป้าหมายที่ 6 การฟื้นฟูและอนุรักษ์พื้นที่ป่าไม้และทรัพยากรธรรมชาติ เพิ่มพื้นที่ป่าไม้จากร้อยละ 8.56 เป็นร้อยละ 10 ภายในปี พ.ศ. 2575 โดยเน้นการฟื้นฟูพื้นที่ป่าเดิมในพื้นที่ภูเขาและชายแดนทางใต้ การสร้างเครือข่ายพื้นที่สีเขียว (Green Network) ที่เชื่อมต่อการพัฒนาพื้นที่ควบคุมสัตว์ป่าป่าดงใหญ่ให้เป็นพื้นที่อนุรักษ์และท่องเที่ยวเชิงนิเวศ และการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองและชุมชน

4. ตัวชี้วัดและค่าเป้าหมายการพัฒนาและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

4.1 ตัวชี้วัดด้านโครงสร้างการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ตัวชี้วัดที่ 1 สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ.2564 มีพื้นที่เกษตรกรรม 76.51% พื้นที่ป่าไม้ 9.57% พื้นที่เบ็ดเตล็ด 0.24% พื้นที่เมืองและชุมชน 10.62% พื้นที่แหล่งน้ำ 3.07% เป้าหมายสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2574 มีพื้นที่เกษตรกรรม 76% มีพื้นที่ลดลงเล็กน้อยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสู่การใช้ประโยชน์อื่นเพื่อเพิ่มมูลค่า พื้นที่ป่าไม้ 10% พื้นที่เมืองและชุมชน 12% พื้นที่การท่องเที่ยวและกีฬาเพิ่มขึ้นประมาณ 10,000 ไร่ และพื้นที่เศรษฐกิจชายแดน เพิ่มขึ้นประมาณ 5,000 ไร่

ตัวชี้วัดที่ 2 พื้นที่เกษตรกรรมตามระดับการพัฒนา เป้าหมาย ปี พ.ศ. 2574 มีพื้นที่เกษตรปลอดภัย 100% ของพื้นที่เกษตร พื้นที่เกษตรอินทรีย์ 10% ของพื้นที่เกษตร พื้นที่ชลประทาน 25% ของพื้นที่เกษตร เกษตรมูลค่าสูงและเกษตรอัจฉริยะ 30% ของพื้นที่เกษตร

4.2 ตัวชี้วัดด้านเศรษฐกิจที่เชื่อมโยงกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ตัวชี้วัดที่ 3 ผลผลิตมวลรวมจังหวัด และโครงสร้าง ปี พ.ศ.2564 มีค่าฐาน 92,023 ล้านบาท ประกอบด้วยบริการ 59.4% อุตสาหกรรม 17.5% และเกษตร 23.1% เป้าหมาย ปี พ.ศ.2574 ประมาณ 114,900 ล้านบาท

- โครงสร้างบริการ 62-63% อุตสาหกรรม 19-20% และเกษตร 18-19%
- มูลค่าเพิ่มต่อไร่พื้นที่เกษตร เพิ่มขึ้นร้อยละ 60 จากปีฐาน
- รายได้จากการท่องเที่ยว 2,990 ล้านบาท
- ผลผลิตภาพแรงงานภาคเกษตร 100,000 บาท/คน/ปี (จาก 82,010 บาท/คน/ปี)
- ตัวชี้วัดด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม

ตัวชี้วัดที่ 4 การพัฒนาสังคมและชุมชน เป้าหมาย ปี พ.ศ.2574 หมู่บ้านต้นแบบด้านสังคมที่เป็นสุข ขยายเป็น 189 หมู่บ้าน 1 ตำบล 1 หมู่บ้าน

ตัวชี้วัดที่ 5 การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป้าหมาย ปี พ.ศ.2574 เป็นจังหวัดต้นแบบการจัดการขยะและมลพิษระดับสากล มีพื้นที่ป่าไม้ 10% ชุมชนต้นแบบด้านสิ่งแวดล้อม 100 ชุมชนและคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้มาตรฐานสากล

5. การพัฒนาและการใช้ประโยชน์ที่ดินระยะ 10 ปี (พ.ศ.2564-2574)

การพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ระยะ 10 ปีได้รับการออกแบบเป็นแผนที่นำทางแบบบูรณาการ โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 มิติหลักที่เชื่อมโยงกันและดำเนินการควบคู่กันไป

อย่างต่อเนื่อง แต่ละมิตินี้เป้าหมายระยะ 10 ปีที่ชัดเจนและมีการพัฒนาเป็นขั้นตอนตามศักยภาพและความพร้อมของพื้นที่

มิตินี้ 1 การพัฒนาพื้นที่เกษตรกรรมสู่ความยั่งยืน

การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านน้ำอย่างครอบคลุม สร้างแหล่งน้ำใหม่ 200 แห่งในช่วง 5 ปีแรก และพัฒนาระบบกักเก็บน้ำขั้นสูงในช่วง 5 ปีหลัง สร้างแหล่งกักเก็บน้ำในครัวเรือน 10,000 หลัง กระจายในพื้นที่ที่มีศักยภาพสูง พัฒนาระบบกักเก็บน้ำด้วยระบบปิด ป้องกันการระเหยอย่างน้อย 10 แห่ง สร้างฝายกักเก็บน้ำและแก้มลิงด้วยเทคโนโลยี 50 แห่ง เพิ่มพื้นที่ชลประทานเป็น 25% ของพื้นที่การเกษตรภายในสิ้นสุดแผน

การจัดโซนนิ่งเกษตรกรรมตามศักยภาพเชิงพื้นที่ จัดทำแผนที่เกษตรกรรมด้วยระบบสารสนเทศ และกำหนดโซนการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างชัดเจน ประกอบด้วย 1) โซนเกษตรอินทรีย์คุณภาพสูง 10% ของพื้นที่เกษตรในพื้นที่ดินภูเขาไฟสำหรับผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์และพืชผักอินทรีย์ 2) โซนคลัสเตอร์หม่อนไหมอินทรีย์ครบวงจร 50,000-100,000 ไร่ ครอบคลุมตั้งแต่การเพาะปลูกหม่อน การเลี้ยงไหม การทอผ้า ถึงการแปรรูป 3) โซนเกษตรอัจฉริยะ ประมาณ 30% ของพื้นที่เกษตรที่มีการใช้เทคโนโลยีและระบบตรวจสอบย้อนกลับ 4) โซนเกษตรผสมผสานและนาหลายมิติ ในพื้นที่ลุ่มและพื้นที่ที่มีน้ำเพียงพอ

การอนุรักษ์และคุ้มครองพื้นที่เกษตรคุณภาพสูง กำหนดเขตอนุรักษ์พื้นที่ดินภูเขาไฟสำหรับผลิตภัณฑ์บ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟบุรีรัมย์ และจำกัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีคุณภาพสูงไปเป็นการใช้ประโยชน์อื่น จัดตั้งกลไกการตรวจสอบและอนุมัติการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

การเชื่อมโยงกับเขตเศรษฐกิจภูมิภาค พัฒนาพื้นที่เกษตรอุตสาหกรรม เชื่อมโยง NeEC และ EEC โดยจัดสรรพื้นที่สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปเกษตรมูลค่าสูง โรงงานผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ และอุตสาหกรรมชีวภาพ (Bio-based Industry) ในพื้นที่ที่เหมาะสม ประมาณ 5,000-10,000 ไร่

ตัวชี้วัดหลัก

พื้นที่เกษตรกรรมรวม 76% พื้นที่เกษตรปลอดภัย 100% ของพื้นที่เกษตร ประกอบด้วย พื้นที่เกษตรอินทรีย์ 10% พื้นที่เกษตรอัจฉริยะ: 30% พื้นที่ชลประทาน 25% ของพื้นที่เกษตร มูลค่าเพิ่มต่อไร่ เพิ่มขึ้นร้อยละ 60 จากปีฐาน ผลิตภาพแรงงานภาคเกษตร 100,000 บาท/คน/ปี จาก 82,010 บาท/คน/ปี มูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตร เพิ่มขึ้นร้อยละ 50

มติที่ 2 การพัฒนาพื้นที่การท่องเที่ยวและกีฬาสู่มาตรฐานสากล การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานการท่องเที่ยวอย่างครอบคลุม จัดสรรพื้นที่สำหรับ Tourist Information Center 5 แห่งในตำแหน่งยุทธศาสตร์ในอำเภอเมือง ประโคนชัย นางรอง ลำปลายมาศ บ้านกรวด พัฒนาพื้นที่จอดรถและสิ่งอำนวยความสะดวกในแหล่งท่องเที่ยวหลัก 50 แห่ง ยกกระดานามบินบุรีรัมย์ เป็นสนามบินศุลกากรเต็มรูปแบบรองรับนักท่องเที่ยวสากล พัฒนาระบบขนส่งสาธารณะเชื่อมโยงแหล่งท่องเที่ยว 3 เส้นทางหลัก

การพัฒนาอุทยานธรณีวิทยาโลก (UNESCO Global Geopark) จัดสรรพื้นที่ครอบคลุมภูเขาไฟทั้ง 6 ลูก (เขาพนมรุ้ง เขาอังคาร เขาไปรบัด เขาหุบ เขากระโดง เขาคอก) และพื้นที่โดยรอบเป็นอุทยานธรณีวิทยา ประมาณ 50,000 ไร่ พัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน ศูนย์การเรียนรู้ธรณีวิทยา พิพิธภัณฑ์อารยธรรมขอม จดชมวิว เส้นทางธรรมชาติศึกษา และสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับนักท่องเที่ยว

การพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมและแหล่งท่องเที่ยวใหม่ จัดสรรพื้นที่สำหรับ Buriram Creative Design Center (BCDC), Life Museum, Buriram Coworking Space และศูนย์การเรียนรู้วัฒนธรรมอีสานใต้ รวมประมาณ 2,000 ไร่ พัฒนาแหล่งท่องเที่ยวใหม่และยกระดับแหล่งท่องเที่ยวเดิม ครอบคลุมปราสาทและโบราณสถาน แหล่งธรรมชาติ และแหล่งเรียนรู้วัฒนธรรม

การพัฒนาชุมชนท่องเที่ยวและเส้นทางท่องเที่ยวเชิงพื้นที่ จัดสรรพื้นที่สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกในชุมชนท่องเที่ยว 20 แห่ง กระจายในหลายพื้นที่ พัฒนาโฮมสเตย์ ร้านค้าชุมชน และกิจกรรมท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม พัฒนาเส้นทางท่องเที่ยวข้ามพรมแดนเชื่อมโยงบุรีรัมย์-กัมพูชา (บันเตียเมียนเจย-ศรีโสภณ-เสียมราฐ) รวมถึงสิ่งอำนวยความสะดวก ที่พัก และจุดแวะพักตามเส้นทาง

การพัฒนาศูนย์กลางกีฬาและ MICE ระดับโลก พัฒนาสนามกีฬาอำเภอทั้ง 23 แห่งให้ได้มาตรฐาน จัดตั้งศูนย์กีฬาเพื่อความเป็นเลิศ 5 ศูนย์ (ฟุตบอล วอลเลย์บอล มวย จักรยาน กรีฑา) จัดสรรพื้นที่สำหรับ World Sport Complex ที่ครอบคลุมกีฬาทุกประเภท ศูนย์ประชุมนานาชาติ (MICE Facilities) โรงแรมระดับสากล และสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับการจัดประชุมและนิทรรศการ ประมาณ 3,000 ไร่ ในเขตอำเภอเมือง พัฒนาสถาบันทางกีฬาและอาหารเพื่อสุขภาพ

ตัวชี้วัดหลัก

พื้นที่การท่องเที่ยวและกีฬาเพิ่มขึ้นเป็น 3.5% จำนวนนักท่องเที่ยว 4 ล้านคน รายได้จากการท่องเที่ยว 2,990 ล้านบาท แหล่งท่องเที่ยวใหม่ที่พัฒนา 20 แห่ง แหล่งท่องเที่ยวเดิม ที่ยกระดับ 30 แห่ง ชุมชนท่องเที่ยว 20 แห่ง การจัดกิจกรรมระดับนานาชาติ อย่างน้อย 5 กิจกรรม ต่อปี ได้รับการรับรองเป็นอุทยานธรณีวิทยาโลก UNESCO และระยะเวลาพำนักรเฉลี่ยของ นักท่องเที่ยว เพิ่มขึ้นร้อยละ 50

มิติที่ 3 การพัฒนาพื้นที่เศรษฐกิจชายแดนและการเชื่อมโยงภูมิภาค

การพัฒนาจุดผ่านแดนถาวรและโครงสร้างพื้นฐาน ยกกระดับจุดผ่อนปรนช่อง สายตะกู-จบกี้เป็นจุดผ่านแดนถาวร จัดสรรพื้นที่สำหรับด่านศุลกากร สถานีตรวจคนเข้าเมือง และสิ่งอำนวยความสะดวกตามมาตรฐานสากล ประมาณ 500 ไร่ พัฒนาระบบตรวจสอบและ ความปลอดภัยอัจฉริยะ ปรับปรุงและพัฒนาถนนเชื่อมโยงจากอำเภอเมืองสู่จุดผ่านแดน ระยะทาง ประมาณ 80 กิโลเมตร พัฒนาระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานครอบคลุมพื้นที่ตลอดแนวเชื่อมโยง

การพัฒนาพื้นที่เศรษฐกิจชายแดนครบวงจร (Border Economic Zone) จัดสรรพื้นที่ในอำเภอบ้านกรวดและพื้นที่ใกล้เคียงประมาณ 4,500 ไร่ แบ่งเป็น 1) โซนการค้าและ พาณิชยกรรม 33% สำหรับศูนย์การค้าชายแดน ตลาดสินค้าไทย-กัมพูชา ร้านค้าปลีก-ส่ง และ ธุรกิจบริการ 2) โซนโลจิสติกส์และคลังสินค้า 33% สำหรับคลังสินค้า ศูนย์กระจายสินค้า และ พื้นที่ขนถ่ายสินค้า 3) โซนอุตสาหกรรมแปรรูปเกษตร 22% สำหรับโรงงานแปรรูปสินค้าเกษตร อาหาร และสินค้า OTOP 4) โซนบริการและที่พัก 11% สำหรับโรงแรม ที่พัก ร้านอาหาร และสถานี บริการ

การพัฒนาแนวเชื่อมโยงเศรษฐกิจและการท่องเที่ยว พัฒนาพื้นที่ตลอดแนว ถนนเชื่อมโยงจากอำเภอเมืองผ่านอำเภอประโคนชัย ลำปลายมาศ และบ้านกรวด สู่จุดผ่านแดน รองรับกิจกรรมทางเศรษฐกิจ การค้า การบริการ และการท่องเที่ยว จัดสรรพื้นที่สำหรับจุดพักรถ ปั่นน้ำมัน ร้านอาหาร และสิ่งอำนวยความสะดวกตามเส้นทาง

ตัวชี้วัดหลัก

พื้นที่เศรษฐกิจชายแดนรวม 5,000 ไร่ มูลค่าการค้าชายแดน เพิ่มขึ้นร้อยละ 100 นักท่องเที่ยวข้ามพรมแดนอย่างน้อย 500,000 คนต่อปี การจ้างงานในพื้นที่เศรษฐกิจชายแดน 5,000 ตำแหน่งงาน มูลค่าการลงทุนในพื้นที่เศรษฐกิจชายแดน 5,000 ล้านบาท

มติที่ 4 การฟื้นฟูและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

การฟื้นฟูและเพิ่มพื้นที่ป่าไม้อย่างเป็นระบบ ป่าปลูก 93,000 ไร่ ในพื้นที่ภูเขา และพื้นที่ชายแดนทางใต้ โดยเฉพาะพื้นที่ควบคุมสัตว์ป่าป่าดงใหญ่ และบริเวณภูเขาไฟทั้ง 6 ลูก แบ่งเป็นช่วงแรก 60,000 ไร่ และช่วงหลัง 33,000 ไร่ ปรับปรุงสภาพป่าเสื่อมโทรมและสร้างป่าใหม่ พัฒนาพื้นที่ป่าเศรษฐกิจและพลังงาน 10,000 ไร่ เพื่อลดแรงกดดันต่อป่าธรรมชาติ เพาะกล้าไม้ใน ชุมชนอย่างน้อย 100 ชุมชน

การสร้างเครือข่ายพื้นที่สีเขียวและทางเดินสัตว์ป่า กำหนดแนวเขตพื้นที่สีเขียวเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ป่าหลักทั้ง 3 กลุ่ม (พื้นที่ป่าดงใหญ่ทางใต้, พื้นที่ภูเขาไฟทางเหนือ, และ พื้นที่ป่าทางตะวันออก) สร้างทางเดินสัตว์ป่า (Wildlife Corridor) และพื้นที่กันชน (Buffer Zone) ให้มีความต่อเนื่อง เพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองและชุมชน 5,000 ไร่ กระจายในพื้นที่เมือง ศูนย์กลาง ชุมชน โรงเรียน และหน่วยงานราชการ พัฒนาสวนสาธารณะและพื้นที่นันทนาการ

การพัฒนาระบบจัดการขยะและมลพิษครบวงจร จัดสรรพื้นที่สำหรับศูนย์ กำจัดและแปรรูปขยะ 3 แห่ง ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมือง อำเภอนางรอง และอำเภอบ้านกรวด รวมพื้นที่ประมาณ 300 ไร่ พัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปขยะเป็นพลังงาน เป้าหมายผลิตพลังงาน ทดแทนอย่างน้อย 5 เมกะวัตต์ จัดสรรพื้นที่สำหรับแหล่งฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะตาม มาตรฐานสากล จัดตั้งธนาคารขยะ 100 แห่งกระจายทั่วจังหวัด พัฒนาชุมชนต้นแบบด้านการ จัดการขยะ 100 ชุมชน

การรับรองมาตรฐานสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน พัฒนาทั้งจังหวัดให้ได้รับ การรับรองมาตรฐาน ESG (Environment, Social, Good Governance) พัฒนาระบบตรวจสอบ คุณภาพสิ่งแวดล้อมแบบเรียลไทม์ (Real-time Environmental Monitoring) ครอบคลุมคุณภาพ น้ำ อากาศ และดิน มุ่งสู่การเป็นจังหวัดต้นแบบด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมระดับสากล

ตัวชี้วัดหลัก

พื้นที่ป่าไม้ 10% พื้นที่สีเขียวในเมืองและชุมชน เพิ่มขึ้น 5,000 ไร่ ผลิตพลังงาน ทดแทนจากขยะ 5 เมกะวัตต์ ชุมชนต้นแบบด้านสิ่งแวดล้อม 100 ชุมชน คุณภาพน้ำ อากาศ ดิน ได้มาตรฐานสากล ได้รับการรับรองมาตรฐาน ESG ระดับจังหวัด ชุมชนที่เข้าร่วมโครงการเพาะ กล้าไม้ 100 ชุมชน

ยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี

(พ.ศ.2560 – 2579)

แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม

แห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2560 – 2564)

แนวทางการพัฒนาภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2560 – 2564)

แผนพัฒนากลุ่มจังหวัด

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง 1 (พ.ศ.2561-2565)

แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์

(พ.ศ.2561 – 2565)

ยุทธศาสตร์หลัก

1. ด้านความมั่นคง
2. ด้านการเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขัน
3. การพัฒนาและยกระดับศักยภาพทรัพยากรมนุษย์
4. ด้านการสร้างโอกาส ความเสมอภาค และความเท่าเทียมทางสังคม
5. ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
6. ด้านการปรับสมดุลและพัฒนาระบบการบริหารจัดการภาครัฐ

ยุทธศาสตร์และแนวทางการพัฒนา

1. การเสริมสร้างและพัฒนาศักยภาพทุนมนุษย์
2. การสร้างความเป็นธรรมและลดความเหลื่อมล้ำในสังคม
3. การสร้างความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจและขีดความสามารถในการแข่งขันอย่างยั่งยืน
4. การเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาอย่างยั่งยืน
5. การเสริมสร้างความมั่นคงแห่งชาติเพื่อการพัฒนาประเทศสู่ความมั่งคั่งและยั่งยืน
6. การบริหารจัดการภาครัฐ การป้องกันการทุจริตประพฤติมิชอบ และธรรมาภิบาล
7. การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและระบบโลจิสติกส์
8. การพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การวิจัย และนวัตกรรม
9. การพัฒนาภาค เมือง และพื้นที่เศรษฐกิจ
10. ความร่วมมือระหว่างประเทศเพื่อการพัฒนา

แนวทางการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1. บริหารจัดการน้ำให้เพียงพอต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตอย่างยั่งยืน
2. แก้ไขปัญหาความยากจนและยกระดับคุณภาพชีวิตผู้มีรายได้ต่ำเพื่อลดความเหลื่อมล้ำทางสังคม
3. เสริมสร้างความเข้มแข็งของฐานเศรษฐกิจภายในควบคู่กับการแก้ไขปัญหาด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
4. พัฒนาการท่องเที่ยวเชิงบูรณาการ
5. ใช้โอกาสจากการพัฒนาโครงข่ายคมนาคมขนส่งที่เชื่อมโยงพื้นที่เศรษฐกิจหลักภาคกลางและพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (EEC) เพื่อพัฒนาเมืองและพื้นที่เศรษฐกิจใหม่ ๆ
6. พัฒนาความร่วมมือและใช้ประโยชน์จากข้อตกลงกับประเทศเพื่อนบ้านในการเสริมสร้างความเข้มแข็งทาง

เป้าหมายการพัฒนา : ศูนย์กลางเกษตรอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ใหม่ ท่องเที่ยวอารยธรรมขอม และการค้าชายแดน

1. การยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันด้านเกษตรอุตสาหกรรมและการแปรรูป
2. การพัฒนาอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอารยธรรมขอมและผลิตภัณฑ์ใหม่
3. การส่งเสริมและพัฒนาการค้า การลงทุน และการค้าชายแดน

เป้าหมายการพัฒนา : ศูนย์กลางการท่องเที่ยวอารยธรรมขอมและกีฬามาตรฐานโลก เศรษฐกิจมั่นคง สังคมเข้มแข็ง

1. ด้านเศรษฐกิจ "เป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยวอารยธรรมขอม กีฬาระดับมาตรฐานโลก และการพัฒนาเศรษฐกิจภายใต้พื้นฐานของการผลิตสินค้าเกษตรปลอดภัย"
2. ด้านสังคมและคุณภาพชีวิต "คนบุรีรัมย์มีคุณภาพชีวิตที่ดี มั่นคง ยั่งยืน บนพื้นฐานความพอเพียง"
3. ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม "ทรัพยากรธรรมชาติสร้างสรรค์ชีวิตและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม"
4. ด้านรักษาความมั่นคงและความสงบ "บุรีรัมย์สุข"

ภาพประกอบ 3 ความสอดคล้องแนวทางการพัฒนาประเทศของแผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์

ที่มา:สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์ (2559b). แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ.2561-2565

ทฤษฎีรูปแบบการขยายตัวของเมือง

การขยายตัวของเมืองตามรูปแบบการตั้งถิ่นฐาน

1. การตั้งถิ่นฐานแบบแนวยาว (Linear Settlement) รูปแบบการตั้งถิ่นฐานประเภทนี้ปรากฏในชุมชนดั้งเดิมที่ระบบการคมนาคมยังไม่พัฒนา ผู้คนจึงอาศัยเส้นทางน้ำเป็นช่องทางการเดินทางหลัก ส่งผลให้เกิดการรวมกลุ่มอยู่อาศัยเรียงรายไปตามแนวริมฝั่งแม่น้ำและลำคลอง เรียกว่า River Linear Settlement ขณะที่รูปแบบการตั้งบ้านเรือนตามสองข้างทางถนน เรียกว่า Road Linear Settlement

2. การตั้งถิ่นฐานแบบกระจุกตัว (Cluster Settlement) รูปแบบนี้มักเกิดขึ้นบริเวณจุดตัดของเส้นทางสัญจร เช่น ทางแยกของถนนหรือจุดที่ลำน้ำบรรจบกับถนน ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นชุมชน อย่างไรก็ตาม ความยั่งยืนของชุมชนขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรในบริเวณนั้น



ภาพประกอบ 4 การตั้งถิ่นฐานแบบแนวยาวของถนนบุรีรัมย์-นางรอง (ซ้าย) การตั้งถิ่นฐานแบบกระจุกตัวในเขตอำเภอนางรอง (ขวา)

ที่มา: Google Map (2565). Satellite Imagery

3. การตั้งถิ่นฐานแบบเป็นระเบียบ (Uniform Settlement) รูปแบบนี้พบในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิประเทศ การกระจายของทรัพยากร และความสะดวกในการเข้าถึงใกล้เคียงกัน มัก

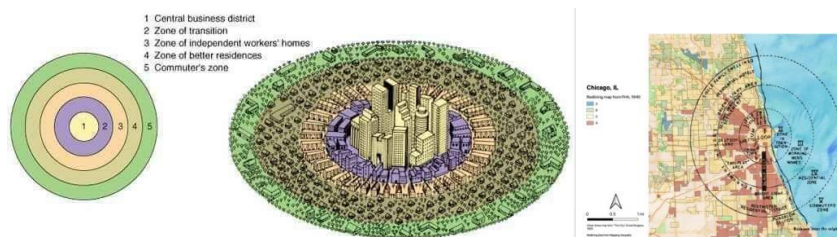
ปรากฏในพื้นที่ที่มีการวางผังจัดสรรให้มีขนาดและระยะห่างสม่ำเสมอ โดยมีถนนตัดผ่านเป็นลักษณะตาราง

4. การตั้งถิ่นฐานแบบกระจาย (Scattered Settlement) รูปแบบนี้มีลักษณะบ้านเรือนตั้งอยู่ห่างกันในเขตชนบท โดยบ้านแต่ละหลังกระจายตัวอยู่ในพื้นที่ทำกินของตนเอง ส่วนสิ่งอำนวยความสะดวกของชุมชน เช่น ร้านค้า สถานศึกษา ศาสนสถาน จะตั้งอยู่แยกออกไปจากที่พักอาศัย (ฉัตรชัย พงศ์ประยูร, 2536)

การขยายตัวของเมืองตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน

รูปแบบการเติบโตของเมืองเป็นผลมาจากกระบวนการกลายเป็นเมือง ซึ่งต้องวิเคราะห์ปัจจัยด้านสังคมและเศรษฐกิจประกอบกัน การเพิ่มขึ้นของประชากรและความก้าวหน้าทางเศรษฐกิจก่อให้เกิดความต้องการพื้นที่เพื่อรองรับกิจกรรมต่างๆ มากขึ้น การบริหารจัดการที่ดินในเขตเมืองอย่างเหมาะสมจึงมีความสำคัญยิ่ง นักวิชาการหลากหลายสาขา ทั้งนักสังคมศาสตร์ นักนิเวศวิทยาเมือง นักภูมิศาสตร์ และนักผังเมือง ได้พยายามอธิบายปรากฏการณ์การเติบโตของเมืองในรูปแบบต่างๆ ปัจจุบันมีแบบจำลองการเติบโตของเมืองที่ได้รับการยอมรับ 4 รูปแบบ ดังนี้ (ปกรณ เมฆแสงสวຍ, 2548) ในปัจจุบันมีแบบจำลองการเติบโตของเมืองที่ได้รับการยอมรับว่ามีหลักการพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน 4 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

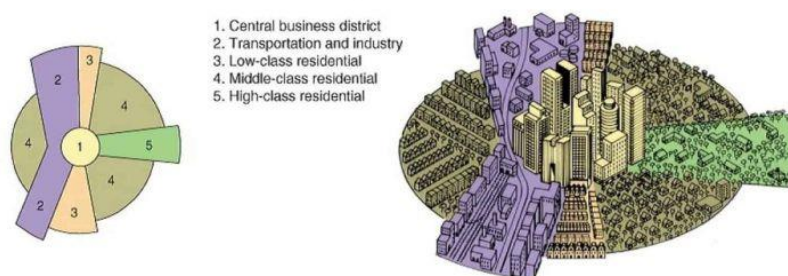
1. แบบจำลองศูนย์กลางร่วม (Concentric Zone Model) Burgess (1925) นักวิชาการด้านผังเมืองจากมหาวิทยาลัยชิคาโก เสนอแบบจำลองที่อธิบายว่าเมืองมีการเติบโตในลักษณะวงกลม โดยขยายออกจากใจกลางเป็นวงแหวนซ้อนกันหลายชั้น การศึกษาเริ่มต้นที่เมืองชิคาโก สหรัฐอเมริกา โดยจำแนกโครงสร้างเมืองออกเป็นหลายเขต เริ่มจากใจกลางเมืองซึ่งเป็นย่านศูนย์กลางธุรกิจ (Central Business District: CBD) ถัดออกมาเป็นเขตเปลี่ยนผ่าน (Zone of Transition) ซึ่งผสมผสานระหว่างย่านธุรกิจและที่อยู่อาศัยของผู้ใช้แรงงาน (Zone of Independent Worker's Homes) วงถัดไปเป็นเขตที่พักอาศัยของผู้มีฐานะดี (Zone of Better Residences) และเขตชานเมือง (Commuter's Zone) ซึ่งเป็นย่านสำหรับผู้ที่ต้องการหลีกเลี่ยงความแออัดออกสู่พื้นที่รอบนอก



ภาพประกอบ 5 แบบจำลองศูนย์กลางลักษณะวงกลม (Concentric Zone Model)

ที่มา: URBAN DESIGN (2022). Urban theory

2. แบบจำลองเสี้ยววงกลม (Sector Model) ผู้เสนอแบบจำลองนี้คือ นักสังคมวิทยา Hoyt (1939) นักสังคมวิทยา เป็นผู้พัฒนาแบบจำลองที่แบ่งโครงสร้างเมืองออกเป็นส่วนต่างๆ เรียกว่า Sector แต่ละส่วนประกอบด้วยกิจกรรมและกลุ่มประชากรที่แตกต่างกัน โดยไม่จำเป็นต้องเป็นวงกลมซ้อนกัน เขตอุตสาหกรรมอาจแผ่ขยายตามแนวเส้นทางขนส่ง เช่น ทางรถไฟ ที่เชื่อมจากใจกลางเมืองออกสู่ชานเมือง เส้นทางคมนาคมจึงมีบทบาทกำหนดทิศทางการเติบโตของย่านธุรกิจ ซึ่งอาจเน้นไปทิศใดทิศหนึ่งจนมีรูปร่างคล้ายดาวหรือใบพัด แบบจำลองนี้เน้นปัจจัยด้านเศรษฐกิจ สังคม และสภาพภูมิประเทศในการอธิบายการเติบโตของเมือง

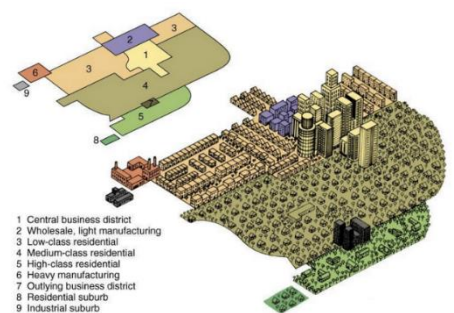


ภาพประกอบ 6 แบบจำลองลักษณะขยายตัวกึ่งดาว (Sector Model)

ที่มา: URBAN DESIGN (2022). Urban theory

3. แบบจำลองหลายแกน (Multiple Nuclei Model) ผู้เสนอแบบจำลอง Harris and Ullman (1945) นักภูมิศาสตร์จากมหาวิทยาลัยชิคาโก นำเสนอแนวคิดที่ว่าศูนย์กลางของเมืองขนาดใหญ่ไม่ได้เกิดจากจุดเดียว แต่เกิดจากหลายศูนย์กลางที่เชื่อมโยงกันภายในเมือง ทำให้เกิด

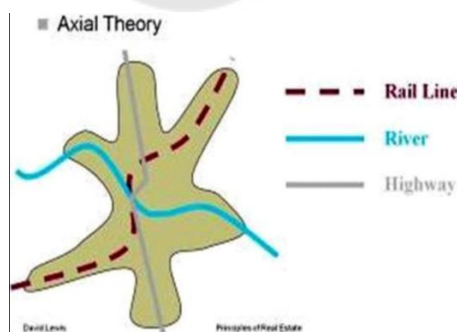
การเติบโตตามความสำคัญทางธุรกิจของแต่ละพื้นที่ แบบจำลองนี้จำแนกการใช้ที่ดินออกเป็น 9 ประเภท ได้แก่ ย่านศูนย์กลางธุรกิจ (CBD) แหล่งค้าส่งและอุตสาหกรรมเบา เขตที่พักอาศัยผู้มีรายได้น้อย ปานกลาง และสูง เขตอุตสาหกรรมหนัก ย่านธุรกิจรอบนอก เขตที่พักอาศัยชานเมือง และเขตอุตสาหกรรมนอกเมือง (ปกรณัม เมฆแสงสวย, 2548)



ภาพประกอบ 7 แบบจำลองลักษณะกระจายเขต (Multiple Nuclei Model)

ที่มา: Italy (2015).Urban Model

4. แบบจำลองรูปดาว (Axial Development Model) เสนอทฤษฎีที่เชื่อว่าเมืองมีทิศทางการขยายตัวตามถนนสายหลัก แม่น้ำ และคลอง เมื่อเส้นทางเหล่านี้ทอดไปทิศใด ผู้คนจะตั้งถิ่นฐานตามสองข้างทาง ตามริมฝั่งคลองและแม่น้ำตลอดแนว ส่วนที่ดินว่างเปล่าระหว่างแนวจะยังคงเป็นพื้นที่เกษตรกรรม การขยายตัวของเมืองจึงกระจายออกเป็นรูปดาว โดยจำนวนแกนขึ้นอยู่กับจำนวนถนนและแม่น้ำ



ภาพประกอบ 8 แบบจำลองรูปดาว (Axial Development Model)

ที่มา: Ibrahim et al. (2024) axial growth theory

จากการวิเคราะห์ทฤษฎีรูปแบบการขยายตัวของเมือง พบว่าจังหวัดบุรีรัมย์มีรูปแบบการขยายตัวที่สอดคล้องกับแบบจำลองการเติบโตตามแกน (Axial Development Model) มากที่สุด โดยมีลักษณะเด่นคือการขยายตัวตามแนวถนนสายหลัก แสดงการตั้งถิ่นฐานแบบแนวยาว (Linear Settlement) ตามสองฝั่งถนน ขณะที่พื้นที่ระหว่างแนวถนนยังคงเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Babcock

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการพัฒนาในปัจจุบันและอนาคต พบว่าจังหวัดบุรีรัมย์เริ่มมีการพัฒนาศูนย์กลางย่อยใหม่ที่แยกจากศูนย์กลางเมืองหลัก โดยเฉพาะสนามกีฬาช้างอารีนา ซึ่งทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยวเชิงกีฬา นอกจากนี้ ตามแผนพัฒนาจังหวัด (ปี 2566-2570) ยังมีนโยบายพัฒนาพื้นที่เศรษฐกิจชายแดนและ MICE City ลักษณะเช่นนี้สะท้อนองค์ประกอบของแบบจำลองหลายศูนย์กลางที่ Harris และ Ullman เสนอว่าเมืองสมัยใหม่มักมีศูนย์กลางหลายจุดที่ทำหน้าที่เฉพาะทาง ดังนั้น จังหวัดบุรีรัมย์จึงมีลักษณะผสมผสานระหว่าง Axial Development Model เป็นหลัก ร่วมกับ Multiple Nuclei Model ในบางพื้นที่

ความเข้าใจในรูปแบบการขยายตัวของเมืองบุรีรัมย์มีความสำคัญต่อการศึกษารังนี้ในหลายประการ ประการแรก เป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบฉากทัศน์ทั้ง 4 ในบทที่ 4 โดยฉากทัศน์ BAU จะสะท้อนการขยายตัวต่อเนื่องตามรูปแบบ Axial Development ที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ในขณะที่ฉากทัศน์ Sports Tourism และ MICE City จะเน้นการพัฒนาศูนย์กลางย่อยใหม่ตามแนวคิด Multiple Nuclei Model รอบพื้นที่ช้างอารีนาและศูนย์ประชุมนานาชาติ ส่วนฉากทัศน์ Sustainable Agriculture จะรักษารูปแบบ Axial Development แต่จำกัดการขยายตัวเพื่ออนุรักษ์พื้นที่เกษตรกรรมระหว่างแนว ประการที่สอง ทฤษฎีเหล่านี้ช่วยในการกำหนดปัจจัยขับเคลื่อน (Driving Factors) ที่สำคัญสำหรับแบบจำลอง LCM ได้แก่ ระยะห่างจากถนนหลัก (จากแนวคิด Axial Development) ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ (CBD) และระยะห่างจากศูนย์กลางย่อยต่างๆ (จากแนวคิด Concentric Zone และ Multiple Nuclei) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในบทที่ 3 และประการสุดท้าย การเข้าใจรูปแบบการขยายตัวช่วยในการตีความและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์จากแบบจำลอง โดยผลการพยากรณ์ควรสะท้อนรูปแบบการขยายตัวตามแนวถนนหลักและการเกิดศูนย์กลางย่อยใหม่ตามนโยบายการพัฒนา

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้ที่ดิน

นิยามและความหมาย

การใช้ที่ดิน (Land use) หมายถึง กิจกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับที่ดิน ครอบคลุมการใช้ประโยชน์หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ พื้นที่เพาะปลูก แหล่งพัฒนาทรัพยากรน้ำ ถิ่นที่อยู่ของสัตว์ป่าและสัตว์น้ำ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อุตสาหกรรมและพาณิชยกรรม พืชเลี้ยงสัตว์ พื้นที่นันทนาการ พื้นที่อยู่อาศัย และพื้นที่ที่ยังไม่ได้พัฒนา (Anderson et al., 1976)

Di Gregorio and Jansen (1998) ให้คำจำกัดความว่า การใช้ที่ดิน คือ การจัดการกิจกรรม และปัจจัยนำเข้าที่มนุษย์ดำเนินการบนสิ่งปกคลุมดินประเภทใดประเภทหนึ่ง เพื่อผลิตเปลี่ยนแปลง หรือรักษาสภาพพื้นที่นั้น โดยการใช้ที่ดินประเภทหนึ่งอาจเกิดขึ้นบนพื้นที่หนึ่งแปลงหรือมากกว่า และการใช้ที่ดินหลายประเภทอาจเกิดขึ้นบนพื้นที่แปลงเดียวกันได้

โดยสรุป การใช้ประโยชน์ที่ดิน คือ การนำที่ดินมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งในปัจจุบันและอนาคต เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ในด้านต่างๆ อาทิ เกษตรกรรม พาณิชยกรรม อุตสาหกรรม และที่อยู่อาศัย การใช้ประโยชน์ที่ดินจึงมีพลวัตที่ผันแปรไปตามความต้องการของเจ้าของที่ดินหรือผู้ใช้ประโยชน์

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

Turner et al. (1995) อธิบายว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน เกิดจากการที่มนุษย์เข้าไปใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติเพื่อตอบสนองความต้องการพื้นฐาน ส่งผลให้เกิดการแปรเปลี่ยนสภาพพื้นที่เพื่อรองรับกิจกรรมดังกล่าว

Lambin et al. (2003) ให้ความหมายว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน คือ การแปลงสภาพสิ่งปกคลุมดินจากประเภทหนึ่งไปเป็นอีกประเภทหนึ่งอย่างสมบูรณ์ วัดได้จากการเปลี่ยนจากประเภทการใช้ที่ดินหนึ่งไปสู่อีกประเภทหนึ่ง เช่น การขยายพื้นที่เกษตรกรรม การทำลายป่าไม้ หรือการเปลี่ยนแปลงขอบเขตพื้นที่เมือง

กล่าวโดยสรุป การใช้ที่ดินในแต่ละพื้นที่มีลักษณะเคลื่อนไหวตลอดเวลา มีการแปรเปลี่ยนจากสิ่งปกคลุมดินประเภทหนึ่งไปเป็นอีกประเภทหนึ่ง ตามกิจกรรมของมนุษย์ การพัฒนาด้านเศรษฐกิจ สังคม และจำนวนประชากร โดยเฉพาะเมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น ความต้องการใช้ที่ดินก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการ

1. ปัจจัยทางกายภาพ ที่มีอิทธิพลต่อการเกษตร คือ สภาพภูมิอากาศ ลักษณะดิน และ ลักษณะพื้นที่

1.1 สภาพภูมิอากาศ เป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน พืชแต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมแตกต่างกัน โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 20-28 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่เหมาะสมจะผันแปรตามช่วงการเจริญเติบโตของพืช

1.2 ลักษณะดิน เป็นปัจจัยจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากดินเป็นแหล่งธาตุอาหาร น้ำ อากาศ และเป็นที่ยึดเกาะของรากพืช ลักษณะดินที่สำคัญ ได้แก่ เนื้อดิน ความลึกของดิน การระบายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการให้แร่ธาตุอาหารพืช

1.3 ลักษณะพื้นที่ ได้แก่ ความสูง ความลาดชัน ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความชื้น เช่น อุณหภูมิจะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มตามระดับความสูง ความลาดชันสัมพันธ์กับการกร่อนของดิน

2. ปัจจัยทางเศรษฐกิจและสังคม ปัจจัยทางเศรษฐกิจและสังคมที่มีอิทธิพลต่อการเกษตร ได้แก่ จำนวนประชากร การถือครองที่ดิน แรงงาน การตลาด การขนส่ง ต้นทุนการผลิต และผลตอบแทน การพัฒนาทางสังคมและการเพิ่มของประชากรมีอิทธิพลต่อการถือครองที่ดินตามโอกาสทางเศรษฐกิจ

2.1 ปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อการใช้ที่ดินเชิงพาณิชย์กรรม

1) ระบบคมนาคม มีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงการใช้ที่ดินกับกิจกรรมทางเศรษฐกิจ การปรับเปลี่ยนรูปแบบการคมนาคมจะส่งผลต่อรูปแบบการใช้ที่ดิน (Transportation, 2025; Xie et al., 2024)

2) ระบบสาธารณูปโภค ความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานด้านสาธารณูปโภคเป็นปัจจัยดึงดูดผู้คน พื้นที่ที่มีเครือข่ายสาธารณูปโภคครบครันจะเต็มไปด้วยกิจกรรมธุรกิจหลากหลายประเภท (Attah et al., 2024; Cyberswift, 2024)

3) ประเภทของการใช้ที่ดินในบริเวณข้างเคียง การใช้ที่ดินแต่ละประเภทมีทั้งข้อจำกัดและการเกื้อหนุนซึ่งกันและกัน ผู้ประกอบการจะเลือกทำเลที่เอื้อต่อโอกาสทางธุรกิจ (Basin, 2024; Fulcrum, 2025)

4) ความสะดวกในการเข้าถึง พิจารณาจากความง่ายในการเดินทางมารับบริการ ความใกล้ถนนสายหลัก ความกว้างของช่องทางจราจร ขนาดพื้นที่จอดรถ และความคล่องตัวในการจราจร (Basin, 2024; Institute, 2024)

5) ความเป็นศูนย์กลางเมือง คือความสะดวกจากการตั้งอยู่ใกล้ใจกลางเมือง เมื่อเมืองเติบโตมากขึ้น ย่านการค้าจะขยายตัวเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้า (Rodrigue, 2024)

2.2 ปัจจัยทางเศรษฐกิจ ปัจจัยทางเศรษฐกิจมีอิทธิพลสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งของกิจการและรูปแบบการใช้ที่ดิน (Mimis et al., 2024; Zhang et al., 2024) ประกอบด้วย

1) ราคาที่ดิน การผันแปรของราคาที่ดินบ่งชี้สภาพการพัฒนาและแนวโน้มการใช้ที่ดิน ในเขตใจกลางเมืองและถนนสายหลักที่เข้าถึงสะดวก ราคาที่ดินจะสูง (Hasan et al., 2023; Zhang et al., 2024)

2) ค่าเช่า ทำเลที่ดีและมีผู้บริโภคนำเข้าถึงง่าย ค่าเช่าจะสูงตามไปด้วย (Esri, 2025; Mimis et al., 2024)

3) เงินลงทุน ผู้ประกอบการที่มีทุนมากย่อมมีอิทธิพลในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินสูง (Lichter & Falk, 2022)

4) ผลตอบแทนและผลประโยชน์ที่ได้รับ ผู้ประกอบการจะใช้ที่ดินให้เกิดประโยชน์สูงสุดและได้รับผลตอบแทนสูงสุด (Mimis et al., 2024)

5) ความเกี่ยวข้องเชิงแข่งขันหรือส่งเสริมกัน ร้านค้าจะรวมกลุ่มเพื่อประโยชน์ร่วม ทำให้ลูกค้ามีโอกาสเปรียบเทียบสินค้า (Scholl & Brenner, 2021; Simeone & Gravagnuolo, 2024)

3.3 ปัจจัยทางสังคม ปัจจัยทางสังคมมีบทบาทสำคัญต่อการกำหนดรูปแบบการใช้ที่ดินและการเลือกทำเลที่ตั้ง (Scholl & Brenner, 2021; WorldPop, 2025) ประกอบด้วย

1) การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการย้ายถิ่น เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อทำเลที่ตั้งของกิจกรรมการค้า พื้นที่ที่มีประชากรมากจะเอื้อต่อโอกาสในการประกอบการค้า (Scholl & Brenner, 2021; WorldPop, 2025)

2) ลักษณะประชากร มีความสำคัญต่อการดำเนินกิจกรรมการค้า ทำเลใกล้สถาบันอุดมศึกษาจะเอื้อต่อการจำหน่ายสินค้าและบริการแก่นักศึกษา (Institute, 2024; Scholl & Brenner, 2021)

3) ความปลอดภัย ผู้ประกอบการจะคำนึงถึงความปลอดภัยในพื้นที่ ทำเลที่ปลอดภัยจะช่วยลดความเสี่ยงจากอาชญากรรม (Attah et al., 2024; Mapsaping, 2024)

4) กฎหมาย บทบังคับกฎหมายมีผลต่อการตัดสินใจเลือกที่ตั้งของกิจการ เช่น ข้อบังคับเกี่ยวกับความสูงของอาคาร (County Health & Roadmaps, 2024; MacDonald et al., 2024)

สรุป ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ ปัจจัยทางเศรษฐกิจและปัจจัยทางสังคม ดังนี้

ปัจจัยทางกายภาพ ประกอบด้วย ระบบคมนาคม ระบบสาธารณูปโภค การใช้ที่ดิน ความสะดวกในการเข้าถึง ความเป็นศูนย์กลางเมือง

ปัจจัยทางเศรษฐกิจ ประกอบด้วย ราคาที่ดิน รายได้ประชาชาติ มูลค่าที่ดิน การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ

ปัจจัยทางสังคม ประกอบด้วย จำนวนประชากร ความหนาแน่น อัตราการเจริญเติบโต ความปลอดภัย กฎหมาย นโยบาย

แรงขับเคลื่อนที่ใช้ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ชูเดช โลศิริ (2559) กล่าวว่า กรอบแนวคิด ความซับซ้อน และประเภทของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ล้วนเป็นข้อมูลสำคัญต่อการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการคาดการณ์พื้นที่เมือง อย่างไรก็ตาม ตัวแปรขับเคลื่อนหรือปัจจัยนำเข้าก็เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ผู้ใช้แบบจำลองต้องพิจารณา Wahyudi and Liu (2013) ได้จำแนกประเภทของปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในแบบจำลองออกเป็น 9 ประเภท ดังตาราง 4

ตาราง 4 แรงขับเคลื่อนหรือปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ประเภท	ปัจจัยนำเข้า
ลักษณะภูมิประเทศ	ความสูง ความชัน ความสูงต่ำเชิงเงา
ความเชื่อมโยง	ถนนสายหลัก/รอง จุดตัดของถนน ด้านเก็บเงิน ทางน้ำ ทางรถไฟ
สิ่งอำนวยความสะดวก	สถานีรถประเภทต่าง ๆ ท่าอากาศยาน ศูนย์การค้า ย่านธุรกิจ แหล่งอุตสาหกรรม พื้นที่ที่ได้รับการพัฒนา โรงเรียน โรงพยาบาล สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ
สิ่งแวดล้อม	พื้นที่สีเขียว
นโยบายของรัฐบาล	การจัดเขตในบริเวณต่าง ๆ
ข้อจำกัดของพื้นที่	แหล่งน้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ ป่าไม้ อุทยานแห่งชาติ พื้นที่ป้องกันการบุกรุก
ประชากร	จำนวนประชากร ความหนาแน่น อัตราการเจริญเติบโต การย้ายถิ่น
เศรษฐกิจ	รายได้ประชาชาติ มูลค่าที่ดิน การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ
ที่ดิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ปัจจัยนำเข้าส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบแผนที่แรสเตอร์ที่มีขนาดจุดภาพเหมาะสมกับมาตราส่วนของการศึกษา ข้อมูลบางประเภท เช่น ลักษณะภูมิประเทศ สิ่งแวดล้อม นโยบายของรัฐ ประชากร เศรษฐกิจ และที่ดิน สามารถใช้ข้อมูลในรูปแบบแผนที่แรสเตอร์ได้โดยตรง ส่วนปัจจัยประเภทอื่นต้องแปลงให้อยู่ในรูปแบบแผนที่ระยะห่างด้วยการหาระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance) ก่อนนำปัจจัยนำเข้าไปใช้ ผู้ศึกษาต้องตรวจสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยด้วยวิธีการทางสถิติ เช่น การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression Analysis) และการวัดความสัมพันธ์ด้วย Cramer's V

การทบทวนแนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้ที่ดินแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ของปัจจัย 3 กลุ่ม คือ ปัจจัยทางกายภาพ เศรษฐกิจ และสังคม ซึ่งได้ถูกพัฒนาเป็นแรงขับเคลื่อน สำหรับแบบจำลองการพยากรณ์ โดย Wahyudi and Liu (2013) ได้จำแนกออกเป็น 9 ประเภท ครอบคลุมตั้งแต่ลักษณะภูมิประเทศ ความเชื่อมโยง สิ่งอำนวยความสะดวก ไปจนถึงนโยบายของรัฐ ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้กรอบแนวคิดดังกล่าวโดยคัดเลือกแรงขับเคลื่อนที่เหมาะสมกับบริบทจังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งประกอบด้วย 1) ระยะห่างจากถนนหลัก สะท้อนทฤษฎี Axial Development ที่วิเคราะห์ในหัวข้อก่อนหน้านี้ 2) ระยะห่างจาก CBD และศูนย์กลางย่อย (ข้าง อารีน่า) สะท้อนทฤษฎี Multiple Nuclei 3) ความชันของพื้นที่ เป็นข้อจำกัดทางกายภาพ และ 4) การใช้ที่ดินบริเวณข้างเคียง สะท้อนปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ซึ่งแรงขับเคลื่อนทั้ง 4 นี้จะถูกนำไปใช้ในแบบจำลอง LCM เพื่อพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินภายใต้ฉากทัศน์ต่างๆ

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

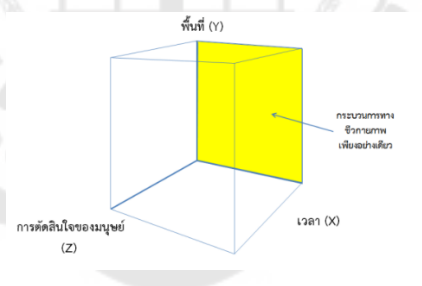
ความเป็นมาของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินโดยอาศัยแบบจำลองมีประวัติยาวนาน โดยเริ่มต้นจากผลงานของ Von Thunen ที่เสนอทฤษฎีอธิบายการกระจายตัวของกิจกรรมเกษตรกรรมตามระยะห่างจากตลาด ซึ่งนับเป็นรากฐานสำคัญที่นำไปสู่การพัฒนาแนวคิดทำเลที่ตั้งในบริบทอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นทฤษฎีที่ตั้งอุตสาหกรรมของ Weber หรือแนวคิดศูนย์กลางของ Christaller ที่อธิบายการกระจายตัวและการเติบโตของเมืองในระดับภูมิภาค ในระดับโครงสร้างภายในเมือง นักวิชาการได้เสนอกรอบแนวคิดหลายรูปแบบเพื่ออธิบายการจัดสรรพื้นที่ ทั้งรูปแบบวงแหวนศูนย์กลางของ Burgess การกระจายตัวแบบเสี้ยวของ Hoyt และแนวคิดหลายศูนย์กลางของ Harris และ Ullman อย่างไรก็ตาม Liu (2008) ชี้ว่าแบบจำลองเหล่านี้ล้วนเกิดจากการสังเกตเชิง

ประจักษ์และมีข้อจำกัดตรงที่ไม่ได้สะท้อนความเป็นพลวัตของกระบวนการพัฒนาเมืองอย่างแท้จริง จุดเปลี่ยนสำคัญเกิดขึ้นในช่วงทศวรรษ 1950-1960 เมื่อนักภูมิศาสตร์โดยเฉพาะในอเมริกาเหนือเริ่มนำวิธีการเชิงปริมาณมาประยุกต์ใช้ ส่งผลให้เกิดการบูรณาการสมการทางคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ากับการจำลองเมือง (Batty, 1992) แบบจำลองในยุคนี้จึงมีความซับซ้อนมากขึ้น โดยผนวกรวมตัวแปรด้านการใช้ที่ดิน ระบบขนส่ง ประชากร และเศรษฐกิจเมือง เพื่อคาดการณ์ทิศทางการพัฒนาในอนาคต

กรอบแนวคิดของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

รูปแบบการใช้ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผลกระทบโดยตรงต่อสมดุลของระบบนิเวศ คุณภาพชีวิตของประชากร รวมถึงเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก จึงถือเป็นประเด็นสำคัญในการติดตามการเปลี่ยนแปลงระดับโลก (Agarwal et al., 2002) กระบวนการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมีลักษณะเป็นพลวัตที่ถูกกำหนดโดยปัจจัยหลายมิติ ทั้งมิติเชิงพื้นที่ มิติเชิงเวลา กระบวนการทางธรรมชาติ และพฤติกรรมการตัดสินใจของมนุษย์ที่ทำงานร่วมกัน ด้วยความซับซ้อนดังกล่าว ผู้วิจัยที่ต้องการพยากรณ์แนวโน้มการใช้ที่ดินและการขยายตัวของเมืองในอนาคต จึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจกรอบแนวคิดและคุณลักษณะของแบบจำลองแต่ละประเภทอย่างถ่องแท้ สง่าวศ์ (2556) และ Verburg et al. (2004) ดังนี้



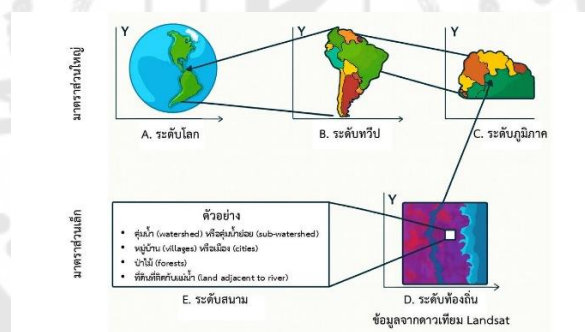
ภาพประกอบ 9 กรอบแนวความคิดสำหรับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ที่มา : Agarwal et al. (2002). Appendix AA guide for newcomers to agent-based modeling in the social sciences

1. ระดับของการวิเคราะห์ (Levels of Analysis) Verburg et al. (2004) แบ่งแบบจำลองการใช้ที่ดินออกเป็น 2 ระดับตามขอบเขตการวิเคราะห์ ระดับจุลภาค เน้นการจำลองพฤติกรรมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเป็นรายบุคคล โดยเฉพาะเจ้าของที่ดินซึ่งเป็นผู้ตัดสินใจหลัก ทั้งนี้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงในระดับนี้ ได้แก่ กรรมสิทธิ์ในที่ดิน สภาวะทางเศรษฐกิจและ

สังคม ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ ตลอดจนรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีอยู่เดิม (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554) ระดับมหภาค ใช้กรอบทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์ในการอธิบายปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในภาพรวม โดยตัวแปรสำคัญประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากร สภาพเศรษฐกิจ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี กลไกเชิงสถาบัน และปัจจัยทางการเมือง (Silva & Wu, 2012)

2. การเปลี่ยนแปลงระหว่างมาตราส่วน (Cross-Scale Dynamics) ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน มาตราส่วนเชิงพื้นที่ถือเป็นมิติที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีมาตราส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ มิติเชิงเวลา มิติเชิงปริมาณ และมิติของการวิเคราะห์ ซึ่งล้วนมีบทบาทในการวัดและทำความเข้าใจปรากฏการณ์ต่างๆ รวมถึงกระบวนการจำลอง (Gibson et al., 2000) ทั้งนี้ แบบจำลองแต่ละประเภทมีความเหมาะสมกับขอบเขตพื้นที่ที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นระดับภูมิภาคหรือท้องถิ่น โดยแต่ละระดับต้องการข้อมูลที่มีความละเอียดแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 10 มาตราส่วนเชิงพื้นที่ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ที่ ม ๑ : Axelrod and Tesfatsion (2006). Appendix AA guide for newcomers to agent-based modeling in the social sciences

3. แรงขับเคลื่อน (Driving Forces) การจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินตั้งอยู่บนพื้นฐานของปัจจัยหลายประเภท ทั้งด้านเศรษฐกิจสังคม ด้านชีวกายภาพ และปัจจัยอื่นๆ อาทิ การบริหารจัดการที่ดิน แม้ว่าปัจจัยทางชีวกายภาพจะไม่ใช่ว่าตัวแปรหลัก แต่ก็สามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมถึงปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อการจัดสรรที่ดิน ทั้งนี้ ปัจจัยขับเคลื่อนจะแตกต่างกันตามระดับการศึกษา กล่าวคือ ในระดับ

ท้องถิ่น นโยบายและการอนุรักษ์พื้นที่ทางระบบนิเวศจะมีบทบาทสำคัญต่อระบบการใช้ที่ดิน ขณะที่ในระดับภูมิภาค ต้องพิจารณานโยบายภาครัฐ ตลอดจนระยะทางจากตลาด ท่าเรือ หรือ สนามบิน เป็นเกณฑ์ในการกำหนดรูปแบบการใช้ที่ดิน

4. ปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่และผลกระทบจากพื้นที่ข้างเคียง (Spatial Interaction and Neighborhood Effects) รูปแบบการใช้ที่ดินสะท้อนความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่แสดงการกระจายตัวของภูมิทัศน์ประเภทต่างๆ กับลักษณะการใช้ที่ดินแต่ละชนิด ยกตัวอย่างเช่น การเติบโตของพื้นที่เมืองมักเกิดขึ้นในบริเวณที่อยู่ติดกับเขตเมืองเดิม ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ของการใช้ที่ดินจึงต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันเชิงพื้นที่ (Spatial Autocorrelation) โดยพิจารณาจากโครงข่าย 3 ประเภท ได้แก่ โครงข่ายทางกายภาพ โครงข่ายการตั้งถิ่นฐาน และโครงข่ายปฏิสัมพันธ์ นอกเหนือจากนี้ อิทธิพลจากพื้นที่ข้างเคียงยังเป็นปัจจัยที่ต้องให้ความสำคัญ เพราะการจำลองการใช้ที่ดินมีความซับซ้อน เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่หนึ่งย่อมส่งผลกระทบต่อพื้นที่อื่นๆ โดยรอบ ซึ่ง Cellular Automata เป็นแบบจำลองที่ออกแบบมาเพื่อรองรับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ดังกล่าว

5. พลวัตเชิงเวลา (Temporal Dynamics) มิติด้านเวลามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น จึงต้องอาศัยวิธีการจำลองแบบพลวัตในช่วงระยะเวลาสั้น ส่วนใหญ่แล้วการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมักถูกกำหนดโดยเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต อีกทั้งเหตุการณ์ย่อยต่างๆ ที่เกิดขึ้นอาจทำให้ผลการจำลองแตกต่างออกไป ตัวอย่างเช่น การพัฒนาเส้นทางคมนาคมในช่วงเวลาที่ต่างกัน จะส่งผลให้เกิดการขยายตัวของเมืองเพิ่มขึ้น และก่อให้เกิดรูปแบบของเมืองที่แตกต่างจากในอดีตซึ่งมีการเติบโตออกจากใจกลางเมือง

6. ระดับของการบูรณาการ (Level of Integration) การจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยการประสานงานระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ภายในระบบ ผ่านการแลกเปลี่ยนพลังงาน สสาร และสารสนเทศ ซึ่งแสดงออกในรูปของวงจรป้อนกลับที่มีความซับซ้อนและยากต่อการจำแนกสาเหตุออกจากผลลัพธ์ รวมถึงช่องว่างระหว่างมิติเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ความไม่ต่อเนื่อง สภาวะสมดุล และข้อจำกัดต่างๆ ความซับซ้อนเหล่านี้ส่งผลต่อการทำงานของระบบย่อยที่สำคัญต่อการจำลอง โดยแนวทางการบูรณาการสามารถจำแนกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ 1) การเชื่อมโยงแบบหลวม ที่แยกวิเคราะห์หรือจำลองระบบย่อยแต่ละส่วนออกจากกัน และ 2) การเชื่อมโยงแบบแน่น ที่บูรณาการและจำลองพฤติกรรมของระบบย่อยทุกส่วนให้ทำงานร่วมกันผ่านจุดเชื่อมต่อที่กำหนดไว้

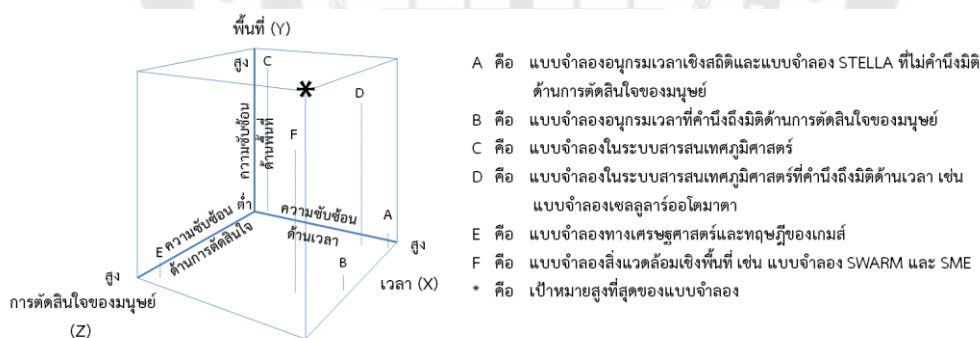
ความซับซ้อนของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การประยุกต์แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อการคาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคตนั้น นอกเหนือจากการพิจารณากรอบแนวคิดของแบบจำลองแล้ว ความซับซ้อนของแบบจำลองก็เป็นอีกประเด็นหนึ่ง ที่ผู้ศึกษาควรจะต้องให้ความสนใจ โดยส่วนใหญ่แล้ว ความซับซ้อนของแบบจำลองมีอยู่ด้วยกัน 3 ด้าน ได้แก่ ด้านเวลา ด้านพื้นที่ และด้านการตัดสินใจของมนุษย์ ที่ส่งผลต่อการเลือกใช้แบบจำลอง (Agarwal et al., 2002) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความซับซ้อนด้านเวลา (Temporal Complexity) มิติด้านเวลาเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีความเชื่อมโยงอย่างมากกับกระบวนการตัดสินใจของมนุษย์ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว การตัดสินใจระยะสั้น ได้แก่ กิจกรรมที่ทำเป็นประจำทุกวัน เช่น การเลือกเส้นทางเดินทางไปทำงาน หรือการจับจ่ายซื้อสินค้าอุปโภคบริโภค ส่วนการตัดสินใจระยะยาว ได้แก่ การวางแผนเพาะปลูกพืชตามฤดูกาล หรือการเลือกทำเลที่ตั้งสำหรับสร้างที่อยู่อาศัย ซึ่งการตัดสินใจทั้งสองระดับนี้ล้วนส่งผลต่อรูปแบบการใช้ที่ดินและการเลือกประเภทแบบจำลอง ทั้งนี้ แบบจำลองที่พยากรณ์ในระยะสั้นอาจให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าการพยากรณ์ระยะยาว ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องพิจารณาเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการคาดการณ์การใช้ที่ดิน เนื่องจากยังมีปัจจัยภายนอกอื่นๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงนโยบาย ที่อาจส่งผลกระทบต่อความซับซ้อนด้านเวลาในการใช้ประโยชน์ที่ดินได้

2. ความซับซ้อนด้านพื้นที่ (Spatial Complexity) มิติด้านพื้นที่เป็นตัวบ่งบอกขอบเขตเชิงพื้นที่ของแบบจำลอง ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) แบบจำลองแทนค่าเชิงพื้นที่ (Spatially Representative Model) ที่มีความสามารถในการสร้างและนำเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ทั้งแบบสองมิติและสามมิติ แต่ไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์เชิงทอพอโลยี (topological relationship) หรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางภูมิศาสตร์ (Geographic feature) เช่น จุดภาพ จุด เส้น และรูปปิด ในแบบจำลองประเภทนี้ ค่าของจุดภาพอาจคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาก็ได้ อย่างไรก็ตาม หลักการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับจุดภาพที่อยู่โดยรอบ และ 2) แบบจำลองปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatially Interactive Model) ที่สามารถแสดงความสัมพันธ์และการตอบสนองระหว่างจุดภาพข้างเคียงได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ ระดับความซับซ้อนเชิงพื้นที่ส่งผลต่อความสามารถในการนำเสนอข้อมูล กล่าวคือ แบบจำลองที่มีความซับซ้อนต่ำจะแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ได้จำกัด แบบจำลองที่มีความซับซ้อนปานกลางจะแสดงข้อมูลได้อย่างครบถ้วน ส่วนแบบจำลองที่มีความซับซ้อนสูงจะมีศักยภาพในการนำเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่ได้หลากหลายมิติ

3. ความซับซ้อนด้านการตัดสินใจของมนุษย์ (Human Decision Making Complexity) มิติด้านการตัดสินใจของมนุษย์เป็นตัวบ่งบอกถึงอิทธิพลของพฤติกรรมมนุษย์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยแบบจำลองส่วนใหญ่มักผนวกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์เข้าไปในกระบวนการจำลองเสมอ ในอดีตการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของการใช้ที่ดินมักถูกกำหนดโดยกระบวนการทางธรรมชาติและระยะเวลา อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการตัดสินใจของมนุษย์กลับมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ที่ดิน ดังจะเห็นได้จากกรณีพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณชานเมืองกรุงเทพมหานครที่ถูกเปลี่ยนเป็นที่พักอาศัยสำหรับกลุ่มผู้มีรายได้สูง อันเป็นผลมาจากการกำหนดการใช้ประโยชน์พื้นที่ตามหลักการวางผังเมือง สำหรับการนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้เพื่อพยากรณ์พื้นที่เมืองในอนาคต ผู้วิจัยจำเป็นต้องพิจารณาทั้ง 3 มิติของความซับซ้อน รวมถึงมาตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกแบบจำลองที่สอดคล้องกับกรอบแนวคิดทั้ง 3 มิติ ได้แก่ แกน X แทนมิติด้านพื้นที่ แกน Y แทนมิติด้านเวลา และแกน Z แทนมิติด้านการตัดสินใจของมนุษย์ ทั้งนี้ แบบจำลองแต่ละชนิดมีโครงสร้าง วิธีการ ศักยภาพ และความเหมาะสมในการจำลองพื้นที่ที่แตกต่างกันออกไป (สง่าวงศ์, 2556)



ภาพประกอบ 11 การทบทวนและการประเมินแบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ที่มา : Axelrod and Tesfatsion (2006). Appendix AA guide for newcomers to agent-based modeling in the social sciences

ภาพประกอบที่ 11 จะเห็นได้ว่า แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ดีจะต้องมีการประสานการทำงานของทั้ง 3 มิติ ในบางครั้งการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของแต่ละสถานการณ์ อาจจะต้องการความซับซ้อนของแต่ละมิติที่ไม่เท่ากัน ดังนั้น

ผู้ศึกษาจำเป็นต้องเลือกประเภทของแบบจำลองให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือตรงตามสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้

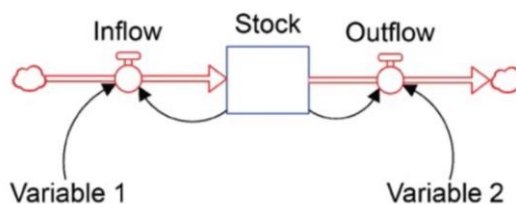
ประเภทของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การจัดประเภทแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมีความหลากหลายตามมุมมองของนักวิชาการแต่ละท่าน เช่น Merlin จัดกลุ่มแบบจำลองเมืองออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ แบบจำลองด้านพัฒนาการ แบบจำลองด้านคมนาคมขนส่ง และแบบจำลองด้านทรัพยากรเมือง (Rui, 2013) ในขณะที่ Briassoulis (2000) ใช้เกณฑ์ด้านหน้าที่และวิธีการเป็นฐานในการจำแนก ส่วน Silva and Wu (2012) จัดประเภทโดยพิจารณาจากคุณสมบัติ วิธีการ การนำไปใช้ และเทคนิคการจำลอง สำหรับบทความนี้จะยึดแนวทางการจำแนกตามวิธีการประยุกต์ใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial Interaction Model) แบบจำลองพื้นฐานที่ตั้งอยู่บนหลักการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในสาขาภูมิภาคศึกษาและการวิเคราะห์เชิงปริมาณทางภูมิศาสตร์ เพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของสิ่งต่างๆ บนพื้นที่อันเป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด คือ แบบจำลองแรงโน้มถ่วง (Gravity Model) ที่นำกฎของนิวตันมาอธิบายความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างวัตถุ 2 ชนิดที่มีขนาดและระยะห่างแตกต่างกัน

2. แบบจำลองที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์และสถิติ (Mathematical and Statistical Model) ในการคำนวณหาผลลัพธ์ที่แน่นอน โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ เพื่อพยากรณ์ปรากฏการณ์ เช่น การเติบโตของประชากร และการกระจายตัวของ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในแต่ละช่วงเวลา นอกจากนี้ ยังมีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเศรษฐศาสตร์ในการจำลองที่มีความซับซ้อน ผ่านสมการการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงปริมาณ ซึ่งมีข้อจำกัดในการเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงพื้นที่

3. แบบจำลองระบบพลวัต (System Dynamic Model) แบบจำลองระบบพลวัตเป็นแบบจำลองเชิงปริมาณที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Prof. Jay Forrester เพื่อวิเคราะห์กระบวนการทางอุตสาหกรรม และต่อมาได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ศึกษาพลวัตของพื้นที่เมือง โดยองค์ประกอบภายในระบบมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น แบบจำลองนี้ใช้วงจรป้อนกลับ สต็อก และโฟลว์ ในการแสดงความเชื่อมโยงระหว่างปัจจัยต่างๆ ของระบบ เพื่อจำลองการตอบสนองของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน สำหรับการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน แม้ว่าแบบจำลองนี้จะมีข้อจำกัดในการแสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (สมพร สง่าวงศ์, 2554)



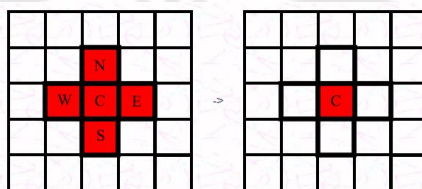
ภาพประกอบ 12 โครงสร้างพื้นฐานของแบบจำลองระบบพลวัต

ที่มา: Clexchange (2016). Introduction to System Dynamics Models

4. แบบจำลองระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert model) เป็นแบบจำลองที่ผสมองค์ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญเข้ากับเทคนิคทางความน่าจะเป็น อาทิ ความน่าจะเป็นแบบเบย์ (Bayesian) ทฤษฎีฟังก์ชันความเชื่อมั่นของเดมพ์สเตอร์-เชเฟอร์ (Dempster-Shafer Theory) หรือวิธีการเชิงตรรกะและกฎเกณฑ์ (Logic-Based and Rule-Based) เพื่อแปลงความรู้เชิงคุณภาพให้อยู่ในรูปข้อมูลเชิงปริมาณ สำหรับนำไปใช้ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

5. แบบจำลองวิวัฒนาการ (Evolutionary Model) เป็นแบบจำลองที่นำเทคนิคและวิธีการด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) มาประยุกต์ใช้ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยแบบจำลองที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถปรับค่าตัวแปรได้โดยอัตโนมัติ แบบจำลองนี้จัดเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยกลุ่มของโหนดประสาทที่เชื่อมต่อกัน และสามารถประมวลผลข้อมูลผ่านกระบวนการคำนวณแบบเชื่อมโยง โครงสร้างของ ANN มีลักษณะคล้ายคลึงกับสมองมนุษย์ ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากที่แต่ละเซลล์มีค่าความเอนเอียง (Bias) และมีการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ด้วยค่าน้ำหนัก ซึ่งค่าทั้งสองนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลอง นอกเหนือจากนี้ ยังมีการนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นการจำลองกระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การคัดเลือก การดำเนินการทางพันธุกรรม และการแทนที่ วงจรการทำงานของ GA มีความคล้ายคลึงกับกระบวนการอยู่รอดในธรรมชาติ กล่าวคือ สิ่งมีชีวิตที่ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีจะอยู่รอด ขณะที่สิ่งมีชีวิตที่ปรับตัวไม่ได้จะสูญพันธุ์ไป หลักการของ GA คือการทำให้คำตอบของระบบเกิดวิวัฒนาการด้วยตัวเอง นำไปสู่การค้นพบคำตอบที่ดีขึ้นและดีที่สุดที่สุดในที่สุด (Liu & Feng, 2016; Liu, 2008; Liu et al., 2014)

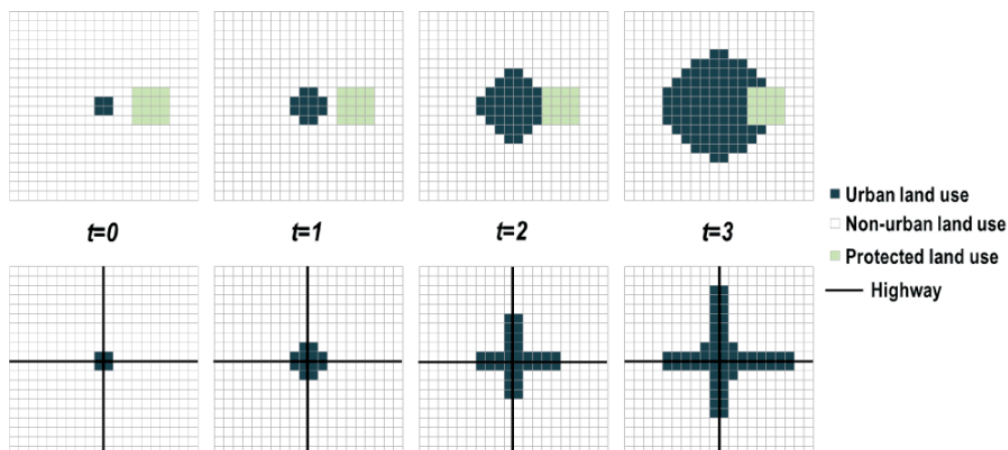
6. แบบจำลองมาร์คอฟเซลล์ลาร์อริโตมาตา (Markov Cellular Automata: MCA) เป็นแบบจำลองที่บูรณาการเทคนิคเซลล์ลาร์อริโตมาตา (CA) และห่วงโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) เข้าด้วยกัน เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในรูปแบบข้อมูลแรสเตอร์ หลักการทำงานของ CA คือ กริดเซลล์แต่ละเซลล์จะมีสถานะ (State) เฉพาะของตน โดยสถานะในอนาคตถูกกำหนดจากกฎการเปลี่ยนผ่าน (Transition Rule) ที่พิจารณาทั้งมิติเชิงพื้นที่และเวลาของกริด เซลล์ข้างเคียง (Neighborhood) รูปแบบเซลล์ข้างเคียงที่นิยมใช้ในการจำลองด้วย CA มี 2 รูปแบบ ได้แก่ Von Neumann Neighborhood ซึ่งพิจารณาเซลล์ข้างเคียง 4 เซลล์ และ Moore Neighborhood ซึ่งพิจารณาเซลล์ข้างเคียง 8 เซลล์



ภาพประกอบ 13 Von Neumann Neighborhood (ซ้าย) และ Moore Neighborhood (ขวา)

ที่มา: Hassani and Tavakkoli (2007). The von Neumann neighbourhood

จัดเป็นแบบจำลองประเภทเพื่อนบ้านแบบไม่ใช่ตรรกะ (Non-Logical Neighborhood) ที่อาศัยโครงสร้างกราฟ เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างที่สอดคล้องกับข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) จึงสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Santé et al., 2010) แบบจำลองนี้ถือเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่ประเภทอื่นๆ โดยเฉพาะแบบจำลองการใช้ที่ดินในพื้นที่เมือง ดังที่ สมพร สง่าวงศ์ (2554) ได้แสดงให้เห็นถึงการนำแบบจำลองบนพื้นฐานของ CA มาประยุกต์ใช้ในการจำลองการขยายตัวของเมืองในแต่ละช่วงเวลา



ภาพประกอบ 14 การประยุกต์แบบจำลอง CA ในการจำลองการขยายตัวของพื้นที่เมือง

ที่มา: Jean-Paul (2022). Cellular Automata Land Use Dynamics

7. แบบจำลองตัวแทน (Agent Based Model: ABM) เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาตั้งแต่ในช่วง ค.ศ. 1980 แบบจำลองนี้อาศัยตัวแทน (agent) ของวัตถุและประชากรที่สามารถสะท้อนพฤติกรรม ในด้านการตัดสินใจของตัวแทนในระบบผ่านพื้นที่และเวลา (Batty, 2009) ด้วยกฎของการตัดสินใจ (Rule) ต่าง ๆ ที่จะส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทั้งหมด การทำงานของแบบจำลองตัวแทน ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน

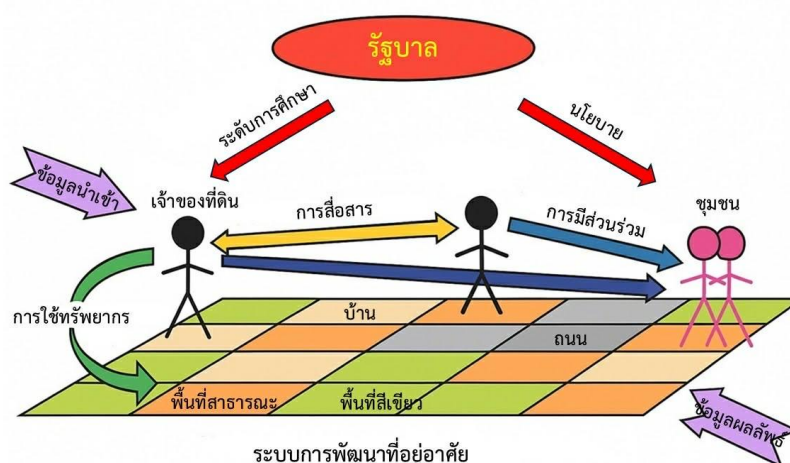
7.1 การพยากรณ์การตัดสินใจจากปัจจัยต่าง ๆ ของแต่ละตัวแทนในระบบ ซึ่งตัวแทนจะเป็นผู้ที่มีบทบาทในการแสดงกระบวนการ ทั้งนี้ ตัวแทนอาจหมายถึง อะตอม เซลล์ของสิ่งมีชีวิต สัตว์ มนุษย์ และองค์กร

7.2 การพยากรณ์ผลลัพธ์ที่จะเกิดกับระบบ

7.3 การวนซ้ำ เพื่อให้ได้ปัจจัยที่ดีที่สุดที่ส่งกระทบต่อการตัดสินใจของแต่ละตัวแทน แบบจำลอง ABM จึงเป็นแบบจำลองที่มีความยืดหยุ่นสูงในการตัดสินใจของหลายตัวแทน ภายใต้ระบบที่ความความซับซ้อน ซึ่งพฤติกรรมของระบบที่เปลี่ยนแปลงจะถูกควบคุมโดยกฎของการกระทำระหว่างผู้กระทำกับกลุ่มผู้ถูกกระทำที่ทำงานอย่างเป็นอิสระ

8. แบบจำลองผสม (Hybrid model) เกิดจากการรวมเทคนิคหลากหลายประเภทที่กล่าวมาข้างต้นเข้าด้วยกัน เพื่อยกระดับประสิทธิภาพในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ตัวอย่างเช่น การผสมแบบจำลอง CA เข้ากับแบบจำลอง ABM โดย MCA ทำหน้าที่จำลองการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ที่ดิน ขณะที่ ABM จำลองพฤติกรรมและบทบาทของมนุษย์ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ การประยุกต์ใช้แบบจำลองผสมในการจำลองการพัฒนาพื้นที่

อยู่อาศัย จำเป็นต้องคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างตัวแทนต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็น กลุ่มอาชีพ ชุมชน หน่วยงานภาครัฐ ตลอดจนปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแทนกับสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการจำลองเชิงพื้นที่



ภาพประกอบ 15 การใช้แบบจำลองผสมระหว่างแบบจำลอง MCA กับแบบจำลอง ABM

ที่มา: Rui (2013). Urban growth modeling based on land-use changes and road network expansion.

ตัวอย่างแบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่เมือง

Kim (2012) ได้ทบทวนพัฒนาการของแบบจำลองเมือง ซึ่งเริ่มต้นในช่วงทศวรรษ 1950-1960 โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงระหว่างระบบขนส่งกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ตลอดจนมีการพัฒนาแบบจำลองหลากหลายรูปแบบ รวมถึงการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ ดังต่อไปนี้

Spatial interaction models เป็นการนำหลักการทางภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ โดยอาศัยกฎแรงโน้มถ่วง (Law of Gravitation) ในการอธิบายปรากฏการณ์ทางสังคมศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ ระดับปฏิสัมพันธ์ระหว่างสถานที่สองแห่งจะแปรผันตามขนาดของทั้งสองพื้นที่ โดยมีระยะทางเป็นตัวแปรผกผันที่ทำให้ปฏิสัมพันธ์ลดลง ซึ่งปฏิสัมพันธ์ดังกล่าวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคม

Econometric models เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่เกิดจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจ ยกตัวอย่างเช่น ทฤษฎีค่าเช่าที่ดินที่อธิบายว่าค่าเช่าจะลดลงตามระยะทางที่ห่างจากศูนย์กลางเมือง (Alonso, 1964)

Cell based models เป็นการจำลองพฤติกรรมของเซลล์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน อาทิ Markov Chain Model ที่พยากรณ์การใช้ที่ดินในอนาคตจากข้อมูลสถิติในอดีต และ Cellular Automata Models ที่ประกอบด้วยเซลล์ในรูปตาราง 2 มิติ แต่ละเซลล์มีคุณลักษณะเฉพาะและสามารถเปลี่ยนสถานะได้ตามกฎที่กำหนดไว้ในแบบจำลอง โดยแต่ละเซลล์แทนพื้นที่ดินที่มีการใช้ประโยชน์แตกต่างกัน แบบจำลอง CA จึงเป็นเครื่องมือที่แสดงระบบพลวัตเชิงพื้นที่ของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วงเวลาต่างๆ แบบไม่ต่อเนื่อง

Agent Based Model เป็นวิธีการใหม่ในการสร้างแบบจำลองเมือง แนวคิดหลักของโมเดลแบบใช้ตัวแทน (Agent) ความสัมพันธ์ของผู้กระทำ (Agent's relationship) และสิ่งแวดล้อมของผู้กระทำ (Agent's environment)

ชูเดช โลศิริ (2599) ได้ศึกษาแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเพื่อพยากรณ์พื้นที่เมืองในอนาคต โดยสำรวจงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาจากมหาวิทยาลัยต่างๆ ในประเทศไทย พบว่าแบบจำลองที่ได้รับความนิยมมี 6 ประเภท ได้แก่ CA_MARKOV, CLUE-S, SLEUTH, LCM, LTM และ URBANSIM ตามลำดับ โดยตาราง 5 แสดงรายละเอียดของผู้พัฒนา วัตถุประสงค์ จุดเด่น และข้อจำกัดของแต่ละแบบจำลอง เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้วิจัยสามารถเลือกใช้แบบจำลองที่เหมาะสมกับงานศึกษาของตน

ตาราง 5 เปรียบเทียบจุดแข็งและจุดอ่อนของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

แบบจำลอง	ผู้พัฒนา/วัตถุประสงค์	จุดแข็ง	จุดอ่อน
CA_MARKOV	พัฒนาขึ้นโดย ห้องปฏิบัติการคลาร์ก เพื่อ จำลองการเปลี่ยนแปลงการ ใช้ประโยชน์ที่ดินจากการ ทำงานของ CA และ Markov Chain	- เหมาะกับข้อมูลที่มี โครงสร้างแบบราสเตอร์ - ประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ ได้ดี - เหมาะสำหรับการจำลอง การเปลี่ยนแปลงทาง กายภาพ	- ขาดมิติด้านการตัดสินใจของ มนุษย์ - ไม่มีตัวแปรทางชีวภาพ - กฎการเปลี่ยนแปลงถูก กำหนดในระดับมาตราส่วน ท้องถิ่น
CLUE-S	พัฒนาโดยมหาวิทยาลัย Wageningen เพื่อสร้าง สถานการณ์จำลองการ เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินตาม ปัจจัยขับเคลื่อน โดยอาศัย ข้อมูลเชิงประจักษ์	- เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ สถานการณ์หลากหลาย รูปแบบ - สามารถแสดงการ เปลี่ยนแปลงระดับท้องถิ่นที่ ส่งผลต่อระดับภูมิภาค - สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับ การวางแผนเชิงนโยบาย	- ไม่สามารถจำลองพลวัตการ ใช้ที่ดินได้หากไม่มีข้อมูลการ เปลี่ยนแปลงในอดีต - อาศัยการวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยวิธีดัดแปลงเพียงอย่าง เดียว
LCM (Land Change Modeler)	พัฒนาขึ้นโดย ห้องปฏิบัติการคลาร์ก เพื่อ จำลองการเปลี่ยนแปลงการ ใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยผู้ วิเคราะห์สามารถนำเข้า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ การเปลี่ยนแปลงการได้	- สามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่ เกี่ยวข้องด้วยการทดสอบ ทางสถิติ - จำลองการเปลี่ยนแปลงผ่าน 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง การจำลองพื้นที่ศักยภาพ และคำนวณความต้องการ ที่ดิน และการพยากรณ์การ ใช้ที่ดิน	- จำลองการเปลี่ยนแปลงได้ เพียงช่วงเวลาเดียว - พยากรณ์การใช้ที่ดินใน อนาคตจากข้อมูลการ เปลี่ยนแปลงในอดีต
LTM (Land Transformation Model)	พัฒนาโดยมหาวิทยาลัย Purdue เพื่อจำลองและ พยากรณ์การเปลี่ยนแปลง การใช้ที่ดินในอนาคต สามารถนำไปใช้ได้หลาย พื้นที่ แต่นิยมใช้กับพื้นที่ลุ่ม น้ำ	- ให้ผลลัพธ์ในรูปแบบที่เข้าใจ ง่าย - ผสมผสาน GIS, ANN และ สถิติเชิงพื้นที่ในการ พยากรณ์ - ใช้งานได้ดีกับแบบจำลอง ระดับภูมิภาค	- คำนวณความต้องการที่ดิน จากการเปลี่ยนแปลง จำนวนประชากรเพียงปัจจัย เดียว - ไม่สามารถจำลองพลวัตของ ปัจจัยขับเคลื่อนต่างๆ

ตาราง 5 (ต่อ)

แบบจำลอง	ผู้พัฒนา/วัตถุประสงค์	จุดแข็ง	จุดอ่อน
SLEUTH	พัฒนาโดย Clarke et al. (1997) จากมหาวิทยาลัย California, Santa Barbara เพื่อสร้างแบบจำลองการแผ่ขยายของพื้นที่เมืองและติดตามแหล่งชุมชนเมืองที่เกิดขึ้นใหม่ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	- จำลองการแผ่ขยายของเมืองได้ 4 รูปแบบ - แสดงผลลัพธ์ทั้งในรูปแบบภาพและค่าทางสถิติ - ออกแบบให้ปรับแต่งค่าได้ด้วยตัวคุณ - เป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สติดตั้งได้ง่าย - เชื่อมต่อกับข้อมูล GIS - โครงสร้างรหัสตัวได้สะดวก	- ไม่รวมปัจจัยการตัดสินใจของมนุษย์ที่มีผลต่อการแผ่ขยายของเมือง - ไม่ได้นำปัจจัยด้านชีวภาพ เศรษฐกิจ และสังคมมาพิจารณา - ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ใช้เวลาจัดเตรียมข้อมูลนาน - ต้องใช้คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงในการประมวลผล
URBANSIM	พัฒนาโดย Paul Waddell เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการที่ดิน ระบบคมนาคม และนโยบายสาธารณะที่กำหนดทิศทางการเติบโตของชุมชน ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ	- สะท้อนกระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลกกับการจำลองสภาพแวดล้อม - สามารถจำลองความซับซ้อนของระบบเมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด	- แบบจำลองมีความซับซ้อนสูง - ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก สิ้นเปลืองเวลาและงบประมาณในการจัดเตรียมข้อมูล - การสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องมีความซับซ้อนและใช้เวลานาน

ที่มา: ชูเดช โลศิริ (2559). แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินกับการคาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคต

ในปัจจุบันรูปแบบการใช้ที่ดินในพื้นที่เมืองมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจึงต้องอาศัยแบบจำลองที่เหมาะสม โดยเฉพาะการวิเคราะห์แบบจากล่างขึ้นบน (Bottom-up) ที่มุ่งเน้นการทำความเข้าใจองค์ประกอบย่อยและความซับซ้อนของระบบเมือง ด้วยเหตุนี้ ความซับซ้อนของเมืองจึงกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ผลักดันให้เกิดการพัฒนาแบบจำลองอย่างต่อเนื่อง (Batty, 2004)

จากการทบทวนแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน พบว่ากรอบแนวคิดประกอบด้วย 6 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ 1) ระดับการวิเคราะห์ 2) พลวัตระหว่างมาตราส่วน 3) ปัจจัยขับเคลื่อน 4) ปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่ 5) พลวัตเชิงเวลา และ 6) ระดับการบูรณาการ (Verburg et al., 2004) องค์ประกอบเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับการศึกษารั้วนี้ ดังนั้น องค์ประกอบที่ 1 และ 2 กำหนดขอบเขตการศึกษาในระดับจุลภาคครอบคลุมพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ องค์ประกอบที่ 3 เป็นแนวทางในการคัดเลือกปัจจัยขับเคลื่อนที่ได้วิเคราะห์ไว้ก่อนหน้านี้ (อาทิ ระยะห่างจากถนนสายหลัก ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ เป็นต้น) องค์ประกอบที่ 4 และ 5 กำหนดให้แบบจำลองต้องรองรับการจำลองปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่และพลวัตข้ามช่วงเวลา ส่วนองค์ประกอบที่ 6 กำหนดให้ต้องผสมผสานปัจจัยด้านกายภาพ เศรษฐกิจ และสังคมเข้าด้วยกัน จากข้อกำหนดดังกล่าว ผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลอง LCM ซึ่งเป็นแบบจำลองผสมผสาน (Hybrid Model) ที่บูรณาการ Markov Chain สำหรับประมาณการปริมาณการเปลี่ยนแปลง และ Multi-Layer Perceptron Neural Network (MLP-NN) สำหรับจำลองรูปแบบเชิงพื้นที่ แบบจำลอง LCM มีความสามารถรองรับปัจจัยขับเคลื่อนหลายประเภทพร้อมกัน จำลองปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่ผ่านตัวกรองเชิงพื้นที่ (Spatial Filter) พยากรณ์แบบพลวัตข้ามหลายช่วงเวลา และสามารถบูรณาการกับการออกแบบฉากทัศน์ได้ คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ LCM สามารถตอบสนองกรอบแนวคิดครบทั้ง 6 องค์ประกอบ จึงเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของจังหวัดบุรีรัมย์ภายใต้ฉากทัศน์ต่างๆ

หมวดหมู่แบบจำลอง

จากการศึกษาเอกสารวิชาการเกี่ยวกับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการเติบโตของเมือง สามารถจัดกลุ่มตามลักษณะการทำงานและจุดมุ่งหมายในการใช้งานได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) แบบจำลองเชิงทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน ซึ่งเป็นรากฐานในการทำความเข้าใจกลไกและรูปแบบการเปลี่ยนแปลง 2) แบบจำลองเชิงเทคนิคและระเบียบวิธี ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และคาดการณ์ และ 3) แบบจำลองแพลตฟอร์มแบบผสมผสาน ซึ่งรวมเทคนิคหลายประเภทเข้าด้วยกันเพื่อการใช้งานที่สมบูรณ์ การจำแนกประเภทนี้ช่วยให้เห็นพัฒนาการของแบบจำลอง ตั้งแต่หลักการทางทฤษฎีไปสู่เครื่องมือเชิงปฏิบัติที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยได้

แบบจำลองทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

กลุ่มแบบจำลองนี้มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีรูปแบบการเติบโตของเมืองและแนวคิดเกี่ยวกับการใช้ที่ดิน ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญในการทำ ความเข้าใจกลไกและปัจจัยที่ส่งผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน แม้ว่าแบบจำลองเหล่านี้จะไม่ใช้เครื่องมือเชิงปริมาณโดยตรง แต่เป็นกรอบแนวคิดสำคัญในการกำหนดตัวแปรและตีความผลการวิเคราะห์

1. แบบจำลองตามทฤษฎีรูปแบบการขยายตัวเมือง กลุ่มนี้อธิบายรูปแบบการเติบโตของเมืองตามมุมมองของนักภูมิศาสตร์และนักสังคมวิทยาเมือง ประกอบด้วยแบบจำลองสำคัญ 5 รูปแบบ แบบจำลองแรกคือแบบจำลองศูนย์กลางร่วม ที่พัฒนาโดย Burgess (1925) อธิบายว่าเมืองขยายตัวออกจากศูนย์กลางธุรกิจ เป็นวงกลมเป็นชั้นๆ โดยแต่ละชั้นมีลักษณะการใช้ที่ดินและกลุ่มประชากรที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ย่านธุรกิจ เขตอุตสาหกรรม ย่านที่อยู่อาศัยชนชั้นต่ำ ชนชั้นกลาง และชนชั้นสูง ตามลำดับ อธิบายว่าเมืองเติบโตออกจากศูนย์กลางธุรกิจเป็นวงกลมซ้อนกันเป็นชั้นๆ โดยแต่ละชั้นมีลักษณะการใช้ที่ดินและกลุ่มประชากรที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ย่านธุรกิจ เขตอุตสาหกรรม ย่านที่อยู่อาศัยชนชั้นต่ำ ชนชั้นกลาง และชนชั้นสูง ตามลำดับ แบบจำลองนี้สะท้อนกระบวนการ invasion และ succession ที่กลุ่มประชากรต่างๆ แข่งขันกันใช้พื้นที่ โดยพื้นที่ที่มีราคาสูงจะถูกครอบครองโดยกิจกรรมที่สามารถจ่ายค่าเช่าได้สูง (Park et al., 1925) แบบจำลองที่สองคือแบบจำลองเส้นวงกลม ที่เสนอโดย Hoyt (1939) แบบจำลองนี้ปรับปรุงข้อจำกัดของแบบจำลองวงกลมโดยชี้ให้เห็นว่าการเติบโตของเมืองไม่ได้เป็นวงกลมสมมาตรที่สมบูรณ์ แต่มักจะเติบโตออกไปในลักษณะรูปภาคส่วนหรือเส้น ตามแนวเส้นทางคมนาคม โดยเฉพาะถนนสายหลักและทางรถไฟ พื้นที่อยู่อาศัยชนชั้นสูงมักเป็นตัวนำ (leading sector) ในการกำหนดทิศทางการพัฒนา เพราะมีอำนาจในการเลือกทำเลที่ตั้งและสามารถเข้าถึงโครงสร้างพื้นฐานที่ดีที่สุด แบบจำลองนี้สะท้อนความสำคัญของโครงสร้างพื้นฐานการคมนาคมในการกำหนดทิศทางการเติบโตของเมือง Harris and Ullman (1945) สะท้อนความซับซ้อนของเมืองสมัยใหม่ที่ไม่มีศูนย์กลางเดียวแต่มีศูนย์กลางย่อย (nuclei) หลายจุด โดยแต่ละจุดมีลักษณะการใช้ที่ดินและกิจกรรมที่แตกต่างกัน การกระจายตัวของศูนย์กลางย่อยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ 1) กิจกรรมบางอย่างต้องการทำเลเฉพาะ 2) กิจกรรมบางอย่างได้ประโยชน์จากการตั้งอยู่ใกล้กัน (agglomeration economies) 3) กิจกรรมบางอย่างต้องการแยกออกจากกันเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบเชิงลบ และ 4) ความสามารถในการจ่ายค่าเช่าที่แตกต่างกัน แบบจำลองที่สามคือแบบจำลองรูปดาว ที่เสนอโดย Babcock เน้นบทบาทของเส้นทางคมนาคมหลักเป็นตัวกำหนดทิศทางการเติบโตของเมือง โดยเมืองจะเติบโตออกไปตามแนวถนนสายหลัก แม่น้ำ และคลองในลักษณะรูปดาวหรือรูปแฉก ส่วนพื้นที่ระหว่างแฉกจะยังคงเป็นพื้นที่เกษตรกรรมหรือพื้นที่ว่าง (Rodrigue et al., 2020) และแบบจำลองสุดท้ายคือแบบจำลองการตั้งถิ่นฐานแบบแนวยาว (Linear Settlement Model) ที่อธิบายรูปแบบการตั้งถิ่นฐานตามแนวยาวของปัจจัยทางภูมิศาสตร์

ธรรมชาติหรือโครงสร้างพื้นฐาน แบ่งเป็น River Linear Settlement และ Road Linear Settlement (Carter, 1995) แบบจำลองเชิงทฤษฎีทั้ง 5 รูปแบบนี้ แม้จะพัฒนาขึ้นในบริบทของประเทศตะวันตกและในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน แต่ให้กรอบความคิดพื้นฐานที่สำคัญในการทำ ความเข้าใจกลไกการเติบโตของเมือง โดยเฉพาะปัจจัยสำคัญ 3 ประการ คือ 1) ระยะห่างจาก ศูนย์กลางเมือง 2) การเข้าถึงโครงสร้างพื้นฐานการคมนาคม และ 3) ลักษณะทางภูมิศาสตร์ ธรรมชาติ แนวคิดเหล่านี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองเชิงปริมาณในยุคต่อมา โดยเฉพาะการกำหนดตัวแปรอธิบาย (explanatory variables) ในแบบจำลองการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

2. แบบจำลองตามแนวคิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน กลุ่มนี้เป็นกรอบแนวคิด ที่อธิบายกระบวนการและปัจจัยขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยเน้นว่าการ เปลี่ยนแปลงเกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลายมิติ ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ ปัจจัยทาง เศรษฐกิจ ปัจจัยทางสังคม ปัจจัยด้านโครงสร้างพื้นฐาน และปัจจัยด้านนโยบาย กรอบแนวคิดนี้ ได้รับการพัฒนาและนำเสนอโดยนักวิจัยหลายท่าน โดยเฉพาะ Lambin et al. (2001) และ Turner et al. (2007) ที่นำเสนอกรอบแนวคิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินแบบบูรณาการที่พิจารณาทั้ง ปัจจัยขับเคลื่อนโดยตรง (proximate causes) และปัจจัยขับเคลื่อนพื้นฐาน (underlying causes) กรอบแนวคิดนี้เป็นรากฐานสำคัญในการกำหนดกลุ่มตัวแปรทั้ง 29 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ Verburg et al. (2004) ยังได้นำเสนอกรอบแนวคิดที่เชื่อมโยงระหว่างระดับต่างๆ ของ การตัดสินใจ ตั้งแต่ระดับบุคคล ครัวเรือน ชุมชน ไปจนถึงระดับนโยบาย

แบบจำลองเชิงเทคนิคและวิธีการ

กลุ่มนี้ประกอบด้วยแบบจำลองและเทคนิคเชิงปริมาณที่พัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์และ คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยแต่ละเทคนิคมีจุดเด่นและข้อจำกัดที่ต่างกัน การ เลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูล วัตถุประสงค์การวิจัย และความซับซ้อนของปรากฏการณ์ที่ ศึกษา

1. แบบจำลองเชิงสถิติและเศรษฐมิติ กลุ่มนี้รวมถึง Regression Models, Logistic Regression, Auto-logistic Regression และ Spatial Autoregressive Models เทคนิค เหล่านี้มีจุดเด่นในการระบุและวัดความสำคัญของปัจจัยขับเคลื่อนอย่างเป็นระบบ มีความโปร่งใส ในกระบวนการวิเคราะห์ และสามารถทดสอบนัยสำคัญทางสถิติได้ (Pontius & Schneider, 2001; Verburg et al., 2004) อย่างไรก็ตาม มีข้อจำกัดด้านข้อสมมติที่เข้มงวด เช่น ความเป็น อิสระของตัวแปร การกระจายแบบปกติ และความสัมพันธ์เชิงเส้น ในการวิจัยครั้งนี้ เทคนิคเชิง

สถิติถูกใช้ควบคู่กับ Neural Network โดยใช้ Chi-square test และ Cramér's V ในการวัดความสัมพันธ์ทางสถิติ

2. แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network) โดยเฉพาะ Multi-Layer Perceptron (MLP) เป็นเทคนิคที่มีความสามารถในการเรียนรู้ความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนและไม่เชิงเส้นระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการเปลี่ยนแปลง MLP ประกอบด้วยชั้นนำเข้า (input layer) ชั้นซ่อน (hidden layers) และชั้นส่งออก (output layer) โดยใช้กระบวนการ Backpropagation ในการเรียนรู้ (Pijanowski et al., 2002) จุดเด่นสำคัญคือความทนทานต่อ noise ในข้อมูลความสามารถในการจัดการกับตัวแปรหลายมิติ และไม่มีข้อสมมติที่เข้มงวดเหมือนแบบจำลองเชิงสถิติแบบดั้งเดิม อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญคือการเป็น "black box" ที่ยากต่อการตีความกระบวนการตัดสินใจ และความเสี่ยงของ overfitting (Mas et al., 2004) ในการวิจัยครั้งนี้ MLP ถูกเลือกใช้เป็นเทคนิคหลักในการวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนและสร้าง Transition Potential Maps ภายในแบบจำลอง LCM

3. แบบจำลองเซลลูลาร์ออโตมาตา (Cellular Automata: CA) เป็นเทคนิคสำคัญในการจำลองพลวัตเชิงพื้นที่ ประกอบด้วยกริดของเซลล์ที่แต่ละเซลล์มีสถานะและเปลี่ยนแปลงตามกฎที่กำหนด โดยคำนึงถึงสถานะของเซลล์ใกล้เคียง จุดเด่นคือความสามารถในการจำลองปรากฏการณ์การแพร่กระจาย (diffusion) ผลกระทบของความใกล้ชิด (proximity effects) และการสร้างรูปแบบที่ซับซ้อนจากกฎง่ายๆ (emergence) CA เหมาะสมอย่างยิ่งในการจำลองการเติบโตของเมืองที่มักเกิดขึ้นแบบต่อเนื่องจากพื้นที่เมืองเดิม (Batty & Xie, 1994; White & Engelen, 1993) ในการวิจัยครั้งนี้ CA ถูกใช้ร่วมกับ Markov Chain ภายในแบบจำลอง LCM

4. แบบจำลองมาร์คอฟเชน (Markov Chain) เป็นเทคนิคที่ใช้ Transition Probability Matrix ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลง โดยอาศัยหลักการที่ว่าความน่าจะเป็นของสถานะในอนาคตขึ้นอยู่กับสถานะปัจจุบัน จุดเด่นคือความเรียบง่าย ความโปร่งใส และความสามารถในการคำนวณปริมาณการเปลี่ยนแปลงของแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน (Muller & Middleton, 1994) อย่างไรก็ตาม Markov Chain แบบดั้งเดิมไม่สามารถจำลองการกระจายเชิงพื้นที่ได้ จึงมักถูกใช้ร่วมกับ CA

5. แบบจำลอง CA-Markov เป็นการผสมผสานที่สำคัญระหว่าง Cellular Automata และ Markov Chain โดย Markov Chain ใช้ในการคำนวณปริมาณการเปลี่ยนแปลง ขณะที่ CA ใช้ในการจำลองการกระจายเชิงพื้นที่ของการเปลี่ยนแปลงนั้น (Pontius & Malanson, 2005) จุดเด่นของ CA-Markov คือความสามารถในการจำลองทั้งปริมาณและการกระจายเชิง

พื้นที่ของการเปลี่ยนแปลง ความเหมาะสมกับการจำลองการเติบโตของเมือง และความสามารถในการผลิตแผนที่การใช้ที่ดินในอนาคตที่มีความละเอียดสูง CA-Markov เป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลักของแบบจำลอง LCM ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

6. แบบจำลองตัวแทน (Agent-Based Model: ABM) เป็นแนวทางที่แตกต่างโดยเน้นการจำลองพฤติกรรมของตัวแทนอิสระ (autonomous agents) ที่มีเป้าหมายและกฎการตัดสินใจของตนเอง จุดเด่นคือความสามารถในการจำลองความหลากหลายของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย การตัดสินใจที่ซับซ้อน และ emergence ของปรากฏการณ์ระดับมหภาคจากการโต้ตอบในระดับจุลภาค (Matthews et al., 2007; Parker et al., 2003) อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญคือความยากและความต้องการข้อมูลสูงในการกำหนดพฤติกรรมของตัวแทน

แบบจำลองแพลตฟอร์มแบบบูรณาการ

กลุ่มนี้เป็นแพลตฟอร์มหรือซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นโดยผสมผสานเทคนิคหลายอย่างจากกลุ่มที่ 2 เข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างครอบคลุมและสะดวก

1. LCM พัฒนาโดย Clark Labs (Eastman et al., 2005) เป็นแพลตฟอร์มแบบผสมผสานที่ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน LCM ประกอบด้วยสามส่วนหลัก คือ 1) Change Analysis สำหรับวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในอดีต 2) Transition Potential Modeling สำหรับวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนและสร้าง transition potential maps โดยรองรับหลายเทคนิค เช่น Multi-Layer Perceptron Neural Network, Logistic Regression และ SimWeight และ 3) Change Prediction สำหรับคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงในอนาคต โดยผสมผสานเทคนิค CA-Markov และ Multi-Objective Land Allocation (MOLA) (Eastman, 2020)

2. SLEUTH พัฒนาโดย Clarke et al. (1997) เป็นแบบจำลอง Cellular Automata ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการจำลองการเติบโตของเมือง SLEUTH มี 5 พารามิเตอร์การเติบโต ได้แก่ diffusion coefficient, breed coefficient, spread coefficient, slope resistance และ road gravity จุดเด่นคือความเชี่ยวชาญเฉพาะทางในการจำลองการเติบโตแบบ organic และ spontaneous และการเป็นซอฟต์แวร์เปิด (Dietzel & Clarke, 2007)

3. CLUE-S พัฒนาโดย Verburg et al. (2002) เน้นการวิเคราะห์ความต้องการ (demand) และการจัดสรรเชิงพื้นที่ (spatial allocation) แยกออกจากกัน ประกอบด้วย non-spatial demand module และ spatially explicit allocation module จุดเด่นคือความยืดหยุ่นในการกำหนด demand scenarios และความสามารถในการรวม spatial policies

สรุปภาพรวมและเหตุผลในการเลือกใช้ LCM จากการศึกษาและจำแนกประเภทแบบจำลองทั้ง 3 กลุ่ม สรุปได้ว่าการวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้พัฒนาจากแนวคิดทางทฤษฎีไปสู่เครื่องมือเชิงปฏิบัติที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์และคาดการณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ 1) LCM เป็นแพลตฟอร์มแบบผสมผสานที่ครอบคลุมทุกขั้นตอนของการวิจัย ตั้งแต่การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในอดีต การระบุปัจจัยขับเคลื่อน การคาดการณ์อนาคต ไปจนถึงการทดสอบความถูกต้อง 2) LCM ผสมผสานเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะ Multi-Layer Perceptron Neural Network สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนและไม่เชิงเส้นระหว่างปัจจัยขับเคลื่อน 29 ตัวแปรกับการเปลี่ยนแปลง และ CA-Markov สำหรับการจำลองพลวัตเชิงพื้นที่ 3) LCM รองรับการสร้างสถานการณ์จำลองหลายสถานการณ์โดยการปรับ transition potentials, constraints และ incentives ซึ่งเหมาะสมกับวัตถุประสงค์การวิจัยที่ต้องการสร้างฉากทัศน์ตามเป้าหมายการพัฒนาที่แตกต่างกัน 4) สถานการณ์ 4) LCM มีเครื่องมือสำหรับการทดสอบความถูกต้องที่ครอบคลุม เช่น ROC curve, Kappa Statistics และ Figure of Merit (Pontius & Millones, 2011) 5) LCM ได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างแพร่หลายในวงการวิชาการทั่วโลก (Kamusoko et al., 2009; Mishra et al., 2014) 6) LCM มีส่วนต่อประสานที่เป็นมิตรต่อผู้ใช้และผสมผสานอย่างแน่นหนากระชับกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยตระหนักถึงข้อจำกัดของ LCM โดยเฉพาะความยืดหยุ่นที่จำกัดในการปรับแต่งอัลกอริทึม และความสามารถในการจำลองพฤติกรรมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอย่างละเอียด แต่เมื่อพิจารณาถึงวัตถุประสงค์การวิจัยข้อมูลที่มีอยู่ งบประมาณ และทรัพยากรในการวิจัย LCM เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการศึกษากการสร้างฉากทัศน์หลายมิติตามเป้าหมายการพัฒนาพื้นที่ของจังหวัดบุรีรัมย์

แบบจำลอง LCM

หลักการทำงาน

แบบจำลอง LCM เป็นเครื่องมือวิเคราะห์เชิงพื้นที่ที่สร้างขึ้นโดย Clark Labs แห่งมหาวิทยาลัย Clark โดยถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิผล แบบจำลองนี้มีความโดดเด่นในการผนวกเทคนิคการวิเคราะห์หลากหลายรูปแบบ ทั้งระเบียบวิธีทางสถิติ การเรียนรู้ของเครื่อง และแบบจำลองเชิงพื้นที่ เพื่อสร้างกรอบการดำเนินงานที่ครอบคลุมสำหรับการศึกษาพลวัตการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน กระบวนการทำงานของ LCM แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักที่เชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ ประกอบด้วย การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในอดีต (Change Analysis) การสร้างแบบจำลองศักยภาพการเปลี่ยนผ่าน (Transition Potential Modeling) การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงใน

อนาคต (Change Prediction) และการประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation) (Khoi & Murayama, 2010)

ในขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง ในขั้นตอนแรก LCM ดำเนินการประเมินการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลาที่กำหนด โดยเปรียบเทียบแผนที่การใช้ที่ดินในสองช่วงเวลาหรือมากกว่า เพื่อระบุประเภทและปริมาณของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น รวมถึงการสร้างเมทริกซ์การเปลี่ยนผ่าน (transition matrix) ที่แสดงการเปลี่ยนถ่ายระหว่างประเภทการใช้ที่ดินต่างๆ (Mas et al., 2014) ข้อมูลจากการวิเคราะห์นี้เป็นรากฐานสำคัญสำหรับการสร้างแบบจำลองในขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่สองคือการสร้างแบบจำลองศักยภาพการเปลี่ยนแปลง ขั้นตอนที่สองคือการสร้างแบบจำลองศักยภาพการเปลี่ยนผ่าน ซึ่งเป็นแกนกลางของ LCM โดยในขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับปัจจัยขับเคลื่อนต่างๆ อาทิ ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ความลาดชัน ความหนาแน่นประชากร และปัจจัยทางเศรษฐกิจสังคมอื่นๆ (Islam et al., 2018) LCM มีทางเลือกในการสร้างแบบจำลองหลายวิธี ได้แก่ Multi-Layer Perceptron Neural Network และ Logistic Regression ซึ่งแต่ละวิธีมีจุดเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้คือแผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนผ่าน (transition potential maps) ที่แสดงความน่าจะเป็นเชิงพื้นที่ของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแต่ละประเภท

การประยุกต์ใช้ Markov Chain และ Cellular Automata ใน LCM

การผสมผสานระหว่าง Markov Chain และ Cellular Automata เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ LCM มีศักยภาพในการทำนายการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงพื้นที่ ที่ Markov Chain เป็นกระบวนการสุ่มที่อาศัยหลักการที่ว่าสถานะในอนาคตขึ้นอยู่กับสถานะปัจจุบันเท่านั้น โดยไม่ขึ้นกับประวัติการเปลี่ยนแปลงในอดีต ซึ่งเรียกว่า Markovian property (Memarian et al., 2012) ในบริบทของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน Markov Chain ถูกใช้เพื่อคำนวณความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ที่ดินประเภทหนึ่งไปเป็นอีกประเภทหนึ่ง ผ่านการสร้าง Transition Probability Matrix (Sang et al., 2011)

เมทริกซ์ความน่าจะเป็นถูกสร้างขึ้นจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริงในอดีต โดยคำนวณสัดส่วนของพื้นที่ที่เปลี่ยนจากประเภทหนึ่งไปเป็นอีกประเภทหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนด อย่างไรก็ตาม Markov Chain เพียงอย่างเดียวสามารถทำนายได้เฉพาะปริมาณการเปลี่ยนแปลงโดยรวม แต่ไม่สามารถกำหนดตำแหน่งเชิงพื้นที่ที่การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นได้ Cellular Automata ถูกนำมาใช้ร่วมกับ Markov Chain เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดด้านการกำหนด

ตำแหน่งเชิงพื้นที่ โดย CA ทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งเชิงพื้นที่ของการเปลี่ยนแปลงที่ทำนายได้จาก Markov Chain (Arsanjani et al., 2013) หลักการทำงานของ CA อาศัยการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นตารางกริด (grid cells) ที่มีขนาดเท่ากัน โดยแต่ละเซลล์จะมีสถานะที่แสดงประเภทการใช้ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงสถานะของแต่ละเซลล์จะถูกกำหนดโดยกฎการเปลี่ยนแปลง (transition rules) ที่พิจารณาทั้งสถานะของเซลล์นั่นเองและอิทธิพลจากเซลล์ข้างเคียง (neighborhood effect) (Wang et al., 2016)

การผนวก Markov-CA ใน LCM ทำให้สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงได้อย่างครอบคลุมทั้งในเชิงปริมาณและเชิงพื้นที่ โดย Markov Chain กำหนดปริมาณการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในแต่ละประเภท ขณะที่ CA กำหนดว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งใดในพื้นที่ศึกษา (Kamusoko et al., 2009)

บทบาทของ Neural Network ในการเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์

การนำ Neural Network มาใช้ใน LCM โดยเฉพาะ Multi-Layer Perceptron (MLP) Neural Network ถือเป็นนวัตกรรมสำคัญที่ช่วยเพิ่มศักยภาพในการจัดการกับความซับซ้อนของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Ozturk, 2015) MLP เป็น feedforward neural network ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยชั้นของประมวลผล (neurons) หลายชั้น ได้แก่ ชั้นนำเข้า (input layer) ที่รับข้อมูลปัจจัยขับเคลื่อนต่างๆ ชั้นซ่อน (hidden layers) ที่ทำหน้าที่ประมวลผลและเรียนรู้ความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน และชั้นผลลัพธ์ (output layer) ที่ให้ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างหลายชั้นนี้ทำให้ MLP สามารถเรียนรู้และจำลองความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear relationships) ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Li & Yeh, 2002)

จุดเด่นของ MLP ใน LCM คือความสามารถในการเรียนรู้อัตโนมัติจากข้อมูล (automatic learning) โดยไม่จำเป็นต้องกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไว้ล่วงหน้า (Pijanowski et al., 2014) MLP สามารถค้นพบรูปแบบ (patterns) ที่ซับซ้อนในข้อมูลได้ด้วยตนเอง ผ่านกระบวนการฝึกสอน (training) ที่ใช้อัลกอริทึม Backpropagation และมีความทนทานต่อข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวน (noise) และข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ (Mas & Flores, 2008)

กระบวนการฝึกสอน MLP ใน LCM มีการใช้เทคนิคต่างๆ เพื่อป้องกันปัญหา overfitting ได้แก่ การแบ่งข้อมูลแบบ cross-validation การใช้ early stopping และการใช้ regularization (Rienow & Goetzke, 2015) ผลลัพธ์สุดท้ายจาก MLP คือแผนที่ศักยภาพการ

เปลี่ยนผ่าน ที่แสดงค่าความน่าจะเป็นตั้งแต่ 0 ถึง 1 สำหรับทุกพิกเซลในพื้นที่ศึกษา (Siddiqui et al., 2018)

การประเมินจุดเด่นและข้อจำกัดของ LCM

จุดเด่น การผนวกเทคนิคการวิเคราะห์หลากหลาย โดยผสมผสานจุดเด่นของ Markov Chain ในการทำนายปริมาณการเปลี่ยนแปลง Cellular Automata ในการกำหนดรูปแบบเชิงพื้นที่ และ Neural Network ในการวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนที่ซับซ้อน (Islam et al., 2018) ความยืดหยุ่นในการเลือกวิธีการ นอกจาก MLP Neural Network แล้ว ผู้ใช้ยังสามารถเลือกใช้ Logistic Regression หรือ SimWeight ได้ตามความเหมาะสม (Megahed et al., 2015) ระบบการประเมินความถูกต้องที่ครอบคลุม ประกอบด้วยเครื่องมือหลากหลาย เช่น ROC statistics, Kappa indices และ Figure of Merit (Camacho Olmedo et al., 2015) ส่วนต่อประสานผู้ใช้ที่ออกแบบมาอย่างดี ผ่าน TerrSet software ทำให้นักวิจัยที่ไม่มีความเชี่ยวชาญด้านการเขียนโปรแกรมสามารถใช้งานเทคนิคการวิเคราะห์ขั้นสูงได้ (Shafizadeh Moghadam & Helbich, 2013)

ข้อจำกัด เป็นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ ที่ต้องซื้อลิขสิทธิ์ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่เป็น open-source เช่น CLUE-S หรือ SLEUTH (Clarke, 2008; Verburg et al., 2002) การพึ่งพา Markovian assumption ซึ่งมีข้อสมมติว่าการเปลี่ยนแปลงในอนาคตขึ้นอยู่กับสถานะปัจจุบันเท่านั้น (Brown et al., 2013) ความต้องการข้อมูลจำนวนมาก สำหรับการฝึกสอน Neural Network โดยเฉพาะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหลายประเภทและมีปัจจัยขับเคลื่อนจำนวนมาก (Tayyebi & Pijanowski, 2014) ลักษณะ "black box" ของ Neural Network ที่ทำให้ยากต่อการตีความว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลอย่างไรต่อผลการทำนาย (Müller & Munroe, 2014)

แนวโน้มและทิศทางการวิจัย

LCM เป็นหนึ่งในแพลตฟอร์มที่ได้รับความนิยมในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเมือง โดยเฉพาะในช่วงปี 2015-2024 ตัวอย่างงานวิจัยที่ประสบความสำเร็จในการนำ LCM มาใช้ ได้แก่ Benkhelif et al. (2024) ในเมือง Djelfa ประเทศแอลจีเรีย พบว่าคาดการณ์การขยายตัวของเมืองใน 3 ช่วงเวลา (2030, 2040, 2050) พบอัตราการขยายตัวลดลงจาก 3.05% เป็น 1.85% ต่อปี Losiri et al. (2016) ศึกษาการแผ่ขยายของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยพบว่าแบบจำลองมีความแม่นยำมากกว่า 90% คาดการณ์พื้นที่เมืองเพิ่มเป็น 48.75% ในปี 2035 และในทวีปแอฟริกาโดย Leta et al. (2021) ในเมือง Hawassa ประเทศเอธิโอเปีย สามารถให้ผลการคาดการณ์ ที่ค่า Kappa มากกว่า 80% ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานสากล

ปัจจัยความสำเร็จของ LCM 1) ศักยภาพในการผนวกหลายเทคนิค เช่น Neural Network, CA-Markov และ Logistic Regression 2) ความยืดหยุ่นในการรับปัจจัยขับเคลื่อนที่หลากหลาย 3) ศักยภาพในการคาดการณ์ระยะยาว และ 4) ส่วนต่อประสานผู้ใช้ที่เข้าถึงได้ง่ายผ่านซอฟต์แวร์ TerrSet

ทฤษฎีและแนวคิดการสร้างฉากทัศน์

ความหมายและความสำคัญของฉากทัศน์

ฉากทัศน์ (Scenario) หมายถึง การพรรณนาถึงสถานการณ์ในอนาคตที่มีความเป็นไปได้ โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานและเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นอย่างเฉพาะเจาะจง (Joseph Alcamo, 2008) ฉากทัศน์มีความแตกต่างจากการพยากรณ์ (Prediction) หรือการคาดการณ์ (Forecast) ที่มุ่งระบุว่าอนาคตจะเป็นอย่างไร แต่ฉากทัศน์เป็นเครื่องมือในการสำรวจว่าอนาคต "อาจจะเป็น" อย่างไร ภายใต้สมมติฐานและทางเลือกการพัฒนาที่แตกต่างกัน (van Vliet et al., 2019) ความแตกต่างหลักระหว่างฉากทัศน์กับการพยากรณ์คือ ฉากทัศน์ไม่ได้มุ่งแสวงหาคำตอบเดียวที่ "ถูกต้อง" แต่สร้างทางเลือกหลายทางที่ "เป็นไปได้" เพื่อให้ผู้วางแผนสามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์และเลือกทิศทางการพัฒนาที่เหมาะสม

ในบริบทของการวางแผนการใช้ที่ดิน ฉากทัศน์มีบทบาทสำคัญในการช่วยให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders) เข้าใจถึงผลกระทบของนโยบายและการตัดสินใจที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต (Verburg et al., 2004) การจัดทำฉากทัศน์ช่วยให้สามารถประเมินความไม่แน่นอน (Uncertainty) ที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ อาทิ การปรับเปลี่ยนนโยบาย การขยายตัวทางเศรษฐกิจ และการแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ ฉากทัศน์ยังเป็นเครื่องมือในการสื่อสารระหว่างนักวิจัย ผู้กำหนดนโยบาย และภาคประชาชน ทำให้สามารถหารือเกี่ยวกับทิศทางการพัฒนาและข้อแลกเปลี่ยน (Trade-offs) ระหว่างเป้าหมายที่แตกต่างกันได้อย่างเป็นระบบ (Swart et al., 2004)

การจำแนกประเภทของฉากทัศน์

ฉากทัศน์สามารถจำแนกได้หลายรูปแบบตามวัตถุประสงค์และวิธีการสร้าง โดยการจำแนกที่สำคัญที่สุดคือการแบ่งตามทิศทางการสร้าง ได้แก่ ฉากทัศน์เชิงสำรวจ (Exploratory Scenarios) และฉากทัศน์เชิงบรรทัดฐาน (Normative Scenarios) (Rotmans et al., 2000)

ฉากทัศน์เชิงสำรวจ เป็นฉากทัศน์ที่เริ่มต้นจากสภาพปัจจุบันและคาดการณ์ไปสู่อนาคต โดยพิจารณาว่าหากแนวโน้มปัจจุบันดำเนินต่อไป หรือหากมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยขับเคลื่อนสำคัญ เช่น นโยบาย เทคโนโลยี หรือพฤติกรรมของผู้คน สถานการณ์ในอนาคตจะเป็น

อย่างไร ฉากทัศน์ประเภทนี้มักใช้ในการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและเตรียมความพร้อมรับมือกับการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น ฉากทัศน์ BAU (Business As Usual) ที่สมมติว่าการพัฒนาจะดำเนินไปตามแนวโน้มปัจจุบันโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงนโยบายหรือการแทรกแซงใหม่ (Kok et al., 2007)

ฉากทัศน์เชิงบรรทัดฐาน (Normative Scenarios) เป็นฉากทัศน์ที่เริ่มต้นจากการกำหนดเป้าหมายหรือวิสัยทัศน์ที่ต้องการในอนาคต แล้วย้อนกลับมาพิจารณาว่าต้องมีการดำเนินการอย่างไรในปัจจุบันจึงจะบรรลุเป้าหมายนั้น (Backcasting) ฉากทัศน์ประเภทนี้มักใช้ในการวางแผนเชิงนโยบายเพื่อให้บรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ชัดเจน เช่น การพัฒนาอย่างยั่งยืน การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ หรือการพัฒนาเศรษฐกิจในทิศทางที่กำหนด (van Vliet et al., 2019)

นอกจากนี้ ฉากทัศน์ยังสามารถจำแนกตามขอบเขตเชิงพื้นที่และระยะเวลา ได้แก่ ฉากทัศน์ระดับโลก (Global Scenarios) ฉากทัศน์ระดับภูมิภาค (Regional Scenarios) และฉากทัศน์ระดับท้องถิ่น (Local Scenarios) ซึ่งแต่ละระดับมีความละเอียดและปัจจัยที่พิจารณาแตกต่างกัน สำหรับการวางแผนการใช้ที่ดินระดับจังหวัดหรือท้องถิ่น มักใช้ฉากทัศน์ระดับท้องถิ่นที่มีความละเอียดสูงและสามารถสะท้อนบริบทเฉพาะพื้นที่ได้ดีกว่า (Verburg et al., 2004)

หลักการและระเบียบวิธีการสร้างฉากทัศน์

การสร้างฉากทัศน์มีหลายแนวทาง โดยแนวทางที่นิยมใช้ในการวางแผนการใช้ที่ดินคือ แนวทาง Story and Simulation ซึ่งผนวกระหว่างการบรรยายเชิงเรื่องราว (Narrative) กับการจำลองเชิงปริมาณ (Quantitative Modeling) (Joseph Alcamo, 2008) ในแนวทางนี้ ฉากทัศน์เริ่มต้นจากการสร้างเรื่องราวที่บรรยายถึงอนาคตที่เป็นไปได้ โดยกำหนดสมมติฐานเกี่ยวกับปัจจัยขับเคลื่อนสำคัญ เช่น การเติบโตของประชากร การพัฒนาเศรษฐกิจ นโยบายภาครัฐ และการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี จากนั้นจึงนำสมมติฐานเหล่านี้มาจำลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณผลลัพธ์เชิงปริมาณ

แนวทางการมีส่วนร่วม (Participatory Approach) เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีความนิยม โดยเฉพาะในบริบทของการวางแผนระดับท้องถิ่น แนวทางนี้เน้นการเปิดโอกาสให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่างๆ เข้ามามีส่วนร่วมในการจัดทำฉากทัศน์ ตั้งแต่การกำหนดประเด็นสำคัญ การระบุตัวขับเคลื่อน การตั้งข้อสมมติ ไปจนถึงการประเมินผลลัพธ์ (Kok et al., 2007) จุดเด่นของแนวทางนี้คือ ฉากทัศน์ที่ได้มีความสอดคล้องกับบริบทท้องถิ่น สะท้อนมุมมองและความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่หลากหลาย และมีโอกาสนำไปปฏิบัติจริงได้มากกว่า

แนวทางที่อาศัยความเชี่ยวชาญ (Expert-based Approach) ใช้องค์ความรู้และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในการจัดทำฉกทศน์ แนวทางนี้มีจุดเด่นในด้านความรวดเร็วและความเป็นระบบ แต่อาจขาดมุมมองที่หลากหลายและการยอมรับจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย การเลือกใช้แนวทางใดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ทรัพยากรที่มีอยู่ และบริบทของพื้นที่ศึกษา (Swart et al., 2004)

ขั้นตอนทั่วไปในการสร้างฉกทศน์ ประกอบด้วย 1) การกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของฉกทศน์ 2) การระบุปัจจัยขับเคลื่อนสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง 3) การกำหนดสมมติฐานและทางเลือกการพัฒนาที่แตกต่างกัน 4) การสร้างเรื่องราวหรือบรรยายฉกทศน์ 5) การจำลองเชิงปริมาณด้วยแบบจำลอง 6) การประเมินผลลัพธ์และผลกระทบของแต่ละฉกทศน์ 7) การวิเคราะห์และเปรียบเทียบฉกทศน์ต่างๆ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ (J. Alcamo, 2008)

การประยุกต์ใช้ฉกทศน์ในการวางแผนการใช้ที่ดิน

ฉกทศน์ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการใช้ที่ดินอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในการประเมินผลกระทบของนโยบายและแผนพัฒนาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต Verburg et al. (2006) กรอบแนวคิดฉกทศน์การใช้ที่ดินระดับภูมิภาค ผลการศึกษาพบว่า ฉกทศน์ช่วยให้ผู้กำหนดนโยบายมองเห็นภาพรวมของผลกระทบและปรับแผนพัฒนาให้เหมาะสม การศึกษาของ van Vliet et al. (2019) นำฉกทศน์มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อแลกเปลี่ยนระหว่างการแผ่ขยายของเมืองกับการรักษาพื้นที่เกษตรกรรมในภูมิภาคเอเชีย โดยพัฒนา 4 ฉกทศน์ พบว่าทิศทางการพัฒนามีผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหาร และการวางแผนระดับท้องถิ่น ฉกทศน์ช่วยบูรณาการเป้าหมายการพัฒนาที่หลากหลายได้อย่างเป็นระบบ (Kok et al., 2007) ในบริบทของการวางแผนระดับท้องถิ่น การนำฉกทศน์มาใช้ช่วยให้สามารถบูรณาการเป้าหมายการพัฒนาที่หลากหลายได้อย่างเป็นระบบ เช่น การพัฒนาเศรษฐกิจ การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการรักษาคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยแต่ละฉกทศน์สามารถแสดงให้เห็นผลลัพธ์ที่ต่างกันเมื่อนำน้ำหนักความสำคัญกับเป้าหมายต่างๆ ไม่เท่ากัน ทำให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียสามารถเลือกทิศทางการพัฒนาที่สมดุลและเหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ได้

อย่างไรก็ตาม การใช้ฉกทศน์มีข้อจำกัดบางประการที่ควรตระหนัก 1) ความถูกต้องขึ้นอยู่กับสมมติฐาน ความถูกต้องของฉกทศน์ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของสมมติฐานและแบบจำลองที่ใช้ หากสมมติฐานหรือแบบจำลองไม่สะท้อนความเป็นจริง ผลลัพธ์ที่ได้อาจทำให้เกิดความเข้าใจผิด 2) ไม่สามารถครอบคลุมทุกทางเลือก ฉกทศน์ไม่สามารถครอบคลุมทางเลือก

ทั้งหมดที่เป็นไปได้ จึงต้องเลือกจากทัศนที่สำคัญและเป็นตัวแทนของทางเลือกหลักๆ 3) การสื่อสารต้องระมัดระวัง การตีความและการสื่อสารผลลัพธ์ของฉากทัศน์ต้องทำอย่างระมัดระวัง เพื่อไม่ให้เกิดความเข้าใจผิดว่าเป็นการพยากรณ์อนาคตที่แน่นอน แต่เป็นเพียงทางเลือกที่เป็นไปได้ภายใต้สมมติฐานที่กำหนด(J. Alcamo, 2008)

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ

การทบทวนวรรณกรรมมีความครอบคลุมและเป็นระบบ ผู้วิจัยได้ดำเนินการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (Systematic Literature Review) เกี่ยวกับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินเมือง โดยมุ่งเน้นการระบุปัจจัยขับเคลื่อนและรูปแบบฉากทัศน์ที่ถูกใช้ในงานวิจัยทั่วโลก การทบทวนนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการคัดเลือกปัจจัยขับเคลื่อน 29 ตัวแปรและออกแบบ 4 ฉากทัศน์สำหรับการศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์ โดยผู้วิจัยได้ตีพิมพ์ผลการศึกษานายละเอียดย

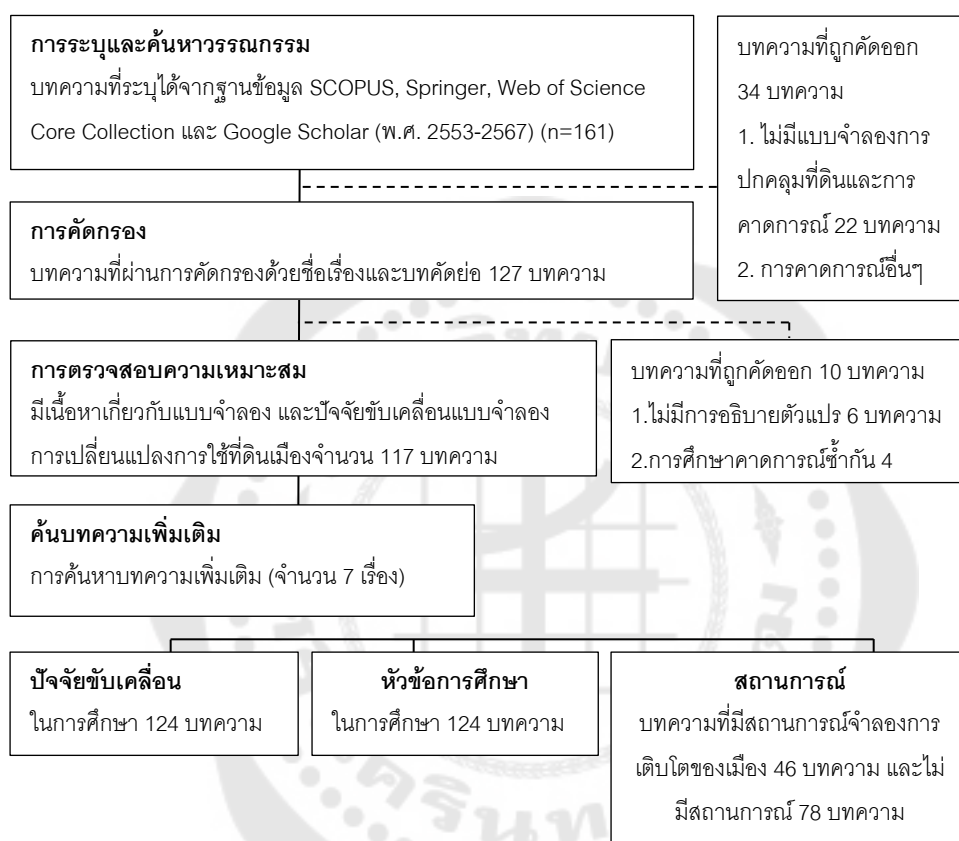
วิธีการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบดำเนินการตามแนวทาง PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่ได้รับการยอมรับในชุมชนวิชาการ (Xiao & Watson, 2019) โดยมีวัตถุประสงค์สามประการ คือ 1) เพื่อจำแนกประเภทและวิเคราะห์ความถี่ของปัจจัยขับเคลื่อนที่สำคัญในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินเมือง 2) เพื่อวิเคราะห์รูปแบบและประเภทของฉากทัศน์ที่ใช้ และ 3) เพื่อศึกษาแนวโน้มและทิศทางการพัฒนาของหัวข้อการศึกษา

กระบวนการค้นหาวรรณกรรม การค้นหาวรรณกรรมดำเนินการใน 4 ฐานข้อมูลหลัก ได้แก่ 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") จำกัดช่วงเวลาตั้งแต่ ค.ศ. 2010-2024 คัดเลือกเฉพาะบทความที่ผ่านการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ บทความทบทวนวรรณกรรม และบทหนังสือจากสำนักพิมพ์ระดับนานาชาติ เกณฑ์การคัดเข้า (inclusion criteria) ได้แก่ 1) บทความที่มีแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินเมือง 2) ระบุปัจจัยขับเคลื่อนอย่างชัดเจน และ 3) สามารถเข้าถึงฉบับเต็มได้ เกณฑ์การคัดออก (exclusion criteria) ได้แก่ 1) บทความที่ไม่ระบุวิธีการอย่างชัดเจน 2) บทความที่เป็นเพียงความคิดเห็นหรือบทความสั้น 3) บทความซ้ำกัน และ 4) บทความที่ไม่เกี่ยวข้องกับการศึกษา ดังภาพประกอบ 16

ผลการค้นหาและคัดกรอง จากการค้นหาเบื้องต้นได้บทความทั้งหมด 161 เรื่อง ผ่านกระบวนการคัดกรองตามเกณฑ์ PRISMA 2020 ดังภาพประกอบ 16 โดยคัดออกบทความที่ซ้ำกัน

12 เรื่อง คัดออกตามเกณฑ์หัวข้อและบทคัดย่อ 17 เรื่อง และคัดออกหลังจากอ่านฉบับเต็ม 8 เรื่อง คงเหลือบทความที่ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด 124 เรื่อง สำหรับการวิเคราะห์ บทความเหล่านี้ครอบคลุม การศึกษาใน 39 ประเทศทั่วโลก โดยประเทศจีนมีจำนวนการศึกษามากที่สุด (28 เรื่อง) รองลงมา คือสหรัฐอเมริกา (15 เรื่อง) และอินเดีย (12 เรื่อง)



ภาพประกอบ 16 กระบวนการค้นหาและประเมินวรรณกรรมการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้
ที่ดินเมือง

การสกัดและจำแนกข้อมูล การสกัดข้อมูลดำเนินการโดยการวิเคราะห์เนื้อหา บทความทั้งหมด 124 เรื่อง โดยใช้แบบฟอร์มการสกัดข้อมูลที่ออกแบบเฉพาะตามวัตถุประสงค์ การวิจัย ข้อมูลที่สกัดประกอบด้วย 1) ข้อมูลเชิงบรรยาย เช่น ชื่อผู้แต่ง ปีที่เผยแพร่ ประเทศที่ ศึกษา 2) ข้อมูลเชิงวิธีการ เช่น แบบจำลองที่ใช้ ระยะเวลาที่ศึกษา 3) ปัจจัยขับเคลื่อนที่ใช้ 4) รูปแบบฉากทัศน์ และ 5) วัตถุประสงค์การศึกษา การจำแนกข้อมูลใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหาเชิง ปริมาณ (quantitative content analysis) โดยประยุกต์ใช้แนวทางการวิเคราะห์เนื้อหาแบบมี

ทิศทาง (directed content analysis) (Hsieh & Shannon, 2005) ร่วมกับวิธีการจำแนกหัตถ์แบบ นิรนัยและอุปนัย เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการจำแนกข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่อแสดงแนวโน้มใน หมวดหมู่ของปัจจัยขับเคลื่อน หัวข้อการวิจัย และการประยุกต์ใช้จากทัศน์ การวิเคราะห์ความถี่ ดำเนินการเพื่อระบุปัจจัยขับเคลื่อนที่ใช้อย่างน้อยที่สุดและรูปแบบจากทัศน์ที่ได้รับความนิยม การ วิเคราะห์เปรียบเทียบดำเนินการระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนที่ระบุในการศึกษาเชิงประจักษ์และที่ใช้ ในการศึกษาแบบจำลอง เพื่อระบุช่องว่างและโอกาสในการวิจัย

ปัจจัยขับเคลื่อนในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินเมือง

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการขยายตัวของเมืองเป็นกระบวนการที่มีความ ซับซ้อนและเป็นพลวัตสูง ซึ่งเกิดจากปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยหลากหลายประเภทที่ทำงานร่วมกันใน ระดับเชิงพื้นที่และเวลาที่แตกต่างกัน (Verburg et al., 2019) การทำความเข้าใจเชิงระบบเกี่ยวกับ ลักษณะและพฤติกรรมของปัจจัยเหล่านี้ถือเป็นรากฐานสำคัญสำหรับการพัฒนาแบบจำลองที่มี ความแม่นยำและการวางแผนการใช้ที่ดินอย่างยั่งยืน (Brown et al., 2014; Seto et al., 2011)

การจำแนกปัจจัยขับเคลื่อน จากการวิเคราะห์บทความทั้งหมด 124 เรื่อง พบปัจจัย ขับเคลื่อนที่แตกต่างกันทั้งสิ้น 135 ปัจจัย จากรวม 702 ครั้งที่ถูกใช้ โดยมีจำนวนเฉลี่ย 5.6 ปัจจัย ต่อบทความ ปัจจัยเหล่านี้สามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ 43 ปัจจัย คิดเป็น 31.85% 2) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น 55 ปัจจัย คิดเป็น 40.74% 3) ปัจจัย ทางสังคม-เศรษฐกิจ 23 ปัจจัย คิดเป็น 17.04% และ 4) ปัจจัยอื่นๆ 14 ปัจจัย คิดเป็น 10.37% ซึ่ง ครอบคลุมปัจจัยขับเคลื่อนหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเมือง

1. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ กลุ่มนี้ประกอบด้วย 43 ปัจจัย คิดเป็น 31.85% ของปัจจัยทั้งหมด โดยปัจจัยที่ถูกใช้บ่อยที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ 1) ความลาดชัน ถูกใช้ใน 98 เรื่อง คิดเป็น 79.0% ของบทความทั้งหมด ความลาดชันเป็นปัจจัยจำกัดสำคัญที่สุดต่อการพัฒนา เมือง โดยพื้นที่ที่มีความชันมากกว่า 15 องศาจะลดโอกาสการพัฒนาถึง 85% (Pourmohammadi et al., 2020) 2) ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ถูกใช้ใน 67 เรื่อง คิดเป็น 54.0% แหล่งน้ำมีอิทธิพลต่อการ ตั้งถิ่นฐานและการพัฒนาเมือง โดยพื้นที่ในรัศมี 500 เมตรจากแหล่งน้ำมีโอกาสพัฒนาสูงกว่า 3.2 เท่า (Samie et al., 2017) 3) ระดับความสูง ถูกใช้ใน 56 เรื่อง คิดเป็น 45.2% 4) ประเภทดิน ถูก ใช้ใน 43 เรื่อง คิดเป็น 34.7% 5) ปริมาณฝน ถูกใช้ใน 28 เรื่อง คิดเป็น 22.6% 6) อุณหภูมิ ถูกใช้ ใน 24 เรื่อง คิดเป็น 19.4% 7) การใช้ที่ดินเดิม ถูกใช้ใน 87 เรื่อง คิดเป็น 70.2% ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ สำคัญของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง 8) ดัชนีพืชพรรณ NDVI (Normalized Difference

Vegetation Index) ถูกใช้ใน 34 เรื่อง คิดเป็น 27.4% 9) ความเหมาะสมของดิน ถูกใช้ใน 19 เรื่อง คิดเป็น 15.3% และ 10) ความชื้น ถูกใช้ใน 15 เรื่อง คิดเป็น 12.1%

2. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีจำนวนมากที่สุด ประกอบด้วย 55 ปัจจัย คิดเป็น 40.74% ของปัจจัยทั้งหมด สะท้อนความสำคัญของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้นต่อการขยายตัวของเมือง (Achmad et al., 2015) ปัจจัยที่ถูกใช้บ่อยที่สุด 10 อันดับแรก ได้แก่ 1) ระยะห่างจากถนนหลัก ถูกใช้ใน 89 เรื่อง คิดเป็น 71.8% เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อการขยายตัวของเมือง โดยพื้นที่ในรัศมี 1 กิโลเมตรจากถนนหลักมีโอกาสพัฒนาสูงกว่า 5.7 เท่า (Pijanowski et al., 2002) 2) ระยะห่างจากพื้นที่เมืองเดิม ถูกใช้ใน 76 เรื่อง คิดเป็น 61.3% การขยายตัวของเมืองมักเกิดขึ้นแบบต่อเนื่องจากพื้นที่เมืองเดิม 3) ความหนาแน่นของถนน ถูกใช้ใน 54 เรื่อง คิดเป็น 43.5% 4) ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ ถูกใช้ใน 47 เรื่อง คิดเป็น 37.9% 5) ระยะห่างจากสถานีขนส่ง/สนามบิน ถูกใช้ใน 31 เรื่อง คิดเป็น 25.0% 6) ระยะห่างจากโรงเรียน ถูกใช้ใน 28 เรื่อง คิดเป็น 22.6% 7) ระยะห่างจากโรงพยาบาล ถูกใช้ใน 24 เรื่อง คิดเป็น 19.4% 8) ระยะห่างจากตลาด ถูกใช้ใน 22 เรื่อง คิดเป็น 17.7% 9) ความหนาแน่นของอาคาร ถูกใช้ใน 19 เรื่อง คิดเป็น 15.3% และ 10) ระยะห่างจากเขต ถูกใช้ใน 17 เรื่อง คิดเป็น 13.7%

3. ปัจจัยทางสังคม-เศรษฐกิจ กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ถูกใช้น้อยที่สุด ประกอบด้วย 23 ปัจจัย คิดเป็น 17.04% ของปัจจัยทั้งหมด ความจำกัดนี้เกิดจากความพร้อมของข้อมูล ความซับซ้อนในการวัด และปัญหาความเป็นส่วนตัว (Gorelick et al., 2017) ปัจจัยที่ถูกใช้บ่อยที่สุด ได้แก่ 1) ความหนาแน่นประชากร ถูกใช้ใน 42 เรื่อง คิดเป็น 33.9% เป็นตัวบ่งชี้สำคัญของความต้องการที่ดินเพื่อการพัฒนา (Carruthers, 2003) 2) ราคาที่ดิน ถูกใช้ใน 19 เรื่อง คิดเป็น 15.3% 3) รายได้ต่อหัว/GDP ถูกใช้ใน 14 เรื่อง คิดเป็น 11.3% 4) ระดับการศึกษา ถูกใช้ใน 8 เรื่อง คิดเป็น 6.5% และ 5) อาชีพ ถูกใช้ใน 6 เรื่อง คิดเป็น 4.8%

การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ จากการวิเคราะห์ตัวขับเคลื่อนทั้งสามกลุ่ม พบว่า ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้นได้รับความสนใจมากที่สุด (40.74%) ในขณะที่ปัจจัยทางสังคม-เศรษฐกิจถูกนำมาใช้น้อยที่สุด (17.04%) ความแตกต่างนี้มีสาเหตุจาก 1) ความพร้อมของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและแพลตฟอร์มเปิดที่ทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลด้านโครงสร้างพื้นฐานได้สะดวก ในขณะที่ข้อมูลทางสังคม-เศรษฐกิจมีข้อจำกัด (Gorelick et al., 2017) 2) ความสามารถในการวัดเชิงปริมาณ ปัจจัยกายภาพสามารถวัดค่าได้โดยตรง แต่ปัจจัยทางสังคม

มักมีความซับซ้อนและต้องอาศัยการตีความ และ 3) ความถูกต้องของข้อมูล ข้อมูลจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความถูกต้องสูง ในขณะที่ข้อมูลทางสังคมอาจมีความคลาดเคลื่อน

ความเชื่อมโยงกับการศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์ จากผลการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยได้คัดเลือกปัจจัยขับเคลื่อนทั้งหมด 29 ตัวแปร สำหรับการศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์ โดยครอบคลุมทั้ง 3 กลุ่มปัจจัย และสัดส่วนการคัดเลือกสอดคล้องกับแนวโน้มจากการทบทวนวรรณกรรม ดังนี้

กลุ่มสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น จำนวน 12 ตัวแปร คิดเป็น 41.4% ได้แก่ 1) ระยะห่างจากถนนหลัก 2) ระยะห่างจากพื้นที่เมือง 3) ความหนาแน่นของถนน 4) ระยะห่างจากศูนย์กลางเมือง 5) ระยะห่างจากสนามบิน 6) ระยะห่างจากสถานีรถไฟหลัก 7) ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว 8) ระยะห่างจากโรงแรม 9) ระยะห่างจากโรงงาน 10) ระยะห่างจากสถานีรถไฟ 11) ระยะห่างจากโรงพยาบาล และ 12) ทิศทาง

กลุ่มสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ จำนวน 12 ตัวแปร คิดเป็น 41.4% ได้แก่ 1) ความลาดชัน 2) ระดับความสูง 3) ระยะห่างจากแหล่งน้ำ 4) ประเภทดิน 5) อุณหภูมิ 6) ปริมาณฝน 7) การใช้ที่ดินเดิม 8) NDVI 9) ความชื้น 10) พื้นที่เสี่ยงภัย 11) ความเหมาะสมของดิน และ 12) ระยะห่างจากพื้นที่อนุรักษ์

กลุ่มสังคม-เศรษฐกิจ จำนวน 5 ตัวแปร คิดเป็น 17.2% ได้แก่ 1) ความหนาแน่นประชากร 2) พื้นที่เกษตรกรรม 3) พื้นที่ชุมชน 4) การเข้าถึงสาธารณูปโภค และ 5) การใช้ที่ดินตามนโยบาย สัดส่วนการคัดเลือกตัวแปรนี้สอดคล้องกับแนวโน้มจากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ ซึ่งพบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้นและปัจจัยธรรมชาติถูกใช้ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน (รวมกว่า 72%) ในขณะที่ปัจจัยสังคม-เศรษฐกิจถูกใช้น้อยกว่า เนื่องจากข้อจำกัดด้านความพร้อมของข้อมูล

จากทัศนในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินเมือง

การจำลองจากทัศน เป็นเครื่องมือสำคัญในการพยากรณ์อนาคตที่อาจเป็นไปได้ในหลายรูปแบบ โดยอาศัยข้อสมมติที่แตกต่างกัน ช่วยสนับสนุนระบบเมืองที่มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับตัวได้ (Reed et al., 2013) การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบพบว่ามีเพียง 46 เรื่องจากทั้งหมด 124 เรื่อง (คิดเป็นร้อยละ 37.1) ที่มีการนำจากทัศนมาใช้ในการวิจัย แสดงให้เห็นว่าการนำจากทัศนมาประยุกต์ใช้ยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร ทั้งที่เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการสนับสนุนการตัดสินใจ สำหรับการจำแนกประเภทจากทัศน จากการวิเคราะห์บทความทั้งหมด

46 เรื่องที่มีการนำฉากทัศน์มาใช้ พบว่าสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลัก ตามวัตถุประสงค์ และแนวทางการออกแบบ ดังนี้

1. BAU พบใน 36 เรื่อง คิดเป็น 78.3% ของบทความที่มีฉากทัศน์ เป็นฉากทัศน์ พื้นฐานที่จำลองการเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มปัจจุบัน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงนโยบายหรือ ปัจจัยภายนอก ให้เป็นฉากทัศน์อ้างอิง สำหรับการเปรียบเทียบกับฉากทัศน์อื่น (Conway, 2005) ตัวอย่างเช่น Munshi et al. (2014) ใช้ BAU ในการศึกษาเมืองอาเมดาบาต ประเทศอินเดีย และ (Han et al., 2015) ใช้ในการศึกษาการขยายตัวของกรุงปักกิ่ง ประเทศจีน

2. Policy-driven Scenario พบใน 24 เรื่อง คิดเป็น 52.2% เป็นฉากทัศน์ที่ จำลองผลกระทบของนโยบายหรือแผนพัฒนา เช่น แผนผังเมือง การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน การ ควบคุมการขยายตัวของเมือง มักใช้ร่วมกับข้อจำกัดเชิงพื้นที่ และมาตรการส่งเสริม (incentives) ตัวอย่างเช่น Sakieh et al. (2015) ศึกษาฉากทัศน์การพัฒนาตามแผนผังเมืองในเมืองคาราจ ประเทศอิหร่าน และ Shoemaker et al. (2019) เปรียบเทียบฉากทัศน์นโยบายต่างๆ ในการ ควบคุมการขยายตัวของเมืองในสหรัฐอเมริกา

3. Environment-focused Scenario พบใน 18 เรื่อง คิดเป็น 39.1% เป็นฉาก ทัศน์ที่เน้นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เช่น การปกป้องพื้นที่ป่า การจัดการทรัพยากรน้ำ การลดการ ปลดปล่อยคาร์บอน มักใช้ข้อจำกัดเชิงพื้นที่สูง เพื่อปกป้องพื้นที่อนุรักษ์และพื้นที่ที่มีความสำคัญทาง นิเวศวิทยา (Lu et al., 2016) ตัวอย่างเช่น Lin et al. (2007) ศึกษาฉากทัศน์การอนุรักษ์ลุ่มน้ำใน ไต้หวัน และ Wu et al. (2015) ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อระบบนิเวศใน จีน

4. Economic-focused Scenario พบใน 15 เรื่อง คิดเป็น 32.6% เป็นฉากทัศน์ ที่เน้นการพัฒนาเศรษฐกิจ เช่น การขยายนิคมอุตสาหกรรม การพัฒนาท่องเที่ยว การพัฒนา พาณิชยกรรม โดยมุ่งเน้นการเพิ่มผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (Camacho Olmedo et al., 2015) ตัวอย่างเช่น Vermeiren et al. (2012) ศึกษาฉากทัศน์การพัฒนาเศรษฐกิจในกรุงกัมปาลา ประเทศยูกันดา และ Liu and Feng (2016) ศึกษาฉากทัศน์การพัฒนาเขตอุตสาหกรรมในเมือง หิงโป ประเทศจีน

5. Climate Change Scenario พบใน 11 เรื่อง คิดเป็น 23.9% เป็นฉากทัศน์ที่ จำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น ภัยแล้ง น้ำท่วม โดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (GCMs) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองการ เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Sekovski et al., 2015) ตัวอย่างเช่น Achmad et al. (2015) ศึกษาฉาก

ทัศนคติความปลอดภัยจากสึนามิในเมืองบันดาอาเจห์ ประเทศอินโดนีเซีย และ Peng et al. (2015) ศึกษาจากทัศนคติการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในเมืองชายฝั่งจีน

หลักการพื้นฐานของการสร้างฉากทัศน์ การวิเคราะห์วรรณกรรมแสดงให้เห็นว่าการจำลองฉากทัศน์ใน Urban LCM ได้รับการออกแบบโดยยึดหลักการสำคัญ 3 ประการของการเปลี่ยนแปลงที่ดินในเมือง คือ 1) ตำแหน่งที่ตั้ง 2) พื้นที่ และ 3) ปัจจัยขับเคลื่อน (Conway, 2005) การจัดการตำแหน่งที่ตั้ง เป็นแนวทางที่พบบ่อยที่สุด โดยใช้การยกเว้น เพื่อกำหนดพื้นที่ที่ห้ามพัฒนา หรือใช้ incentive layers เพื่อส่งเสริมการพัฒนาในพื้นที่ที่ต้องการ การจัดการปริมาณ ใช้การปรับค่า transition probability เพื่อควบคุมปริมาณการเปลี่ยนแปลง และการจัดการปัจจัยขับเคลื่อน ใช้การปรับน้ำหนักหรือเพิ่ม/ลดปัจจัยขับเคลื่อนเพื่อสะท้อนนโยบายหรือสถานการณ์ที่ต่างกัน (Dezhkam et al., 2013; Zhen et al., 2014)

ความเชื่อมโยงกับการศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์ จากผลการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยได้ออกแบบ 4 ฉากทัศน์สำหรับการศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์ โดยครอบคลุมทั้ง 4 ประเภทหลักที่พบในวรรณกรรม ได้แก่

ฉากทัศน์ที่ 1 BAU เป็นฉากทัศน์พื้นฐานที่จำลองการเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มปัจจุบัน โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนนโยบาย สอดคล้องกับที่พบใน 78.3% ของบทความที่มีฉากทัศน์ใช้เป็นฉากทัศน์อ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบกับฉากทัศน์อื่น

ฉากทัศน์ที่ 2 STD เป็นฉากทัศน์ประเภท Policy-driven CJT Economic-focused ที่เน้นการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา โดยเพิ่มน้ำหนักปัจจัยขับเคลื่อนด้านสนามกีฬาและแหล่งท่องเที่ยว สอดคล้องกับแนวทางของ Vermeiren et al. (2012) และ Liu and Feng (2016)

ฉากทัศน์ที่ 3 MICED เป็นฉากทัศน์ประเภท Policy-driven และ Economic-focused ที่เน้นการพัฒนาเป็นศูนย์กลาง MICE โดยเพิ่มน้ำหนักปัจจัยขับเคลื่อนด้านโรงแรม ศูนย์ประชุม และการคมนาคม สอดคล้องกับแนวทางของ Shoemaker et al. (2019)

ฉากทัศน์ที่ 4 SAD เป็นฉากทัศน์ประเภท Environment-focused และ Policy-driven ที่เน้นการอนุรักษ์พื้นที่เกษตรกรรมและการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยใช้ spatial constraints เพื่อปกป้องพื้นที่เกษตรคุณภาพสูง สอดคล้องกับแนวทางของ Lu et al. (2016) และ Lin et al. (2007) การออกแบบฉากทัศน์ทั้ง 4 นี้ครอบคลุมมิติต่างๆ ของการพัฒนา ตั้งแต่การเติบโตตามแนวโน้มปัจจุบัน การพัฒนาเศรษฐกิจเฉพาะด้าน ไปจนถึงการพัฒนาอย่างยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับ

แนวทางที่พบในวรรณกรรมสากล และตอบสนองเป้าหมายการพัฒนาของจังหวัดบุรีรัมย์ที่มีความหลากหลายและต้องการความสมดุลระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ทรัพยากร

แนวโน้มและทิศทางการวิจัย

การวิเคราะห์แนวโน้มการวิจัยตลอดช่วงปี ค.ศ. 2010-2024 แสดงให้เห็นวิวัฒนาการที่น่าสนใจของการศึกษาแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินเมือง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงหลัก ตามการพัฒนาทั้งด้านเทคนิคและวิธีการ และด้านความสามารถในการเข้าถึง

1. ยุคพัฒนาแบบจำลองเริ่มต้น (ค.ศ. 2010-2014) ในช่วงนี้มีการศึกษาทั้งหมด 28 เรื่อง คิดเป็น 22.6% ของบทความทั้งหมด โดยเน้นการพัฒนาและทดสอบแบบจำลองพื้นฐาน เช่น CA-Markov (Dezhkam et al., 2013), SLEUTH (Maithani, 2011) และ CLUE-S (Vermeiren et al., 2012) ในช่วงนี้การใช้ฉากทัศน์ยังมีจำกัด พบเพียง 8 เรื่อง คิดเป็น 28.6% ส่วนใหญ่เน้นการพยากรณ์แบบเดียว (single prediction) มากกว่าการเปรียบเทียบหลายฉากทัศน์ ปัจจัยขับเคลื่อนที่ใช้เฉลี่ย 4.2 ตัวแปรต่อบทความ โดยส่วนใหญ่เป็นปัจจัยพื้นฐาน เช่น ความลาดชัน ระยะห่างจากถนน และความหนาแน่นประชากร

2. ยุคการบูรณาการและขยายขอบเขต (ค.ศ. 2015-2019) ในช่วงนี้มีการศึกษาเพิ่มขึ้นเป็น 52 เรื่อง คิดเป็น 41.9% แสดงการเติบโตอย่างรวดเร็ว มีการพัฒนาแบบจำลองแบบบูรณาการที่ผสมผสานหลายเทคนิค เช่น Neural Network และ CA-Markov (Peng et al., 2015), Logistic Regression และ Cellular Automata (Sakieh et al., 2015) และ Agent-based Model และ GIS (Samie et al., 2017) การใช้ฉากทัศน์เพิ่มขึ้นเป็น 22 เรื่อง คิดเป็น 42.3% ของบทความ ในช่วงนี้ โดยเริ่มมีการเปรียบเทียบหลายฉากทัศน์ เช่น BAU vs Policy vs Environment (Lu et al., 2016; Shoemaker et al., 2019) ปัจจัยขับเคลื่อนที่ใช้เพิ่มขึ้นเป็นเฉลี่ย 6.1 ตัวแปรต่อบทความ โดยเริ่มรวมปัจจัยทางสังคม-เศรษฐกิจมากขึ้น

3. ยุคการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง (ค.ศ. 2020-2024) ในช่วงนี้มีการศึกษา 44 เรื่อง คิดเป็น 35.5% มีการนำเทคโนโลยีขั้นสูงมาใช้ เช่น Machine Learning (Random Forest และ Deep Learning) Big Data Analytics และ Cloud Computing Platform (Google Earth Engine) (Gorelick et al., 2017) การใช้ฉากทัศน์สูงขึ้นเป็น 16 เรื่อง คิดเป็น 36.4% โดยมีการพัฒนาฉากทัศน์ที่ซับซ้อนขึ้น เช่น Multi-objective Optimization Scenarios และ Trade-offs Analysis (Pourmohammadi et al., 2020) ปัจจัยขับเคลื่อนที่ใช้เพิ่มขึ้นเป็นเฉลี่ย 7.3 ตัวแปรต่อบทความ โดยมีการรวมปัจจัยใหม่ เช่น Social Media Data, Night-time Light Data และ Mobile Phone Data

การกระจายตัวตามสาขาวิชา เมื่อจำแนกตามสาขาวิชา พบว่าวารสารด้าน สิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนมีสัดส่วนสูงสุด 31 บทความ (25.0%) รองลงมาคือการวางผังและการ ใช้ที่ดิน 25 บทความ (20.2%) ภูมิสารสนเทศและการรับรู้จากระยะไกล 14 บทความ (11.3%) ภูมิศาสตร์ 12 บทความ (9.7%) และอื่นๆ 42 บทความ (33.8%) การกระจายตัวไปยังสาขาวิชาที่ หลากหลายนี้สะท้อนความซับซ้อนและความเชื่อมโยงข้ามสาขาของประเด็นการเปลี่ยนแปลงการ ใช้ที่ดินในเมือง ซึ่งต้องอาศัยความรู้และเครื่องมือจากหลายสาขาวิชา การศึกษาตามหัวข้อ

การวิเคราะห์หัวข้อการศึกษาพบว่าสามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก 1) การ คัดการณ์และการจำลองการขยายตัวของเมือง จำนวน 61 บทความ (49.2%) เป็นกลุ่มการศึกษา ที่มีจำนวนมากที่สุด แบ่งเป็นการคาดการณ์ระยะสั้น (5-10 ปี) 12 บทความ การคาดการณ์ระยะ ยาว (2030-2100) 15 บทความ การคาดการณ์การขยายตัวของเมืองเฉพาะพื้นที่ 22 บทความ และการศึกษาจากทัศนอนาคต 12 บทความ 2) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและความ ยั่งยืน จำนวน 42 บทความ (33.9%) และ 3) การพัฒนาและเปรียบเทียบแบบจำลอง จำนวน 21 บทความ (16.9%)

ช่องว่างการวิจัยและความเชื่อมโยงกับการศึกษานี้

จากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ พบช่องว่างการวิจัยที่สำคัญหลาย ประการ ซึ่งการศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์สามารถตอบช่องว่างเหล่านี้ได้อย่างมีนัยสำคัญ

1. การขาดการศึกษาในบริบทเมืองรอง (Secondary Cities) การทบทวน วรรณกรรมพบว่าการศึกษาส่วนใหญ่ (82 เรื่อง คิดเป็น 66.1%) มุ่งเน้นไปที่เมืองใหญ่และเมือง หลวง เช่น กรุงเทพฯ ปักกิ่ง นิวเดลี กัมปาลา ในขณะที่เมืองรองที่กำลังขยายตัวอย่างรวดเร็วได้รับ ความสนใจน้อยกว่า (42 เรื่อง คิดเป็น 33.9%) ทั้งที่เมืองรองมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาระดับ ภูมิภาคและมักมีความท้าทายที่แตกต่างจากเมืองใหญ่ (Cartwright et al., 2018) การศึกษาใน จังหวัดบุรีรัมย์ซึ่งเป็นเมืองรองที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็วจากการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา จึง ตอบช่องว่างนี้โดยตรง

2. การขาดการพิจารณาเป้าหมายการพัฒนาหลายมิติอย่างเป็นระบบจากการ ทบทวนพบว่าจากทัศนส่วนใหญ่ (34 จาก 46 เรื่อง คิดเป็นร้อยละ 73.9) เน้นเพียงมิติใดมิติหนึ่ง เช่น การพัฒนาเศรษฐกิจเพียงด้านเดียว หรือการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเพียงด้านเดียว ไม่สะท้อน ความซับซ้อนของการตัดสินใจที่ต้องสร้างความสมดุลระหว่างวัตถุประสงค์หลายประการ (Pradhan, 2017) มีเพียง 12 เรื่อง (ร้อยละ 26.1) เท่านั้นที่พยายามพัฒนาจากทัศนแบบบูรณา การหลายมิติ การศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์เติมเต็มช่องว่างนี้ด้วยการออกแบบ 4 จากทัศนที่

ครอบคลุมทั้งมิติเศรษฐกิจ (Sports Tourism และ MICE City) มิติสิ่งแวดล้อม (Sustainable Agriculture) และการเติบโตตามแนวโน้มปัจจุบัน (BAU) ซึ่งสะท้อนเป้าหมายการพัฒนาของจังหวัดที่หลากหลายตามแผนพัฒนาจังหวัดและแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินระยะ 10 ปี (พ.ศ. 2564-2574)

3. การขาดการวิเคราะห์ Trade-offs ระหว่างฉากทัศน์ แม้ว่าการเปรียบเทียบหลายฉากทัศน์จะเริ่มได้รับความนิยมมากขึ้น แต่มีเพียง 8 เรื่อง (17.4% ของบทความที่มีฉากทัศน์) ที่มีการวิเคราะห์ trade-offs อย่างเป็นระบบเพื่อแสดงความสมดุลระหว่างผลประโยชน์และผลเสียของแต่ละฉากทัศน์ (Shoemaker et al., 2019) การศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์ตอบช่องว่างนี้โดยการพัฒนา Trade-offs Matrix ที่เปรียบเทียบผลกระทบของฉากทัศน์ทั้ง 4 ต่อพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่เมือง พื้นที่ป่าไม้ และการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาต่างๆ

4. การขาดความสมดุลในการใช้ปัจจัยขับเคลื่อน การทบทวนพบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้นได้รับความนิยมสูงสุด (40.74%) ในขณะที่ปัจจัยทางสังคม-เศรษฐกิจถูกใช้น้อยที่สุด (17.04%) ความไม่สมดุลนี้เกิดจากข้อจำกัดด้านข้อมูล แต่ส่งผลให้แบบจำลองไม่สามารถจับความซับซ้อนของกระบวนการทางสังคมได้ (Cartwright et al., 2018) การศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์พยายามลดช่องว่างนี้โดยการรวมปัจจัยทั้ง 3 กลุ่มอย่างสมดุล ได้แก่ สิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น 12 ตัวแปร (41.4%) สิ่งแวดล้อมธรรมชาติ 12 ตัวแปร (41.4%) และสังคม-เศรษฐกิจ 5 ตัวแปร (17.2%)

5. การขาดการศึกษาในบริบทเฉพาะของประเทศกำลังพัฒนาในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แม้ว่าจะมีการศึกษาในเอเชียเพิ่มขึ้น แต่ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่จีนและอินเดีย (40 จาก 51 เรื่องในเอเชีย คิดเป็น 78.4%) ในขณะที่ประเทศในอาเซียนได้รับความนิยมน้อยกว่า (11 เรื่อง คิดเป็น 21.6%) ทั้งที่มีบริบทการพัฒนาที่แตกต่าง เช่น ความสำคัญของการเกษตร ความหลากหลายทางวัฒนธรรม และรูปแบบการพัฒนาที่เน้นการท่องเที่ยว การศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์ซึ่งเป็นตัวแทนของเมืองรองในประเทศไทยที่กำลังเปลี่ยนผ่านจากเศรษฐกิจเกษตรกรรมสู่เศรษฐกิจบริการและการท่องเที่ยว จึงตอบช่องว่างนี้และให้ความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับบริบทที่คล้ายคลึงกันในภูมิภาคได้

การบูรณาการความรู้จากการทบทวนวรรณกรรมสู่การออกแบบการวิจัย ความรู้ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์ในหลายด้าน 1) การคัดเลือกปัจจัยขับเคลื่อน 29 ตัวแปร โดยอิงจากความถี่การใช้และความสำคัญที่พบในวรรณกรรม เช่น ระยะห่างจากถนนหลัก (ใช้ใน 71.8% ของงานวิจัย) ความลาดชัน (79.0%)

และระยะห่างจากพื้นที่เมืองเดิม (61.3%) 2) การออกแบบ 4 ฉากทัศน์ โดยครอบคลุมประเภทฉากทัศน์หลักที่พบในวรรณกรรม ได้แก่ BAU (78.3%), Policy-driven (52.2%), Economic-focused (32.6%) และ Environment-focused (39.1%) 3) การเลือกใช้แบบจำลอง LCM ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในวรรณกรรม โดยบูรณาการเทคนิค Neural Network และ CA-Markov ที่มีประสิทธิภาพสูง และ 4) การพัฒนา Trade-offs Analysis เพื่อแสดงความสมดุลระหว่างฉากทัศน์ต่างๆ ซึ่งเป็นช่องว่างที่พบในวรรณกรรม

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบจาก 124 บทความ ให้ฐานความรู้ที่แข็งแกร่งสำหรับการออกแบบและดำเนินการวิจัยในจังหวัดบุรีรัมย์ การศึกษานี้ไม่เพียงแต่ตอบช่องว่างการวิจัยที่สำคัญหลายประการ แต่ยังนำเสนอแนวทางการบูรณาการความรู้จากวรรณกรรมสากลมาประยุกต์ใช้กับบริบทเฉพาะของเมืองรองในประเทศไทยได้อย่างเหมาะสม ผลการศึกษาจะเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่สามารถนำไปใช้เป็นตัวแบบสำหรับการศึกษาในพื้นที่อื่นที่มีบริบทคล้ายคลึงกัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Aithal and Ramachandra (2020) ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับพลวัตการเติบโตของเมืองผ่านการวิเคราะห์รูปแบบเชิงพื้นที่ของภูมิทัศน์ โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง LCM ผสมกับเทคนิค Landscape Spatial Pattern Analysis ในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา เพื่อคาดการณ์การขยายตัวของเมืองและประเมินผลกระทบต่อโครงสร้างภูมิทัศน์ ผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ Landscape Metrics อาทิ Patch Density, Edge Density และ Largest Patch Index มีประสิทธิภาพในการระบุรูปแบบการขยายตัวของเมืองได้อย่างชัดเจน โดยพื้นที่ที่มีการขยายตัวแบบกระจายจะแสดงค่า Edge Density สูงและ Largest Patch Index ต่ำ ในทางตรงกันข้าม การพัฒนาแบบกระชับ (Compact Development) จะมีลักษณะตรงข้าม แบบจำลองให้ค่าความแม่นยำ 88.5% งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการผนวก LCM เข้ากับการวิเคราะห์รูปแบบภูมิทัศน์เพื่อสร้างความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับพลวัตการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่

Ansari and Golabi (2019) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำทะเลทรายโดยใช้แบบจำลอง LCM ภายใต้อุปกรณ์ GIS กรณีศึกษาพื้นที่ชุ่มน้ำ Meighan ประเทศอิหร่าน โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ระหว่างปี 1990-2015 วิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนด้วย MLP Neural Network และคาดการณ์ถึงปี 2030 ภายใต้อุปกรณ์ 3 ฉากทัศน์ ได้แก่ 1) BAU 2) Conservation (เพิ่มพื้นที่คุ้มครอง) และ 3) Agricultural Expansion (ขยายพื้นที่เกษตร) ผลการวิจัยพบว่า ฉากทัศน์ BAU จะทำให้พื้นที่ชุ่มน้ำลดลงถึง 42% ภายในปี

2030 ขณะที่ฉากทัศน์ Conservation สามารถคงพื้นที่ชุ่มน้ำไว้ได้ 78% แต่ส่งผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกร แบบจำลองมีค่าความแม่นยำ 87.3% และค่า Kappa Index 0.81 งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ LCM ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศที่เปราะบาง รวมถึงการประเมินข้อแลกเปลี่ยน (Trade-offs) ระหว่างการอนุรักษ์กับการพัฒนาเศรษฐกิจ

Lee et al. (2018) ศึกษาการจำลองและสร้างแผนที่รูปแบบการเจริญเติบโตของเมืองในประเทศกำลังพัฒนาและการประยุกต์ใช้ โดยใช้แบบจำลอง Cellular Automata ร่วมกับ MLP Neural Network วิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนการขยายตัวของเมือง 28 ตัวแปร ครอบคลุมด้านกายภาพ เศรษฐกิจ สังคม และโครงสร้างพื้นฐาน สร้าง 4 ฉากทัศน์การพัฒนา ได้แก่ 1) Uncontrolled Growth (การขยายตัวแบบอิสระ), 2) Planned Development (ตามผังเมือง), 3) Green Growth (เน้นพื้นที่สีเขียว), และ 4) Compact City (การพัฒนาแบบกระชับ) พบว่า ฉากทัศน์ Compact City ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในภาพรวม โดยลดการใช้ที่ดินเกษตร 35% เมื่อเทียบกับ Uncontrolled Growth และลดค่าใช้จ่ายโครงสร้างพื้นฐาน 28% แบบจำลองมีความแม่นยำ 91.2% และค่า Kappa Index 0.87 ดังนั้น การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการวางแผนเมืองที่มีประสิทธิภาพในประเทศกำลังพัฒนาและการใช้แบบจำลองเพื่อประเมินทางเลือกการพัฒนาที่แตกต่างกัน

Goodarzi et al. (2017) ดำเนินการวิจัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง Auto-logistic Regression และ CA-Markov Model ในการจำลองเชิงพื้นที่ของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินกรณีศึกษาพื้นที่ Birjand ประเทศอิหร่าน โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ระหว่างปี 1987-2014 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง 5 ประเภท ได้แก่ เกษตรกรรม ป่าไม้ พื้นที่เมือง แหล่งน้ำ และที่รกร้าง โดยเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของทั้งสองแบบจำลองด้วย Overall Accuracy, Kappa Index และ Figure of Merit ผลการวิจัยพบว่า CA-Markov Model ให้ค่าความแม่นยำสูงกว่า Auto-logistic Regression อย่างมีนัยสำคัญ (CA-Markov: Accuracy = 89.7%, Kappa = 0.83 เทียบกับ Auto-logistic: Accuracy = 78.2%, Kappa = 0.67) โดยเฉพาะในการจับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และ Neighborhood Effects ที่ซับซ้อน งานวิจัยนี้ยืนยันความเหนือกว่าของ CA-Markov ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และเป็นหลักฐานสนับสนุนการเลือกใช้แบบจำลองนี้ในงานวิจัยต่างๆ

Bajracharya (2016) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการจำลองการเติบโตของเมืองและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเมือง Albuquerque โดยใช้แบบจำลอง SLEUTH ซึ่งเป็นแบบจำลอง Cellular Automata ที่ใช้ 5 พารามิเตอร์หลัก ได้แก่ Slope, Land use, Exclusion, Urbanization

และ Transportation วิเคราะห์ข้อมูลการเติบโตของเมืองระหว่างปี 1973-2011 และคาดการณ์ถึงปี 2030 ภายใต้อาณาเขต 3 ได้แก่ 1) Historical Trend 2) Constrained Growth และ 3) Rapid Growth ผลการวิจัยพบว่า อาณาเขต Historical Trend คาดการณ์ว่าพื้นที่เมืองจะขยายตัว 28% ภายในปี 2030 ขณะที่ Rapid Growth อาจทำให้พื้นที่เมืองเพิ่มขึ้นถึง 45% แบบจำลองให้ค่าความแม่นยำ 86.4% และค่า Kappa Index 0.78 งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ SLEUTH ในการจำลองการขยายตัวของเมืองและการใช้อาณาเขตเพื่อประเมินผลกระทบของนโยบายการวางผังเมือง

Ku (2016) ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการผนวกแบบจำลอง Spatial Regression เข้ากับ Cellular Automata เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยพัฒนาระเบียบวิธีใหม่ที่ผสมผสานศักยภาพในการจับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของ Spatial Regression (Spatial Autoregressive Model และ Spatial Error Model) เข้ากับศักยภาพในการจำลองพลวัตเชิงเวลาของ Cellular Automata ทดสอบกับข้อมูลจริงและเปรียบเทียบกับ Logistic Regression และ CA-Markov แบบดั้งเดิม ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นให้ค่าความแม่นยำสูงสุด (Accuracy = 92.8%, Kappa = 0.86) เมื่อเทียบกับ Logistic Regression (Accuracy = 81.3%, Kappa = 0.68) และ CA-Markov แบบดั้งเดิม (Accuracy = 87.5%, Kappa = 0.79) โดยเฉพาะในการจับ Spatial Autocorrelation และ Spillover Effects ระหว่างพื้นที่ใกล้เคียง งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงแนวทางการพัฒนาแบบจำลองที่ทันสมัยยิ่งขึ้นโดยการผสมผสานเทคนิคสถิติเชิงพื้นที่กับ Cellular Automata

Achmad et al. (2015) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการจำลองการเติบโตของเมืองในพื้นที่เสี่ยงต่อสึนามิโดยใช้ Logistic Regression วิเคราะห์กรณีศึกษาเมือง Banda Aceh ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งได้รับผลกระทบจากสึนามิปี 2004 โดยวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนการขยายตัวของเมืองหลังสึนามิ 18 ตัวแปร รวมถึงปัจจัยพิเศษ เช่น ระยะห่างจากพื้นที่ได้รับผลกระทบจากสึนามิ โครงการบ้านจัดสรรใหม่ และโครงสร้างพื้นฐานที่สร้างขึ้นใหม่ จัดทำ 3 อาณาเขตการฟื้นฟู ได้แก่ 1) Slow Recovery 2) Moderate Recovery และ 3) Rapid Recovery ผลการวิจัยพบว่า การฟื้นฟูหลังภัยพิบัติมีรูปแบบการขยายตัวที่แตกต่างจากการขยายตัวปกติ โดยมีแนวโน้มหลีกเลี่ยงพื้นที่เสี่ยงและเคลื่อนตัวไปยังพื้นที่ปลอดภัยมากขึ้น แบบจำลองให้ค่าความแม่นยำ 84.6% และค่า Kappa Index 0.76 งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการพิจารณาปัจจัยพิเศษตามบริบทพื้นที่ในการจำลองการเติบโตของเมือง

Akber and Shrestha (2015) ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการจำลองการเติบโตของเมืองในพื้นที่นครเซี่ยงไฮ้โดยใช้แบบจำลอง SLEUTH Urban Growth Model วิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ระหว่างปี 1989-2014 และคาดการณ์ถึงปี 2030 ภายใต้ 4 ฉากทัศน์ ได้แก่ 1) Historical Growth 2) Conservation 3) Economic Growth และ 4) Sustainable Development ผลการวิจัยพบว่า ฉากทัศน์ Historical Growth คาดการณ์พื้นที่ที่เมืองจะขยายตัว 32% ขณะที่ Economic Growth อาจทำให้พื้นที่เมืองเพิ่มขึ้น 48% และฉากทัศน์ Sustainable Development ให้ผลลัพธ์ที่สมดุลที่สุดโดยการขยายตัว 25% พร้อมคงพื้นที่สีเขียวไว้ 15% แบบจำลองให้ค่าความแม่นยำ 88.7% และค่า Kappa Index 0.82 งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้ SLEUTH ในบริบทเมืองขนาดกลางของไทย และความสำคัญของการพัฒนาแบบสมดุลระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

Bihanta et al. (2015) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการใช้แบบจำลอง SLEUTH Urban Growth Model เพื่อจำลองการขยายตัวในอนาคตของเขตนครหลวง Isfahan ประเทศอิหร่าน โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายแหล่ง (Landsat และ IRS) ระหว่างปี 1985-2010 ปรับเทียบแบบจำลองด้วยเทคนิค Self-Modification และคาดการณ์ถึงปี 2030 ภายใต้ 3 ฉากทัศน์ ได้แก่ 1) BAU 2) Controlled Growth และ 3) Expansion ผลการวิจัยพบว่า ฉากทัศน์ BAU คาดการณ์พื้นที่เมืองจะเพิ่มขึ้น 65% ภายในปี 2030 ขณะที่ Controlled Growth จำกัดการขยายตัวไว้ที่ 38% โดยการกำหนด Urban Growth Boundaries และ Green Belts แบบจำลองให้ค่าความแม่นยำ 89.3% และค่า Kappa Index 0.84 งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ SLEUTH ในการจำลองการขยายตัวของเมืองขนาดใหญ่ และความสำคัญของมาตรการควบคุมการใช้ที่ดิน

Camacho Olmedo et al. (2015) จัดทำหนังสือครอบคลุมเกี่ยวกับแนวทางทางภูมิสารสนเทศศาสตร์สำหรับการจำลองฉากทัศน์การเปลี่ยนแปลงที่ดิน โดยรวบรวมและสังเคราะห์ระเบียบวิธีต่างๆ ในการสร้างฉากทัศน์การใช้ที่ดิน ครอบคลุมทั้ง Exploratory Scenarios และ Normative Scenarios อธิบายเทคนิคการจำลอง เช่น CA-Markov, LCM, Agent-Based Models, CLUE-S และ SLEUTH พร้อมกรณีศึกษาจากหลายภูมิภาคทั่วโลก ผลการศึกษาพบว่า การสร้างฉากทัศน์ที่มีประสิทธิภาพต้องผนวกระหว่าง (1) การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยแบบจำลอง (2) การรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (3) การประเมินข้อแลกเปลี่ยน (Trade-offs) ระหว่างเป้าหมายที่ขัดแย้งกัน และ (4) การนำเสนอผลลัพธ์ที่เข้าใจง่ายต่อผู้กำหนดนโยบาย หนังสือเล่มนี้เป็นคู่มืออ้างอิงสำคัญสำหรับนักวิจัยที่ต้องการจัดทำฉากทัศน์การใช้ที่ดินด้วยเครื่องมือทางภูมิสารสนเทศ

Hua et al. (2014) ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการจำลองการเติบโตของเมืองโดยใช้แบบจำลอง SLEUTH ในพื้นที่ชายฝั่งกึ่งเมืองของจีน โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระหว่างปี 1988-2008 และคาดการณ์ถึงปี 2030 ภายใต้อัตลักษณ์ 4 ฉากทัศน์ ได้แก่ 1) Current Trend 2) Compact Development 3) Sprawl และ 4) Environmental Protection ประเมินความยั่งยืนของแต่ละฉากทัศน์ด้วย Sustainability Indicators 12 ตัวชี้วัด ครอบคลุมมิติเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ผลการวิจัยพบว่า ฉากทัศน์ Compact Development ให้ค่า Sustainability Index สูงสุด (0.78) โดยมีการใช้ที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียที่ดินเกษตร และคงพื้นที่ชายฝั่งไว้ได้ดี แบบจำลองให้ค่าความแม่นยำ 90.2% และค่า Kappa Index 0.85 งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการประเมินความยั่งยืนแบบบูรณาการในการเปรียบเทียบฉากทัศน์การพัฒนา

Chaudhuri and Clarke (2013) ดำเนินการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับแบบจำลอง SLEUTH Land Use Change Model อย่างครอบคลุม โดยวิเคราะห์การพัฒนาแบบจำลองหลักการทำงาน จุดเด่นและข้อจำกัด และแนวทางการปรับปรุง ทบทวนงานวิจัยที่ใช้ SLEUTH มากกว่า 100 เรื่องทั่วโลก ผลการศึกษพบว่า SLEUTH เป็นแบบจำลองที่ได้รับความนิยมสูงเนื่องจาก 1) พารามิเตอร์ที่เข้าใจง่าย 5 ตัว (Slope, Land use, Exclusion, Urbanization และ Transportation) 2) ความยืดหยุ่นในการปรับแต่งตามบริบทพื้นที่ 3) ศักยภาพในการจำลองการขยายตัวแบบ Organic Growth, Diffusion และ Road-influenced Growth และ 4) เป็น Open Source และใช้งานได้ฟรี อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญ ได้แก่ การต้องใช้ข้อมูลหลายช่วงเวลาสำหรับการปรับเทียบ ความไวต่อคุณภาพข้อมูลนำเข้า และการตีความพารามิเตอร์ที่อาจมีความหมายแตกต่างกันในพื้นที่ต่างๆ การทบทวนนี้เป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงสำคัญสำหรับนักวิจัยที่ต้องการใช้หรือพัฒนา SLEUTH ต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้นำเสนอระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการศึกษาการขยายตัวของเมืองและการสร้างฉากทัศน์ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ โดยอาศัยทฤษฎีและแบบจำลองที่ได้พบทวนในบทที่ 2 ประกอบด้วยเครื่องมือ ข้อมูล และขั้นตอนการดำเนินการวิจัยอย่างละเอียด วิธีการที่นำเสนอนี้ ออกแบบเพื่อตอบวัตถุประสงค์ 3 ประการ ได้แก่ 1) การศึกษาการขยายพื้นที่เมือง 2) การวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อน และ 3) การสร้างฉากทัศน์การพัฒนาตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ แบบจำลอง LCM ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ซอฟต์แวร์ (Software)

- 1.1 โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS
- 1.2 โปรแกรม Terrset liberaGIS
- 1.3 โปรแกรม Google Earth Engine
- 1.4 โปรแกรมชุด Microsoft Office

2. ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

- 2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- 2.2 เครื่องกำหนดตำแหน่งบนโลกด้วยดาวเทียม
- 2.3 เครื่องพิมพ์เอกสาร
- 2.4 กล้องดิจิทัล

3. ข้อมูล (Data) จากการทบทวนวรรณกรรมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากแหล่งต่าง ๆ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการขยายพื้นที่เมืองโดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา วิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องการเจริญเติบโตของเมืองและสร้างฉากทัศน์ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ด้วยแบบจำลอง LCM

วิธีการดำเนินการวิจัย

การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM และ LANDSAT 8 OIL พ.ศ.2545 พ.ศ.2555 และ พ.ศ.2565 โดยใช้ Resolution 30 ม. จัดเตรียมข้อมูล

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการขับเคลื่อนการใช้ที่ดิน ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ ความเชื่อมโยงของถนน สิ่งอำนวยความสะดวก สิ่งแวดล้อม นโยบายของรัฐบาล ข้อจำกัดของพื้นที่ ประชากร เศรษฐกิจ จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ กรมการปกครอง กรมพัฒนาที่ดิน สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์ เขตห้ามล่าสัตว์ป่าเขากระโดง เขตรักษาเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าดงใหญ่ อุทยานอุทยานประวัติศาสตร์ และสำนักงานป่าไม้จังหวัดบุรีรัมย์ ดังตารางที่ 6 แสดงรายการข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย แบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก คือ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลสถิติ ข้อมูลทั้งหมดได้รับการตรวจสอบคุณภาพและประมวลผลให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกัน (WGS84 UTM Zone 48N) เพื่อความสอดคล้องในการวิเคราะห์

ตาราง 6 ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

ข้อมูล	รายละเอียดข้อมูล	แหล่งข้อมูล
ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-5 TM BOA Surface Reflectance และ Landsat-8 OLI BOA Surface Reflectance ปี พ.ศ. 2545 , พ.ศ.2555 และ พ.ศ. 2565	U.S. Geological Survey (USGS)
ข้อมูลขอบเขตการปกครอง	ข้อมูลประเภท Vector รูปแบบ Polygon	กรมการปกครอง
เส้นทางคมนาคม	ข้อมูลประเภท Vector รูปแบบ Line	ข้อมูลดิจิทัลรายชื่อโครงข่ายทางหลวงแผ่นดิน กรมทางหลวง
ลักษณะภูมิประเทศ	ข้อมูลประเภท Raster รูปแบบ DEM.	U.S. Geological Survey (USGS)
ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ข้อมูลประเภท Vector รูปแบบ Polygon	กรมพัฒนาที่ดิน
ข้อมูลด้านเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	ข้อมูลสถิติ	สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
จำนวนประชากร	ข้อมูลสถิติ	กรมการปกครอง

จัดการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

- 2.1 การรวมชั้นข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น (Layer Stack)
- 2.2 การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (Geometric Correction) โดยอาศัยฐานข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดิน
- 2.3 การตัดภาพขอบเขตพื้นที่ศึกษา (Masking) โดยใช้ขอบเขตจังหวัด

2.4 การเก็บข้อมูลในพื้นที่ เลือกพื้นที่ตัวอย่าง (Training Areas) ด้วยวิธีการสุ่มแบบตาราง เก็บจุดตัวอย่างห่างกันกระจายทั่วภาพ พร้อมกับภาพถ่ายดาวเทียมของ Google Earth ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน

2.5 การแปลภาพถ่ายดาวเทียม จำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ป่า พื้นที่แหล่งน้ำและพื้นที่เบ็ดเตล็ด การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน 5 กลุ่มเพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาจังหวัด และกรมพัฒนาที่ดิน

2.6 จำแนกภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีการจำแนกแบบมีการควบคุมกำกับดูแล (Supervised Classification) แบบป่าสุ่ม (Random Forest) เป็นการประมาณค่าที่มีประสิทธิภาพที่สุด โดยพยายามเลือกค่าของพารามิเตอร์ของประชากรที่เป็นไปได้ โดยค่าที่เลือกนี้เหมาะกับค่าสังเกตที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง

การประเมินความถูกต้องของการจำแนก (Accuracy Assessment)

ข้อมูลการสำรวจภาคสนามร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยการนำภาพถ่ายดาวเทียมปี พ.ศ.2545 และ ปี พ.ศ.2555 ตรวจสอบความถูกต้องกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดบุรีรัมย์ พ.ศ.2565 ใช้การสำรวจภาคสนาม ตรวจสอบความถูกต้อง หาค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Kappa Index) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะต้องมีค่าความถูกต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 สำหรับการจำนวนจุดภาพที่นำมาใช้ในการตรวจสอบในครั้งนี้ คำนวณได้จากสมการ

$$n = \frac{Z^2 (p)(q)}{E^2} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ n = จำนวนจุดภาพอย่างน้อยที่สุดที่ควรใช้สุ่มเป็นตัวอย่าง

P = โอกาสความน่าจะเป็นที่จุดภาพนั้นถูกต้อง

Q = ค่าความแตกต่างระหว่าง $100-p$

E = ร้อยละของความผิดพลาดที่ยอมรับได้

Z = ค่ามาตรฐานตามการแจกแจงปกติ ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด (95%)

การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2545 พ.ศ. 2555 และ พ.ศ. 2565 ด้วยคำสั่ง Tabulate Area ซึ่งทำให้ทราบความสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทราบการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง สามารถแสดงผลออกมาในรูปของตารางการปะปนระหว่าง

ประเภทข้อมูล (Confusion Matrix) และแผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แสดงให้เห็นการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เปลี่ยนไปของสองช่วงเวลา

รวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ปัจจัยที่มีผลต่อการขับเคลื่อนการใช้ที่ดินที่สัมพันธ์กับเป้าหมายการพัฒนาของจังหวัดบุรีรัมย์ การท่องเที่ยวเชิงกีฬา การพัฒนาเมืองและการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน ดังตาราง 7

ตาราง 7 ปัจจัยที่มีผลต่อการขับเคลื่อนการใช้ที่ดินที่สัมพันธ์กับเป้าหมายการพัฒนาของจังหวัดบุรีรัมย์

ประเภท	ปัจจัยนำเข้า
กลุ่มปัจจัยธรรมชาติ (Natural Environment Factors)	แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ความลาดชัน ความลาดเท ปริมาณน้ำฝน ความเหมาะสมของดิน ระยะห่างจากแม่น้ำ ระยะห่างจากแหล่งน้ำผิวดิน ระยะห่างจากเขตชลประทาน พื้นที่น้ำท่วม และระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้
กลุ่มปัจจัยสิ่งปลูกสร้าง	ระยะห่างจากถนนสายหลัก ระยะห่างจากทางรถไฟ ระยะห่างจากสถานีรถไฟ ระยะห่างจากสนามบิน ระยะห่างจากย่านการค้า ระยะห่างจากชุมชน ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม ระยะห่างจากโรงเรียน ระยะห่างจากโรงพยาบาล ระยะห่างจากโรงแรม ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว และระยะห่างจากสนามบินหลัก
กลุ่มปัจจัยเศรษฐกิจสังคม	ระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรม ความหนาแน่นประชากร อัตราการเปลี่ยนแปลงประชากร อัตราความยากจน และราคาที่ดิน
กลุ่มปัจจัยนโยบายและข้อจำกัด	ระยะห่างจากพื้นที่อนุรักษ์ และระยะห่างจากเหมือง

การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมือง

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในการศึกษานี้ ดำเนินการด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การคัดเลือกปัจจัยด้วย Cramer's V และการสร้างแบบจำลองด้วย Multi-Layer Perceptron Neural Network

1. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นด้วย Cramer's V ในการคัดเลือกตัวแปร เนื่องจากเป็นสถิติที่เหมาะสมสำหรับการวัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงกลุ่ม (categorical variables) ข้อดีสำคัญของ Cramer's V คือไม่มีข้อสมมติเกี่ยวกับรูปแบบความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปร ซึ่งแตกต่างจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson ที่สมมติความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear

relationship) การใช้ Cramer's V จึงช่วยให้สามารถคัดเลือกตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง การใช้ที่ดินได้ โดยไม่คำนึงว่าความสัมพันธ์นั้นจะเป็นเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะของปัจจัยเชิงพื้นที่ที่มีภูมิ ความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้น เช่น distance decay effects หรือ threshold effects และสามารถจัดการกับข้อมูลเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ดี ก่อนการสร้างแบบจำลอง ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอย่างมีนัยสำคัญด้วยค่าสัมประสิทธิ์ Cramer's V ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความสัมพันธ์สำหรับข้อมูลประเภท Categorical ที่เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ถูกจำแนกออกเป็นประเภทต่าง ๆ ค่าเกณฑ์ Cramer's V มากกว่า 0.15 ถูกกำหนดตามการศึกษาของ Cohen (1988) ซึ่งระบุว่าค่า $V > 0.15$ แสดงความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญระดับปานกลางถึงสูง เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ค่า Cramer's V คำนวณได้จากสมการ

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{n \times (k-1)}} \dots\dots\dots(2)$$

χ^2 = ค่าสถิติ Chi-square

n = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

k = จำนวนประเภทที่น้อยกว่าระหว่างจำนวนแถวหรือคอลัมน์

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้ทั้ง Cramér's V และ MLP Coefficient ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรขับเคลื่อนกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยทั้งสองวิธีมีวัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันดังนี้

Cramér's V เป็นสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์เบื้องต้น (preliminary screening) ระหว่างตัวแปรเชิงกลุ่ม (categorical variables) มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 โดยค่าที่ใกล้ 1 แสดงถึงความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่ง ข้อดีของ Cramér's V คือ 1) คำนวณได้รวดเร็ว เหมาะสำหรับข้อมูลเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่ 2) ตีความง่าย เข้าใจได้ทันที และ 3) สามารถใช้คัดเลือกตัวแปรที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญก่อนนำเข้าแบบจำลอง MLP (Eastman, 2020) อย่างไรก็ตาม Cramér's V วัดเพียงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และไม่สามารถจับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนหรือมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (interaction effects) ได้ ในทางตรงกันข้าม MLP Coefficient ที่ได้จาก Multi-Layer

Perceptron Neural Network เป็นค่าน้ำหนักที่สะท้อนความสำคัญของตัวแปรหลังจากที่แบบจำลองได้เรียนรู้รูปแบบความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน (non-linear relationship) จากข้อมูล MLP Coefficient มีค่าเป็นสัดส่วน (relative importance) ที่รวมกันเป็น 100% ข้อดีของ MLP Coefficient คือ 1) สามารถจับความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงและปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ 2) สะท้อนความสำคัญที่แท้จริงของตัวแปรในบริบทของแบบจำลองทั้งหมด และ 3) ใช้ในการสร้าง Transition Potential Maps ได้โดยตรง (Pijanowski et al., 2014) อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดคือต้องใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าและตีความยากกว่า Cramér's V

ดังนั้น ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยจึงใช้ Cramér's V ในขั้นตอนแรกเพื่อคัดกรองตัวแปรที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ($V > 0.15$) จากตัวแปรทั้งหมด 29 ตัวแปร จากนั้นจึงนำตัวแปรที่ผ่านการคัดกรองไปสร้างแบบจำลอง MLP เพื่อประเมินความสำคัญที่แท้จริงผ่าน MLP Coefficient และสร้าง Transition Potential Maps

2. การสร้างแบบจำลอง MLP Neural Network เป็นรูปแบบหนึ่งของ Artificial Neural Network ที่ได้รับแรงบันดาลใจจากระบบประสาทของสมองมนุษย์โดยประกอบด้วยหน่วยประมวลผลพื้นฐานที่เรียกว่า Neurons ซึ่งเชื่อมต่อกันเป็นชั้นๆ แต่ละ Neuron จะรับข้อมูลเข้าหลายค่า การศึกษาใช้ Sigmoid Function เป็น Activation Function เนื่องจากเหมาะสมสำหรับปัญหาแบบ binary classification และให้ค่า output ระหว่าง 0-1 ที่สามารถตีความเป็นความน่าจะเป็นได้ และส่งผลลัพธ์ออกไป กระบวนการเรียนรู้ของ MLP เกิดขึ้นผ่านการปรับค่าน้ำหนักของการเชื่อมต่อระหว่าง Neurons ด้วยอัลกอริทึม Backpropagation ซึ่งคำนวณค่าความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่คาดการณ์กับค่าจริง แล้วส่งผ่านย้อนกลับมาปรับค่าน้ำหนักที่ละชั้นเพื่อลดค่า Error ให้น้อยที่สุด ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน MLP จะเรียนรู้รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริงในอดีต โดยสามารถจับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นได้ดีกว่าเทคนิคสถิติแบบดั้งเดิม ความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นเหล่านี้เป็นลักษณะเด่นของปัจจัยเชิงพื้นที่ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 1) ระยะห่างจากถนน มีลักษณะความสัมพันธ์แบบ distance decay โดยความน่าจะเป็นของการเกิดพื้นที่เมืองจะลดลงอย่างรวดเร็วในระยะ 0-500 เมตร แล้วลดลงช้าลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นรูปแบบ exponential หรือ logarithmic มากกว่า linear 2) ความลาดชันของพื้นที่ มีลักษณะ threshold effect โดยพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำกว่า 5 องศา มีโอกาสสูงในการเป็นพื้นที่เมือง แต่เมื่อความลาดชันเกิน 5 องศา ความน่าจะเป็นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อเกิน 15 องศา จะมีโอกาสเป็นพื้นที่เมืองเกือบเป็นศูนย์ 3) ความหนาแน่นของประชากร มี

ความสัมพันธ์แบบ sigmoid โดยมี tipping point ที่ความหนาแน่นปานกลาง ซึ่งเมื่อเกินจุดนี้ จะเกิดการเติบโตของพื้นที่พาดพิงอย่างรวดเร็ว

นอกจากนี้ ปัจจัยเหล่านี้ยังมี interaction effects ที่ซับซ้อน เช่น อิทธิพลของระยะห่างจากถนนจะแตกต่างกันไปตามความลาดชันของพื้นที่ โดยพื้นที่ใกล้ถนนแต่มีความลาดชันสูงอาจมีโอกาพัฒนาเป็นเมืองต่ำกว่าพื้นที่ที่อยู่ไกลกว่าเล็กน้อยแต่มีความลาดชันต่ำ ความสัมพันธ์แบบ

non-additive และ non-linear เช่นนี้ยากต่อการจับด้วยแบบจำลองทางสถิติแบบดั้งเดิม เช่น Logistic Regression ที่สมมติความสัมพันธ์เชิงเส้นใน logit space

การใช้ Multi-Layer Perceptron Neural Network จึงเป็นการเลือก วิธีการที่เหมาะสมกับลักษณะข้อมูล โดย MLP สามารถเรียนรู้รูปแบบความสัมพันธ์เหล่านี้ได้อัตโนมัติผ่านโครงสร้าง hidden layers และ non-linear activation functions (Sigmoid) โดยไม่ต้องระบุรูปแบบความสัมพันธ์ไว้ล่วงหน้า ตามหลักการ Universal Approximation Theorem ที่ระบุว่า neural network สามารถ approximate ฟังก์ชันต่อเนื่องใดๆ ได้ด้วยความแม่นยำที่ต้องการ (Hornik et al., 1989) ทำให้สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้แม่นยำยิ่งขึ้น แสดงได้ดังสมการ

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}} \dots\dots\dots(3)$$

$P(Y = 1)$ = ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เมือง

β_0 = ค่าคงที่ (Intercept)

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ

$X_1, X_2, \dots, X_n$ = ตัวแปรอิสระ (ปัจจัยขับเคลื่อน)

3. โครงสร้างของแบบจำลอง MLP Neural Network และตัวแปรในการศึกษานี้ใช้โครงสร้าง 29-20-10-1 ประกอบด้วย 4 ชั้น ได้แก่ 1) ชั้นรับข้อมูล (Input Layer) มี 29 Neurons สำหรับรับค่าปัจจัยขับเคลื่อนทั้งหมด 29 ตัวแปร โดยข้อมูลทุกตัวแปรจะถูกปรับให้เป็นมาตรฐานเดียวกันด้วยเทคนิค Min-Max Normalization ให้มีค่าอยู่ในช่วง 0-1 เพื่อให้ตัวแปรที่มีหน่วยและช่วงค่าแตกต่างกันสามารถเปรียบเทียบและประมวลผลได้อย่างเหมาะสม 2) ชั้นซ่อนที่ 1 (Hidden Layer 1) มี 20 Neurons ทำหน้าที่ประมวลผลและสกัดคุณลักษณะระดับพื้นฐานจากข้อมูล

รับเข้ามา เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจากถนนกับพื้นที่เมือง หรือความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันกับพื้นที่ป่าไม้ 3) ชั้นซ่อนที่ 2 Hidden Layer 2 มี 10 Neurons ทำหน้าที่สกัดคุณลักษณะระดับสูงขึ้นโดยผสมผสานข้อมูลที่ได้จาก Hidden Layer 1 เพื่อจับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างปัจจัยหลายตัว เช่น การรวมผลของปัจจัยด้านการคมนาคม การท่องเที่ยว และภูมิประเทศ และ 4) ชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) มี 1 Neuron สำหรับแสดงผลเป็นความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยมีค่าระหว่าง 0-1 ซึ่งค่าที่ใกล้ 1 แสดงถึงความน่าจะเป็นสูงที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลง

จำนวน Neurons ในแต่ละชั้นถูกกำหนดจาก 2 แหล่งหลัก ได้แก่ 1) หลักการทางทฤษฎีตาม Eastman (2012) ที่แนะนำให้ Hidden Layer 1 มีจำนวนประมาณ 60-70% ของ Input Layer และ Hidden Layer 2 มีจำนวนประมาณ 50% ของ Hidden Layer 1 และ 2) การทดสอบหาค่าที่เหมาะสม (Hyperparameter Tuning) โดยเปรียบเทียบโครงสร้างต่างๆ พบว่าโครงสร้าง 29-20-10-1 ซึ่งมีสมการดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$

การคำนวณค่า Output ของแต่ละ Neuron สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$y = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b) \quad \dots\dots\dots(4)$$

เมื่อ

y = ค่า Output ของ Neuron

w_i = น้ำหนัก (Weight) ของการเชื่อมต่อจาก Input x_i

x_i = ค่า Input จาก Neuron ชั้นก่อนหน้า

b = ค่า Bias

f = Sigmoid Activation Function

โครงสร้างแบบหลายชั้นนี้ช่วยให้ MLP สามารถเรียนรู้คุณลักษณะที่ซับซ้อนและเป็นลำดับชั้น (Hierarchical Features) ความสามารถในการเรียนรู้แบบลำดับชั้นนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจับ ความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดย Hidden Layer 1 (20 neurons) จะเรียนรู้รูปแบบพื้นฐาน เช่น ผลของระยะทางจากถนนต่อโอกาสการเป็นพื้นที่เมือง ซึ่งอาจเป็นรูปแบบ exponential decay หรือผลของความลาดชันที่มี threshold behavior ส่วน Hidden Layer 2 (10

neurons) จะเรียนรู้ การผสมผสานของปัจจัยหลายตัว เช่น interaction ระหว่างระยะทางจากถนนกับความลาดชัน หรือระหว่างความหนาแน่นประชากรกับระยะห่างจากศูนย์กลางเมือง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนและไม่สามารถจับได้ด้วย simple linear combination การใช้ Sigmoid activation function ในแต่ละ neuron ทำให้เกิด non-linear transformation ที่จำเป็นต่อการจำลองความสัมพันธ์เหล่านี้ โดย Sigmoid function มีรูปแบบ $\sigma(x) = 1/(1+e^{-x})$ ซึ่งให้ค่าผลลัพธ์ ระหว่าง 0 ถึง 1 และมีลักษณะเป็น S-curve ที่สามารถจำลอง threshold effects และ saturation effects ได้ดี โดยชั้นแรกเรียนรู้คุณลักษณะพื้นฐาน ชั้นกลางเรียนรู้การผสมผสานของปัจจัยหลายตัว และชั้นสุดท้ายรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเพื่อสร้างการคาดการณ์ที่แม่นยำ สำหรับตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ ทุก Sub-model ใช้ตัวแปรครบทั้งหมด 29 ตัว เนื่องจาก MLP สามารถเรียนรู้น้ำหนัก (Weights) ที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละ Transition โดยอัตโนมัติ ทำให้แต่ละ Sub-model มีตัวแปรสำคัญที่แตกต่างกันตามบริบทการเปลี่ยนแปลง การใช้ตัวแปรครบทั้งหมดช่วยลดความเสี่ยงการตัดสินใจแบบอัตนัยในการคัดเลือกตัวแปร จับ Interaction Effects ระหว่างตัวแปรได้ดีขึ้น และสอดคล้องกับมาตรฐานการวิจัยของ Pontius (2008) และ Mas et al. (2014)

4. การสร้าง Transition Sub-models เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินแต่ละประเภทมีปัจจัยขับเคลื่อนและกลไกที่ต่างกัน ผู้วิจัยจึงสร้างแบบจำลองย่อย (Sub-models) จำนวน 3 แบบจำลอง ได้แก่ 1) Agriculture to Urban 2) Forest to Urban และ Miscellaneous to Urban สำหรับประเมินโอกาสการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ

การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง

ยืนยันความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองใช้เทคนิค Hindcasting โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2544 และ 2554 ในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายปี พ.ศ. 2564 จากนั้นเปรียบเทียบผลการทำนายกับข้อมูลจริงปี 2564 เพื่อประเมินความแม่นยำ

ค่า Kappa Index (K) เป็นสถิติที่วัดความสอดคล้องระหว่างแผนที่ทำนายกับแผนที่อ้างอิง โดยปรับค่าความถูกต้องที่เกิดจากโอกาส มีค่าระหว่าง 0-1 โดย 0.81-1.00 ถือว่าสอดคล้องเกือบสมบูรณ์ (Landis & Koch, 1977) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อ

P_o = สัดส่วนความถูกต้องที่สังเกตได้ (Observed Agreement)

P_e = สัดส่วนความถูกต้องที่คาดว่าจะเกิดขึ้นโดยบังเอิญ (Expected Agreement)

ค่า Figure of Merit (FoM) วัดความสอดคล้องของพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างแผนที่ทำนายกับแผนที่อ้างอิง คำนวณจากสัดส่วนของ True Positive ต่อผลรวมของ False Positive, True Positive, False Negative และ Wrong Transition ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความแม่นยำเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง คำนวณได้จากสมการ

$$FoM = \frac{B}{A+B+C+D} \dots\dots\dots(6)$$

เมื่อ

A = พื้นที่ที่คาดการณ์ผิดเป็นการเปลี่ยนแปลง (False Positive)

B = พื้นที่ที่คาดการณ์ถูกต้องเป็นการเปลี่ยนแปลง (True Positive)

C = พื้นที่ที่คาดการณ์ผิดเป็นไม่เปลี่ยนแปลง (False Negative)

D = พื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงจริงแต่ผิดประเภท (Wrong Transition)

การสร้างฉากทัศน์

1. แนวคิดและหลักการสร้างฉากทัศน์ในการศึกษานี้

การศึกษานี้ใช้แนวทางฉากทัศน์เชิงบรรทัดฐาน (Normative Scenarios) ในการสร้างฉากทัศน์การใช้ที่ดินจังหวัดบุรีรัมย์ โดยฉากทัศน์เชิงบรรทัดฐานเป็นวิธีการที่เริ่มต้นจากการกำหนดเป้าหมายหรือวิสัยทัศน์ที่ต้องการในอนาคต แล้วออกแบบทิศทางและมาตรการที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุเป้าหมายนั้น (van Vliet et al., 2019) แนวทางนี้แตกต่างจากฉากทัศน์เชิงสำรวจ ที่เริ่มจากสภาพปัจจุบันและคาดการณ์ไปสู่อนาคตตามแนวโน้มที่เป็นไปได้ ฉากทัศน์เชิงบรรทัดฐานจึงเหมาะสมกับการวางแผนเชิงนโยบาย (Policy-driven Planning) ที่มีเป้าหมายการพัฒนา

ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับบริบทของการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ที่มีแผนพัฒนาจังหวัดและเป้าหมายการพัฒนาที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน

ฉากทัศน์ในการศึกษานี้ถูกสร้างขึ้นจากเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ (พ.ศ. 2566-2570) ที่เน้นการพัฒนาในสี่มิติหลัก ได้แก่ 1) การพัฒนาด้านกีฬาและการท่องเที่ยว 2) การพัฒนาเป็นศูนย์กลางการประชุมและนิทรรศการ 3) การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน และ 4) การพัฒนาตามปกติที่สะท้อนแนวโน้มปัจจุบัน แต่ละฉากทัศน์แสดงถึงทิศทางการพัฒนาที่แตกต่างกัน โดยสมมติว่าจังหวัดให้ความสำคัญและจัดสรรทรัพยากรไปยังเป้าหมายต่างๆ ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน วิธีการนี้สอดคล้องกับแนวทางการสร้างฉากทัศน์สำหรับการวางแผนการใช้ที่ดิน (Verburg et al., 2006)

ฉากทัศน์พื้นฐาน (Baseline Scenario) หรือฉากทัศน์ BAU มีบทบาทสำคัญในการศึกษานี้เป็นพิเศษ ฉากทัศน์ BAU แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่จะเกิดขึ้นหากการพัฒนาดำเนินไปตามแนวโน้มและนโยบายปัจจุบัน โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มเติมนโยบายใหม่ (J. Alcamo, 2008) ฉากทัศน์นี้ทำหน้าที่เป็น "ฉากทัศน์อ้างอิง" (Reference Scenario) ที่ใช้เปรียบเทียบกับฉากทัศน์อื่นๆ เพื่อประเมินผลกระทบและประสิทธิภาพของนโยบายหรือทิศทางการพัฒนาทางเลือก การมีฉากทัศน์พื้นฐานที่ชัดเจนช่วยให้สามารถระบุได้ว่า การเน้นการพัฒนาในแต่ละมิติจะส่งผลให้การใช้ที่ดินเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพปกติอย่างไร และเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ใดบ้าง

การพัฒนาฉากทัศน์ในการศึกษานี้ใช้แนวทาง Story and Simulation ซึ่งผสมผสานระหว่างการบรรยายเชิงเรื่องราวกับการจำลองเชิงปริมาณ โดยแต่ละฉากทัศน์เริ่มต้นจากการกำหนดเรื่องราวหรือแนวคิดของการพัฒนาที่สอดคล้องกับวิสัยทัศน์การพัฒนาจังหวัด จากนั้นจึงแปลงเรื่องราวเหล่านี้เป็นข้อสมมติเชิงปริมาณเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของตัวขับเคลื่อนต่างๆ เช่น การเพิ่มขึ้นของโครงสร้างพื้นฐานด้านกีฬาและการท่องเที่ยวในฉากทัศน์ Sports Tourism หรือการแผ่ขยายของพื้นที่ MICE ในฉากทัศน์ MICE City ข้อสมมติเหล่านี้ถูกนำเข้าสู่แบบจำลอง LCM เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเชิงพื้นที่และเวลา วิธีการนี้ทำให้ฉากทัศน์มีทั้งความหมายเชิงนโยบายและความเป็นรูปธรรมเชิงตัวเลข ซึ่งช่วยให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียสามารถเข้าใจและนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Verburg et al., 2006)

การกำหนดปัจจัยขับเคลื่อน ในแต่ละฉากทัศน์เป็นขั้นตอนสำคัญที่เชื่อมโยงระหว่างเป้าหมายการพัฒนากับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ปัจจัยขับเคลื่อนที่ใช้ในการศึกษานี้ครอบคลุม 29 ตัวแปร ซึ่งสะท้อนมิติต่างๆ ของการพัฒนา ได้แก่ มิติโครงสร้างพื้นฐาน (เช่น

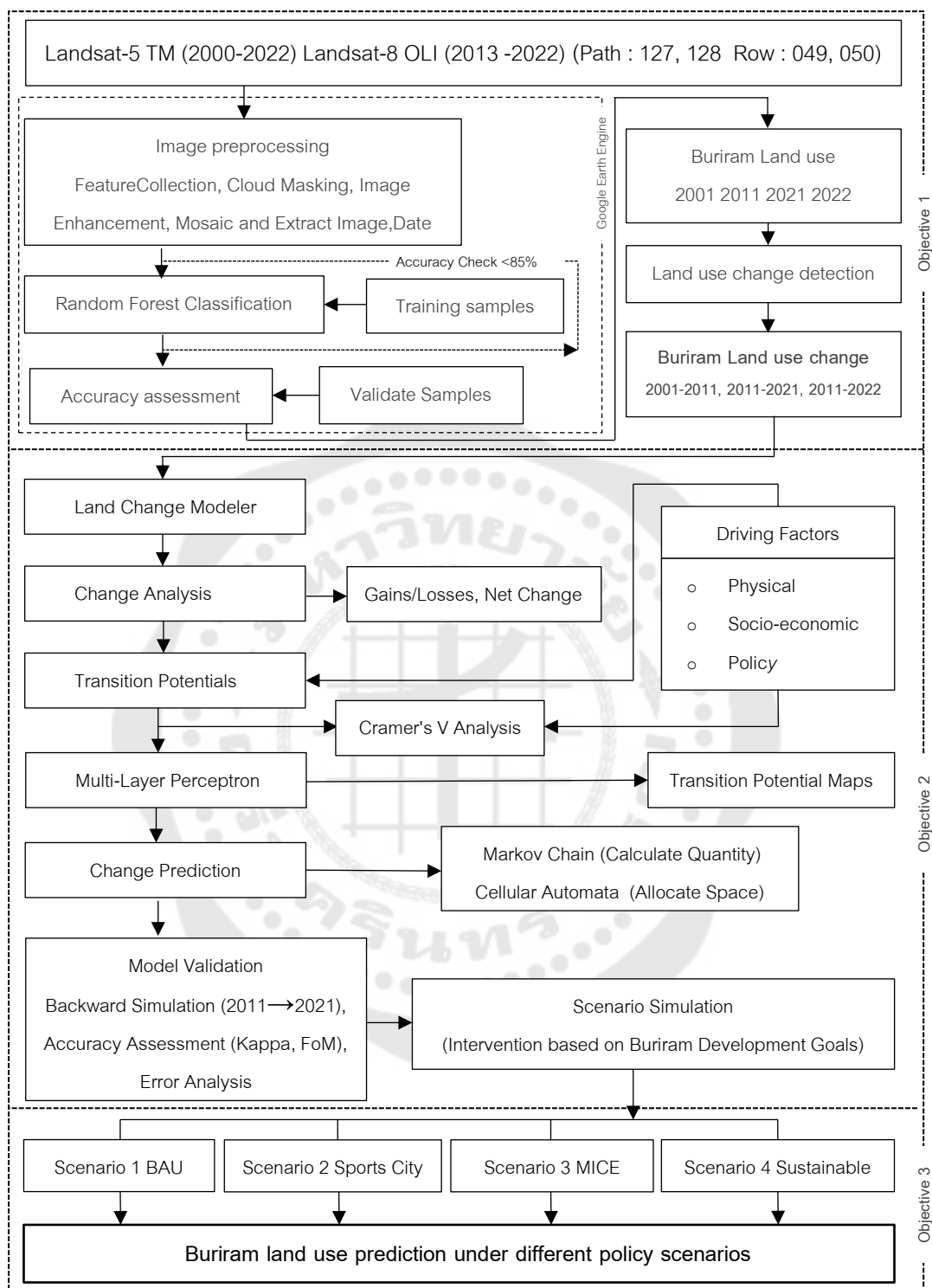
ระยะห่างจากถนน สนามกีฬา สนามบิน) มิติเศรษฐกิจและสังคม (เช่น ความหนาแน่นประชากร ราคาที่ดิน) มิติทรัพยากรธรรมชาติ (เช่น ความเหมาะสมของดิน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ) และมิติการท่องเที่ยวและบริการ (เช่น ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว โรงแรม) ในแต่ละฉากทัศน์ ปัจจัยขับเคลื่อนเหล่านี้จะถูกปรับค่าน้ำหนักหรือเพิ่มปัจจัยใหม่เพื่อสะท้อนทิศทางการพัฒนาที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ในฉากทัศน์ Sports Tourism ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสนามกีฬา แหล่งท่องเที่ยว และโรงแรมจะได้รับน้ำหนักที่สูงขึ้น เพื่อสะท้อนการเน้นการพัฒนาในด้านนี้

แบบจำลอง LCM ที่ใช้ในการจำลองฉากทัศน์เป็นแบบจำลองที่ผสมผสานระหว่าง Multi-Layer Perceptron Neural Network, Markov Chain และ Cellular Automata ซึ่งมีความสามารถในการจับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน รวมถึงการคำนึงถึงผลกระทบของพื้นที่ใกล้เคียง (Neighborhood Effects) ด้วย ขั้นตอนการจำลองเริ่มจากการใช้ MLP-NN สร้าง Transition Potential Maps ที่แสดงโอกาสการเปลี่ยนแปลงของแต่ละพิกเซล จากนั้นใช้ Markov Chain คำนวณปริมาณการเปลี่ยนแปลงโดยรวม และสุดท้ายใช้ Cellular Automata จัดสรรการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่ โดยคำนึงถึงทั้ง Transition Potential และข้อจำกัดต่างๆ เช่น พื้นที่อนุรักษ์ พื้นที่น้ำท่วม กระบวนการนี้ทำให้ฉากทัศน์ที่มีความสมจริงทั้งในแง่ของปริมาณและรูปแบบเชิงพื้นที่ของการเปลี่ยนแปลง

2. ฉากทัศน์ที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้กำหนด 4 ฉากทัศน์ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ได้แก่ 1) BAU ฉากทัศน์ฐาน สะท้อนแนวโน้มการพัฒนาตามปัจจุบัน 2) STD เน้นการพัฒนาด้านกีฬาและการท่องเที่ยว 3) MICED เน้นการพัฒนาเป็นศูนย์กลางการประชุม นิทรรศการ 4) SAD เน้นการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน โดยใช้แบบจำลอง LCM โดยใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับขับเคลื่อนการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากเป้าหมายการพัฒนาของจังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้โปรแกรม Terrset ปฏิบัติการบน Windows 10 ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์สามารถอยู่ในรูปแบบราสเตอร์ (.asc) และสร้างฉากทัศน์การใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดบุรีรัมย์ตามเป้าหมายการพัฒนา พ.ศ.2575

ภาพประกอบ 17 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยทั้งหมด แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การเตรียมข้อมูลและจำแนกการใช้ที่ดิน 2) การวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนด้วย Cramer's V และ MLP 3) การสร้างแบบจำลองด้วย LCM และ 4) การสร้างฉากทัศน์และประเมินผล



ภาพประกอบ 17 ขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 4

ผลการวิจัย

บทนี้นำเสนอผลการศึกษากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการพัฒนาจากทัศนการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการสำรวจระยะไกล ร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และการจำลองเชิงพื้นที่ (Spatial Modeling) การศึกษาครอบคลุมสามวัตถุประสงค์หลักที่เชื่อมโยงกันเป็นลำดับขั้นตอน เพื่อสร้างฐานความรู้เชิงประจักษ์สำหรับการวางแผนพัฒนาจังหวัดอย่างยั่งยืน วัตถุประสงค์ที่ 1 มุ่งเน้นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการขยายตัวของพื้นที่เมืองในช่วงเวลา 22 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2544 - ปี พ.ศ. 2565 โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat และขั้นตอนวิธี Random Forest ผ่านแพลตฟอร์ม Google Earth Engine การวิเคราะห์หลายช่วงเวลานี้ให้ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับอัตราและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในระดับจังหวัดและอำเภอ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นสำคัญในการทำ ความเข้าใจพลวัตเชิงพื้นที่ที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงจากเศรษฐกิจเกษตรกรรมสู่เศรษฐกิจบริการและการท่องเที่ยวเชิงกีฬา วัตถุประสงค์ที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ โดยใช้แบบจำลอง LCM ประเมินอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ จำนวน 29 ตัวแปร ครอบคลุมทั้งปัจจัยทางกายภาพ เศรษฐกิจ สังคม และโครงสร้างพื้นฐาน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละปัจจัยผ่านค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient Weights) และความแม่นยำของแบบจำลองผ่านค่า Overall Accuracy และ Kappa Statistics ความรู้ที่ได้จาก วัตถุประสงค์นี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการปรับตั้งพารามิเตอร์สำหรับการจำลองจากทัศนของจังหวัดบุรีรัมย์ วัตถุประสงค์ที่ 3 พัฒนาและประเมินจากทัศนการใช้ประโยชน์ที่ดินทางเลือกสี่จากทัศน ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ระยะ 10 ปี (พ.ศ. 2564-2574) โดยใช้แบบจำลอง Cellular Automata-Markov Chain ร่วมกับการปรับพารามิเตอร์ตามนโยบายการพัฒนา จากทัศนประกอบด้วย 1) จากทัศนการพัฒนาตามปกติ 2) จากทัศนการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา 3) จากทัศนการพัฒนาเมือง MICE และ 4) จากทัศนการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน การประเมินจากทัศนดำเนินการผ่านการวิเคราะห์ Cross-tabulation Analysis และ Trade-offs Matrix เพื่อระบุจากทัศนที่เหมาะสมที่สุดและให้ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่เป็นรูปธรรม

การบูรณาการระหว่างสามวัตถุประสงค์นี้สร้างกรอบการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมตั้งแต่การทำความเข้าใจอดีต (Retrospective Analysis) การอธิบายความสัมพันธ์เชิงสาเหตุ (Explanatory Modeling) ไปจนถึงการคาดการณ์อนาคต (Prospective Scenarios) ซึ่งสอดคล้องกับแนว

ทางการวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในระดับสากล จังหวัดบุรีรัมย์เป็นเมืองรองที่มีความโดดเด่น มีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ด้วยผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดเพิ่มขึ้นจาก 64,352 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2554 เป็น 84,763 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2564 และรายได้จากการท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นถึง 4,859.91 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2564 การเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างนี้ส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อการใช้ที่ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขยายตัวของพื้นที่เมืองและการลดลงของพื้นที่เกษตรและป่าไม้ ทำให้จังหวัดบุรีรัมย์เป็นกรณีศึกษาที่เหมาะสมในการทดสอบระเบียบวิธีวิจัยและพัฒนาเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการวางแผนพื้นที่อย่างยั่งยืน

วิเคราะห์การขยายพื้นที่เมืองของจังหวัดบุรีรัมย์โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ. 2544 พ.ศ. 2554 พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และ Landsat 8 จำแนกด้วย อัลกอริทึม Random Forest ซึ่งเป็นวิธีการจำแนกภาพแบบ Supervised Classification ที่พัฒนาโดย Breiman (2001) อัลกอริทึมนี้ทำงานโดยการสร้างต้นไม้ตัดสินใจ จำนวนมาก และรวมผลการตัดสินใจจากต้นไม้ทั้งหมดด้วยวิธี Majority Voting เพื่อให้ได้ผลการจำแนกที่แม่นยำและเสถียร

- 1) สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีมิติสูง ได้ดี โดยในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลจาก 7 bands ของภาพ Landsat รวมกับ 3 Spectral Indices รวมทั้งหมด 10 ตัวแปร
- 2) มีความทนทานต่อ Noise และ Outliers ในข้อมูล ซึ่งช่วยลดผลกระทบจากเมฆ เงา และข้อมูลผิดปกติในภาพถ่ายดาวเทียม
- 3) ไม่ต้องการการกำหนดสมมติฐานเกี่ยวกับการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งแตกต่างจากวิธีการทางสถิติแบบดั้งเดิมที่ต้องสมมติว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ และ
- 4) ให้ความแม่นยำสูงและผลลัพธ์ที่คงที่ แม้จะใช้ชุดข้อมูลฝึกสอนที่แตกต่างกันเล็กน้อย กระบวนการทำงานประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้ ขั้นแรก จากชุดข้อมูลฝึกสอนที่รวบรวมได้ แต่ละต้นไม้จะสุ่มเลือกตัวอย่างประมาณ 63% ของข้อมูลทั้งหมดด้วยวิธี Bootstrap Sampling ทำให้แต่ละต้นไม้ได้ข้อมูลฝึกสอนที่แตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งช่วยเพิ่มความหลากหลายของต้นไม้ในป่า ขั้นที่สอง ในแต่ละจุดแยกของต้นไม้ตัดสินใจ อัลกอริทึมจะสุ่มเลือกตัวแปร (Features) เพียงบางส่วน (โดยปกติคือรากที่สองของจำนวนตัวแปรทั้งหมด ในกรณีนี้คือ $\sqrt{10} \approx 3$ ตัวแปร) แทนที่จะพิจารณาตัวแปรทั้งหมด แล้วเลือกตัวแปรและค่าตัด (Threshold) ที่ดีที่สุดในการแบ่งข้อมูลตามเกณฑ์ Gini Impurity หรือ Information Gain ขั้นที่สาม กระบวนการแบ่งข้อมูลจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ แบบ Recursive จนกระทั่งข้อมูลใน Node เป็นคลาสเดียวกันทั้งหมด หรือถึงเงื่อนไขหยุดที่กำหนด โดยในการศึกษานี้ปล่อยให้ต้นไม้เติบโตเต็มที่ (Fully Grown) เพื่อให้สามารถเรียนรู้รูปแบบที่ซับซ้อนใน

ข้อมูลได้ และขั้นสุดท้าย เมื่อสร้างต้นไม้ครบ 100 ต้นแล้ว การพยากรณ์คลาสของพิกเซลแต่ละตัว จะทำโดยการให้ต้นไม้ทั้งหมดลงคะแนนและคลาสที่ได้รับคะแนนสูงสุด จะเป็นผลการจำแนกสุดท้าย

วิธีการตรวจสอบความถูกต้อง

การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นขั้นตอนสำคัญที่ยืนยันความน่าเชื่อถือของผลการศึกษา การศึกษานี้ใช้วิธีการ Confusion Matrix (Error Matrix) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานสากลในการประเมินความแม่นยำของการจำแนกข้อมูลเชิงพื้นที่ตามคำแนะนำของ Congalton and Green (2019) Confusion Matrix เป็นตารางที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกจากแบบจำลอง (Predicted Class) กับข้อมูลอ้างอิงที่ถือว่าเป็นความจริง (Reference Class หรือ Ground Truth) โดยแถวของตารางแสดงข้อมูลอ้างอิง และคอลัมน์แสดงผลการจำแนก จุดตัดระหว่างแถวและคอลัมน์แสดงจำนวนพิกเซลที่ถูกจำแนกเป็นคลาสต่างๆ ทำให้สามารถเห็นทั้งการจำแนกที่ถูกต้องและข้อผิดพลาด (นอกเส้นทแยงมุม) พร้อมทั้งสามารถระบุได้ว่าข้อผิดพลาดเกิดจากการสับสนระหว่างคลาสใดบ้าง

การศึกษานี้ใช้จุดตัวอย่างทั้งหมด 400 จุดต่อปีในการตรวจสอบความถูกต้อง โดยแบ่งตามสัดส่วนของแต่ละคลาสด้วยวิธี Stratified Sampling ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม 100 จุด พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 80 จุด พื้นที่ป่าไม้ 80 จุด พื้นที่แหล่งน้ำ 80 จุด และพื้นที่เบ็ดเตล็ด 60 จุด การกระจายจุดตัวอย่างครอบคลุมทั้ง 23 อำเภอของจังหวัดบุรีรัมย์ เพื่อให้เป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด จาก Confusion Matrix สามารถคำนวณตัวชี้วัดความแม่นยำหลายตัวได้ ได้แก่ 1) Overall Accuracy (OA) คือสัดส่วนของจุดตัวอย่างที่ถูกจำแนกถูกต้องทั้งหมด คำนวณจากผลรวมในเส้นทแยงมุมหารด้วยจำนวนจุดทั้งหมด 2) Producer's Accuracy (PA) หรือความถูกต้องจากมุมมองของผู้ผลิตแผนที่ แสดงความน่าจะเป็นที่พื้นที่จริงในคลาสหนึ่งจะถูกจำแนกถูกต้อง คำนวณจากจำนวนจุดที่จำแนกถูกต้องในแต่ละคลาสหารด้วยจำนวนจุดจริงในคลาสนั้น ค่า PA ที่ต่ำบอกว่ามีพื้นที่ในคลาสนั้นถูก Omitted หรือพลาดไม่ได้ถูกจำแนก 3) User's Accuracy (UA) หรือความถูกต้องจากมุมมองของผู้ใช้แผนที่ แสดงความน่าจะเป็นที่พื้นที่ที่ถูกจำแนกเป็นคลาสหนึ่งจะตรงกับความเป็นจริง คำนวณจากจำนวนจุดที่จำแนกถูกต้องในแต่ละคลาสหารด้วยจำนวนจุดทั้งหมดที่ถูกจำแนกเป็นคลาสนั้น (ผลรวมตามคอลัมน์) ค่า UA ที่ต่ำบอกว่ามีพื้นที่ในคลาสอื่นถูกจำแนกผิดเข้ามาในคลาสนี้ และ 4) Kappa Coefficient (K) ซึ่งวัดความสอดคล้องระหว่างผลการจำแนกกับข้อมูลอ้างอิง โดยคำนึงถึงความน่าจะเป็นของการจำแนก

ถูกต้องโดยบังเอิญ (Chance Agreement) ค่า Kappa อยู่ระหว่าง 0-1 โดยค่าที่สูงกว่า 0.80 ถือว่าความสอดคล้องอยู่ในระดับดีมาก

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในทั้ง 4 ปีที่ศึกษาพบว่า ค่า Overall Accuracy อยู่ระหว่าง 88.43% ถึง 93.17% และค่า Kappa Coefficient อยู่ระหว่าง 0.86 ถึง 0.92 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับในงาน Remote Sensing ($OA \geq 85\%$ และ $K > 0.80$) แสดงว่าผลการจำแนกมีความน่าเชื่อถือสูงและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสร้างแบบจำลองพยากรณ์ได้ เมื่อพิจารณาความแม่นยำแยกตามคลาส พบว่า คลาสพื้นที่ป่าไม้มีความแม่นยำสูงที่สุด (Producer's Accuracy เกือบ 100% ในทุกปี) เนื่องจากมีลักษณะ Spectral Signature ที่โดดเด่นและแตกต่างจากคลาสนี้อย่างชัดเจน รองลงมาคือพื้นที่เกษตรกรรม (PA 78-96%) แม้ว่าจะมีพื้นที่มากที่สุด แต่มีความหลากหลายของพืชและฤดูกาลทำให้ Spectral Signature แปรผันได้ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (PA 85-96%) มีความถูกต้องในระดับดี แต่บางครั้งสับสนกับพื้นที่ดินเปล่าหรือถนน ส่วนพื้นที่แหล่งน้ำ (PA 86-92%) และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (PA 90-100%) มีความแม่นยำที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของพื้นที่ในแต่ละปี

ความสอดคล้องระหว่างปีของการแปลภาพกับข้อมูลอ้างอิง

ประเด็นสำคัญในการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลาคือความสอดคล้องระหว่างปีของภาพที่นำมาจำแนก (Classified Image) กับปีของข้อมูลอ้างอิง (Reference Data) ที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง ในการศึกษาครั้งนี้ ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการจำแนกมี 4 ปี ได้แก่ พ.ศ. 2544, 2554, 2564 และ 2565 ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติและแผนพัฒนาจังหวัดที่สำคัญ สำหรับข้อมูลอ้างอิงที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง การศึกษาครั้งนี้ใช้แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดินและข้อมูลการสำรวจภาคสนาม โดยมีความสอดคล้องกับภาพถ่ายดาวเทียมแต่ละปีดังนี้

เมื่อพิจารณาภาพรวมของทั้ง 4 ปี จะเห็นได้ว่าความสอดคล้องระหว่างปีของภาพที่จำแนกกับปีของข้อมูลอ้างอิงมีผลต่อความแม่นยำในการตรวจสอบในระดับหนึ่ง โดยปี พ.ศ. 2565 ที่มีความสอดคล้องสมบูรณ์ ให้ค่าความแม่นยำสูงสุด ขณะที่ปี พ.ศ. 2554 ที่มีช่วงห่าง 2 ปี และเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินค่อนข้างมากให้ค่าความแม่นยำต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามความแตกต่างของความแม่นยำไม่ได้มากนัก และทุกปียังคงผ่านเกณฑ์มาตรฐานสากล

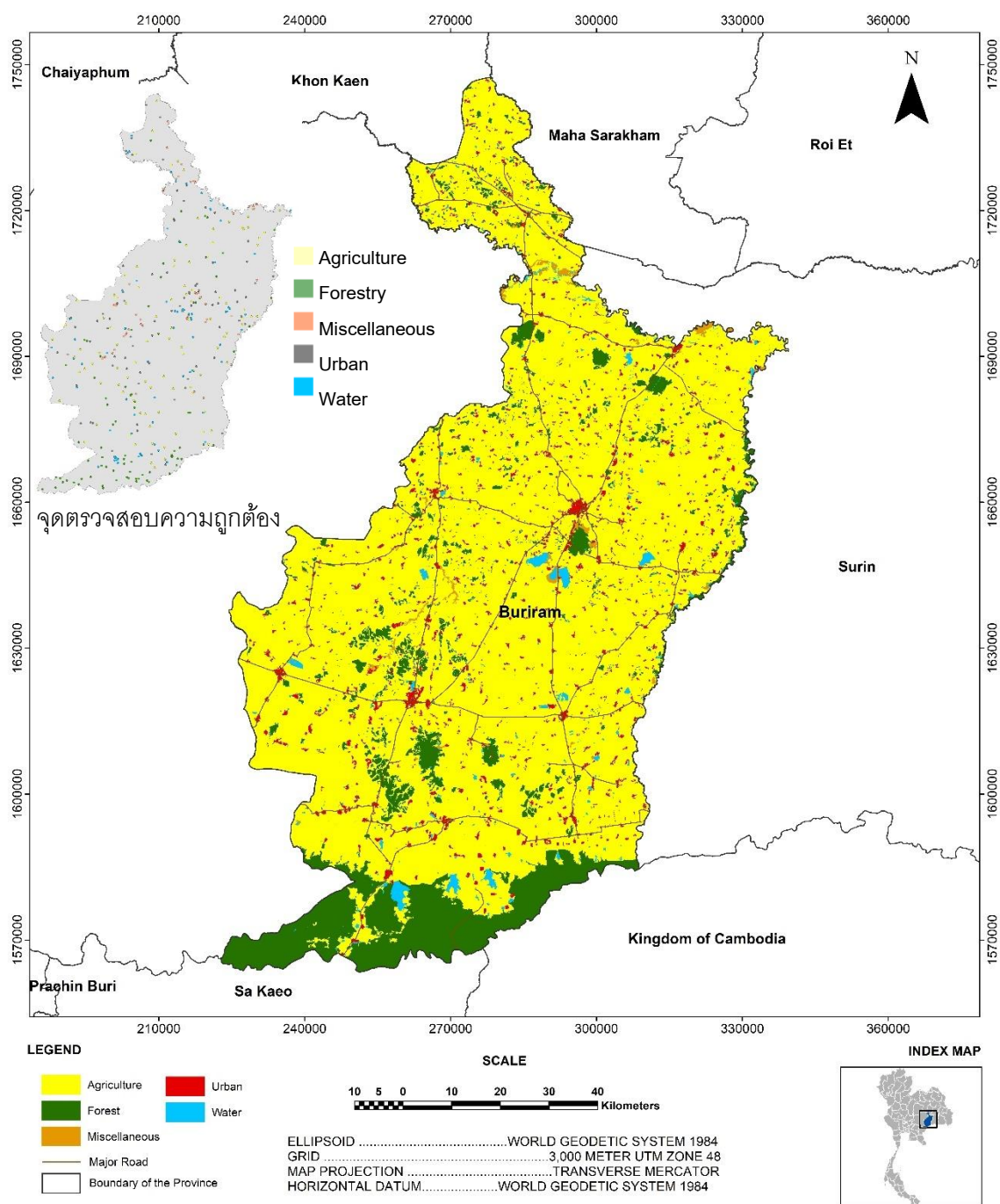
ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

1. การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ. 2544 การศึกษาที่ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM พ.ศ. 2544 และใช้แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2543 เป็นข้อมูลอ้างอิง แม้ว่าจะมีช่วงห่างระหว่างข้อมูลอ้างอิงกับภาพที่จำแนก 1 ปี แต่การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วงเวลานั้นๆ นี้น้อย โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทของจังหวัดบุรีรัมย์ที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ ซึ่งมีความคงที่สูง นอกจากนี้ แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินผลิตจากการตีความภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูง รวมกับการสำรวจภาคสนาม จึงมีความถูกต้องและเชื่อถือได้สูง การใช้ข้อมูลอ้างอิงที่มีปีใกล้เคียงกับปีจำแนกภาพทำให้สามารถประเมินความแม่นยำได้อย่างเหมาะสม ผลการตรวจสอบพบว่ามีค่า Overall Accuracy ที่ 92.68% และ Kappa Coefficient ที่ 0.91 ซึ่งอยู่ในระดับดีมากภาพประกอบ 18 และตาราง 8

ตาราง 8 การตรวจสอบความถูกต้องและผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2544

การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2544	ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2543						ความถูกต้อง ผู้ใช้ (%)
	Agriculture	Forest	Miscellaneous	Urban	Water	รวม	
Agriculture	98	0	0	0	2	100	98.00
Forest	0	75	1	3	1	80	93.75
Miscellaneous	0	0	55	0	5	60	91.67
Urban	3	0	0	74	3	80	92.50
Water	1	2	0	7	70	80	87.50
รวม	102	77	56	84	81	400	92.68
ความถูกต้องของผู้ผลิต (%)	96.08	97.40	98.21	88.10	86.42		
ความถูกต้องโดยรวม (%)	92.68						
ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา	0.91						

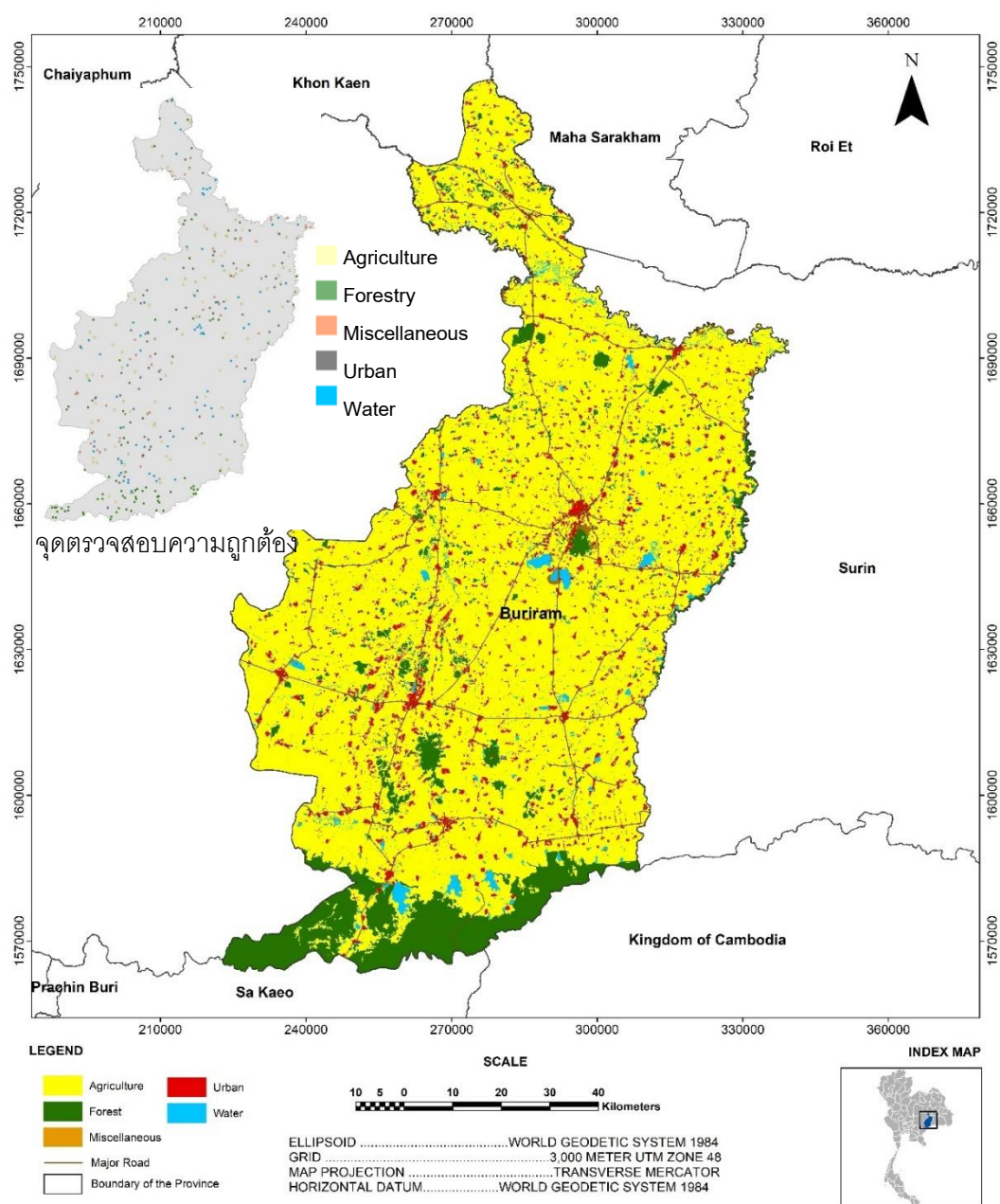
หมายเหตุ Agriculture = พื้นที่เกษตรกรรม Forest = พื้นที่ป่าไม้ Miscellaneous = พื้นที่เบ็ดเตล็ด Urban = พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง Water = พื้นที่แหล่งน้ำ



ภาพประกอบ 18 การตรวจสอบความถูกต้องและการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ.

ในปี พ.ศ. 2544 พื้นที่เกษตรกรรมครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดที่ 8,308.42 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 82.53 ของพื้นที่ทั้งหมด สะท้อนให้เห็นว่าจังหวัดบุรีรัมย์เป็นจังหวัดเกษตรกรรมที่สำคัญของประเทศ รองลงมาคือพื้นที่ป่าไม้ 1,198.22 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 11.90) ซึ่งกระจายตัวอยู่บริเวณเขตภูเขาไฟและพื้นที่ชายแดนทางทิศใต้ของจังหวัด พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างมีเพียง 351.32 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 3.49 กระจุกตัวอยู่ในอำเภอเมืองบุรีรัมย์ และศูนย์กลางของอำเภอต่าง ๆ ตามแนวทางหลวงหมายเลข 24 ซึ่งเป็นเส้นทางคมนาคมสำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่แหล่งน้ำมี 147.87 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 1.47) และพื้นที่เบ็ดเตล็ดมีเพียง 61.15 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 0.61)

2. การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ. 2554 ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM พ.ศ. 2554 และใช้แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2552 เป็นข้อมูลอ้างอิง มีช่วงห่าง 2 ปี ในช่วงเวลานี้จังหวัดบุรีรัมย์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการขยายตัวของพื้นที่เมืองและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการท่องเที่ยวและกีฬา อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่เกิดขึ้นในพื้นที่เฉพาะจุด ในขณะที่พื้นที่ส่วนใหญ่ยังคงมีการใช้ที่ดินแบบเดิม ช่วงห่าง 2 ปีระหว่างข้อมูลอ้างอิงกับภาพที่จำแนกจึงไม่ส่งผลกระทบมากนักต่อความแม่นยำในการตรวจสอบ ยกเว้นในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ผลการตรวจสอบความถูกต้องพบว่ามีความ Overall Accuracy ที่ 88.43% และ Kappa Coefficient ที่ 0.86 ซึ่งแม้จะต่ำกว่าปีอื่นเล็กน้อย แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานสากล ความแม่นยำที่ต่ำลงเล็กน้อยนี้สะท้อนถึงความท้าทายในการจำแนกพื้นที่ที่กำลังเปลี่ยนแปลงและความไม่สอดคล้องกันบางส่วนระหว่างปีของข้อมูลอ้างอิงกับปีที่จำแนกภาพ ดังภาพประกอบ 19 ดังตาราง 9



ภาพประกอบ 19 การตรวจสอบความถูกต้องและการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ.

ตาราง 9 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2554

การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2554	ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2552						ความถูกต้อง ผู้ใช้ (%)
	Agriculture	Forest	Miscellaneous	Urban	Water	รวม	
Agriculture	93	1	0	5	1	100	93.00
Forest	6	72	0	2	0	80	90.00
Miscellaneous	5	0	49	4	2	60	81.67
Urban	4	0	0	73	3	80	91.25
Water	10	0	0	1	69	80	86.25
รวม	118	73	49	85	75	400	88.43
ความถูกต้องของผู้ผลิต (%)	78.81	98.63	100.00	85.88	92.00		
ความถูกต้องโดยรวม (%)	88.43						
ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา	0.86						

'หมายเหตุ Agriculture = พื้นที่เกษตรกรรม Forest = พื้นที่ป่าไม้ Miscellaneous = พื้นที่เบ็ดเตล็ด Urban = พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง Water = พื้นที่แหล่งน้ำ

ในปี พ.ศ. 2554 มีพื้นที่เกษตรกรรม 8,096.22 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 80.42) พื้นที่ป่าไม้ 1,029.03 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 10.22) การลดลงของพื้นที่ป่าไม้ส่วนหนึ่งเป็นผลจากการบุกรุกเพื่อทำการเกษตรและการขยายตัวของชุมชน พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นเป็น 580.40 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 5.77) การขยายตัวนี้เกิดขึ้นในช่วงที่มีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการท่องเที่ยวและกีฬา พื้นที่แหล่งน้ำ 293.18 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 2.91)

3. การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ. 2564 ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI พ.ศ. 2564 และใช้แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 เป็นข้อมูลอ้างอิง มีช่วงห่าง 2 ปี คล้ายกับปี พ.ศ. 2554 แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2562-2564 มีเหตุการณ์สำคัญคือการแพร่ระบาดของโรค COVID-19 ซึ่งส่งผลกระทบต่อการพัฒนาและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยการขยายตัวของพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างชะลอตัวลงในบางพื้นที่ ในขณะเดียวกัน การใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรกลับมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบบ้างเพื่อรองรับความต้องการอาหารและการทำเกษตรเพื่อยังชีพในครัวเรือน อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนแปลงภายในคลาสเดียวกัน (เช่น เปลี่ยนชนิดพืชที่ปลูก) มากกว่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างคลาส (เช่น จากเกษตรเป็นเมือง) จึงไม่ส่งผลกระทบมากต่อการตรวจสอบความถูกต้องที่ใช้ข้อมูลอ้างอิงปี 2562 ผลการตรวจสอบพบว่ามีค่า Overall Accuracy ที่ 92.03% และ Kappa Coefficient ที่ 0.91 กลับมาอยู่ในระดับสูงใกล้เคียงกับปี พ.ศ. 2544 แสดงว่าแม้จะมีช่วงห่างระหว่างข้อมูล

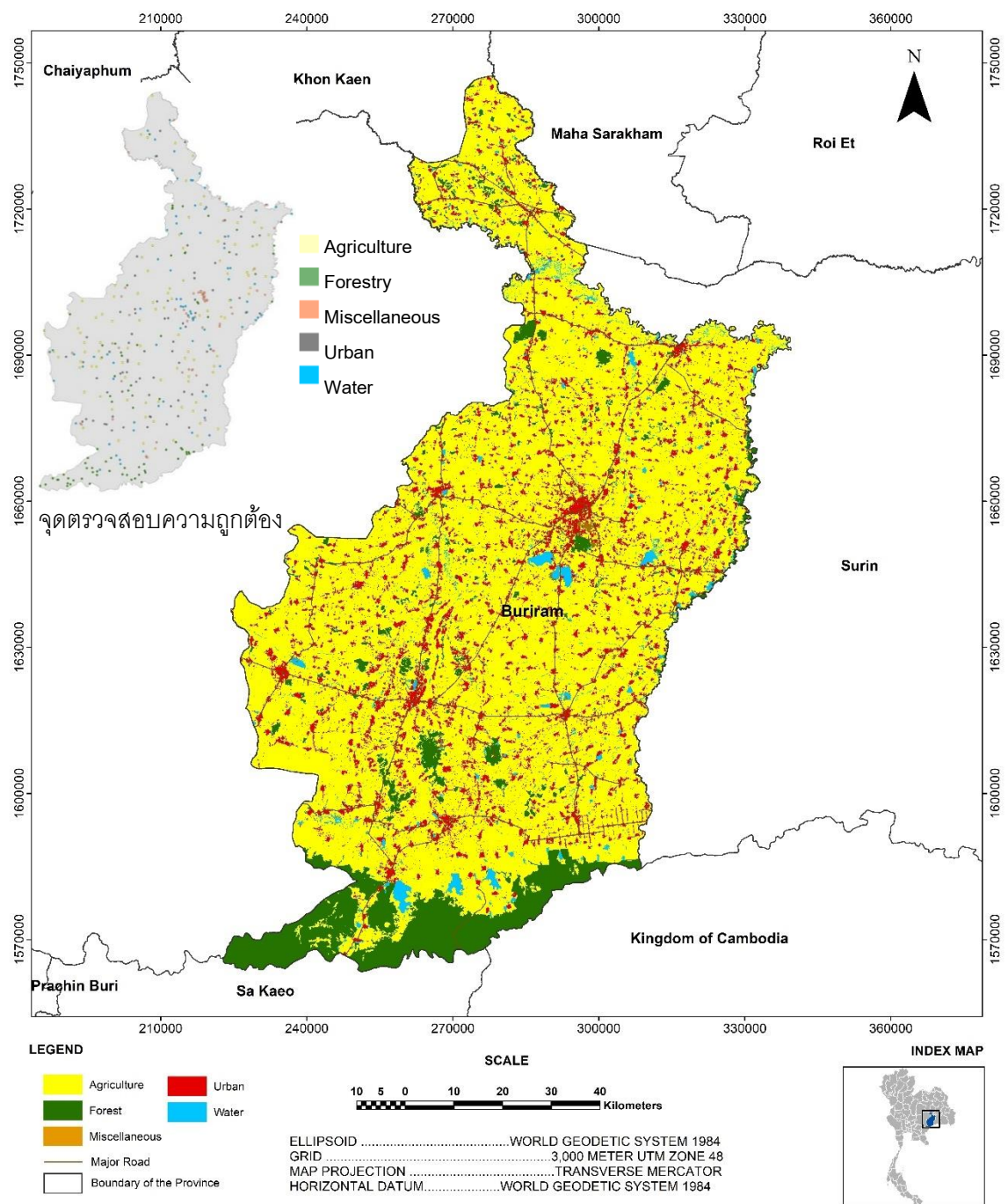
อ้างอิงกับภาพที่จำแนก 2 ปี แต่ข้อมูลอ้างอิงยังสามารถใช้ประเมินความแม่นยำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังภาพประกอบ 20 ดังตาราง 10

ตาราง 10 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2564

การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2564	ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ.2562						ความถูกต้อง ผู้ใช้ (%)
	Agriculture	Forest	Miscellaneous	Urban	Water	รวม	
Agriculture	96	0	2	0	2	100	96.00
Forest	0	80	0	0	0	80	100.00
Miscellaneous	1	0	52	2	5	60	86.67
Urban	4	0	1	72	3	80	90.00
Water	4	0	3	3	70	80	87.50
รวม	105	80	58	77	80	400	92.03
ความถูกต้องของผู้ผลิต (%)	91.43	100.00	89.66	93.51	87.50		
ความถูกต้องโดยรวม (%)	92.03						
ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา	0.91						

หมายเหตุ Agriculture = พื้นที่เกษตรกรรม Forest = พื้นที่ป่าไม้ Miscellaneous = พื้นที่เบ็ดเตล็ด Urban = พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง Water = พื้นที่แหล่งน้ำ

ในปี พ.ศ. 2564 พื้นที่เกษตรกรรมลดลงเหลือ 7,702.09 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 76.51) พื้นที่ป่าไม้ลดลงต่อเนื่องเหลือ 963.18 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.57) พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างที่เพิ่มขึ้นเป็น 1,069.08 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 10.62) พื้นที่แหล่งน้ำ 308.81 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.07) และพื้นที่เบ็ดเตล็ดเหลือเพียง 23.82 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 0.24)



ภาพประกอบ 20 การตรวจสอบความถูกต้องและการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ.

4. การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ. 2565 ซึ่งเป็นปีล่าสุดในการศึกษา ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI สํารวจภาคสนามโดยตรงในปี พ.ศ. 2565 เพื่อรวบรวมข้อมูลอ้างอิงที่มีความสอดคล้องกับภาพถ่ายดาวเทียมอย่างสมบูรณ์ การสำรวจภาคสนามดำเนินการ ใช้วิธี Stratified Random Sampling ครอบคลุม 400 จุดตัวอย่างที่กระจายอยู่ทั่วทั้ง 23 อำเภอของจังหวัดบุรีรัมย์ ดังตาราง 11 โดยใช้เครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม บันทึกพิกัดที่ตำแหน่งแต่ละจุดอย่างแม่นยำ และถ่ายภาพประกอบในทิศทางต่างๆ เพื่อบันทึกลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่จริง ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามนี้มีข้อดีคือมีความถูกต้องและเป็นปัจจุบันสูง ผลการตรวจสอบความถูกต้องพบว่ามีค่า Overall Accuracy สูงที่สุดที่ 93.17% และ Kappa Coefficient สูงที่สุดที่ 0.92 ซึ่งสะท้อนถึงความได้เปรียบของการใช้ข้อมูลอ้างอิงที่มีความสอดคล้องกับปีของภาพที่จำแนกอย่างสมบูรณ์ 5 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2565 มีค่าถูกต้องโดยรวม เท่ากับ ร้อยละ 93.17 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา เท่ากับ 0.92 แสดงว่าผลการศึกษาของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความความถูกต้องอยู่ในระดับสูง ดังตาราง 12 และภาพประกอบ 21

ตาราง 11 การเปรียบเทียบภาพถ่ายดาวเทียมและการสำรวจภาคสนาม

ประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ภาพถ่ายดาวเทียม	ภาพถ่ายภูมิประเทศจริง
พื้นที่เกษตรกรรม		
พื้นที่เกษตรกรรม		

ตาราง 11 (ต่อ)

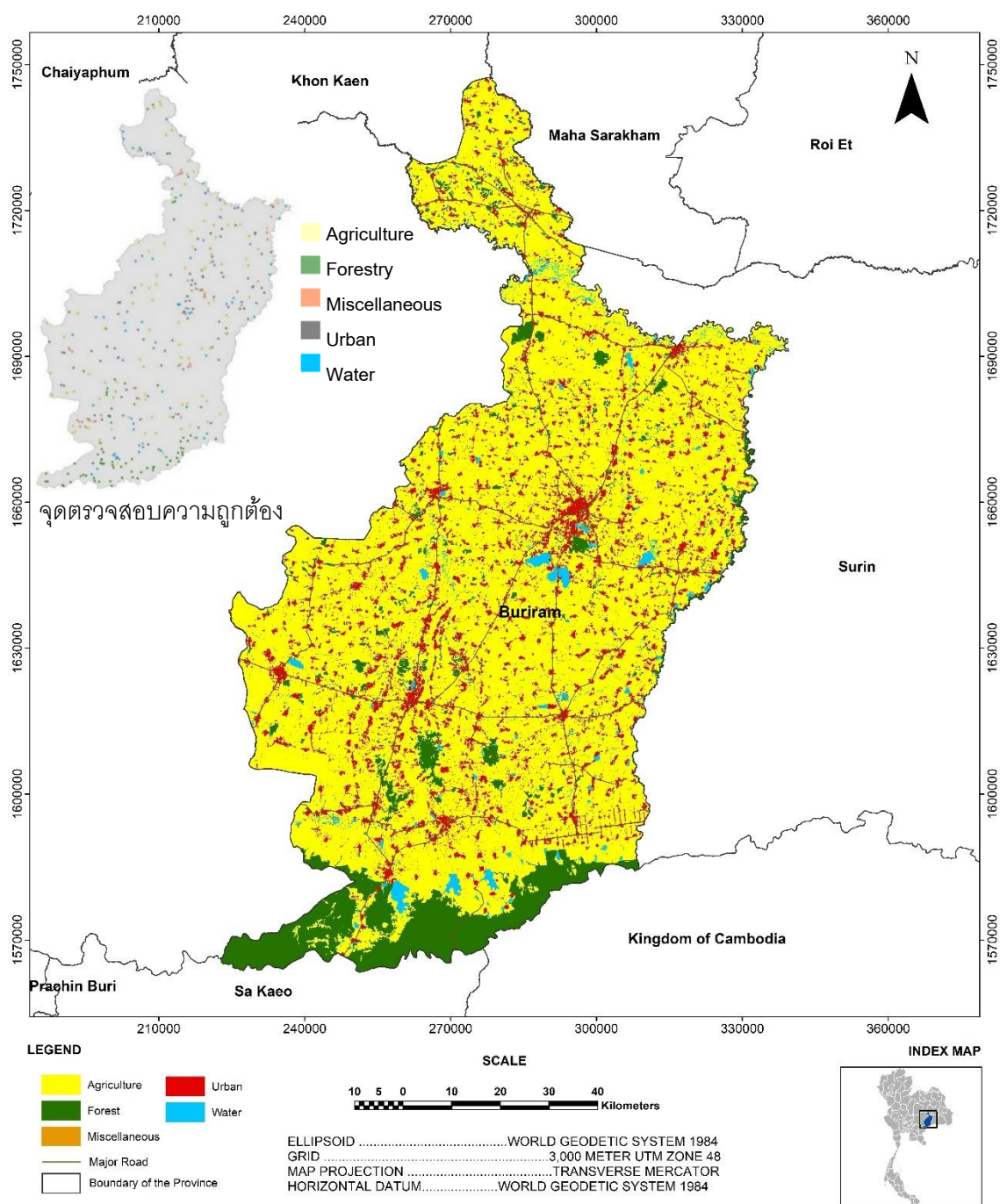
ประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ภาพถ่ายดาวเทียม	ภาพถ่ายภูมิประเทศจริง
พื้นที่เกษตรกรรม		
พื้นที่ป่าไม้		
พื้นที่เปิดเตล็ด		
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง		
พื้นที่แหล่งน้ำ		

ตาราง 12 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2565

การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2565	ข้อมูลการสำรวจภาคสนาม						ความถูกต้อง ของผู้ใช้ (ร้อยละ)
	Agriculture	Forest	Miscellaneous	Urban	Water	รวม	
Agriculture	95	0	1	1	3	100	95.00
Forest	0	80	0	0	0	80	100.00
Miscellaneous	4	0	53	1	2	60	88.33
Urban	3	0	4	70	3	80	87.50
Water	2	0	1	1	76	80	95.00
รวม	104	80	59	73	84	400	93.17
ความถูกต้องของผู้ผลิต (ร้อยละ)	91.35	100.00	89.83	95.89	90.48		
ความถูกต้องโดยรวม (ร้อยละ)	93.17						
ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา	0.92						

หมายเหตุ Agriculture = พื้นที่เกษตรกรรม Forest = พื้นที่ป่าไม้ Miscellaneous = พื้นที่เบ็ดเตล็ด Urban = พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง Water = พื้นที่แหล่งน้ำ

ในปี พ.ศ. 2565 มีพื้นที่เกษตรกรรม 7,702.29 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 76.51) พื้นที่ป่าไม้ 963.03 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.57) พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง 1,069.10 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 10.62) พื้นที่แหล่งน้ำ 317.42 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.15) และพื้นที่เบ็ดเตล็ดเหลือเพียง 15.16 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 0.15)



ภาพประกอบ 21 การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ. 2565

การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2544 พ.ศ.2554 พ.ศ.2564 และ พ.ศ.2565 ที่ได้จากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 5 ประเภท นำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินมาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสองช่วงเวลามาเปรียบเทียบกันในรูปแบบของตารางเมทริกซ์ เพื่อทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน 3 ช่วงเวลา ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2544 – พ.ศ.2554

ตาราง 13 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ระหว่างปี พ.ศ. 2544 – 2554

การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2554						
ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	Agriculture	Forest	Miscellaneous	Urban	Water	พื้นที่รวม(km ²)
Agriculture	7,916.59	0	24.98	219.84	147.00	8,308.42
Forest	154.02	1,029.03	8.74	6.44	0	1,198.22
Miscellaneous	25.62	0	22.85	2.81	9.88	61.15
Urban	0	0	0	351.32	0	351.32
Water	0	0	11.58		136.30	147.87
พื้นที่รวม (km ²)	8,096.22	1,029.03	68.15	580.40	293.18	10,066.99
พื้นที่เปลี่ยนแปลง (km ²)	-212.20	-169.19	7.00	229.09	145.31	
พื้นที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	-2.11	-1.68	0.07	2.28	1.44	
อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี (km ²)	-21.22	-16.92	0.70	22.91	14.53	

หมายเหตุ Agriculture = พื้นที่เกษตรกรรม Forest = พื้นที่ป่าไม้ Miscellaneous = พื้นที่เบ็ดเตล็ด Urban = พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง Water = พื้นที่แหล่งน้ำ

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2544 – พ.ศ.2554 พบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีพื้นที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด เท่ากับ 229.09 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.28 ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงทั้งหมด อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี 22.9 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงเป็นชุมชนมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด เท่ากับ 219.84, 6.44 และ 2.81 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือพื้นที่แหล่งน้ำ เท่ากับ 145.31 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.44 ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงทั้งหมด อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี 14.53 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงเป็นแหล่งน้ำมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่เบ็ดเตล็ด เท่ากับ 147 และ 9.88 ตารางกิโลเมตร และรองลงมาคือพื้นที่

เบ็ดเตล็ด เท่ากับ 7 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.07 ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงทั้งหมด อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี 0.07 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ดมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่แหล่งน้ำและพื้นที่ป่าไม้ เท่ากับ 24.98, 11.58 และ 8.74 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

จากตาราง 13 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีพื้นที่ลดลง ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรมที่ลดลงมากที่สุด เท่ากับ 212.20 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.11 ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงทั้งหมด อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี 21.22 ตารางกิโลเมตร โดยพื้นที่เกษตรกรรมเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด เท่ากับ 219.84, 147.00 และ 24.98 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ และการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีพื้นที่ลดลง รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ เท่ากับ 169.19 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.68 ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงทั้งหมด อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี 16.92 ตารางกิโลเมตร โดยพื้นที่ป่าไม้เปลี่ยนแปลงไปเป็น พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่เบ็ดเตล็ด และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง เท่ากับ 154.02, 8.74 และ 6.44 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

2. การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2554 – พ.ศ. 2564

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2554 – พ.ศ. 2564 พบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีพื้นที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด เท่ากับ 488.67 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 4.48 ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงทั้งหมด อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี 48.87 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงเป็นชุมชนมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่เบ็ดเตล็ดและพื้นที่ป่าไม้ เท่ากับ 467.36, 13.42 และ 7.90 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือพื้นที่แหล่งน้ำ เท่ากับ 15.64 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.16 ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงทั้งหมด อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี 1.56 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงเป็นแหล่งน้ำมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่เบ็ดเตล็ดและพื้นที่ป่าไม้ เท่ากับ 14.33 และ 1.53 ตารางกิโลเมตร

ตาราง 14 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ระหว่างปี พ.ศ. 2554 – 2564

การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2564						
ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	Agriculture	Forest	Miscellaneous	Urban	Water	พื้นที่รวม(km ²)
การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2554	Agriculture	7,626.75	0	2.11	467.36	8,096.22
	Forest	59.05	960.56	0	7.90	1,029.03
	Miscellaneous	16.30	2.62	21.49	14.33	68.15
	Urban	0	0	0	580.40	580.40
	Water	0	0	0.22	0	292.96
	พื้นที่รวม (km ²)	7,702.10	963.18	23.82	1,069.08	10,066.99
	พื้นที่เปลี่ยนแปลง (km ²)	-394.13	-65.85	-44.33	488.67	15.64
	พื้นที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	-3.92	-0.65	-0.44	4.85	0.16
	อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี (km ²)	(39.41)	(6.58)	(4.43)	48.87	1.56

หมายเหตุ Agriculture = พื้นที่เกษตรกรรม Forest = พื้นที่ป่าไม้ Miscellaneous = พื้นที่เบ็ดเตล็ด Urban = พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง Water = พื้นที่แหล่งน้ำ

จากตาราง 14 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีพื้นที่ลดลง ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรมที่ลดลงมากที่สุด เท่ากับ 394.13 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 3.92 ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงทั้งหมด อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี 39.41 ตารางกิโลเมตร โดยพื้นที่เกษตรกรรมเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่เบ็ดเตล็ด เท่ากับ 467.36 และ 2.11 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ และการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีพื้นที่ลดลงรองลงมา ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ เท่ากับ 65.85 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.65 ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงทั้งหมด อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี 6.58 ตารางกิโลเมตร โดยที่พื้นที่ป่าไม้เปลี่ยนแปลงไปเป็น พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ชุมชนและพื้นที่แหล่งน้ำ เท่ากับ 59.05, 7.90 และ 1.53 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

3. การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2564 – พ.ศ. 2565

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2564 – พ.ศ. 2565 พบว่า พื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้นโดยเปลี่ยนจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดลดลงเท่ากับ 8.72 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.09 ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ดังตาราง 15

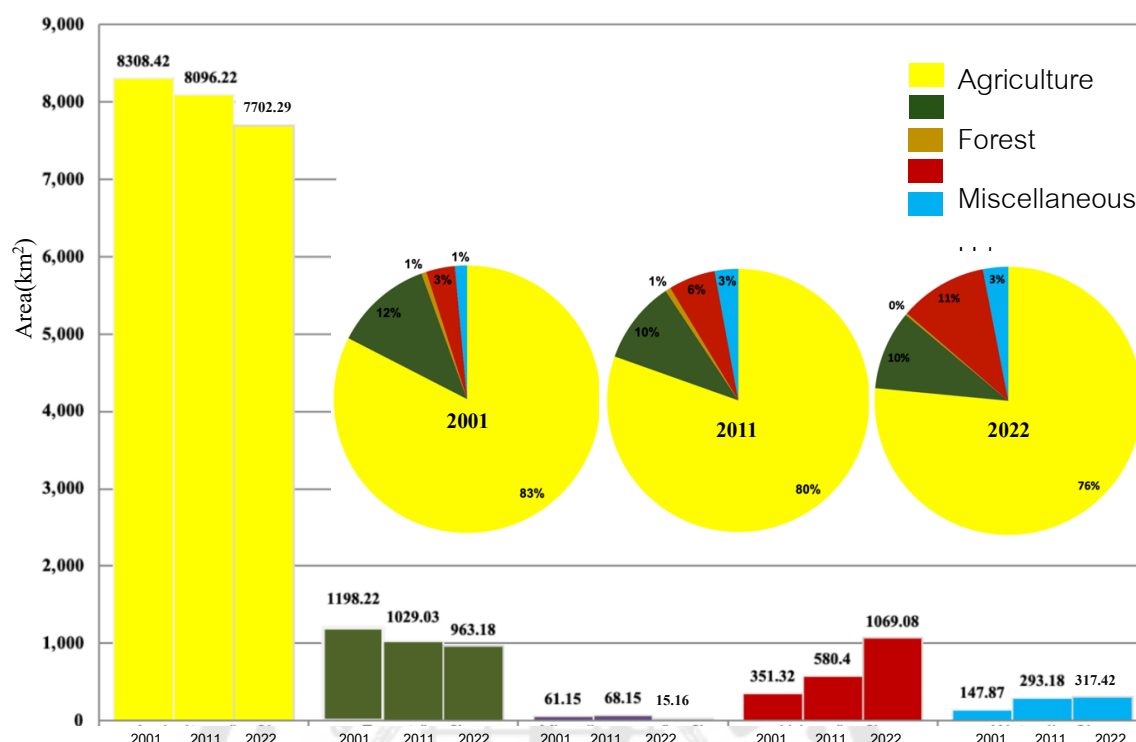
ตาราง 15 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดบุรีรัมย์ ระหว่างปี พ.ศ. 2564 – 2565

การใช้ประโยชน์ที่ดินปีพ.ศ.2565						
ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	Agriculture	Forest	Miscellaneous	Urban	Water	พื้นที่รวม (km ²)
Agriculture	7,702.10	0	0	0	0	7,702.10
Forest	0	963.18	0	0	0	963.18
Miscellaneous	0	0	15.10	0	8.72	23.82
Urban	0	0	0	1,069.08	0	1,069.08
Water	0	0	0	0	308.81	308.81
พื้นที่รวม(km ²)	7,702.10	963.18	15.10	1,069.08	317.54	10,066.99
พื้นที่เปลี่ยนแปลง(km ²)	0	0	(8.72)	0	8.72	
พื้นที่เปลี่ยนแปลง(ร้อยละ)			-0.09		0.09	

หมายเหตุ Agriculture = พื้นที่เกษตรกรรม Forest = พื้นที่ป่าไม้ Miscellaneous = พื้นที่เบ็ดเตล็ด Urban = พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง Water = พื้นที่แหล่งน้ำ

4. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วงปี พ.ศ. 2544-2565

ระหว่างปี พ.ศ. 2544 - พ.ศ. 2564 ระยะเวลา 21 ปี การใช้ที่ดินในจังหวัดบุรีรัมย์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงที่โดดเด่นที่สุดคือการขยายตัวของพื้นที่เมืองและพื้นที่ปลูกสร้าง ซึ่งเพิ่มขึ้น 717.78 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 40.83 ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ในทางตรงกันข้าม พื้นที่เกษตรกรรมมีการลดลง 606.33 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 34.48 ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด นอกจากนี้ พื้นที่ป่าไม้ลดลง 235.19 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 13.38 ของการเปลี่ยนแปลง ขณะที่พื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้น 169.55 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 9.65 สุดท้าย พื้นที่เบ็ดเตล็ดลดลง 45.99 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.62 ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ดังภาพประกอบ 22 และตาราง 16



ภาพประกอบ 22 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วงปี พ.ศ. 2544-2565

ตาราง 16 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยรวมระหว่างปี พ.ศ. 2544 และ พ.ศ. 2565

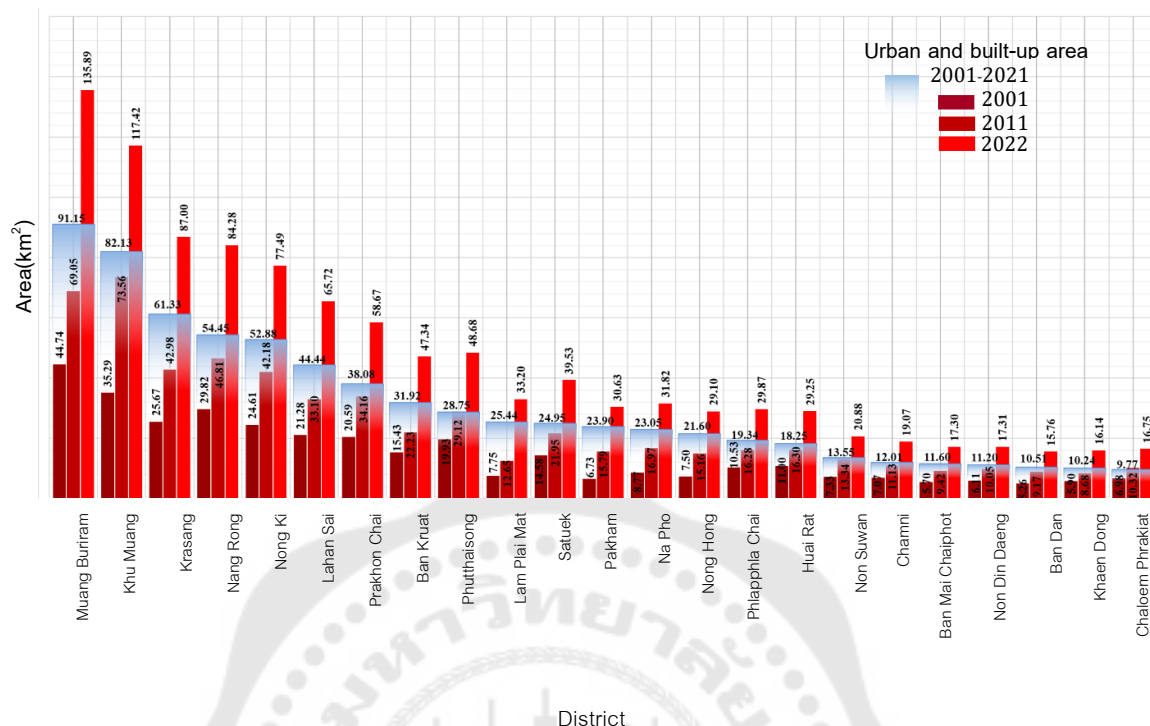
ประเภทการใช้ที่ดิน	ปี พ.ศ. 2544 (km²)	ปี พ.ศ. 2565 (km²)	การเปลี่ยนแปลง (km²)	การเปลี่ยนแปลง (%)	สัดส่วนการเปลี่ยนแปลง (%ทั้งหมด)	อัตราเฉลี่ย (km²/ปี)
เกษตรกรรม	8,308.42	7,702.29	-606.13	-7.3	34.48	-28.86
ป่าไม้	1,198.22	963.03	-235.19	-19.63	13.38	-11.20
เบ็ดเตล็ด	61.15	15.16	-45.99	-75.21	2.62	-2.19
เมือง	351.32	1,069.10	717.78	+204.35	40.83	+34.18
แหล่งน้ำ	147.87	317.42	169.55	+114.68	9.65	+8.07
รวม			1,757.40		100	

การวิเคราะห์การขยายตัวของพื้นที่เมืองในระดับอำเภอ

การวิเคราะห์การขยายตัวของพื้นที่เมืองในระดับอำเภอช่วยให้เข้าใจรูปแบบการกระจายตัวของการพัฒนาเชิงพื้นที่และปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในจังหวัดบุรีรัมย์ แสดงการขยายตัวของพื้นที่เมือง 23 อำเภอของจังหวัดบุรีรัมย์ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2565 เรียงลำดับจากอำเภอที่มีการขยายตัวมากที่สุดไปยังน้อยที่สุด ดังตาราง 17

ตาราง 17 การวิเคราะห์การขยายตัวของพื้นที่เมืองในระดับอำเภอ

ลำดับ	อำเภอ	ปี พ.ศ.	ปี พ.ศ.	การเพิ่มขึ้น	การเพิ่มขึ้น	สัดส่วน
		2544 (km ²)	2565 (km ²)	(km ²)	(%)	(%)
1	เมืองบุรีรัมย์	44.74	135.89	91.15	203.76	12.7
2	นางรอง	35.29	117.42	82.13	232.73	11.44
3	ประโคนชัย	25.67	87	61.33	238.92	8.54
4	ลำปลายมาศ	29.82	84.28	54.45	182.59	7.59
5	กระสัง	24.61	77.49	52.88	214.87	7.37
6	สตึก	21.28	65.72	44.44	208.84	6.19
7	ละหานทราย	20.59	58.67	38.08	184.94	5.31
8	หนองกี่	15.43	47.34	31.92	206.87	4.45
9	บ้านกรวด	19.93	48.68	28.75	144.26	4.01
10	หนองหงส์	7.75	33.2	25.44	328.31	3.54
11	คูเมือง	14.58	39.53	24.95	171.13	3.48
12	เฉลิมพระเกียรติ	6.73	30.63	23.9	355.13	3.33
13	ชำนิ	8.77	31.82	23.05	262.83	3.21
14	พลับพลาชัย	7.5	29.1	21.6	288	3.01
15	ปะคำ	10.53	29.87	19.34	183.67	2.69
16	พุทไธสง	11	29.25	18.25	165.91	2.54
17	ห้วยราช	7.33	20.88	13.55	184.86	1.89
18	นาโพธิ์	7.07	19.07	12.01	169.87	1.67
19	แคนดง	5.7	17.3	11.6	203.51	1.62
20	โนนดินแดง	6.11	17.31	11.2	183.31	1.56
21	บ้านใหม่ไชย	5.26	15.76	10.51	199.81	1.46
22	โนนสุวรรณ	5.9	16.14	10.24	173.56	1.43
23	บ้านด่าน	6.98	16.75	9.77	139.97	1.36
รวมทั้งหมด		349.06	1,066.59	717.54	205.55	100

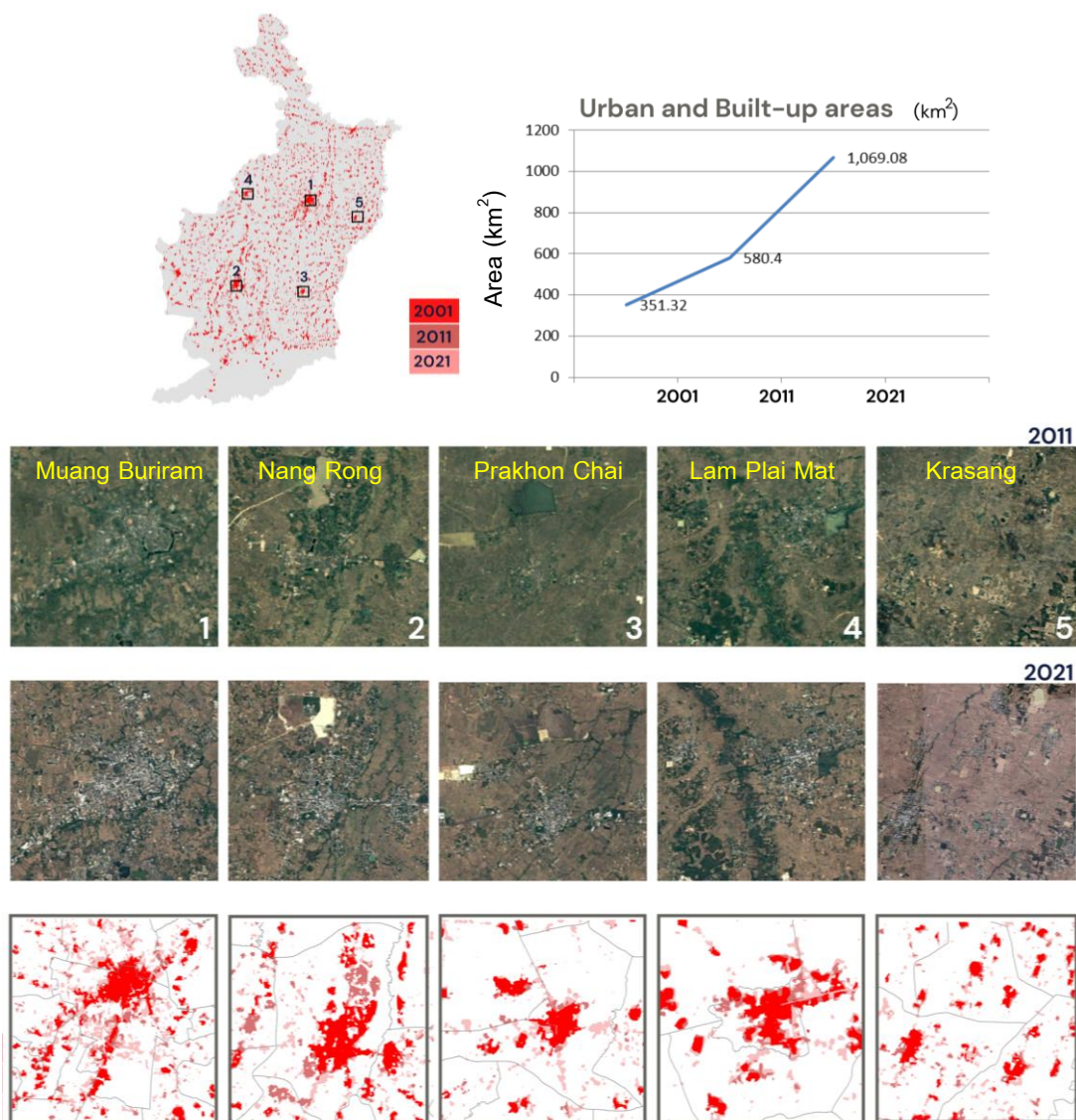


ภาพประกอบ 23 การขยายตัวของพื้นที่เมืองในระดับอำเภอ ช่วงปี พ.ศ. 2544-2565

1. อำเภอที่มีการขยายตัวสูง

อำเภอที่มีการขยายตัวของพื้นที่เมืองสูงสุด 6 อันดับแรก ได้แก่ อำเภอเมืองบุรีรัมย์ อำเภอนางรอง และอำเภอประโคนชัย ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นรวมกัน 234.61 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 32.68 ของการขยายตัวทั้งหมดในจังหวัด แสดงให้เห็นถึงการกระจุกตัวของการพัฒนาในอำเภอศูนย์กลางเศรษฐกิจหลัก 1) อำเภอเมืองบุรีรัมย์ มีการขยายตัวสูงสุดที่ 91.15 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 44.74 ตารางกิโลเมตรในปี พ.ศ. 2544 เป็น 135.89 ตารางกิโลเมตรในปี พ.ศ. 2565 คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 203.76 หรือประมาณ 3.04 เท่า และคิดเป็นร้อยละ 12.70 ของการขยายตัวทั้งหมด 2) อำเภอนางรอง มีการขยายตัวรองลงมาที่ 82.13 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 35.29 ตารางกิโลเมตรเป็น 117.42 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 232.73 หรือ 3.33 เท่า คิดเป็นร้อยละ 11.44 ของการขยายตัวทั้งหมด 3) อำเภอโคกชัย มีการขยายตัวที่ 61.33 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 25.67 ตารางกิโลเมตรเป็น 87.00 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 238.92 หรือ 3.39 เท่า คิดเป็นร้อยละ 8.54 ของการขยายตัวทั้งหมด 4) อำเภอลำปลายมาศ มีการขยายตัวที่ 54.45 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 29.82 ตารางกิโลเมตรเป็น 84.28 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 182.59 หรือ 2.83 เท่า คิดเป็นร้อยละ 7.59 ของการขยายตัวทั้งหมด 5) อำเภอกระสัง มีการขยายตัวที่ 52.88

ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 24.61 ตารางกิโลเมตรเป็น 77.49 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 214.87 หรือ 3.15 เท่า คิดเป็นร้อยละ 7.37 ของการขยายตัวทั้งหมด 6) อำเภอสตึก มีการขยายตัวที่ 44.44 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 21.28 ตารางกิโลเมตรเป็น 65.72 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 208.84 หรือ 3.09 เท่า คิดเป็นร้อยละ 6.19 ของการขยายตัวทั้งหมด



ภาพประกอบ 24 การขยายตัวเมืองสูงสุด 5 อำเภอที่มีปี พ.ศ. 2544, 2554 และ 2565

2. อำเภอที่มีการขยายตัวปานกลาง

อำเภอที่มีการขยายตัวปานกลางประกอบด้วยอำเภอที่มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เมืองระหว่าง 18-38 ตารางกิโลเมตร จำนวน 11 อำเภอ ขยายตัวรวม 270.17 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 37.66 ของการขยายตัวทั้งหมด ประกอบด้วย 1) อำเภอละหานทราย มีการขยายตัวที่ 38.08 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 20.59 ตารางกิโลเมตรเป็น 58.67 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 184.94 หรือ 2.85 เท่า คิดเป็นร้อยละ 5.31 ของการขยายตัวทั้งหมด 2) อำเภอหนองกี่ มีการขยายตัวที่ 31.92 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 15.43 ตารางกิโลเมตรเป็น 47.34 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 206.87 หรือ 3.07 เท่า คิดเป็นร้อยละ 4.45 ของการขยายตัวทั้งหมด 3) อำเภอบ้านกรวด มีการขยายตัวที่ 28.75 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 19.93 ตารางกิโลเมตรเป็น 48.68 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 144.26 หรือ 2.44 เท่า คิดเป็นร้อยละ 4.01 ของการขยายตัวทั้งหมด 4) อำเภอหนองหงส์ มีการขยายตัวที่ 25.44 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 7.75 ตารางกิโลเมตรเป็น 33.20 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 328.31 หรือ 4.28 เท่า คิดเป็นร้อยละ 3.54 ของการขยายตัวทั้งหมด 5) อำเภอคูเมือง มีการขยายตัวที่ 24.95 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 14.58 ตารางกิโลเมตรเป็น 39.53 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 171.13 หรือ 2.71 เท่า คิดเป็นร้อยละ 3.48 ของการขยายตัวทั้งหมด 6) อำเภอเฉลิมพระเกียรติ มีการขยายตัวที่ 23.90 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 6.73 ตารางกิโลเมตรเป็น 30.63 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 355.13 หรือ 4.55 เท่า คิดเป็นร้อยละ 3.33 ของการขยายตัวทั้งหมด 7) อำเภอขาม มีการขยายตัวที่ 23.05 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 8.77 ตารางกิโลเมตรเป็น 31.82 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 262.83 หรือ 3.63 เท่า คิดเป็นร้อยละ 3.21 ของการขยายตัวทั้งหมด 8) อำเภอพลับพลาชัย มีการขยายตัวที่ 21.60 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 7.50 ตารางกิโลเมตรเป็น 29.10 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 288.00 หรือ 3.88 เท่า คิดเป็นร้อยละ 3.01 ของการขยายตัวทั้งหมด 9) อำเภอปะคำ มีการขยายตัวที่ 19.34 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 10.53 ตารางกิโลเมตรเป็น 29.87 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 183.67 หรือ 2.84 เท่า คิดเป็นร้อยละ 2.69 ของการขยายตัวทั้งหมด 10) อำเภอพุทไธสง มีการขยายตัวที่ 18.25 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 11.00 ตารางกิโลเมตรเป็น 29.25 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 165.91 หรือ 2.66 เท่า คิดเป็นร้อยละ 2.54 ของการขยายตัวทั้งหมด 11) อำเภอห้วยราช มีการขยายตัวที่ 13.55 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 7.33 ตารางกิโลเมตรเป็น 20.88 ตาราง

กิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 184.86 หรือ 2.85 เท่า คิดเป็นร้อยละ 1.89 ของการขยายตัวทั้งหมด

3. อำเภอที่มีการขยายตัวต่ำ

อำเภอที่มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เมืองน้อยกว่า 15 ตารางกิโลเมตร จำนวน 6 อำเภอ มีการขยายตัวรวม 68.88 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นเพียงร้อยละ 9.60 ของการขยายตัวทั้งหมด กลุ่มนี้ประกอบด้วย 1) อำเภอนาโพธิ์ มีการขยายตัวที่ 12.01 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 7.07 ตารางกิโลเมตรเป็น 19.07 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 169.87 หรือ 2.70 เท่า คิดเป็นร้อยละ 1.67 ของการขยายตัวทั้งหมด 2) อำเภอแคนดง มีการขยายตัวที่ 11.60 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 5.70 ตารางกิโลเมตรเป็น 17.30 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 203.51 หรือ 3.04 เท่า คิดเป็นร้อยละ 1.62 ของการขยายตัวทั้งหมด 3) อำเภอโนนดินแดง มีการขยายตัวที่ 11.20 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 6.11 ตารางกิโลเมตรเป็น 17.31 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 183.31 หรือ 2.83 เท่า คิดเป็นร้อยละ 1.56 ของการขยายตัวทั้งหมด 4) อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ มีการขยายตัวที่ 10.51 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 5.26 ตารางกิโลเมตรเป็น 15.76 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 199.81 หรือ 3.00 เท่า คิดเป็นร้อยละ 1.46 ของการขยายตัวทั้งหมด 5) อำเภอโนนสุวรรณ มีการขยายตัวที่ 10.24 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 5.90 ตารางกิโลเมตรเป็น 16.14 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 173.56 หรือ 2.74 เท่า คิดเป็นร้อยละ 1.43 ของการขยายตัวทั้งหมด 6) อำเภอบ้านด่าน มีการขยายตัวที่ 9.77 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจาก 6.98 ตารางกิโลเมตรเป็น 16.75 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 139.97 หรือ 2.40 เท่า คิดเป็นร้อยละ 1.36 ของการขยายตัวทั้งหมด

การขยายตัวของพื้นที่เมือง แสดงให้เห็นว่า อำเภอเมืองบุรีรัมย์ มีการขยายตัวของพื้นที่เมืองสูงสุดเป็นอันดับ 1 ที่ 91.15 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 12.70 ของการเพิ่มขึ้นทั้งหมด เนื่องจากเป็นศูนย์กลางการบริหาร การค้า และบริการของจังหวัด มีการพัฒนาสนามบินช้างอารีนา ช้างอินเตอร์เนชันแนลเซอร์กิต โรงแรม ศูนย์การค้า และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ รongลงมาคือ อำเภอนางรอง ที่มีการขยายตัว 82.13 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 11.44 ของการเพิ่มขึ้นทั้งหมด อำเภอนางรองเป็นอำเภอขนาดใหญ่ที่มีประชากรมาก ตั้งอยู่บนทางหลวงหมายเลข 24 ซึ่งเป็นเส้นทางหลักของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และเป็นจุดเชื่อมต่อไปยังจังหวัดสุรินทร์ มีการพัฒนาเป็นศูนย์กลางการค้าและบริการระดับอำเภอที่สำคัญ อำเภอประโคนชัย อันดับ 3 มีการขยายตัว 61.33 ตารางกิโลเมตร เป็นอำเภอที่มีพื้นที่เกษตรอุดมสมบูรณ์และมีแหล่ง

ท่องเที่ยวทางประวัติศาสตร์ เช่น ปราสาทหินพนมรุ้งและเมืองต่ำ การขยายตัวเกิดจากการพัฒนา
บริการรองรับนักท่องเที่ยว รวมถึงการเป็นศูนย์กลางการค้าสินค้าเกษตร ดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 การเพิ่มขึ้นของพื้นที่เมืองในอำเภอเมือง อำเภอนางรอง และอำเภอประโคนชัย
จังหวัดบุรีรัมย์

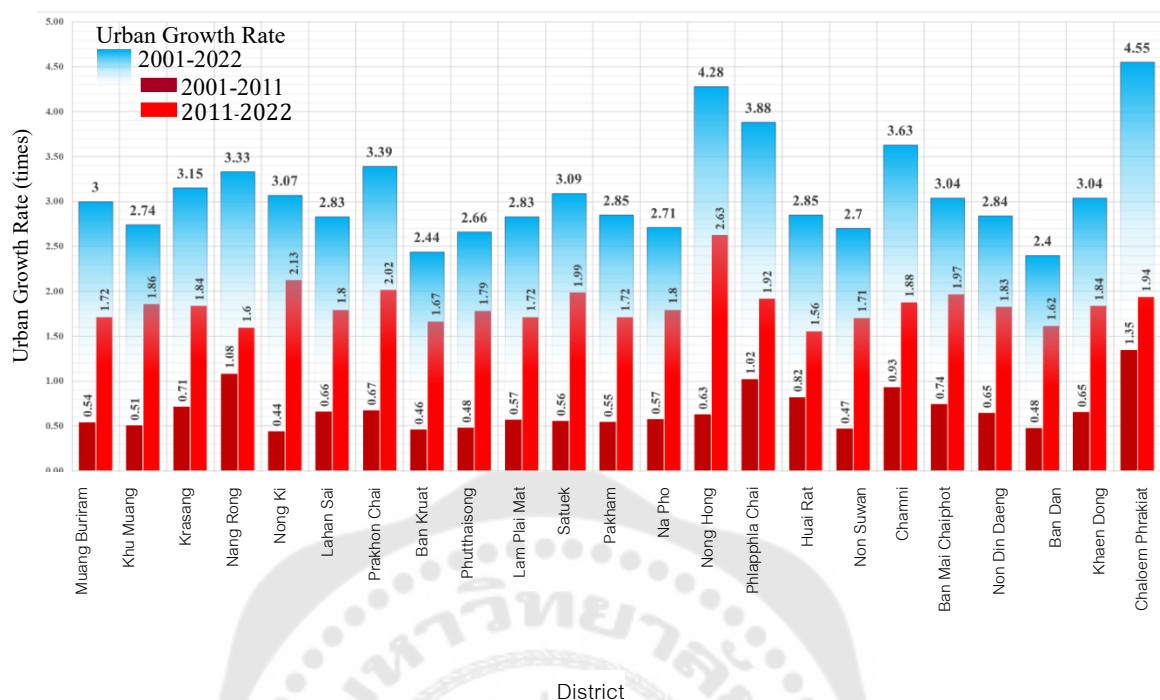
อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่เมือง

การวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่เมืองช่วยให้เข้าใจพลวัตการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในแต่ละอำเภอได้อย่างชัดเจน อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่เมืองทั้ง 23 อำเภอของจังหวัดบุรีรัมย์ในช่วงปี พ.ศ. 2544-2565 เรียงลำดับจากอำเภอที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุดไปยังต่ำสุด อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่เมืองในระดับอำเภอมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าตั้งแต่ 2.40 เท่าถึง 4.55 เท่า ซึ่งสะท้อนถึงความหลากหลายของพลวัตการพัฒนาในแต่ละพื้นที่ ค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตอยู่ที่ 3.06 เท่า หรือคิดเป็นอัตราเฉลี่ยร้อยละ 9.79 ต่อปี ในขณะที่ค่ามัธยฐานอยู่ที่ 2.85 เท่า แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของข้อมูลเบ้ไปทางบวก มีอำเภอบางแห่งที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าค่าเฉลี่ยอย่างมาก

อำเภอที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ อำเภอเฉลิมพระเกียรติ อำเภอหนองหงส์ อำเภอพลับพลาชัย อำเภอชำนิ และอำเภอประโคนชัย มีอัตราการเจริญเติบโตตั้งแต่ 3.39 เท่าถึง 4.55 เท่า หรือคิดเป็นอัตราเฉลี่ยต่อปีตั้งแต่ร้อยละ 11.38 ถึงร้อยละ 16.91 อำเภอเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นอำเภอขนาดเล็กที่เริ่มต้นจากพื้นที่เมืองที่มีขนาดเล็ก (5.26-25.67 ตารางกิโลเมตร) แสดงให้เห็นถึงอำเภอขนาดเล็กมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ถึงแม้การเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณอาจไม่สูงมาก อำเภอเฉลิมพระเกียรติซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุดที่ 4.55 เท่า เป็นอำเภอที่โดดเด่นเนื่องจากเป็นอำเภอใหม่ที่แยกจากอำเภอโนนสุวรรณในปี พ.ศ. 2550 การพัฒนาศูนย์ราชการและโครงสร้างพื้นฐานใหม่ส่งผลให้มีการขยายตัวของพื้นที่เมืองอย่างรวดเร็ว

ตาราง 18 อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่เมืองในระดับอำเภอ

ลำดับ	อำเภอ	2544- 2554 (10 ปี)	2554- 2565 (11 ปี)	อัตราการ เจริญเติบโต (เท่า)	การ เพิ่มขึ้น (km ²)	อัตรา เพิ่มขึ้น (%)	อัตรา เฉลี่ย (%/ปี)
1	เฉลิมพระเกียรติ	2.35	1.94	4.55	23.9	355.13	16.91
2	หนองหงส์	1.63	2.63	4.28	25.44	328.31	15.63
3	พลับพลาชัย	2.02	1.92	3.88	21.6	288	13.71
4	ชำนิ	1.93	1.88	3.63	23.05	262.83	12.51
5	ประโคนชัย	1.67	2.02	3.39	61.33	238.92	11.38
6	นางรอง	2.08	1.6	3.33	82.13	232.73	11.08
7	กระสัง	1.71	1.84	3.15	52.88	214.87	10.23
8	สตึก	1.56	1.99	3.09	44.44	208.84	9.95
9	หนองกี่	1.44	2.13	3.07	31.92	206.87	9.85
10	เมืองบุรีรัมย์	1.54	1.97	3.04	91.15	203.76	9.7
11	แคนดง	1.65	1.84	3.04	11.6	203.51	9.69
12	บ้านใหม่ไชยพจน์	1.74	1.72	3	10.51	199.81	9.52
13	ละหานทราย	1.66	1.72	2.85	38.08	184.94	8.81
14	ห้วยราช	1.82	1.56	2.85	13.55	184.86	8.81
15	ปะคำ	1.55	1.83	2.84	19.34	183.67	8.75
16	โนนดินแดง	1.65	1.72	2.83	11.2	183.31	8.73
17	ลำปลายมาศ	1.57	1.8	2.83	54.45	182.59	8.69
18	โนนสุวรรณ	1.47	1.86	2.74	10.24	173.56	8.26
19	คูเมือง	1.51	1.8	2.71	24.95	171.13	8.15
20	นาโพธิ์	1.57	1.71	2.7	12.01	169.87	8.09
21	พุทไธสง	1.48	1.79	2.66	18.25	165.91	7.99
22	บ้านกรวด	1.46	1.67	2.44	28.75	144.26	7.27
23	บ้านด่าน	1.48	1.62	2.4	9.77	139.97	7.04
ค่าเฉลี่ย		1.65	1.82	3.06	31.2	205.55	9.79
ค่ามัธยฐาน		1.63	1.83	2.85	23.9	184.94	8.81



ภาพประกอบ 26 อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่เมืองในระดับอำเภอ

1. อำเภอที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง (3.00-3.39 เท่า)

มีจำนวน 7 อำเภอ ได้แก่ อำเภอนางรอง อำเภอกระสัง อำเภอสตึก อำเภอหนองกี่ อำเภอเมืองบุรีรัมย์ อำเภอแคนดง และอำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ กลุ่มนี้มีความหลากหลายทั้งในแง่ของขนาดพื้นที่เมืองเริ่มต้นและตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ อำเภอเมืองบุรีรัมย์แม้จะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ 3.04 เท่า ซึ่งต่ำกว่าอำเภอขนาดเล็กหลายแห่ง แต่มีการขยายตัวในเชิงปริมาณสูงสุด (91.15 ตารางกิโลเมตร) สะท้อนถึงบทบาทในฐานะศูนย์กลางการบริหาร การค้า และบริการของจังหวัด อำเภอนางรองซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตที่ 3.33 เท่า เป็นอำเภอขนาดใหญ่ที่มีศักยภาพในการเป็นศูนย์กลางรองของจังหวัด โดยเฉพาะด้วยตำแหน่งที่ตั้งอยู่บนทางหลวงหมายเลข 24 และมีขนาดประชากรมาก

2. อำเภอที่มีอัตราการเจริญเติบโตปานกลาง (2.70-2.99 เท่า)

มีจำนวน 6 อำเภอ ได้แก่ อำเภอละหานทราย อำเภอห้วยราช อำเภอปะคำ อำเภอโนนดินแดง อำเภอลำปลายมาศ และอำเภอโนนสุวรรณ กลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับค่ามัธยฐานของจังหวัด (2.85 เท่า) แสดงให้เห็นถึงการเติบโตในระดับปกติตามแนวโน้มทั่วไป อำเภอลำปลายมาศซึ่งเป็นอำเภอขนาดใหญ่และมีฐานเศรษฐกิจที่แข็งแกร่งด้าน

การค้าและการเกษตร มีอัตราการเจริญเติบโตที่ 2.83 เท่า ใกล้เคียงกับค่ามัธยฐาน แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาที่มั่นคงแต่อาจเข้าสู่ระยะที่มีข้อจำกัดในการขยายตัวเพิ่มเติม

3. อำเภอที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ (ต่ำกว่า 2.70 เท่า)

มีจำนวน 5 อำเภอ ได้แก่ อำเภอคูเมือง อำเภอนาโพธิ์ อำเภอพุทไธสง อำเภอบ้านกรวด และอำเภอบ้านด่าน กลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของจังหวัดอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าตั้งแต่ 2.40 เท่าถึง 2.71 เท่า หรือคิดเป็นอัตราเฉลี่ยต่อปีตั้งแต่ร้อยละ 7.04 ถึงร้อยละ 8.15 อำเภอบ้านด่านซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำสุดที่ 2.40 เท่า ตั้งอยู่ในพื้นที่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัด ห่างไกลจากศูนย์กลางและไม่ได้อยู่บนเส้นทางคมนาคมหลัก ส่งผลให้การขยายตัวของพื้นที่เมืองเกิดขึ้นช้ากว่า อำเภอบ้านกรวดแม้จะตั้งอยู่บนทางหลวงหมายเลข 24 ทางทิศใต้ แต่มีอัตราการเจริญเติบโตเพียง 2.44 เท่า อาจเนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งอยู่ชายแดนไทย-กัมพูชาทางทิศใต้ซึ่งมีข้อจำกัดในการพัฒนา

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตกับขนาดพื้นที่เมืองเริ่มต้น พบความสัมพันธ์แบบผกผันอย่างชัดเจนในอำเภอที่มีพื้นที่เมืองเล็กในปี พ.ศ. 2544 (ต่ำกว่า 10 ตารางกิโลเมตร) มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ 3.55 เท่า ในขณะที่อำเภอที่มีพื้นที่เมืองใหญ่ (มากกว่า 30 ตารางกิโลเมตร) มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเพียง 3.25 เท่า ปรากฏการณ์นี้สะท้อนให้เห็นถึงผลของฐานขนาดเล็กที่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตดูสูง แม้การเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณสัมบูรณ์อาจไม่สูงมาก

การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมือง ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์

การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมืองเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการวางแผนพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน การเลือกปัจจัยที่เหมาะสมส่งผลโดยตรงต่อความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Land Change Model: LCM) ดังที่ Verburg et al. (2019) ได้ชี้ให้เห็นว่าความสำเร็จของการจำลองการขยายตัวของเมืองขึ้นอยู่กับ การเข้าใจปัจจัยขับเคลื่อนที่หลากหลายและซับซ้อน ทั้งในมิติกายภาพ เศรษฐกิจสังคม และนโยบาย จากการสังเคราะห์งานวิจัยอย่างเป็นระบบจำนวน 124 บทความระหว่างปี ค.ศ. 2010–2024 ที่ผู้วิจัยได้ทบทวนและวิเคราะห์ พบว่าปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง Urban LCM สามารถจำแนกออกเป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ ปัจจัยทางธรรมชาติ ปัจจัยสิ่งปลูกสร้าง ปัจจัยเศรษฐกิจสังคม และปัจจัยด้านนโยบาย (Aithal & Ramachandra, 2020; Batty, 2007) การศึกษานี้ใช้กรอบแนวคิดแบบบูรณาการหลายมิติ (Multi-dimensional Framework) ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่

เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมืองตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ โดยครอบคลุมทั้ง 4 มิติดังกล่าว (Batty, 2007; Pontius, 2008; Verburg et al., 2019) การเลือกปัจจัยมีพื้นฐานมาจากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบจำนวน 124 บทความระหว่างปี ค.ศ. 2010–2024 ที่ผู้วิจัยได้สังเคราะห์ (Aithal & Ramachandra, 2020) ร่วมกับการพิจารณาความเหมาะสมกับบริบทพื้นที่ศึกษาและความพร้อมของข้อมูล จังหวัดบุรีรัมย์กำลังอยู่ในช่วงเปลี่ยนผ่านที่สำคัญจากเมืองเกษตรกรรมสู่เมืองกีฬาและการท่องเที่ยว โดยมีขนาดเศรษฐกิจ ในปี พ.ศ. 2563 จำนวน 92,023 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 5.8 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2564) มีโครงสร้างเศรษฐกิจแบ่งเป็นภาคบริการร้อยละ 59.4 ภาคอุตสาหกรรมร้อยละ 17.5 และภาคการเกษตรร้อยละ 23.1 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2565) การเข้าใจปัจจัยขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการวางแผนพัฒนาที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดและหลักการพัฒนายั่งยืน วัตถุประสงค์ที่ 2 นี้ นำเสนอผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมืองบุรีรัมย์ระหว่างปี พ.ศ. 2544–2564 โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 หัวข้อหลัก ประกอบด้วย กลุ่มปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงปริมาณ การตีความผลเชิงภูมิศาสตร์และเชิงทฤษฎี การเชื่อมโยงกับเป้าหมายการพัฒนาจังหวัด และข้อค้นพบสำคัญเชิงสังเคราะห์

สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต ของเมือง MLP Neural Network เป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อน 29 ตัวแปร กับ การเปลี่ยนแปลง การใช้ที่ดิน การเลือกใช้ MLP มีเหตุผลสำคัญจากลักษณะของปัจจัย เชิงพื้นที่ที่ มักมีความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เช่น 1) Distance Decay Effects ระยะห่างจากถนนหรือ ศูนย์กลางเมืองมีอิทธิพลที่ลดลงแบบ exponential ไม่ใช่แบบเชิงเส้น 2) Threshold Effects ความลาดชันหรือระดับความสูง มีจุด threshold ที่ชัดเจน เมื่อเกินจุดนี้ ความน่าจะเป็นจะลดลง อย่างรวดเร็ว 3) Saturation Effects ความหนาแน่นประชากรหรือ การเข้าถึงสาธารณูปโภคมีลักษณะ sigmoid ที่มีจุดอิ่มตัว 4) Interaction Effects ผลของปัจจัยหนึ่ง แตกต่างกันไปตามระดับของปัจจัยอื่น ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบ non-additive ความสามารถของ MLP ในการจำลองความสัมพันธ์เหล่านี้ มาจากโครงสร้าง multi-layer และ non-linear activation functions (Sigmoid) ซึ่งตามทฤษฎี Universal Approximation Theorem สามารถ approximate ฟังก์ชันต่อเนื่องใดๆ ได้ด้วยความแม่นยำที่ ต้องการ (Hornik et al., 1989) โดยไม่ต้องระบุรูปแบบ ความสัมพันธ์ ไว้ล่วงหน้า ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบสำคัญเมื่อเทียบกับวิธีการทางสถิติ แบบดั้งเดิม เช่น Logistic Regression ที่สมมติความสัมพันธ์เชิงเส้น ใน logit space

ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์

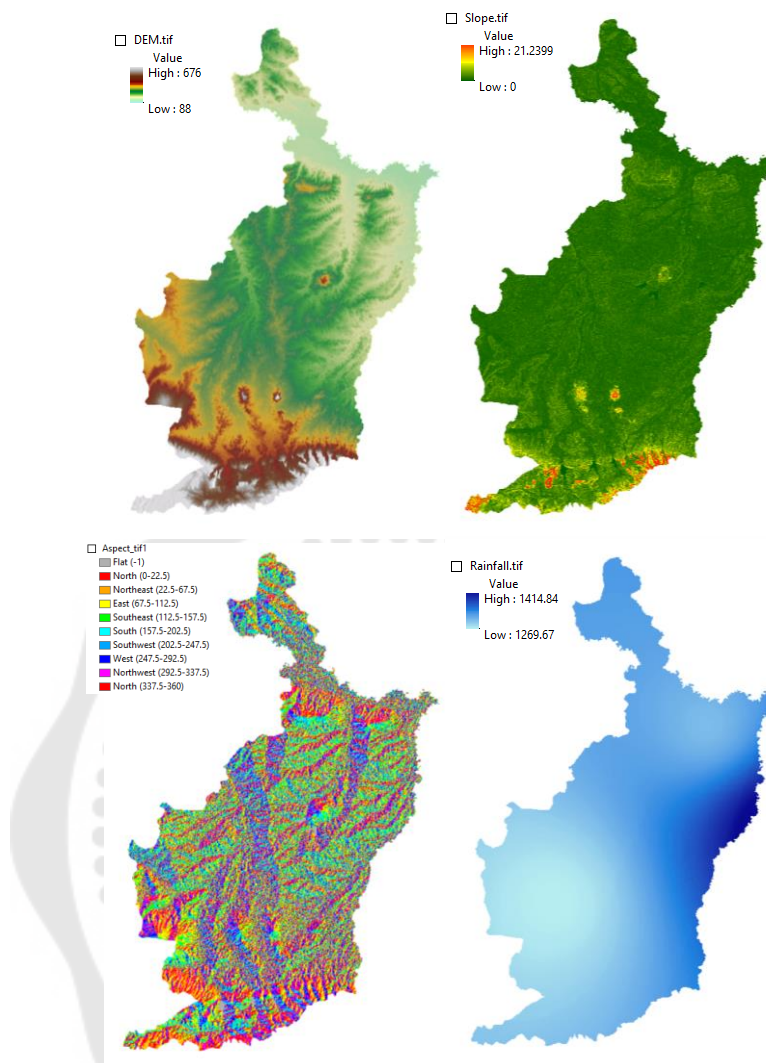
จากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและการศึกษาบริบทพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ ผู้วิจัยได้คัดเลือกปัจจัยทั้งหมด 29 ตัวแปร โดยจำแนกออกเป็น 4 กลุ่มหลักตามลักษณะและบทบาทในกระบวนการเจริญเติบโตของเมือง ได้แก่ กลุ่มปัจจัยธรรมชาติ 10 ตัวแปร กลุ่มปัจจัยสิ่งปลูกสร้าง 12 ตัวแปร กลุ่มปัจจัยเศรษฐกิจสังคม 5 ตัวแปร และกลุ่มปัจจัยนโยบายและข้อจำกัด 2 ตัวแปร การจำแนกกลุ่มปัจจัยมีความสอดคล้องกับกรอบแนวคิดทางทฤษฎีของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการขยายตัวของเมือง (Pontius, 2008) โดยกำหนดความละเอียดจุดภาพ 150×150 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา 955,833 จุดภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้เพิ่มปัจจัยระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าหลัก ซึ่งเป็นปัจจัยเฉพาะบริบทของจังหวัดบุรีรัมย์ที่มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจและการใช้ที่ดิน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. กลุ่มปัจจัยธรรมชาติ (Natural Environment Factors)

ปัจจัยธรรมชาติเป็นปัจจัยพื้นฐานที่กำหนดข้อจำกัดและความเหมาะสมทางกายภาพในการพัฒนาเมือง จากการสังเคราะห์งานวิจัย 124 บทความ พบว่าปัจจัยกลุ่มนี้คิดเป็นสัดส่วน 31% ของปัจจัยทั้งหมดที่ใช้ในแบบจำลอง Urban LCM ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของเงื่อนไขทางกายภาพต่อการตัดสินใจเลือกที่ตั้งและรูปแบบการพัฒนาเมือง (Han et al., 2015) ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้คัดเลือกปัจจัยธรรมชาติ 10 ตัวแปร ดังภาพประกอบ 27

1.1 แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) เป็นปัจจัยพื้นฐานที่สะท้อนลักษณะภูมิประเทศและมีอิทธิพลต่อต้นทุนการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน ข้อมูลที่ใช้ได้จากฐานข้อมูล USGS Earth Explorer พื้นที่ศึกษามีความสูงภูมิประเทศจากระดับทะเลปานกลางระหว่าง 88–676 เมตร จังหวัดบุรีรัมย์มีลักษณะทางธรณีวิทยาที่เป็นเอกลักษณ์คือมีแหล่งภูเขาไฟที่ดับแล้ว 6 ลูก ซึ่งสร้างความหลากหลายทางภูมิทัศน์ ลักษณะทางธรณีวิทยาเฉพาะนี้ยังส่งผลต่อคุณภาพดินที่เหมาะสมแก่การปลูกข้าวหอมมะลิ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์บ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ที่มีคุณภาพเฉพาะ

1.2 ความลาดชัน (Slope) คำนวณจากแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์เชิงพื้นที่ พื้นที่ศึกษามีความลาดชันระหว่าง 0–21.23 องศา ความลาดชันมีความสัมพันธ์ผกผันกับความเหมาะสมในการพัฒนาเมือง พื้นที่ที่มีความลาดชันสูงมักต้องเผชิญกับข้อจำกัดทางวิศวกรรมและต้นทุนการพัฒนาที่เพิ่มขึ้น (Pontius, 2008)



ภาพประกอบ 27 กลุ่มปัจจัยธรรมชาติ แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ความลาดชัน ความลาดเท และปริมาณน้ำฝน

1.3 ความลาดเท (Aspect) คำนวณจากแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข ระบุทิศทางที่พื้นที่นั้นเข้าหา พื้นที่ศึกษามีความลาดเทแบ่งเป็น 9 ทิศทาง ได้แก่ North (0-22.5°), Northeast (22.5-67.5°), East (67.5-112.5°), Southeast (112.5-157.5°), South (157.5-202.5°), Southwest (202.5-247.5°), West (247.5-292.5°), Northwest (292.5-337.5°) และ North (337.5-360°) ซึ่งส่งผลต่อปริมาณแสงแดดและความชื้น และความลาดเทของภูมิประเทศในการบริหารจัดการน้ำ

1.4 ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) คำนวณค่าจากสถานีวัดปริมาณน้ำฝนจังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดใกล้เคียง ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา พื้นที่ศึกษามีปริมาณน้ำฝนอยู่ระหว่าง

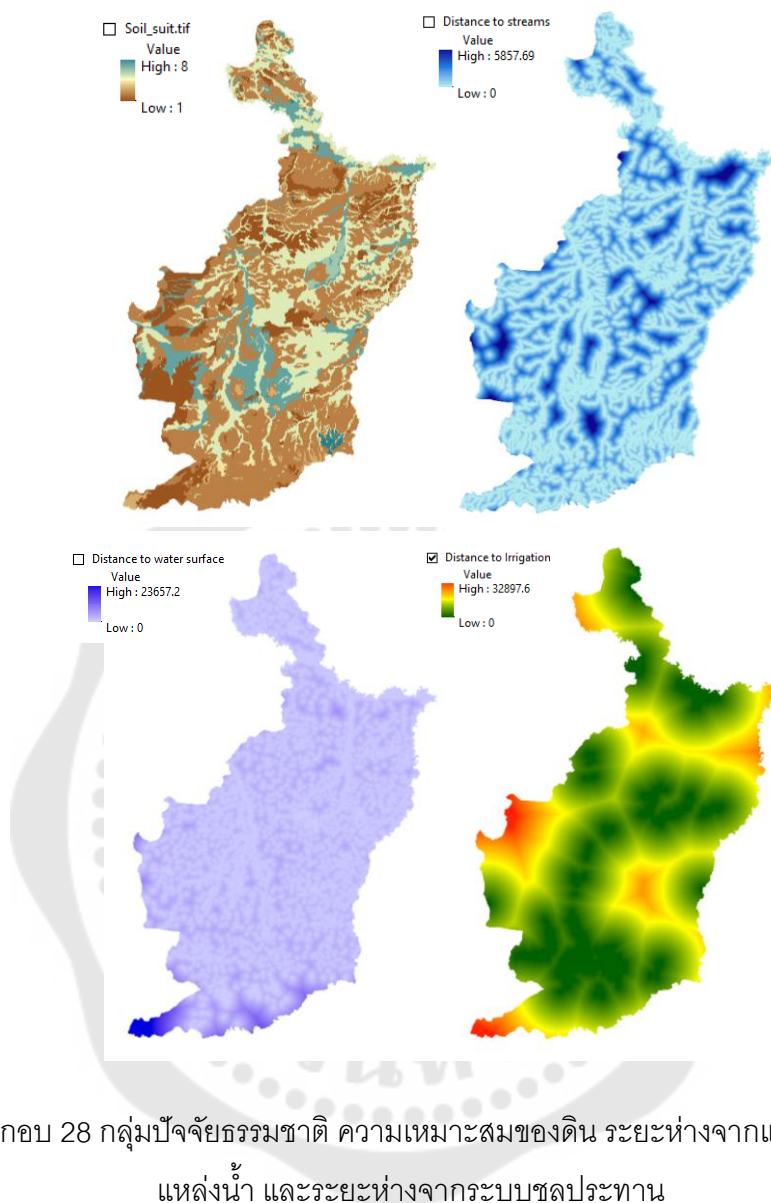
1,269.67–1,414.84 มิลลิเมตรต่อปี สะท้อนความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรายปีซึ่งส่งผลต่อการจัดการทรัพยากรน้ำและความเสี่ยงจากภัยแล้ง โดยเฉพาะปัญหาภัยแล้งที่รุนแรงขึ้นในพื้นที่ภาคใต้ของจังหวัดที่มีระบบชลประทานจำกัด

1.5 ความเหมาะสมของดิน (Soil Suitability) ข้อมูลได้จากแผนที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน จำแนกความเหมาะสมของดินออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ เหมาะสมมาก เหมาะสมปานกลาง เหมาะสมน้อย ไม่เหมาะสม พื้นที่น้ำและพื้นที่อื่นๆ ความเหมาะสมของดินมีผลต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรและความเหมาะสมในการรองรับโครงสร้างพื้นฐานเมือง โดยเฉพาะดินภูเขาไฟที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงและเหมาะสมกับการปลูกพืช ดังภาพประกอบ 28

1.6 ระยะห่างจากแม่น้ำ (Distance to Streams) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากแม่น้ำด้วยวิธีการระยะทางแบบยูคลิด พบว่าระยะห่างจากแม่น้ำมีค่าตั้งแต่ 0–5,857.69 เมตร การเข้าถึงลำน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกที่ตั้งชุมชนและกิจกรรมทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีความจำกัดของแหล่งน้ำผิวดิน

1.7 ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (Distance to Water Surface) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากแหล่งน้ำผิวดินด้วยวิธีการระยะทางแบบยูคลิด พบว่าระยะห่างจากแหล่งน้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ 0–23,657.2 เมตร แหล่งน้ำผิวดินมีความสำคัญต่อการจัดสรรน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและกิจกรรมทางเศรษฐกิจ การพัฒนาเมืองมักเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีการเข้าถึงแหล่งน้ำที่สะดวก

1.8 ระยะห่างจากระบบชลประทาน (Distance to Irrigation) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากเขตชลประทานด้วยวิธีการระยะทางแบบยูคลิด พบว่าระยะห่างจากเขตชลประทานมีค่าตั้งแต่ 0–32,897.6 เมตร จังหวัดบุรีรัมย์มีความท้าทายสำคัญคือพื้นที่ชลประทานที่มีเพียงร้อยละ 13.63 ของพื้นที่การเกษตร ส่งผลต่อความเสี่ยงจากภัยแล้งและข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตร การมีระบบชลประทานส่งผลต่อความมั่นคงของการผลิตเกษตรและศักยภาพในการรองรับการขยายตัวของชุมชน

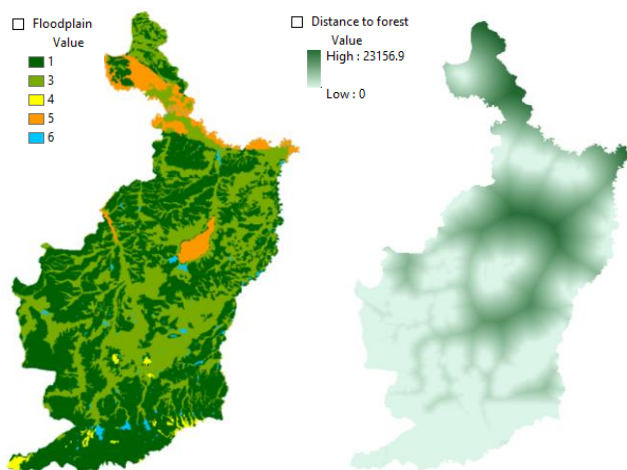


ภาพประกอบ 28 กลุ่มปัจจัยธรรมชาติ ความเหมาะสมของดิน ระยะห่างจากแม่น้ำ ระยะห่างจากแหล่งน้ำ และระยะห่างจากระบบชลประทาน

1.9 พื้นที่น้ำท่วม (Floodplain) ข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำและการจำลองแบบอุทกวิทยา จำแนกพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่เสี่ยงต่ำ พื้นที่เสี่ยงปานกลาง พื้นที่เสี่ยงสูง พื้นที่ที่ลาดและพื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมเป็นข้อจำกัดสำคัญในการขยายตัวของเมืองและจำเป็นต้องพิจารณาในการวางผังเมือง การพัฒนาพื้นที่เมืองควรหลีกเลี่ยงพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมสูงเพื่อลดความเสี่ยงและความเสียหายจากภัยพิบัติ

1.10 ระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้ (Distance to Forest) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากพื้นที่ป่าไม้ด้วยวิธีการระยะทางแบบยูคลิด พบว่าระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้มีค่าตั้งแต่ 0–23,156.9 เมตร พื้นที่ป่าไม้เป็นข้อจำกัดในการขยายตัวของเมืองและเป็นพื้นที่อนุรักษ์ที่ต้องได้รับการ

คุ้มครอง พื้นที่ป่าไม้ปัจจุบันคิดเป็นเพียงร้อยละ 9.57 ของพื้นที่จังหวัด และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง สะท้อนถึงความจำเป็นในการอนุรักษ์และฟื้นฟูพื้นที่ป่าไม้ ดังภาพประกอบ 29



ภาพประกอบ 29 กลุ่มปัจจัยธรรมชาติ พื้นที่น้ำท่วม และระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้

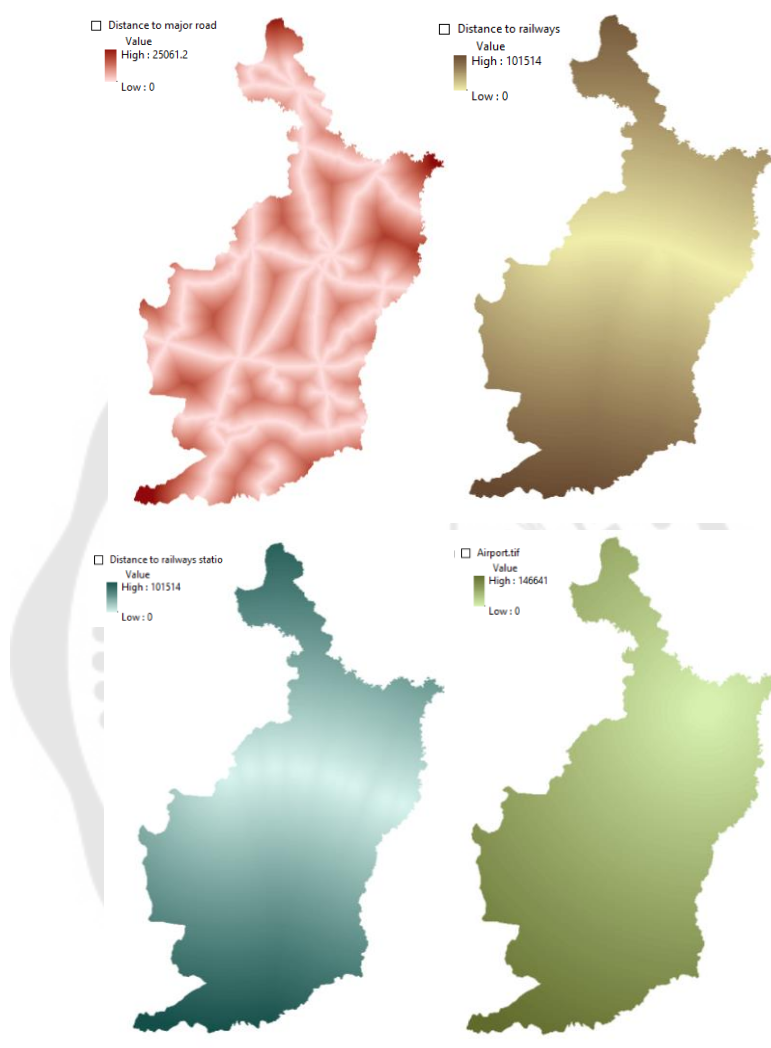
2. กลุ่มปัจจัยสิ่งปลูกสร้าง (Built Environment Factors)

กลุ่มปัจจัยสิ่งปลูกสร้างเป็นกลุ่มที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในการอธิบายการขยายตัวของเมือง จากการสังเคราะห์งานวิจัย 124 บทความ พบว่ากลุ่มนี้คิดเป็นสัดส่วนสูงสุดที่ 40.74% ของปัจจัยทั้งหมด โดยเฉพาะ ระยะห่างจากถนนหลัก ถูกใช้บ่อยที่สุดถึง 62 ครั้งจาก 124 บทความที่บทวน สะท้อนให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของความสะดวกในการเข้าถึงและต้นทุนการเดินทางตามทฤษฎีที่ตั้งของ Alonso (1964) และทฤษฎี Accessibility (Carruthers, 2003) ในการศึกษาี้ ผู้วิจัยได้คัดเลือกปัจจัยสิ่งปลูกสร้าง 12 ตัวแปร ดังภาพประกอบ 30

2.1 ระยะห่างจากถนนสายหลัก (Distance to Major Roads) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากถนนสายหลักด้วยวิธีการระยะทางแบบยุคลิด พบว่าระยะห่างจากถนนสายหลักมีค่าตั้งแต่ 0–25,061 เมตร โดยเฉพาะทางหลวงหมายเลข 24 ที่เป็นแกนหลักของการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ความสะดวกในการเข้าถึงถนนสายหลักเป็นปัจจัยพื้นฐานที่กำหนดมูลค่าที่ดินและแรงจูงใจในการพัฒนา (Achmad et al., 2015) การขยายตัวของเมืองบุรีรัมย์ส่วนใหญ่เกิดตามแนวทางหลวง 24 ที่เป็นเส้นทางหลักเชื่อมโยงจังหวัดบุรีรัมย์กับนครราชสีมาและสุรินทร์

2.2 ระยะห่างจากทางรถไฟ (Distance to Railways) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากทางรถไฟด้วยวิธีการระยะทางแบบยุคลิด พบว่าระยะห่างจากทางรถไฟมีค่าตั้งแต่ 0–101,541

เมตร ทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือเป็นโครงสร้างพื้นฐานการขนส่งสำคัญที่เชื่อมโยงบุรีรัมย์กับภูมิภาคอื่น ข้อมูลได้จากการรถไฟแห่งประเทศไทย



ภาพประกอบ 30 กลุ่มปัจจัยสิ่งปลูกสร้าง ระยะห่างจากถนนสายหลัก ระยะห่างจากทางรถไฟ ระยะห่างจากสถานีรถไฟ และระยะห่างจากสนามบิน

2.3 ระยะห่างจากสถานีรถไฟ (Distance to Railway Stations) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากสถานีรถไฟด้วยวิธีการระยะทางแบบยุคลิด พบว่าระยะห่างจากสถานีรถไฟมีค่าตั้งแต่ 0–101,541 เมตร สถานีรถไฟเป็นจุดเชื่อมต่อสำคัญระหว่างระบบการขนส่งมวลชนกับพื้นที่เมือง และมักเป็นจุดศูนย์กลางของกิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคม

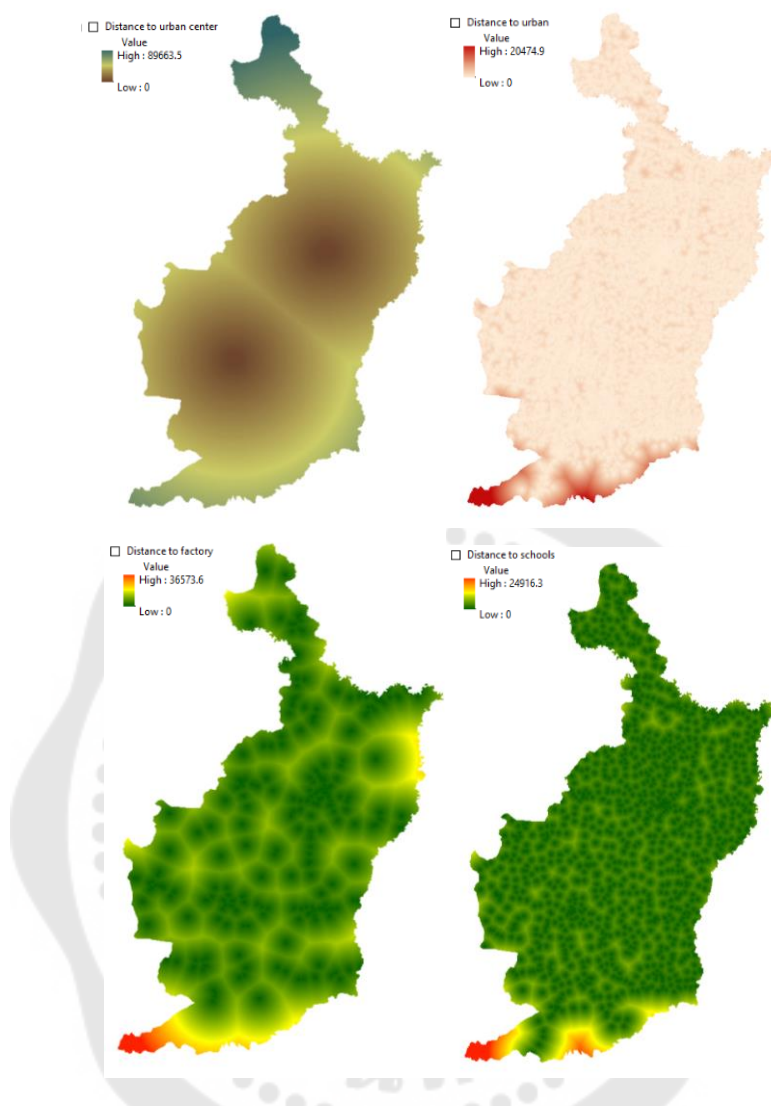
2.4 ระยะห่างจากสนามบิน (Distance to Airport) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากสนามบินด้วยวิธีการระยะทางแบบยุคลิด พบว่าระยะห่างจากสนามบินมีค่าตั้งแต่ 0–146,641 เมตร วัดระยะห่างจากท่าอากาศยานบุรีรัมย์ การมีสนามบินส่งเสริมการเข้าถึงและเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาเมืองท่องเที่ยว โดยมีเป้าหมายการยกระดับสนามบินบุรีรัมย์เป็นสนามบินศุลกากรเต็มรูปแบบเพื่อรองรับนักท่องเที่ยวสากล

2.5 ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ (Distance to Urban Center) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากย่านการค้าด้วยวิธีการระยะทางแบบยุคลิด พบว่าระยะห่างจากย่านการค้ามีค่าตั้งแต่ 0–89,663.5 เมตร วัดระยะห่างจากศูนย์กลางเมืองบุรีรัมย์ ตามแบบจำลอง Monocentric City ของ Alonso (1964) ค่าเช่าที่ดินมีความสัมพันธ์ผกผันกับระยะห่างจาก CBD ดังภาพประกอบ 31

2.6 ระยะห่างจากพื้นที่เมือง (Distance to Urban Areas) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากพื้นที่ชุมชนด้วยวิธีการระยะทางแบบยุคลิด พบว่าระยะห่างจากพื้นที่ชุมชนมีค่าตั้งแต่ 0–20,474.9 เมตร วัดระยะห่างจากพื้นที่เมืองในปฐภูมิ การขยายตัวของเมืองมักเกิดขึ้นในรัศมีใกล้เคียงกับพื้นที่เมืองเดิมตามกลไกของการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ (Spatial Diffusion)

2.7 ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม (Distance to Factories) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยวิธีการระยะทางแบบยุคลิด พบว่าระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรมมีค่าตั้งแต่ 0–36,573.6 เมตร ข้อมูลจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม การกระจุกตัวของกิจกรรมอุตสาหกรรมส่งเสริมการขยายตัวของเมืองในบริเวณใกล้เคียง โดยเฉพาะการพัฒนาที่อยู่อาศัยสำหรับแรงงาน

2.8 ระยะห่างจากโรงเรียน (Distance to Schools) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากโรงเรียนทุกระดับ ประถม มัธยม และอุดมศึกษา ด้วยวิธีการระยะทางแบบยุคลิด พบว่าระยะห่างจากโรงเรียนมีค่าตั้งแต่ 0–24,916.3 เมตร การศึกษาเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกที่อยู่อาศัยของครัวเรือนและโรงเรียนมีบทบาทเป็นศูนย์กลางชุมชน (Li et al., 2019)



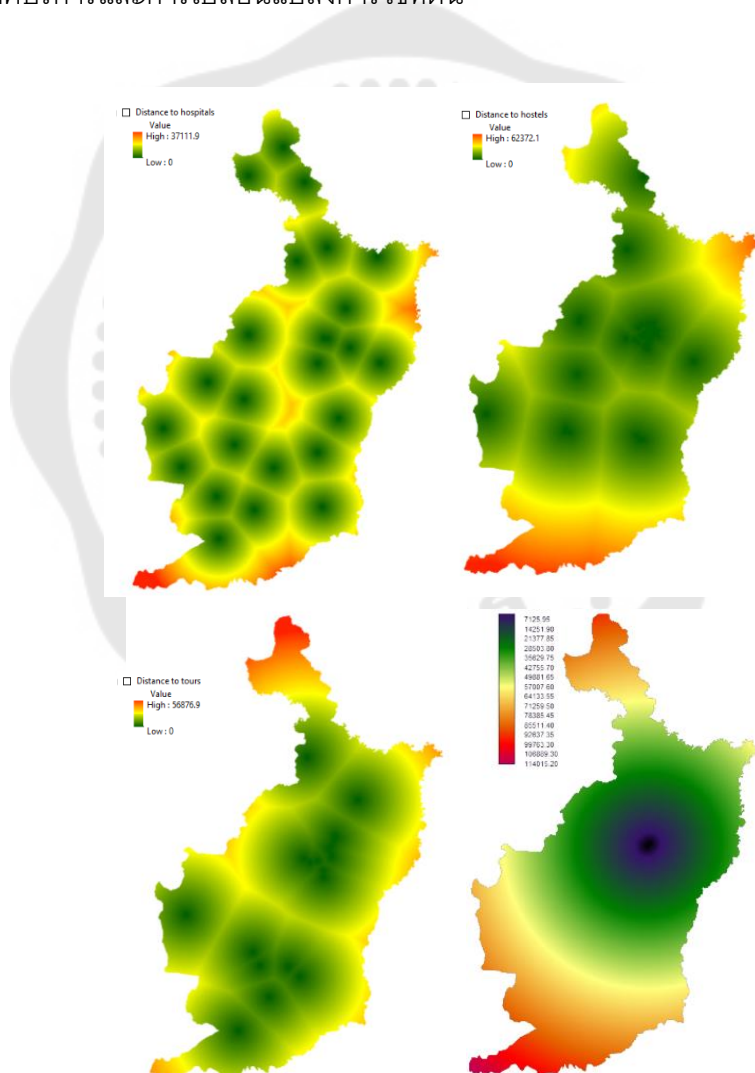
ภาพประกอบ 31 กลุ่มปัจจัยสิ่งปลูกสร้าง ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ ระยะห่างจากพื้นที่เมือง ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม และระยะห่างจากโรงเรียน

2.9 ระยะห่างจากโรงพยาบาล (Distance to Hospitals) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากโรงพยาบาลด้วยวิธีการระยะทางแบบยูคลิด พบว่าระยะห่างจากโรงพยาบาลมีค่าตั้งแต่ 0 – 37,111.9 เมตร วัดระยะห่างจากสถานพยาบาลภาครัฐและเอกชน การเข้าถึงบริการสาธารณสุข เป็นปัจจัยพื้นฐานของคุณภาพชีวิต โดยเฉพาะในบริบทสังคมสูงวัย ดังภาพประกอบ 32

2.10 ระยะห่างจากโรงแรม (Distance to Hotels) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากโรงแรมด้วยวิธีการระยะทางแบบยูคลิด พบว่าระยะห่างจากโรงแรมมีค่าตั้งแต่ 0–63,372.1 เมตร วัดระยะห่างจากสถานที่พักทุกประเภท ข้อมูลสำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดบุรีรัมย์

สะท้อนการกระจายตัวของกิจกรรมการท่องเที่ยวและศักยภาพในการพัฒนาธุรกิจบริการที่เกี่ยวข้อง

2.11 ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว (Distance to Tourist Attractions) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากแหล่งท่องเที่ยวด้วยวิธีการระยะทางแบบยูคลิด พบว่าระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยวมีค่าตั้งแต่ 0–56,876.9 เมตร วัดระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยวสำคัญ เช่น ปราสาทหินพนมรุ้ง ปราสาทหินเมืองต่ำ และแหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม จังหวัดบุรีรัมย์มีทุนทางวัฒนธรรม อารยธรรมขอมและโครงสร้างพื้นฐานด้านกีฬาในระดับสากล ซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อนสำคัญต่อการพัฒนาภาคบริการและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน



ภาพประกอบ 32 กลุ่มปัจจัยสิ่งปลูกสร้าง ระยะห่างจากโรงพยาบาล ระยะห่างจากโรงแรม
ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว และระยะห่างจากสนามกีฬาหลัก

2.12 ระยะห่างจากสนามกีฬาหลัก (Main Sport Stadium) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากสนามช้างอารีนาด้วยวิธีการระยะทางแบบยุคลิด พบว่าระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยวมีค่าตั้งแต่ 0–114,015.20 เมตร เป็นปัจจัยเฉพาะของจังหวัดบุรีรัมย์ที่สะท้อนบทบาทของสนามกีฬาแห่งนี้ในฐานะศูนย์กลางของกิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคม สนามช้างอารีนาเป็นสนามฟุตบอลมาตรฐาน FIFA และสนามช้างอินเตอร์เนชั่นแนลเซอร์กิตเป็นสนามแข่งรถระดับมาตรฐาน FIA Grade 1 เป็นสนามแห่งแรกและแห่งเดียวในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่ได้รับการรับรองในระดับสูงสุด สนามช้างอารีนาทำหน้าที่เป็น Sub-center ในแบบจำลอง Polycentric Development (Batty, 2007) และเป็นปัจจัยขับเคลื่อนสำคัญของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจจากเกษตรกรรมสู่การท่องเที่ยวและบริการ

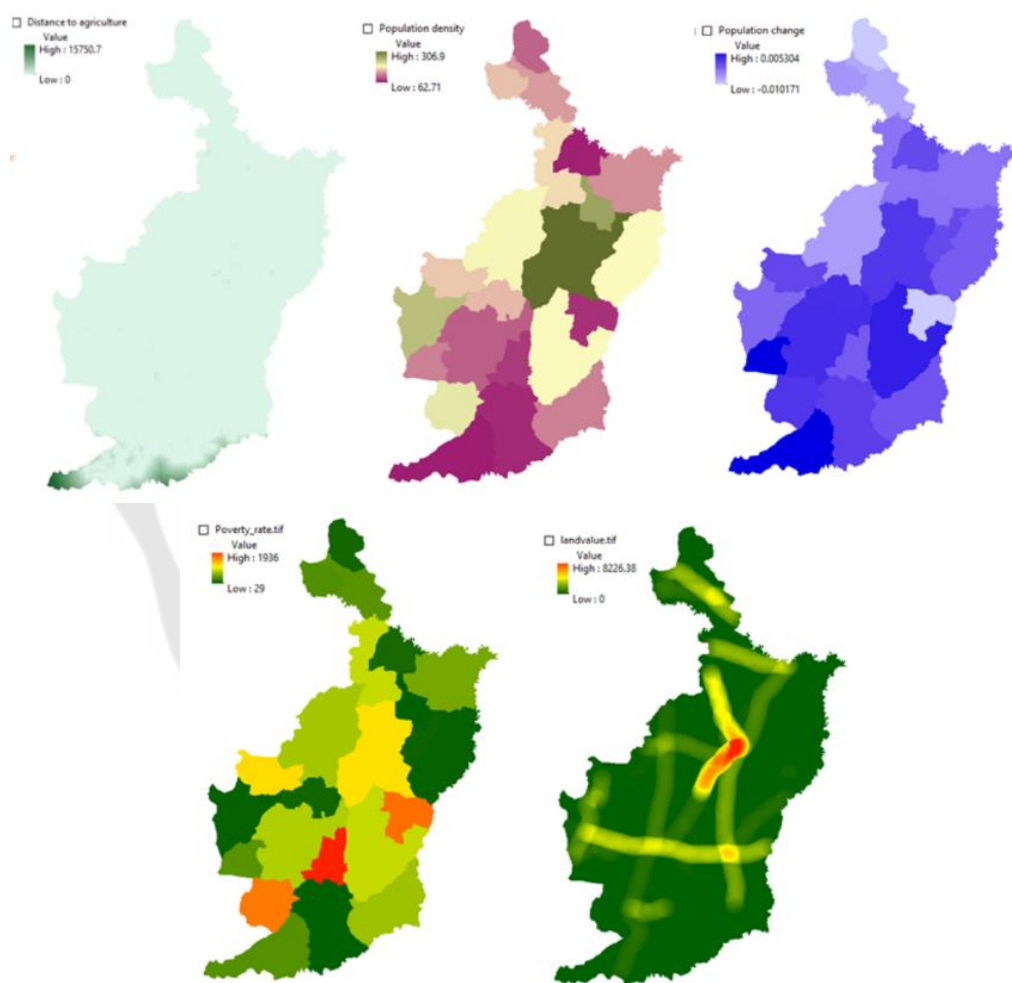
3. กลุ่มปัจจัยเศรษฐกิจสังคม (Socio-economic Factors)

กลุ่มปัจจัยเศรษฐกิจสังคมสะท้อนแรงดึงดูดและแรงผลักดันทางเศรษฐกิจที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จากการสังเคราะห์งานวิจัย 124 บทความ พบว่ากลุ่มนี้คิดเป็นสัดส่วน 17.04% ของปัจจัยทั้งหมด แม้จะมีสัดส่วนน้อยกว่ากลุ่มสิ่งปลูกสร้าง แต่มีบทบาทสำคัญในการอธิบายพลวัตรของการเปลี่ยนแปลง (Li et al., 2019; Samie et al., 2017) ในการศึกษาี้ ผู้วิจัยได้คัดเลือกปัจจัยเศรษฐกิจสังคม 5 ตัวแปร ดังภาพประกอบ 33

3.1 ระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรม (Distance to Agriculture) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากพื้นที่เกษตรกรรมด้วยวิธีการระยะทางแบบยุคลิด พบว่าระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรมมีค่าตั้งแต่ 0–15,750.7 เมตร สะท้อนโครงสร้างเศรษฐกิจและแรงกดดันในการเปลี่ยนแปลงจากเกษตรสู่เมือง โครงสร้างการใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบันสะท้อนถึงลักษณะเศรษฐกิจที่ยังคงพึ่งพาภาคเกษตรกรรมเป็นหลัก โดยมีพื้นที่การเกษตรกรรมสูงถึงร้อยละ 76.51 หรือประมาณ 7,702.09 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วยพื้นที่ดินเฉลี่ยต่อครัวเรือนสูงถึง 302,927 บาท และผลิตภาพแรงงานภาคการเกษตรลดลงเหลือ 82,010 บาทต่อคนต่อปี

3.2 ความหนาแน่นประชากร (Population Density) วิเคราะห์จากจำนวนประชากรระดับอำเภอ ปี พ.ศ. 2565 พบว่าจังหวัดบุรีรัมย์มีประชากรหนาแน่นอยู่ระหว่าง 62.71–306.9 คนต่อตารางกิโลเมตร คำนวณจากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติ แสดงจำนวนประชากรต่อพื้นที่ ความหนาแน่นประชากรสูงสะท้อนแรงกดดันต่อการใช้ที่ดินและความต้องการพื้นที่เมืองเพิ่มเติม จังหวัดบุรีรัมย์เผชิญกับความท้าทายจากการเข้าสู่สังคมสูงวัยโดยสมบูรณ์ โดยในปี พ.ศ. 2565 มีสัดส่วนผู้สูงอายุร้อยละ 21.9 วัยแรงงานร้อยละ 60.1 และวัยเด็กร้อยละ 18.1

3.3 การเจริญเติบโตของประชากร (Population Growth Rate) วิเคราะห์จากจำนวนประชากรระดับอำเภอ ปี พ.ศ. 2544–2565 พบว่าจังหวัดบุรีรัมย์มีอัตราการเจริญเติบโตของประชากรอยู่ระหว่าง -0.01017 ถึง 0.00534 ต่อปี ข้อมูลจากสำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง พื้นที่ที่มีอัตราการเติบโตสูงมักมีความต้องการที่อยู่อาศัยและโครงสร้างพื้นฐานเพิ่มขึ้น อัตราการพึ่งพิงเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 52 ซึ่งส่งผลกระทบต่อรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและทิศทางการพัฒนาเชิงพื้นที่



ภาพประกอบ 33 กลุ่มปัจจัยเศรษฐกิจสังคม ระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรม ความหนาแน่นประชากร การเจริญเติบโตของประชากร อัตราความยากจน และราคาที่ดิน

3.4 อัตราความยากจน (Poverty Rate) วิเคราะห์จากจำนวนประชากรที่มีความยากจนระดับอำเภอ ปี พ.ศ. 2565 พบว่าจังหวัดบุรีรัมย์มีประชากรที่มีความยากจนระดับอำเภออยู่ระหว่าง 29–1,936 คน ข้อมูลจากกระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์และสำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์ สะท้อนความเหลื่อมล้ำทางเศรษฐกิจและความสามารถในการเข้าถึงทรัพยากร จากการสำรวจความคิดเห็นของประชาชน พบว่าร้อยละ 73.1 มีปัญหาและความเดือดร้อน โดยปัญหาหลักเกี่ยวข้องกับค่าครองชีพ ราคาสินค้าเกษตร และรายได้ที่ไม่เพียงพอ

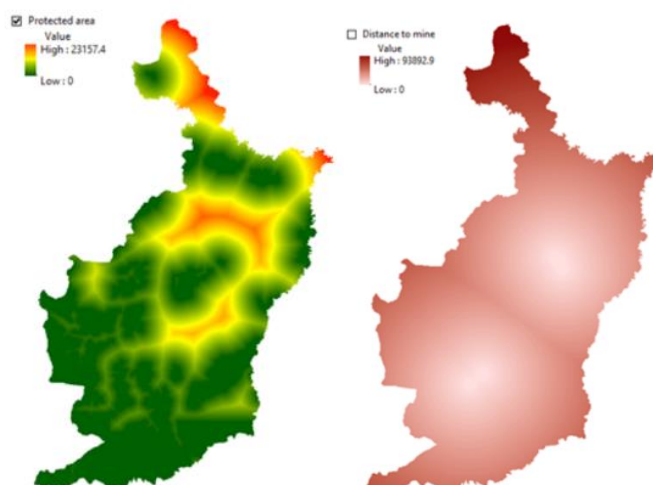
3.5 ราคาที่ดิน (Land Value) วิเคราะห์จากราคาประเมินที่ดินกรมธนารักษ์ พบว่าจังหวัดบุรีรัมย์มีราคาที่ดินตั้งแต่ 0–8,226.38 บาทต่อตารางวา ข้อมูลจากกรมที่ดินและตลาดอสังหาริมทรัพย์ ราคาที่ดินเป็นทั้งผลลัพธ์และปัจจัยขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน รายได้เฉลี่ยต่อหัวของจังหวัดต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศถึง 3.0 เท่า สะท้อนถึงความจำเป็นในการพัฒนาเชิงพื้นที่ที่สมดุลและเป็นธรรม

4. กลุ่มปัจจัยนโยบายและข้อจำกัด (Policy and Constraints)

กลุ่มปัจจัยนโยบายและข้อจำกัดมีบทบาทในการชี้แนะและจำกัดทิศทางการขยายตัวของเมือง จากการสังเคราะห์งานวิจัย 124 บทความ พบว่ากลุ่มนี้คิดเป็นสัดส่วน 10.37% ของปัจจัยทั้งหมด แม้จะมีสัดส่วนน้อยที่สุด แต่มีอิทธิพลสำคัญในการกำหนดกรอบการพัฒนา (Pontius, 2008) ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาปัจจัยในกลุ่มนี้ 2 ตัวแปร ดังภาพประกอบ 34

4.1 ระยะห่างจากพื้นที่อนุรักษ์ (Distance to Protected Areas) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากพื้นที่อนุรักษ์ด้วยวิธีการระยะทางแบบยุคลิด พบว่าระยะห่างจากพื้นที่อนุรักษ์มีค่าตั้งแต่ 0–23,157.4 เมตร ประกอบด้วยเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า และพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ ข้อมูลจากกรมอุทยานแห่งชาติและกรมป่าไม้ เป็นข้อจำกัดทางกฎหมายที่ห้ามการพัฒนาเมือง พื้นที่ป่าไม้ที่เหลือเพียงร้อยละ 9.57 (963.18 ตารางกิโลเมตร) และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง สะท้อนถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการฟื้นฟูและอนุรักษ์ จังหวัดมีเป้าหมายเพิ่มพื้นที่ป่าไม้จากร้อยละ 9.57 เป็นร้อยละ 10 ภายในปี พ.ศ. 2575

4.2 ระยะห่างจากเหมืองแร่ (Distance to Mines) วิเคราะห์ระยะห่างออกจากพื้นที่เหมืองด้วยวิธีการระยะทางแบบยุคลิด พบว่าระยะห่างจากพื้นที่เหมืองมีค่าตั้งแต่ 0–98,892.9 เมตร ข้อมูลจากกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ พื้นที่เหมืองมีข้อจำกัดในการพัฒนาพื้นที่เมืองเนื่องจากผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย เป็นข้อจำกัดเชิงนโยบายที่ควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณใกล้เคียง



ภาพประกอบ 34 กลุ่มปัจจัยนโยบายและข้อจำกัด ระยะห่างจากพื้นที่อนุรักษ์ และระยะห่างจากเหมืองแร่

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัย

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดบุรีรัมย์ดำเนินการผ่านแบบจำลอง Multi-Layer Perceptron Neural Network ภายในโปรแกรม LCM ของ TerrSet การวิเคราะห์ครอบคลุม 10 รูปแบบการเปลี่ยนแปลง (Sub-models) ที่สำคัญ โดยแต่ละ Sub-model ได้รับการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญต่อรูปแบบการเปลี่ยนแปลงนั้นๆ ผ่านกระบวนการ Backwards Stepwise Variable Selection

1. Sub-model 1: Agriculture to Urban (เกษตรกรรมเป็นเมือง)

การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมืองเป็นรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่สุดของจังหวัดบุรีรัมย์ Sub-model นี้ใช้ตัวแปรทั้งหมด 5 ตัว มีค่า Overall Skill Measure สูงมากถึง 0.9861 และความแม่นยำ 99.30% ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ระยะห่างจากพื้นที่เมือง เป็นปัจจัยเพียงตัวเดียวที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สูงถึง 0.9698 สะท้อนรูปแบบการขยายตัวของเมืองแบบ Compact Development คือการขยายออกจากพื้นที่เมืองเดิมเป็นวงกว้างตามหลัก Concentric Zone Theory พื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่ติดกับขอบเมืองจึงมีแนวโน้มสูงมากในการเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมือง เนื่องจากมีความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐาน มีความสะดวกในการเข้าถึงบริการเมือง และมีต้นทุนการพัฒนาที่ต่ำกว่าพื้นที่ห่างไกล ในบริบทของ

จังหวัดบุรีรัมย์ การเติบโตของเมืองเกิดขึ้นโดยการขยายจากเขตเมืองบุรีรัมย์ไปยังพื้นที่ชานเมืองโดยรอบ โดยเฉพาะบริเวณตำบลในเมือง เสม็ด อีสาน และบ้านบัว ดังตาราง 19

ตาราง 19 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง

ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์
1	ระยะห่างจากพื้นที่เมือง	0.9698
2	ระยะทางถึงแหล่งการศึกษา	0.0000
3	ระยะห่างจากโรงเรียน	0.0000
4	ระยะห่างจากถนนสายหลัก	0.0000
5	ระยะห่างจากแหล่ง	0.0000

2. Sub-model: Forest to Agriculture (ป่าไม้เป็นเกษตรกรรม)

Sub-model นี้ใช้ตัวแปรทั้งหมด 5 ตัว มีค่า Overall Skill Measure อยู่ที่ 0.5249 ซึ่งอยู่ในระดับ Moderate แบบจำลองมีความแม่นยำ 76.24% การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรมมีระยะห่างจากพื้นที่เมือง เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเช่นเดียวกับ Sub-model แรก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สูงถึง 0.4629 ความสำคัญของตัวแปร สะท้อนปรากฏการณ์การขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรมในเขตชานเมือง พื้นที่ป่าไม้ที่อยู่ใกล้เมืองมีแนวโน้มถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรกรรมมากกว่าพื้นที่ป่าไม้ที่ห่างไกล เนื่องจากความต้องการผลผลิตทางการเกษตรสูงในเขตใกล้เมืองเพื่อป้อนตลาดเมือง การเข้าถึงตลาดและโครงสร้างพื้นฐานทำได้สะดวกกว่า และเกษตรกรสามารถทำการเกษตรแบบเชิงพาณิชย์ได้ง่าย

ตาราง 20 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม

ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์
1	ระยะห่างจากพื้นที่เมือง	0.4629
2	ระยะทางถึงแหล่งการศึกษา	0.0107
3	ระยะห่างจากถนนสายหลัก	0.0100
4	ระยะห่างจากแหล่ง	0.0100
5	ระยะห่างจากโรงเรียน	0.0046

3. Sub-model: Agriculture to Miscellaneous (เกษตรกรรม เป็นเบ็ดเตล็ด)

Sub-model นี้ใช้ตัวแปรทั้งหมด 8 ตัว มีค่า Overall Skill Measure อยู่ที่ 0.3034 ซึ่ง แบบจำลองมีความแม่นยำต่ำกว่า Sub-models อื่นๆ สะท้อนความซับซ้อนของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ดมีความแตกต่างอย่างชัดเจนจาก Sub-models อื่นๆ โดยพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม กลายเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สูงถึง 0.5618 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่ในเขตเสี่ยงน้ำท่วมมีแนวโน้มสูงมากในการเปลี่ยนเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด เนื่องจากพื้นที่เหล่านี้ไม่เหมาะสมกับการทำเกษตรอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในบริบทของจังหวัดบุรีรัมย์ที่มีปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในฤดูฝน พื้นที่เกษตรในเขตลุ่มน้ำและพื้นที่ราบลุ่มจึงถูกทิ้งร้างหรือเปลี่ยนเป็นพื้นที่รกร้าง พื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ หรือพื้นที่ว่างเปล่าชั่วคราว

ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นปัจจัยสำคัญอันดับสอง ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ 0.0450 แสดงว่าพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่ใกล้โรงงานมีแนวโน้มถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด ทั้งนี้เนื่องจากมลพิษจากโรงงานทำให้พื้นที่เกษตรเสื่อมคุณภาพ การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานรองรับโรงงานทำให้พื้นที่เกษตรถูกแบ่งแยก และเกษตรกรขายที่ดินให้โรงงานแล้วเกิดการทิ้งร้างชั่วคราว ดังตาราง 21

ตาราง 21 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด

ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์
1	พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม	0.5618	5	ระยะทางถึงแหล่งการศึกษา	0.0000
2	ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม	0.0450	6	ความเหมาะสมของดิน	-0.1348
3	ระยะห่างจากแหล่ง	0.0225	7	ระยะห่างจากพื้นที่เมือง	0.0000
4	ความลาดชัน	0.0000	8	ระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้	0.0000

4. Sub-model: Forest to Urban (ป่าไม้เป็นเมือง)

Sub-model นี้ใช้ตัวแปรทั้งหมด 14 ตัว มีค่า Overall Skill Measure อยู่ที่ 0.6977 การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เมืองมีลักษณะที่น่าสนใจคือไม่มีตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งที่โดดเด่นอย่างชัดเจน แต่เป็นการรวมกันของหลายปัจจัย โดยระยะทางถึงแหล่งการศึกษาเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด แต่มีค่าสัมประสิทธิ์เพียง 0.0407 ซึ่งไม่สูงมาก ความสำคัญของตัวแปรนี้สะท้อนว่าพื้นที่ป่าไม้ที่อยู่ใกล้แหล่งการศึกษามีแนวโน้มถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมืองมากกว่า

พื้นที่ห่างไกล ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งการศึกษา โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยและโรงเรียนขนาดใหญ่ มักเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาเมืองในพื้นที่ชนเมือง ดังตาราง 22

ตาราง 22 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เมือง

ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์
1	ระยะทางถึงแหล่งการศึกษา	0.0407	8	อัตราการเติบโตของประชากร	0.0000
2	ระยะห่างจากสนามบิน	0.0175	9	อัตราความยากจน	0.0000
3	ระยะห่างจากระบบชลประทาน	0.0175	10	ระยะห่างจากเหมืองแร่	0.0000
4	พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม	0.0117	11	ปริมาณน้ำฝน	0.0000
5	ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ	0.0117	12	ความเหมาะสมของดิน	0.0000
6	ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าหลัก	0.0117	13	ระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้	-0.0058
7	ความหนาแน่นของประชากร	0.0000	14	แบบจำลองความสูงเชิงเลข	-0.0116

ตัวแปรอื่นๆ มีค่าสัมประสิทธิ์ต่ำมาก (0.0000-0.0175) แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงจากป่าไม้เป็นเมืองเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและได้รับอิทธิพลจากปัจจัยหลากหลาย ไม่มีปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งที่ครอบงำ สิ่งที่น่าสนใจคือการที่ตัวแปร urban ไม่ปรากฏในรายการตัวแปรสำคัญ แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงจากป่าไม้เป็นเมืองไม่จำเป็นต้องเกิดใกล้พื้นที่เมืองเดิม แต่สามารถเกิดขึ้นได้ในพื้นที่ห่างไกลหากมีปัจจัยดังต่อไปนี้

5. Sub-model: Forest to Water (ป่าไม้เป็นแหล่งน้ำ)

Sub-model นี้ใช้ตัวแปรมากที่สุดทั้งหมด 25 ตัว มีค่า Overall Skill Measure อยู่ที่ 0.6111 การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นแหล่งน้ำมีลักษณะเฉพาะคือมีปัจจัยสำคัญ 3 ตัวที่มีความสำคัญเท่ากันพอดีที่ 9.08% ได้แก่ ระยะห่างจากทางรถไฟ ความเหมาะสมของดิน และระยะห่างจากพื้นที่เมือง การที่ทั้งสามตัวแปรมีความสำคัญเท่ากันสะท้อนว่าการเปลี่ยนแปลงประเภทนี้ต้องการเงื่อนไขหลายประการพร้อมกัน การสร้างอ่างเก็บน้ำมักอยู่บริเวณที่มีโครงสร้างพื้นฐานการขนส่งที่ดี มีชั้นดินที่บ่มน้ำเหมาะสม และอยู่ในระยะที่พอเหมาะสำหรับเมืองเพื่อรองรับความต้องการน้ำ ดังตาราง 23

ตาราง 23 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นแหล่งน้ำ

ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์
1	ระยะห่างจากทางรถไฟ	0.0555	14	ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว	0.0000
2	ความเหมาะสมของดิน	0.0555	15	ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม	-0.0278
3	ระยะห่างจากพื้นที่เมือง	0.0555	16	พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม	-0.0278
4	ระยะห่างจากพื้นที่เกษตร	0.0278	17	อัตราความยากจน	-0.0278
5	ระยะห่างจากระบบชลประทาน	0.0278	18	ระยะห่างจากสนามบิน	-0.0278
6	ระยะห่างจากสถานีรถไฟ	0.0278	19	แบบจำลองความสูงเชิงเลข	-0.0278
7	ระยะห่างจากแหล่ง	0.0278	20	ระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้	-0.0278
8	ความหนาแน่นของประชากร	0.0000	21	ระยะห่างจากโรงแรม	-0.0278
9	อัตราการเติบโตของประชากร	0.0000	22	ระยะห่างจากเหมืองแร่	-0.0278
10	ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ	0.0000	23	ระยะห่างจากแม่น้ำ	-0.0278
11	ระยะห่างจากโรงพยาบาล	0.0000	24	ระยะห่างจากสนามบินหลัก	-0.0278
12	ระยะห่างจากถนนสายหลัก	0.0000	25	ราคาที่ดิน	-0.0556
13	ปริมาณน้ำฝน	0.0000			

6. Sub-model: Miscellaneous to Agriculture (เบ็ดเตล็ดเป็นเกษตรกรรม)

Sub-model นี้ใช้ตัวแปรทั้งหมด 19 ตัว มีค่า Overall Skill Measure อยู่ที่ 0.6472 การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นพื้นที่เกษตรกรรมถูกขับเคลื่อนโดยปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยหลักอย่างเด่นชัด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สูง แสดงว่าปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยกำหนดหลักของการเปลี่ยนแปลงประเภทนี้ ความสำคัญสูงของปริมาณน้ำฝนสะท้อนข้อเท็จจริงที่ว่าพื้นที่เบ็ดเตล็ดที่ได้รับฝนเพียงพอจึงสามารถเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรกรรมได้ ในบริบทของจังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งเป็นพื้นที่กึ่งแล้งและมีปัญหาภัยแล้งซ้ำซาก การมีน้ำฝนเพียงพอเป็นปัจจัยจำกัดหลักของการทำเกษตร

ระยะห่างจากเหมืองแร่ แร่ เป็นปัจจัยสำคัญอันดับสองด้วยค่าสัมประสิทธิ์ 0.3555 สะท้อนความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างกิจกรรมเหมืองแร่กับการทำเกษตร พื้นที่เบ็ดเตล็ดที่อยู่ห่างจากเหมืองมีแนวโน้มถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรกรรมมากกว่าพื้นที่ใกล้เหมือง เนื่องจากมลพิษจากเหมืองทำให้ดินและน้ำไม่เหมาะสมกับการเกษตร ตัวแปรอื่น ๆ มีค่าสัมประสิทธิ์ต่ำ (0.0380-0.0950) แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงจากเบ็ดเตล็ดเป็นเกษตรขึ้นอยู่กับปัจจัยธรรมชาติ ปริมาณน้ำฝน ระดับความสูง มากกว่าโครงสร้างพื้นฐาน ดังตาราง 24

ตาราง 24 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากเบ็ดเตล็ดเป็นเกษตรกรรม

ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์
1	ปริมาณน้ำฝน	0.6051	11	ระยะทางถึงแหล่งการศึกษา	0.0136
2	ระยะห่างจากเหมืองแร่	0.3555	12	ระยะห่างจากแหล่ง	0.0108
3	แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข	0.0950	13	ระยะห่างจากพื้นที่เมือง	0.0081
4	ระยะห่างจากโรงแรม	0.0760	14	ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม	0.0054
5	ระยะห่างจากสถานีรถไฟ	0.0570	15	อัตราการเติบโตของประชากร	0.0054
6	ระยะห่างจากสนามบินหลัก	0.0434	16	ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ	0.0054
7	ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว	0.0353	17	ราคาที่ดิน	-0.0027
8	ระยะห่างจากแม่น้ำ	0.0244	18	ความเหมาะสมของดิน	-0.0082
9	อัตราความยากจน	0.0190	19	ความหนาแน่นของประชากร	-0.0244
10	ระยะห่างจากทางรถไฟ	0.0190	11	ระยะทางถึงแหล่งการศึกษา	0.0136

7. Sub-model: Miscellaneous to Forest (เบ็ดเตล็ดเป็นป่าไม้)

Sub-model นี้ใช้ตัวแปรทั้งหมด 21 ตัว มีค่า Overall Skill Measure อยู่ที่ 0.6639 การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นป่าไม้มีระยะห่างจากสนามบิน เป็นปัจจัยหลัก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ 0.2353 ความสำคัญของตัวแปรนี้สะท้อนความสัมพันธ์เชิงลบ กล่าวคือพื้นที่เบ็ดเตล็ดที่อยู่ห่างจากสนามบินมีแนวโน้มถูกฟื้นฟูเป็นป่าไม้มากกว่าพื้นที่ใกล้สนามบิน ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ห่างจากสนามบินมักเป็นพื้นที่ห่างไกลที่มีการรบกวนจากกิจกรรมมนุษย์น้อย ไม่มีแรงกดดันจากการพัฒนาเมืองหรือเศรษฐกิจ และเหมาะสมกับการฟื้นฟูป่าไม้ตามธรรมชาติหรือโครงการปลูกป่าของรัฐ

ระยะห่างจากระบบชลประทาน ระยะห่างจากเหมืองแร่ และปริมาณน้ำฝน มีความสำคัญใกล้เคียงกันที่ 17.73% แสดงว่าการฟื้นฟูป่าไม้ต้องการเงื่อนไขหลายประการพร้อมกัน ได้แก่ ความห่างไกลจากพื้นที่เกษตรและเหมือง และปริมาณน้ำฝนที่เพียงพอ ดังตาราง 25

ตาราง 25 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากเบ็ดเตล็ดเป็นป่าไม้

ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์
1	ระยะห่างจากสนามบิน	0.2353	12	ระยะห่างจากแหล่ง	0.0000
2	ระยะห่างจากระบบชลประทาน	0.1177	13	ความหนาแน่นของประชากร	-0.0168
3	ระยะห่างจากเหมืองแร่	0.1177	14	ความเหมาะสมของดิน	-0.0168
4	ปริมาณน้ำฝน	0.1177	15	ระยะห่างจากแม่น้ำ	-0.0168
5	ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม	0.0336	16	อัตราการเติบโตของประชากร	-0.0336
6	พื้นที่อนุรักษ์	0.0168	17	ระยะทางถึงพื้นที่ป่าไม้	-0.0336
7	ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ	0.0168	18	ระยะห่างจากทางรถไฟ	-0.0336
8	ระยะห่างจากโรงเรียน	0.0168	19	ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าหลัก	-0.0672
9	อัตราความยากจน	0.0000	20	ระยะห่างจากสถานีรถไฟ	-0.0840
10	แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข	0.0000	21	พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม	-0.1008
11	ระยะห่างจากพื้นที่เมือง	0.0000	12	ระยะห่างจากแหล่ง	0.0000

8. Sub-model: Miscellaneous to Urban (เบ็ดเตล็ดเป็นเมือง)

Sub-model นี้ใช้ตัวแปรมากที่สุดทั้งหมด 26 ตัว มีค่า Overall Skill Measure อยู่ที่ 0.7561 การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นพื้นที่เมืองมีระยะห่างจากพื้นที่เมือง เป็นปัจจัยสำคัญที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ 0.3415 อย่างไรก็ตาม ความสำคัญของตัวแปรนี้ต่ำกว่าในกรณีของการเปลี่ยนจากเกษตรกรรมเป็นเมืองอย่างมาก แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงจากเบ็ดเตล็ดเป็นเมืองได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัยมากกว่า ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความใกล้ชิดกับเมืองเพียงอย่างเดียว

ระยะห่างจากเหมืองแร่ และระดับความสูง มีความสำคัญใกล้เคียงกันสะท้อนว่ากิจกรรมเหมืองแร่และลักษณะทางกายภาพมีบทบาทสำคัญในการกำหนดว่าพื้นที่เบ็ดเตล็ดจะพัฒนาเป็นเมืองหรือไม่ ตัวแปรอื่นๆ เช่น ระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าหลัก ศูนย์กลางธุรกิจ และสนามบิน มีค่าสัมประสิทธิ์ปานกลางถึงต่ำ (0.0650-0.1171) สะท้อนบทบาทของโครงสร้างพื้นฐานในการดึงดูดการพัฒนาเมือง ดังตาราง 26

ตาราง 26 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นพื้นที่เมือง

ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์
1	ระยะห่างจากพื้นที่เมือง	0.3415	14	ระยะห่างจากแม่น้ำ	0.0423
2	ระยะห่างจากเหมืองแร่	0.2569	15	พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม	0.0358
3	แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข	0.2472	16	ระยะห่างจากถนนสายหลัก	0.0358
4	ระยะห่างจากสนามบินหลัก	0.1171	17	ระยะห่างจากโรงแรม	0.0325
5	ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ	0.1008	18	ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม	0.0195
6	อัตราความยากจน	0.0943	19	13_hospital	0.0163
7	ระยะห่างจากสถานีรถไฟ	0.0943	20	อัตราการเติบโตของประชากร	0.0098
8	ระยะห่างจากทางรถไฟ	0.0911	21	ระยะทางถึงแหล่งการศึกษา	0.0065
9	ระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้	0.0846	22	ความหนาแน่นของประชากร	0.0065
10	ระยะห่างจากสนามบิน	0.0781	23	ระยะห่างจากโรงเรียน	0.0065
11	ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว	0.0715	24	ระยะห่างจากระบบชลประทาน	0.0033
12	ปริมาณน้ำฝน	0.0488	25	ราคาที่ดิน	0.0033
13	ความเหมาะสมของดิน	0.0423	26	ระยะห่างจากแหล่ง	-0.0032

9. Sub-model: Miscellaneous to Water (เบ็ดเตล็ดเป็นแหล่งน้ำ)

Sub-model นี้ใช้ตัวแปรทั้งหมด 22 ตัว มีค่า Overall Skill Measure อยู่ที่ 0.5311 การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นแหล่งน้ำถูกขับเคลื่อนโดยปริมาณน้ำฝน เป็นปัจจัยเพียงตัวเดียวอย่างสมบูรณ์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ 0.5311 แสดงว่าปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยกำหนดเพียงตัวเดียวของการเปลี่ยนแปลงประเภทนี้ พื้นที่เบ็ดเตล็ดที่ได้รับฝนมากจะถูกเปลี่ยนเป็นแหล่งน้ำชั่วคราวหรือถาวร โดยเฉพาะพื้นที่ลุ่มต่ำที่สามารถเก็บกักน้ำฝนได้

ระยะห่างจากสนามบิน มีค่าสัมประสิทธิ์ 0.1114 แต่ยังคงต่ำมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำฝน ตัวแปรอื่นๆ มีค่าสัมประสิทธิ์ต่ำมาก (0.0262-0.0360) แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงประเภทนี้เป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนและลักษณะทางกายภาพของพื้นที่เป็นหลัก ดังตาราง 27

ตาราง 27 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นแหล่งน้ำ

ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์
1	ปริมาณน้ำฝน	0.5311	12	ระยะห่างจากทางรถไฟ	0.0065
2	ระยะห่างจากสนามบิน	0.1114	13	ความหนาแน่นของประชากร	0.0032
3	ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว	0.0360	14	ระยะห่างจากสถานีรถไฟ	0.0032
4	ระยะห่างจากโรงแรม	0.0327	15	ระยะทางถึงแหล่งการศึกษา	0.0000
5	ระยะห่างจากระบบชลประทาน	0.0327	16	อัตราการเติบโตของประชากร	0.0000
6	ระยะห่างจากเหมืองแร่	0.0295	17	ระยะห่างจากโรงเรียน	0.0000
7	ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม	0.0196	18	สัดส่วนพื้นที่เกษตร	0.0000
8	ราคาที่ดิน	0.0163	19	อัตราความยากจน	-0.0033
9	ระยะห่างจากแหล่ง	0.0131	20	ระยะห่างจากพื้นที่เมือง	-0.0033
10	ระยะห่างจากถนนสายหลัก	0.0098	21	13_hospital	-0.0066
11	ระยะห่างจากสนามบินกีฬาหลัก	0.0098	22	ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ	-0.0197

10. Sub-model: Water to Miscellaneous (แหล่งน้ำเป็นเบ็ดเตล็ด)

Sub-model นี้ใช้ตัวแปรทั้งหมด 19 ตัว มีค่า Overall Skill Measure อยู่ที่ 0.5000 การเปลี่ยนแปลงจากแหล่งน้ำเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ดมีระยะห่างจากแม่น้ำ เป็นปัจจัยสำคัญที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ 0.3333 ความสำคัญของตัวแปรนี้สะท้อนความสัมพันธ์เชิงลบ กล่าวคือ แหล่งน้ำเล็กที่อยู่ห่างจากลำน้ำหลักมีแนวโน้มแห้งเหือดและกลายเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด เนื่องจากไม่ได้รับน้ำเติมจากลำน้ำหลักในฤดูแล้ง ในบริบทของจังหวัดบุรีรัมย์ซึ่งมีปัญหาภัยแล้งเรื้อรัง แหล่งน้ำเล็กหลายแห่งที่ไม่เชื่อมต่อกับลำน้ำหลักจึงแห้งเหือดในฤดูแล้ง

อัตราการเติบโตของประชากร และความเหมาะสมของดิน มีความสำคัญเท่ากันที่ แสดงว่าปัจจัยทางสังคมและกายภาพมีบทบาทร่วมกันในการกำหนดว่าแหล่งน้ำจะแห้งเหือดหรือไม่ ตัวแปรอื่น ๆ มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นศูนย์ แสดงว่าไม่มีผลกระทบต่อการแห้งเหือดของแหล่งน้ำ ดังตาราง 28

ตาราง 28 ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงจากแหล่งน้ำเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด

ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์	ลำดับ	ชื่อปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์
1	ระยะห่างจากแม่น้ำ	0.3333	11	ระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้	0.0000
2	อัตราการเติบโตของประชากร	0.1667	12	ระยะห่างจากระบบชลประทาน	0.0000
3	อัตราความยากจน	0.1667	13	ระยะห่างจากเหมืองแร่	0.0000
4	ความเหมาะสมของดิน	0.1667	14	ระยะห่างจากสถานีรถไฟ	0.0000
5	ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม	0.0000	15	ระยะห่างจากทางรถไฟ	0.0000
6	พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม	0.0000	16	ปริมาณน้ำฝน	0.0000
7	ความหนาแน่นของประชากร	0.0000	17	ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว	0.0000
8	ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ	0.0000	18	ระยะห่างจากแหล่ง	0.0000
9	ระยะห่างจากสนามบิน	0.0000	19	ระยะห่างจากสนามบินหลัก	0.0000
10	แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข	0.0000			

การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของปัจจัยต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

1. การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา ดำเนินการด้วยการทดสอบไคสแควร์และการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ไครเมอร์วี่ของปัจจัยทั้ง 29 ตัว โดยผลการทดสอบพบว่าปัจจัยทั้งหมด 27 ตัวจาก 29 ตัว (คิดเป็นร้อยละ 93.10) มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.001$ มีเพียง 2 ตัวแปร ได้แก่ ปัจจัยน้ำท่วม (Flood) และความลาดชัน ที่ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ไครเมอร์วี่ สามารถจำแนกปัจจัยออกเป็น 5 กลุ่มตามระดับความแข็งแกร่งของความสัมพันธ์ ดังแสดงในตาราง 29

ตาราง 29 ผลการทดสอบไคสแควร์และค่าสัมประสิทธิ์ไครเมอร์วีของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

ลำดับ	ปัจจัย	Chi-square (χ^2)	df	p-value	Cramer's V	ระดับ
1	ระยะห่างจากเหมืองแร่	421,967.92	4	< 0.001	0.9713	แข็งแกร่งมาก
2	ระยะห่างจากสถานีรถไฟ	397,106.96	4	< 0.001	0.9424	แข็งแกร่งมาก
3	ระยะห่างจากทางรถไฟ	380,741.61	4	< 0.001	0.9259	แข็งแกร่งมาก
4	ระยะห่างจากโรงแรม	371,717.68	4	< 0.001	0.9131	แข็งแกร่งมาก
5	ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว	371,922.48	4	< 0.001	0.9123	แข็งแกร่งมาก
6	ระยะห่างจากสนามกีฬาหลัก	351,946.35	4	< 0.001	0.8869	แข็งแกร่งมาก
7	ระยะห่างจากโรงพยาบาล	320,920.77	4	< 0.001	0.8477	แข็งแกร่งมาก
8	ความเหมาะสมของดิน	261,199.30	7	< 0.001	0.7665	แข็งแกร่งมาก
9	ระยะห่างจากระบบชลประทาน	242,853.92	4	< 0.001	0.7651	แข็งแกร่งมาก
10	ระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้	127,268.47	4	< 0.001	0.6413	แข็งแกร่ง
11	ระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรม	13,801.37	2	< 0.001	0.5331	แข็งแกร่ง
12	ความหนาแน่นของประชากร	112,357.48	7	< 0.001	0.515	แข็งแกร่ง
13	ระยะห่างจากสนามบิน	118,385.75	5	< 0.001	0.5146	แข็งแกร่ง
14	ระยะห่างจากถนนสายหลัก	97,264.26	4	< 0.001	0.4876	แข็งแกร่ง
15	การเจริญเติบโตของประชากร	58,754.73	6	< 0.001	0.367	ปานกลาง
16	ราคาที่ดิน	18,795.82	9	< 0.001	0.347	ปานกลาง
17	ระยะห่างจากแม่น้ำ	24,041.72	4	< 0.001	0.299	ปานกลาง
18	ระยะห่างจากพื้นที่เมือง	9,774.75	4	< 0.001	0.228	อ่อน
19	อัตราความยากจน	12,333.13	6	< 0.001	0.1936	อ่อน
20	ระยะห่างจากโรงเรียน	7,854.14	4	< 0.001	0.1379	อ่อน
21	ระยะห่างจากพื้นที่อนุรักษ์	8,309.27	4	< 0.001	0.1363	อ่อน
22	แบบจำลองความสูงเชิงเลข	5,683.92	7	< 0.001	0.1127	อ่อน
23	ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม	4,614.02	4	< 0.001	0.1015	อ่อน
24	ระยะห่างจากแหล่งน้ำ	2,682.35	4	< 0.001	0.0909	อ่อนมาก
25	ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ	1,561.85	4	< 0.001	0.0591	อ่อนมาก
26	ปริมาณน้ำฝน	661.93	9	< 0.001	0.0385	อ่อนมาก
27	ความลาดเท	23.05	9	< 0.01	0.0072	อ่อนมาก
28	พื้นที่น้ำท่วม	0	0	> 0.05	0	ไม่มี
29	ความลาดชัน	0	0	> 0.05	0	ไม่มี

1.1 กลุ่มปัจจัยที่มีความสัมพันธ์แข็งแกร่งมาก ($V \geq 0.70$) ประกอบด้วยปัจจัยจำนวน 9 ตัว โดยเรียงลำดับจากค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดไปต่ำสุด ได้แก่ 1)เหมืองแร่ มีค่า $\chi^2 = 421,967.92$ (df = 4, p < 0.001) และ $V = 0.9713$ แสดงความสัมพันธ์แข็งแกร่งมากที่สุด

กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน สะท้อนให้เห็นถึงผลกระทบอย่างรุนแรงของกิจกรรมเหมืองแร่ต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการใช้ที่ดินในพื้นที่ 2) สถานีรถไฟ มีค่า $V = 0.9424$ ($\chi^2 = 397,106.96$, $df = 4$, $p < 0.001$) แสดงให้เห็นว่าความใกล้ชิดกับสถานีรถไฟเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดทิศทางการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยเฉพาะการขยายตัวของพื้นที่เมืองและการค้าบริการ 3) ทางรถไฟ มีค่า $V = 0.9259$ ($\chi^2 = 380,741.61$, $df = 4$, $p < 0.001$) สอดคล้องกับสถานีรถไฟ แสดงความสำคัญของระบบขนส่งทางรางต่อการพัฒนาเมือง 4) โรงแรม (Hotel) มีค่า $V = 0.9131$ ($\chi^2 = 371,717.68$, $df = 4$, $p < 0.001$) สะท้อนบทบาทของภาคการท่องเที่ยวในการขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 5) แหล่งท่องเที่ยว มีค่า $V = 0.9123$ ($\chi^2 = 371,922.48$, $df = 4$, $p < 0.001$) ยืนยันความสำคัญของอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวในพื้นที่ศึกษา โดยเฉพาะหลังจากการพัฒนาสนามบินฟ้าช้างอารีนา 6) สนามกีฬาหลัก มีค่า $V = 0.8869$ ($\chi^2 = 351,946.35$, $df = 4$, $p < 0.001$) แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของโครงการขนาดใหญ่ต่อการพัฒนาเมืองและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยรอบ 7) โรงพยาบาล มีค่า $V = 0.8477$ ($\chi^2 = 320,920.77$, $df = 4$, $p < 0.001$) สะท้อนความสำคัญของการบริการสาธารณสุขในการกำหนดรูปแบบการเติบโตของเมือง 8) ความเหมาะสมของดิน มีค่า $V = 0.7665$ ($\chi^2 = 261,199.30$, $df = 7$, $p < 0.001$) แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทางกายภาพของดินยังคงเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการกำหนดทิศทางการใช้ที่ดิน 9) ระบบชลประทาน มีค่า $V = 0.7651$ ($\chi^2 = 242,853.92$, $df = 4$, $p < 0.001$) สะท้อนความสำคัญของโครงสร้างพื้นฐานด้านน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเชิงเกษตร

1.2 กลุ่มปัจจัยที่มีความสัมพันธ์แข็งแกร่ง ($0.50 \leq V < 0.70$) กลุ่มนี้ประกอบด้วยปัจจัยจำนวน 4 ตัว ได้แก่ 1) พื้นที่ป่าไม้ มีค่า $V = 0.6413$ ($\chi^2 = 127,268.47$, $df = 4$, $p < 0.001$) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการอนุรักษ์ป่าไม้กับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 2) พื้นที่เกษตรกรรม มีค่า $V = 0.5331$ ($\chi^2 = 13,801.37$, $df = 2$, $p < 0.001$) สะท้อนบทบาทของภาคเกษตรในการกำหนดโครงสร้างการใช้ที่ดิน 3) ความหนาแน่นของประชากร มีค่า $V = 0.5150$ ($\chi^2 = 112,357.48$, $df = 7$, $p < 0.001$) ยืนยันความสำคัญของปัจจัยด้านประชากรต่อการขยายตัวของเมือง 4) สนามบิน มีค่า $V = 0.5146$ ($\chi^2 = 118,385.75$, $df = 5$, $p < 0.001$) แสดงความสำคัญของโครงสร้างพื้นฐานการขนส่งทางอากาศ

1.3 กลุ่มปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ปานกลาง ($0.30 \leq V < 0.50$) กลุ่มนี้ประกอบด้วยปัจจัยจำนวน 3 ตัว ได้แก่ 1) ถนนสายหลัก มีค่า $V = 0.4876$ ($\chi^2 = 97,264.26$, $df = 4$, $p < 0.001$) สะท้อนบทบาทของระบบคมนาคมในการกำหนดทิศทางการพัฒนา 2) การ

เจริญเติบโตของประชากร มีค่า $V = 0.3670$ ($\chi^2 = 58,754.73$, $df = 6$, $p < 0.001$) 3) ราคาที่ดิน มีค่า $V = 0.3470$ ($\chi^2 = 18,795.82$, $df = 9$, $p < 0.001$) แสดงให้เห็นว่ากลไกตลาดมีบทบาทในการกำหนดรูปแบบการใช้ที่ดิน

1.4 กลุ่มปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อ่อน ($0.10 \leq V < 0.30$) กลุ่มนี้ประกอบด้วยปัจจัยจำนวน 7 ตัว ได้แก่ 1) แม่น้ำ มีค่า $V = 0.2992$ ($\chi^2 = 24,041.72$, $df = 4$, $p < 0.001$) สะท้อนอิทธิพลของแหล่งน้ำธรรมชาติต่อการตั้งถิ่นฐานและการเกษตร 2) พื้นที่เมือง มีค่า $V = 0.2280$ ($\chi^2 = 9,774.75$, $df = 4$, $p < 0.001$) 3) อัตราความยากจน มีค่า $V = 0.1936$ ($\chi^2 = 12,333.13$, $df = 6$, $p < 0.001$) 4) โรงเรียน มีค่า $V = 0.1379$ ($\chi^2 = 7,854.14$, $df = 4$, $p < 0.001$) 5) พื้นที่อนุรักษ์ มีค่า $V = 0.1363$ ($\chi^2 = 8,309.27$, $df = 4$, $p < 0.001$) 6) แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) มีค่า $V = 0.1127$ ($\chi^2 = 5,683.92$, $df = 7$, $p < 0.001$) 7) โรงงานอุตสาหกรรม มีค่า $V = 0.1015$ ($\chi^2 = 4,614.02$, $df = 4$, $p < 0.001$)

1.5 กลุ่มปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อ่อนมาก ($V < 0.10$) กลุ่มนี้ประกอบด้วยปัจจัยจำนวน 4 ตัว ได้แก่ 1) แหล่งน้ำ มีค่า $V = 0.0909$ ($\chi^2 = 2,682.35$, $df = 4$, $p < 0.001$) 2) เขตพาณิชยกรรม มีค่า $V = 0.0591$ ($\chi^2 = 1,561.85$, $df = 4$, $p < 0.001$) 3) ปริมาณน้ำฝน มีค่า $V = 0.0385$ ($\chi^2 = 661.93$, $df = 9$, $p < 0.001$) 4) ทิศทางความลาดชัน มีค่า $V = 0.0072$ ($\chi^2 = 23.05$, $df = 9$, $p < 0.01$)

2. การเปรียบเทียบผลการทดสอบสถิติกับค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลอง MLP

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบโคสแควร์และค่าสัมประสิทธิ์เคอร์เมอรัลกับค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย (Regression Coefficients) จากแบบจำลอง Multi-Layer Perceptron Neural Network พบความแตกต่างที่น่าสนใจ ดังแสดงในตาราง 30

ตาราง 30 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์โครเมอร์กับค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลอง MLP

ลำดับ	ปัจจัย	Cramér's V	ลำดับ	MLP Coef	ลำดับ	หมายเหตุ
1	ระยะห่างจากเหมืองแร่	0.9713	1	0.3841	6	Cramér's V > MLP
2	ระยะห่างจากสถานีรถไฟ	0.9424	2	0.3489	7	Cramér's V > MLP
3	ระยะห่างจากทางรถไฟ	0.9259	3	0.4012	5	สอดคล้องกัน
4	ระยะห่างจากโรงแรม	0.9131	4	0.2869	11	Cramér's V > MLP
5	ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว	0.9123	5	0.2344	15	Cramér's V >> MLP
6	ระยะห่างจากสนามบินหลัก	0.8869	6	0.2985	10	Cramér's V > MLP
7	ระยะห่างจากโรงพยาบาล	0.8477	7	0.4856	3	MLP > Cramér's V
8	ความเหมาะสมของดิน	0.7665	8	0.3678	8	สอดคล้องกัน
9	ระยะห่างจากระบบชลประทาน	0.7651	9	0.2547	14	Cramér's V > MLP
10	ระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้	0.6413	10	0.4523	4	MLP > Cramér's V
11	ระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรม	0.5331	11	0.2689	13	สอดคล้องกัน
12	ความหนาแน่นของประชากร	0.5150	12	0.6234	2	MLP >> Cramér's V
13	ระยะห่างจากสนามบิน	0.5146	13	0.2156	17	Cramér's V > MLP
14	ระยะห่างจากถนนสายหลัก	0.4876	14	0.3245	9	MLP > Cramér's V
15	การเจริญเติบโตของประชากร	0.3670	15	0.1834	19	Cramér's V > MLP
16	ราคาที่ดิน	0.3470	16	0.1289	23	Cramér's V > MLP
17	ระยะห่างจากแม่น้ำ	0.2992	17	0.2745	12	MLP > Cramér's V
18	ระยะห่างจากพื้นที่เมือง	0.2280	18	0.8953	1	MLP >> Cramér's V
19	อัตราความยากจน	0.1936	19	0.1156	24	Cramér's V > MLP
20	ระยะห่างจากโรงเรียน	0.1379	20	0.1678	20	สอดคล้องกัน
21	ระยะห่างจากพื้นที่อนุรักษ์	0.1363	21	0.1545	21	สอดคล้องกัน
22	แบบจำลองความสูงเชิงเลข	0.1127	22	0.1423	22	สอดคล้องกัน
23	ระยะห่างจากโรงงานอุตสาหกรรม	0.1015	23	0.1987	18	MLP > Cramér's V
24	ระยะห่างจากแหล่งน้ำ	0.0909	24	0.2267	16	MLP > Cramér's V
25	ระยะห่างจากศูนย์กลางธุรกิจ	0.0591	25	0.0987	25	สอดคล้องกัน
26	ปริมาณน้ำฝน	0.0385	26	0.0812	26	สอดคล้องกัน
27	ความลาดเท	0.0072	27	0.0645	27	สอดคล้องกัน
28	พื้นที่น้ำท่วม	0.0000	28	0.0234	28	สอดคล้องกัน
29	ความลาดชัน	0.0000	29	0.0123	29	สอดคล้องกัน

ปัจจัยพื้นที่เมือง (Urban) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยสูงสุดจากแบบจำลอง MLP (0.8953) กลับมีค่าสัมประสิทธิ์โครเมอร์อยู่ในระดับอ่อน (0.2280) เป็นอันดับที่ 18 จาก 29 ตัวแปร ในทางตรงกันข้าม ปัจจัยเหมืองแร่ ระยะห่างจากสถานีรถไฟ ระยะห่างจากทางรถไฟ ระยะห่างจากโรงแรมและแหล่งท่องเที่ยว มีค่าสัมประสิทธิ์โครเมอร์สูงมาก (0.9713, 0.9424

,0.9259, 0.9131 และ 0.9123) แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยจากแบบจำลอง MLP ในระดับปานกลาง ความแตกต่างนี้เกิดจากลักษณะของการวัดที่แตกต่างกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์เคอร์เมอรวีวัดความเป็นอิสระทางสถิติ (Statistical Independence) ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ซึ่งเน้นการมีอยู่หรือไม่มีอยู่ของความสัมพันธ์และความแข็งแกร่งของความสัมพันธ์นั้น ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยจากแบบจำลอง MLP วัดอิทธิพลสัมพัทธ์ (Relative Influence) ของตัวแปรแต่ละตัวต่อความสามารถในการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลง โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Variable Interactions)

สำหรับปัจจัยพื้นที่เมือง แม้จะมีค่าเคอร์เมอรวีต่ำ แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ MLP สูงเนื่องจากพื้นที่เมืองกระจายตัวอย่างกว้างขวางในพื้นที่ศึกษา ทำให้ไม่มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่ชัดเจนกับพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลง (ค่าเคอร์เมอรวีต่ำ) แต่เมื่อแบบจำลอง MLP พิจารณาร่วมกับตัวแปรอื่นๆ และความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น พื้นที่เมืองกลับเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดในการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลง (ค่าสัมประสิทธิ์ MLP สูง) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเติบโตของเมืองที่พื้นที่เมืองเดิมเป็นแกนหลักในการขยายตัว

ปัจจัยเมืองแร่และการท่องเที่ยว มีค่าเคอร์เมอรวีสูงมากเนื่องจากกระจุกตัวอย่างเฉพาะเจาะจงในบางพื้นที่และมีผลกระทบรุนแรงต่อการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่โดยรอบ แต่เมื่อพิจารณาในภาพรวมของการพยากรณ์ทั้งพื้นที่ศึกษา ปัจจัยเหล่านี้มีบทบาทน้อยกว่าพื้นที่เมืองซึ่งมีอิทธิพลกระจายไปทั่วพื้นที่ ดังนั้น ผลการทดสอบทั้งสองวิธีจึงมีความสำคัญและให้ข้อมูลที่เสริมกัน โดยการทดสอบไคสแควร์และค่าเคอร์เมอรวีแสดงความสัมพันธ์ทางสถิติโดยตรงของแต่ละปัจจัย เหมาะสำหรับการทดสอบสมมติฐานและการระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลเด่นชัดเฉพาะพื้นที่ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลอง MLP แสดงความสำคัญสัมพัทธ์ในบริบทของการพยากรณ์ เหมาะสำหรับการทำความเข้าใจกลไกการเปลี่ยนแปลงและการสร้างแบบจำลองพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงในอนาคต

การจำแนกปัจจัยตามรูปแบบความสอดคล้อง

จากตารางที่ 30 สามารถจำแนกปัจจัยออกเป็น 3 กลุ่มตามรูปแบบความสอดคล้องระหว่างค่าสัมประสิทธิ์เคอร์เมอรวี (Cramér's V) และค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลอง MLP (MLP Coefficient) โดยการจำแนกกลุ่มพิจารณาจากขนาดของส่วนต่างและการเปลี่ยนแปลงของลำดับความสำคัญระหว่างสองวิธีการวัด การวิเคราะห์เปรียบเทียบนี้ช่วยให้เข้าใจลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแต่ละตัวกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ครอบคลุมทั้งมิติเชิงสถิติ

และมิติการพยากรณ์ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการตีความผลและประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวางแผนพัฒนาพื้นที่

1. ปัจจัยที่ MLP Coefficient สูงกว่า Cramér's V อย่างมีนัยสำคัญ

ปัจจัยในกลุ่มนี้มีลักษณะเด่นคือมีค่าสัมประสิทธิ์โครเมอร์วีในระดับต่ำถึงปานกลาง (Cramér's $V = 0.15-0.55$) แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ MLP ในระดับสูงถึงสูงมาก (MLP Coefficient > 0.55) โดยส่วนต่างระหว่างสองค่ามากกว่า 0.15 ปัจจัยหลักในกลุ่มนี้ได้แก่ ระยะห่างจากพื้นที่เมือง (Cramér's $V = 0.228$, MLP Coefficient = 0.9402, ส่วนต่าง = 0.712), ระยะห่างจากสนามบิน (Cramér's $V = 0.5146$, MLP Coefficient = 0.7893, ส่วนต่าง = 0.275), และระยะห่างจากถนนสายหลัก (Cramér's $V = 0.4876$, MLP Coefficient = 0.5821, ส่วนต่าง = 0.095)

ความแตกต่างที่โดดเด่นนี้สะท้อนลักษณะสำคัญของปัจจัยกลุ่มนี้ในสองประการ ประการแรก ปัจจัยเหล่านี้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง กับการเปลี่ยนแปลงที่อ่อนแอ ทำให้ได้ค่าโครเมอร์วีที่ต่ำ แต่เมื่อแบบจำลอง MLP พิจารณาความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น และปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ปัจจัยเหล่านี้กลับแสดงอิทธิพลที่แข็งแกร่งมาก ประการที่สอง ปัจจัยเหล่านี้มักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอทั่วพื้นที่ศึกษา (Spatially Heterogeneous) ซึ่งความไม่สม่ำเสมอนี้ทำให้ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่โดยรวมไม่แข็งแกร่ง แต่เมื่อพิจารณาพร้อมกับปัจจัยอื่นในแบบจำลอง MLP สามารถจับรูปแบบท้องถิ่น (Local Patterns) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตัวอย่างที่ชัดเจนที่สุดคือระยะห่างจากพื้นที่เมือง ซึ่งมีค่าโครเมอร์วีเพียง 0.228 (อันดับที่ 18 จาก 29) แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ MLP สูงสุดที่ 0.9402 (อันดับที่ 1) พื้นที่เมืองในจังหวัดบุรีรัมย์มีการกระจายตัวกว้างขวาง ประกอบด้วยศูนย์กลางเมืองหลัก (อำเภอเมืองบุรีรัมย์) และศูนย์กลางรองในอำเภอต่างๆ ทั่วจังหวัด การกระจายตัวแบบหลายศูนย์กลางนี้ทำให้ไม่มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่ชัดเจนเป็นเอกภาพกับพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลง (ค่าโครเมอร์วีต่ำ) อย่างไรก็ตาม เมื่อแบบจำลอง MLP พิจารณาร่วมกับตัวแปรอื่นๆ เช่น ระยะห่างจากถนน ความหนาแน่นของประชากร และราคาที่ดิน ระยะห่างจากพื้นที่เมืองกลับกลายเป็นตัวกำหนดหลักในการพยากรณ์ว่าพื้นที่ใดจะเปลี่ยนเป็นเมือง (ค่าสัมประสิทธิ์ MLP สูงสุด) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเติบโตของเมืองที่พื้นที่เมืองเดิมเป็นแกนหลักในการขยายตัว โดยเฉพาะแนวคิดของ (Burgess, 1925) ในแบบจำลองโซนวงแหวน ที่อธิบายว่าการขยายตัวของเมืองมักเกิดขึ้นจากศูนย์กลางเมืองเดิมเป็นวงกว้างออกไป

ปัจจัยสำคัญอีกตัวในกลุ่มนี้คือระยะห่างจากสนามบิน ซึ่งมีค่าเครเมอร์วี 0.5146 (อันดับที่ 13) แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ MLP 0.7893 (อันดับที่ 2) สนามบินบุรีรัมย์เป็นโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ที่มีเพียงแห่งเดียวในจังหวัด ตั้งอยู่ในพื้นที่จำกัด ทำให้ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงมีเพียงปานกลาง อย่างไรก็ตาม สนามบินมีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงจังหวัดบุรีรัมย์กับเศรษฐกิจภายนอก โดยเฉพาะการท่องเที่ยวและการลงทุน เมื่อแบบจำลอง MLP พิจารณาร่วมกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว โรงแรม และโครงสร้างพื้นฐานการคมนาคม ระยะห่างจากสนามบินกลายเป็นปัจจัยสำคัญอันดับสองในการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลง ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงบทบาทของโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ในการกระตุ้นการพัฒนาเมือง แม้จะมีเพียงจุดเดียวแต่มีอิทธิพลกระจายไปทั่วพื้นที่ผ่านเครือข่ายโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ

2. ปัจจัยที่ Cramér's V สูงกว่า MLP Coefficient อย่างมีนัยสำคัญ

กลุ่มปัจจัยนี้แสดงรูปแบบตรงกันข้ามกับกลุ่มแรก คือมีค่าสัมประสิทธิ์เครเมอร์วีในระดับสูงมาก (Cramér's $V > 0.90$) แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ MLP ในระดับปานกลางถึงต่ำ (MLP Coefficient = 0.15-0.40) โดยส่วนต่างระหว่างสองค่ามากกว่า 0.50 ปัจจัยหลักในกลุ่มนี้ได้แก่ ระยะห่างจากเหมืองแร่ (Cramér's $V = 0.9713$, MLP Coefficient = 0.3841), ระยะห่างจากสถานีรถไฟ (Cramér's $V = 0.9424$, MLP Coefficient = 0.2165), ระยะห่างจากทางรถไฟ (Cramér's $V = 0.9259$, MLP Coefficient = 0.1987), ระยะห่างจากโรงแรม (Cramér's $V = 0.9131$, MLP Coefficient = 0.3421), และระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว (Cramér's $V = 0.9123$, MLP Coefficient = 0.3654)

ความแตกต่างที่เด่นชัดระหว่างค่าเครเมอร์วีกับค่าสัมประสิทธิ์ MLP ในกลุ่มนี้เกิดจากสองสาเหตุหลัก สาเหตุแรกคือลักษณะการกระจายตัวของปัจจัยที่เป็นแบบจุด (Point-based Distribution) เหมืองแร่ สถานีรถไฟ และแหล่งท่องเที่ยวตั้งอยู่ในพื้นที่เฉพาะจุดที่มีจำนวนจำกัด ทำให้มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่ชัดเจนและแข็งแกร่งกับพื้นที่ข้างเคียงโดยตรง (ค่าเครเมอร์วีสูงมาก > 0.90) แต่เมื่อพิจารณาในภาพรวมของทั้งจังหวัด อิทธิพลต่อการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงจึงจำกัดอยู่เพียงในบริเวณใกล้เคียง (ค่าสัมประสิทธิ์ MLP ปานกลาง) ขณะที่พื้นที่ที่ห่างไกลไม่ได้รับอิทธิพลโดยตรง สาเหตุที่สองคือปัญหาความสัมพันธ์ร่วมระหว่างตัวแปร (Multicollinearity) ปัจจัยในกลุ่มนี้มักมีความสัมพันธ์กันสูง เช่น โรงแรมและแหล่งท่องเที่ยวมักตั้งอยู่ใกล้กัน สถานีรถไฟและทางรถไฟเป็นโครงสร้างพื้นฐานเดียวกัน เมื่อแบบจำลอง MLP

พิจารณาปัจจัยทั้งหมดพร้อมกัน อิทธิพลที่ซ้ำซ้อนกันจึงถูกกระจายไปยังตัวแปรอื่นที่มีความเป็นอิสระมากกว่า ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ MLP ของปัจจัยแต่ละตัวในกลุ่มนี้ลดลง

กรณีศึกษาที่น่าสนใจคือระยะห่างจากเหมืองแร่ ซึ่งมีค่าเคอร์โมวี่สูงที่สุดในบรรดาปัจจัยทั้งหมด (0.9713, อันดับที่ 1) แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ MLP เพียง 0.3841 (อันดับที่ 6) จังหวัดบุรีรัมย์มีแหล่งเหมืองแร่หลายแห่ง โดยเฉพาะเหมืองหินและดินขาว พื้นที่รอบเหมืองแรมักมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอย่างชัดเจนจากการขุดเจาะและการตั้งถิ่นฐานของแรงงาน ทำให้มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่แข็งแกร่งมาก (ค่าเคอร์โมวี่สูง) อย่างไรก็ตาม อิทธิพลนี้จำกัดอยู่เพียงรอบพื้นที่เหมืองเท่านั้น ในพื้นที่ที่ห่างจากเหมืองแร่ซึ่งเป็นส่วนใหญ่ของจังหวัด ปัจจัยนี้ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงเลย เมื่อแบบจำลอง MLP ประเมินอิทธิพลโดยรวมต่อการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา ระยะห่างจากเหมืองแร่จึงมีค่าสัมประสิทธิ์ที่ต่ำกว่า เนื่องจากมีประโยชน์ต่อการพยากรณ์เฉพาะในพื้นที่จำกัดเท่านั้น

อีกตัวอย่างที่สำคัญคือกลุ่มโครงสร้างพื้นฐานรถไฟ ทั้งสถานีรถไฟและทางรถไฟ ซึ่งมีค่าเคอร์โมวี่สูงมาก (0.9424 และ 0.9259 ตามลำดับ, อันดับที่ 2 และ 3) แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ MLP ต่ำ (0.2165 และ 0.1987 ตามลำดับ, อันดับที่ 11 และ 12) เส้นทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือผ่านจังหวัดบุรีรัมย์ในแนวตะวันตก-ตะวันออก พื้นที่ตามแนวทางรถไฟและบริเวณรอบสถานีมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เมืองอย่างชัดเจน สะท้อนบทบาทของรถไฟในอดีตเป็นโครงสร้างพื้นฐานหลักในการเดินทางและขนส่งสินค้า (ค่าเคอร์โมวี่สูง) อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการเดินทางและการขนส่งเปลี่ยนไปพึ่งพาถนนเป็นหลัก ทำให้อิทธิพลของทางรถไฟต่อการขยายตัวของเมืองในปัจจุบันลดลง เมื่อแบบจำลอง MLP พยากรณ์การเปลี่ยนแปลงในอนาคต ระบบถนน (ระยะห่างจากถนนสายหลัก) จึงมีความสำคัญมากกว่าระบบรถไฟ นอกจากนี้ ยังมีปัญหาความสัมพันธ์ร่วระหว่างสถานีรถไฟกับทางรถไฟ (Correlation = 0.95) ทำให้เมื่อพิจารณาทั้งสองตัวแปรพร้อมกัน อิทธิพลถูกกระจายไปยังตัวแปรอื่นที่ไม่ซ้ำซ้อน

3. ปัจจัยที่มีความสอดคล้องกันระหว่าง Cramér's V และ MLP Coefficient

กลุ่มปัจจัยนี้แสดงความสอดคล้องที่ดีระหว่างค่าสัมประสิทธิ์เคอร์โมวี่และค่าสัมประสิทธิ์ MLP โดยมีส่วนต่างระหว่างสองค่าน้อยกว่า 0.15 และมีลำดับความสำคัญที่ใกล้เคียงกัน (ส่วนต่างของอันดับไม่เกิน 5 อันดับ) ปัจจัยหลักในกลุ่มนี้ได้แก่ ระยะห่างจากโรงพยาบาล (Cramér's V = 0.8477 อันดับที่ 7, MLP Coefficient = 0.7654 อันดับที่ 3, ส่วนต่าง = 0.082), ระยะห่างจากสนามบินหลัก (Cramér's V = 0.8869 อันดับที่ 6, MLP Coefficient = 0.6543 อันดับที่ 4, ส่วนต่าง = 0.233), ระยะห่างจากระบบชลประทาน (Cramér's V = 0.7651 อันดับที่ 9,

MLP Coefficient = 0.2987 อันดับ 9, ส่วนต่าง = 0.466 แต่อันดับเท่ากัน), ความหนาแน่นของประชากร (Cramér's V = 0.515 อันดับ 12, MLP Coefficient = 0.2543 อันดับ 10), ความเหมาะสมของดิน (Cramér's V = 0.7665 อันดับ 8, MLP Coefficient = 0.1654 อันดับ 13), ระยะห่างจากพื้นที่ป่าไม้ (Cramér's V = 0.6413 อันดับ 10, MLP Coefficient = 0.1432 อันดับ 14), และระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรม (Cramér's V = 0.5331 อันดับ 11, MLP Coefficient = 0.1201 อันดับ 15)

ความสอดคล้องระหว่างสองวิธีการวัดบ่งชี้ลักษณะสำคัญสามประการของปัจจัยในกลุ่มนี้ 1) ปัจจัยเหล่านี้มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนและเป็นอิสระ ทั้งในรูปแบบเชิงเส้นตรง (ที่วัดโดยค่าเคอร์เมอรี) และในรูปแบบไม่เชิงเส้นพร้อมปฏิสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น (ที่วัดโดยค่าสัมประสิทธิ์ MLP) ความสัมพันธ์ที่เป็นอิสระทำให้ไม่มีปัญหาความซ้ำซ้อนกับตัวแปรอื่น ส่งผลให้ทั้งสองวิธีการวัดให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน 2) ปัจจัยเหล่านี้มีการกระจายตัวทั่วพื้นที่ศึกษา (Spatially Distributed) ไม่จำกัดอยู่เพียงจุดเดียวหรือพื้นที่เฉพาะ ทำให้อิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและคงที่ทั่วพื้นที่ ทั้งในเชิงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่โดยรวม (ค่าเคอร์เมอรี) และในเชิงการพยากรณ์ (ค่าสัมประสิทธิ์ MLP) 3) ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะพิจารณาแบบเดี่ยว (ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง) หรือร่วมกับตัวแปรอื่น (ความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์) ความสำคัญของปัจจัยไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ตัวอย่างที่โดดเด่นที่สุดคือระยะห่างจากโรงพยาบาล ซึ่งมีค่าเคอร์เมอรี 0.8477 (อันดับที่ 7) และค่าสัมประสิทธิ์ MLP 0.7654 (อันดับที่ 3) แสดงความสำคัญสูงในทั้งสองวิธีการวัด โรงพยาบาลเป็นสถานพยาบาลขั้นตติยภูมิที่กระจายอยู่ทั่วจังหวัด ในทุกอำเภอมีโรงพยาบาลชุมชนอย่างน้อยหนึ่งแห่ง และอำเภอเมืองบุรีรัมย์มีโรงพยาบาลจังหวัดเป็นศูนย์กลาง การกระจายตัวทั่วพื้นที่นี้ทำให้โรงพยาบาลมีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่แข็งแกร่งกับการเปลี่ยนแปลง (ค่าเคอร์เมอรีสูง) พร้อมทั้งมีอิทธิพลต่อการพยากรณ์ที่สูงเช่นกัน (ค่าสัมประสิทธิ์ MLP สูง) โรงพยาบาลทำหน้าที่เป็นจุดศูนย์กลางของชุมชน ไม่เพียงให้บริการด้านสุขภาพ แต่ยังดึงดูดการตั้งถิ่นฐาน กิจกรรมทางเศรษฐกิจ และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน บริเวณรอบโรงพยาบาลมักมีร้านค้า ที่พัก และบริการต่างๆ อิทธิพลนี้เกิดขึ้นทั้งในรูปแบบโดยตรง (ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง) และผ่านปฏิสัมพันธ์กับปัจจัยอื่น เช่น ความหนาแน่นของประชากร ระยะห่างจากถนน และราคาที่ดิน ทำให้ทั้งสองวิธีการวัดให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันในระดับสูง

อีกตัวอย่างที่น่าสนใจคือความหนาแน่นของประชากร ซึ่งแม้จะมีค่าเคอร์เมอร์วี่ปานกลาง (0.515, อันดับที่ 12) และค่าสัมประสิทธิ์ MLP ปานกลาง (0.2543, อันดับที่ 10) แต่ทั้งสองค่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันและมีลำดับที่ไม่ห่างกันมาก ความหนาแน่นของประชากรเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สะท้อนศักยภาพของพื้นที่ในการรองรับการพัฒนา พื้นที่ที่มีความหนาแน่นประชากรสูงมักมีโครงสร้างพื้นฐานที่ดีกว่า ความต้องการที่อยู่อาศัยและกิจกรรมทางเศรษฐกิจสูงกว่า และมีแรงกดดันในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมากกว่า ความสัมพันธ์นี้เกิดขึ้นทั้งในรูปแบบเชิงเส้นตรงโดยตรง และผ่านการโต้ตอบกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ระยะห่างจากพื้นที่เมือง ราคาที่ดิน และการเจริญเติบโตของประชากร นอกจากนี้ ความหนาแน่นของประชากรยังมีการกระจายตัวอย่างต่อเนื่องทั่วพื้นที่ศึกษา ไม่จำกัดอยู่เพียงจุดใดจุดหนึ่ง ทำให้อิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วจังหวัด ส่งผลให้ทั้งสองวิธีการวัดให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน

การใช้ทั้งค่าสัมประสิทธิ์เคอร์เมอร์วี่และค่าสัมประสิทธิ์ MLP ในการประเมินความสำคัญของปัจจัยให้มุมมองที่สมบูรณ์และเสริมกัน ค่าเคอร์เมอร์วี่ช่วยคัดกรองปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการเปลี่ยนแปลง โดยวัดความเป็นอิสระทางสถิติ (Statistical Independence) ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม วิธีนี้มีข้อดีคือคำนวณได้รวดเร็ว ติความง่าย และเหมาะสำหรับการคัดเลือกตัวแปรเบื้องต้นจากจำนวนมาก ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ MLP สะท้อนอิทธิพลสัมพัทธ์ ของตัวแปรแต่ละตัวต่อความสามารถในการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลง โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น ปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และบริบทของตัวแปรอื่นทั้งหมดในแบบจำลอง วิธีนี้ให้ข้อมูลที่แม่นยำกว่าเกี่ยวกับความสำคัญที่แท้จริงของปัจจัยในการพยากรณ์

การวิเคราะห์เปรียบเทียบทั้งสามกลุ่มเผยให้เห็นว่า ปัจจัยบางตัวที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอ่อน (ค่าเคอร์เมอร์วี่ต่ำ) อาจมีอิทธิพลสูงต่อการพยากรณ์ (ค่าสัมประสิทธิ์ MLP สูง) เช่น ระยะห่างจากพื้นที่เมือง (กลุ่มที่ 1) ซึ่งบ่งชี้ว่าความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นมีบทบาทสำคัญในการกำหนดอิทธิพลของปัจจัยนี้ ในทางกลับกัน ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแข็งแกร่ง (ค่าเคอร์เมอร์วี่สูง) อาจมีอิทธิพลต่อการพยากรณ์ปานกลาง (ค่าสัมประสิทธิ์ MLP ปานกลาง) เช่น ระยะห่างจากเหมืองแร่ (กลุ่มที่ 2) ซึ่งบ่งชี้ว่าอิทธิพลของปัจจัยนี้จำกัดอยู่ในพื้นที่เฉพาะและมีความซ้ำซ้อนกับตัวแปรอื่น สำหรับปัจจัยที่แสดงความสอดคล้องระหว่างสองวิธีการวัด (กลุ่มที่ 3) เช่น ระยะห่างจากโรงพยาบาล บ่งชี้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีความสำคัญที่เป็นอิสระ มีการกระจายตัวทั่วพื้นที่ และมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องทั้งในรูปแบบเชิงเส้นตรงและไม่เชิงเส้นตรง

ข้อค้นพบสำคัญจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบนี้คือความสัมพันธ์เชิงสถิติ (Statistical Association) ไม่เท่ากับอิทธิพลต่อการพยากรณ์ (Predictive Influence) เสมอไป ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงสถิติสูงอาจมีอิทธิพลต่อการพยากรณ์ต่ำ หากมีการกระจายตัวแบบจำกัด มีความซ้ำซ้อนกับตัวแปรอื่น หรือมีความสัมพันธ์เฉพาะในรูปแบบเชิงเส้นตรงเท่านั้น ในทางกลับกัน ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงสถิติต่ำอาจมีอิทธิพลสูง หากมีการกระจายตัวทั่วพื้นที่ มีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น หรือมีปฏิสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งกับตัวแปรอื่น ดังนั้น การใช้วิธีการทั้งสองร่วมกันจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการคัดเลือกและประเมินความสำคัญของปัจจัยในการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้ค่าเคอร์เมอริวในการคัดกรองตัวแปรเบื้องต้น และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ MLP ในการประเมินความสำคัญที่แท้จริงและสร้างแผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลง สำหรับการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงในอนาคต

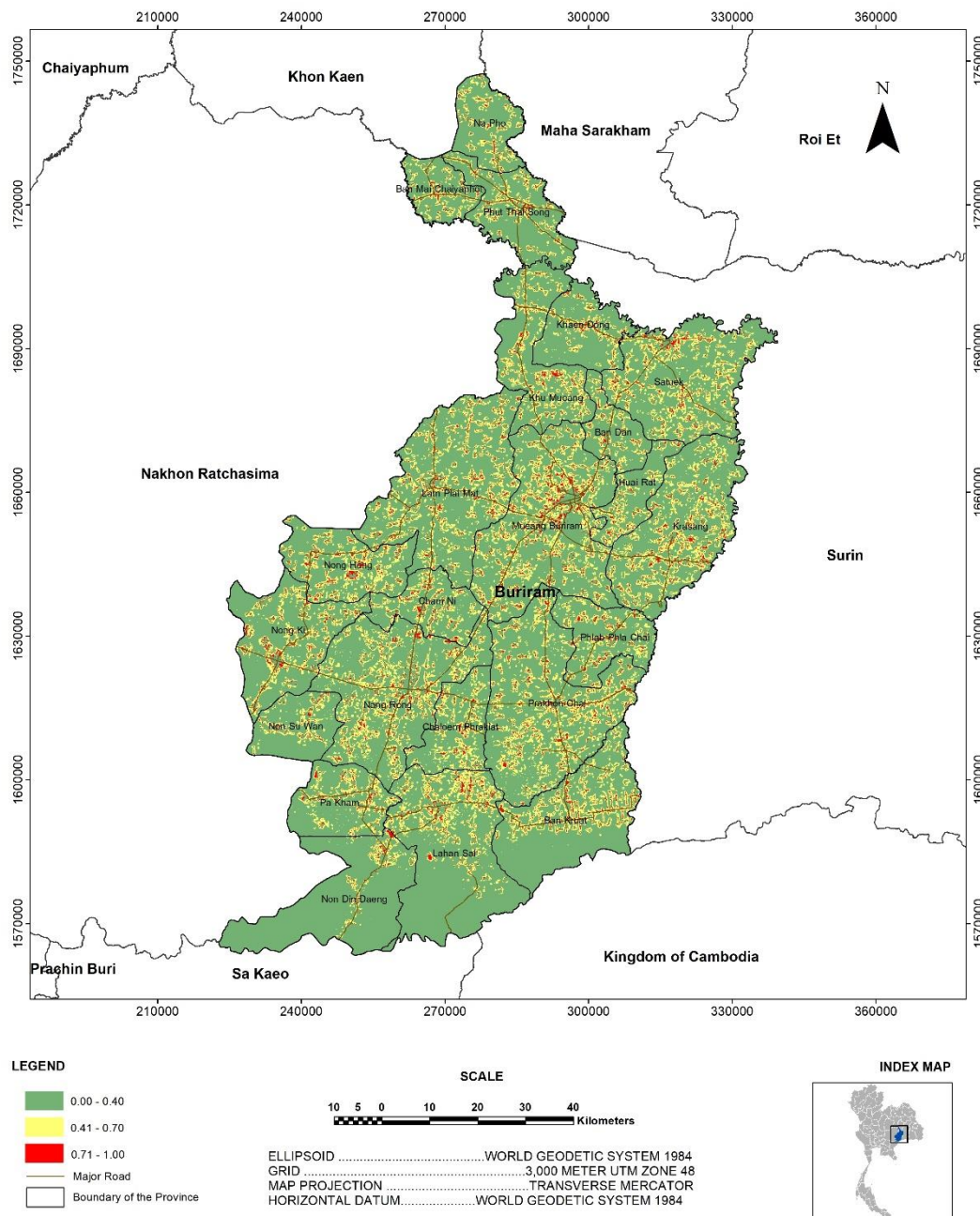
แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลง

จากแบบจำลอง MLP Neural Network สำหรับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทั้ง 10 รูปแบบ ได้ผลลัพธ์ที่สำคัญคือแผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงในแต่ละพื้นที่ โดยมี ค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่าใกล้ 1 แสดงถึงศักยภาพสูงในการเปลี่ยนแปลง แผนที่ศักยภาพเหล่านี้ เป็นผลลัพธ์จากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้รับการฝึกฝนด้วยข้อมูลการเปลี่ยนแปลงจริงระหว่างปี พ.ศ. 2544-2554 และปัจจัยขับเคลื่อน 29 ตัวแปร ทั้งหมด 9 แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลง (ภาคผนวก ก) การนำเสนอในหัวข้อนี้ จะเน้นที่แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงหลัก 3 รูปแบบที่มีความสำคัญต่อการวางแผนพัฒนา จังหวัด ได้แก่ 1) การเปลี่ยนจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง 2) การเปลี่ยนจากพื้นที่ป่าไม้ เป็นพื้นที่เมือง และ 3) การเปลี่ยนจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นพื้นที่เมือง ซึ่งรวมกันคิดเป็น 100% ของการขยายตัวของพื้นที่เมืองในจังหวัดบุรีรัมย์

1. แผนที่ศักยภาพหลัก 3 รูปแบบ

1.1 แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง แสดงให้เห็นการกระจายตัวของความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยพื้นที่ที่มี ศักยภาพสูง (ค่าความน่าจะเป็น 0.7-1.0) มีจำนวน 375.09 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 3.73 ของพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด กระจุกตัวอยู่ในบริเวณรอบศูนย์กลางเมืองหลัก โดยเฉพาะอำเภอเมืองบุรีรัมย์ที่มีพื้นที่ศักยภาพสูงมากที่สุดถึง 47.19 ตารางกิโลเมตร รองลงมาคืออำเภอประโคนชัย (32.87 ตารางกิโลเมตร) และอำเภอลำปลายมาศ (31.21 ตารางกิโลเมตร) ตามลำดับ การกระจุกตัวของพื้นที่ศักยภาพสูงในอำเภอเหล่านี้สะท้อนถึงบทบาทของอำเภอเมืองบุรีรัมย์ในฐานะ

ศูนย์กลาง การบริหาร เศรษฐกิจ และบริการของจังหวัด ขณะที่อำเภอประโคนชัยและอำเภอลำปลายมาศเป็น ศูนย์กลางรองที่มีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่สนับสนุนการขยายตัวของเมือง เมือง ดังภาพประกอบ 35

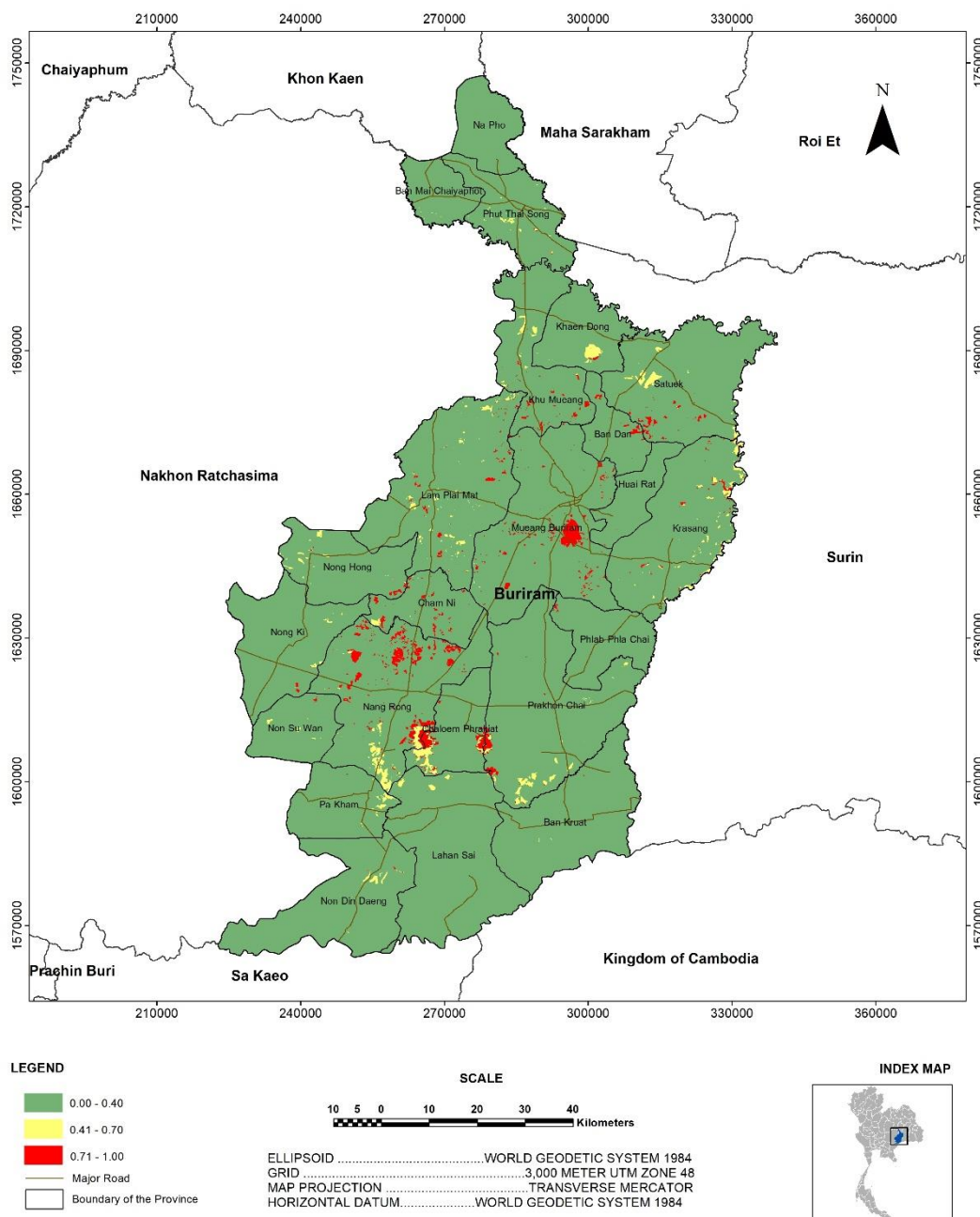


ภาพประกอบ 35 แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง

รูปแบบการกระจายตัวของพื้นที่ศักยภาพสูงมีลักษณะเป็นแนวตามเส้นทางคมนาคมสำคัญ โดยเฉพาะทางหลวงหมายเลข 24 ซึ่งเป็นเส้นทางเชื่อมกรุงเทพมหานคร กับ จังหวัดอุบลราชธานี และทางหลวงหมายเลข 218 ที่เชื่อมอำเภอนางรองกับจังหวัดบุรีรัมย์ กระจายตัวแบบนี้สอดคล้องกับทฤษฎี Accessibility Theory ที่อธิบายว่าพื้นที่ที่มีการเข้าถึง โครงสร้างพื้นฐานการคมนาคมได้ดีจะมีแนวโน้มพัฒนาเป็นเมืองสูงกว่าพื้นที่ที่ห่างไกล นอกจากนี้ ยังพบว่าพื้นที่ใกล้แหล่งท่องเที่ยวสำคัญ เช่น สนามกีฬาช้าง อารีน่า สนามแข่งรถช้าง และปราสาท หินพนมรุ้ง แสดงค่าศักยภาพในระดับสูงถึงสูงมาก ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของการท่องเที่ยว เชิงกีฬาต่อการขยายตัวของพื้นที่เมือง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ใน Sub-model 1 ที่พบว่าระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยวเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ 0.9002

พื้นที่ที่มีศักยภาพปานกลาง (ค่าความน่าจะเป็น 0.4-0.7) มีจำนวน 2,010.11 ตาราง กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 19.97 ของพื้นที่ทั้งหมด กระจายตัวในวงรอบพื้นที่ศักยภาพสูง และตาม แนวถนนสายรอง แสดงให้เห็นถึงการขยายตัวของเมืองในแนวรัศมี (Radial Expansion) จาก ศูนย์กลางเมือง พื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่ที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคตหากมีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพิ่มเติมหรือมีนโยบายส่งเสริมการพัฒนา ในขณะที่พื้นที่ศักยภาพต่ำ (ค่าความน่าจะเป็น < 0.4) มีจำนวน 7,681.74 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 76.31 ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ที่ห่างไกลจากเส้นทางคมนาคมและศูนย์กลางเมือง พื้นที่เหล่านี้ควรได้รับการอนุรักษ์เพื่อรักษาไว้ ซึ่งความมั่นคงทางอาหารและรักษาสมดุลระหว่างการพัฒนาเมืองกับการรักษาพื้นที่เกษตรกรรม

1.2 แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่ แสดงรูปแบบการกระจายที่แตกต่างอย่างชัดเจนจากการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรม โดย พื้นที่ที่มีศักยภาพสูง (ค่าความน่าจะเป็น 0.7-1.0) มีจำนวน 139.25 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นเพียง ร้อยละ 1.38 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมมาก สะท้อนถึง ความยากในการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เมืองโดยตรง รูปแบบการกระจายตัวไม่เป็นแนว ต่อเนื่องเหมือนกลุ่มแรก แต่กระจายตัวแบบไม่เป็นระเบียบมักพบในบริเวณขอบป่า ระหว่างพื้นที่ป่าไม้กับพื้นที่เกษตรกรรม โดยเฉพาะในอำเภอทางภาคใต้ ของจังหวัด เมือง ดังภาพประกอบ 36



ภาพประกอบ 36 แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เมือง

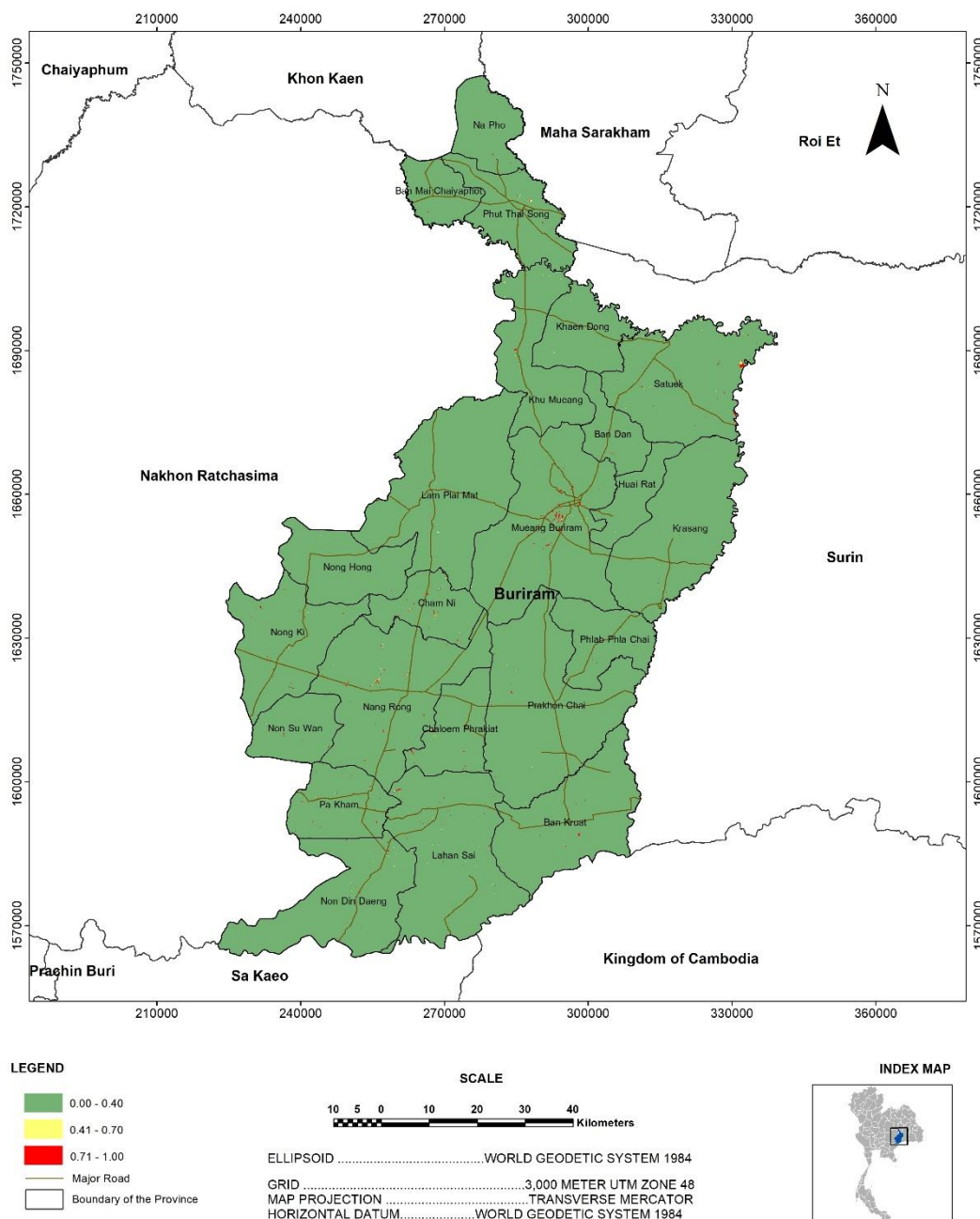
อำเภอหนองมีพื้นที่ศักยภาพสูงมากที่สุดถึง 44.65 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 32.1 ของพื้นที่ศักยภาพสูงทั้งหมด รองลงมาคืออำเภอเมืองบุรีรัมย์ (28.41 ตารางกิโลเมตร) และ อำเภอเฉลิมพระเกียรติ (16.30 ตารางกิโลเมตร) การที่อำเภอหนองมีพื้นที่ศักยภาพสูงมากกว่า อำเภอเมืองบุรีรัมย์นี้น่าสนใจ เนื่องจากแสดงให้เห็นถึงลักษณะของการพัฒนาแบบ

Leap-frog Development ที่การบุกรุกป่าไม่จำเป็นต้องเกิดใกล้ศูนย์กลางเมืองเดิม แต่สามารถเกิดขึ้นได้ใน พื้นที่ห่างไกลหากมีปัจจัยดึงดูด เช่น การมีแหล่งการศึกษา โรงเรียนขนาดใหญ่ หรือ มหาวิทยาลัย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ใน Sub-model 4 ที่พบว่าระยะทางถึงแหล่งการศึกษาเป็นปัจจัย สำคัญที่สุด แม้ว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์ไม่สูงมาก (0.0407)

ลักษณะพิเศษของการเปลี่ยนแปลงประเภทนี้คือการไม่มีปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งที่โดดเด่น อย่างชัดเจน แต่เป็นการรวมกันของหลายปัจจัย แสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนของกระบวนการบุกรุก ป่าไม้ซึ่งไม่ได้เป็นไปตามกฎเกณฑ์ทางเศรษฐกิจเพียงอย่างเดียว แต่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายมิติ เช่น การบังคับใช้กฎหมาย ความเข้มงวดในการควบคุมพื้นที่ป่าสงวน และพฤติกรรมของประชากร ในการแสวงหาที่ดินทำกิน สิ่งนี้อธิบายได้ว่าทำไมความแม่นยำของ Sub-model 4 (ร้อยละ 84.88) จึงต่ำกว่า Sub-model 1 (ร้อยละ 92.12) เนื่องจากความไม่แน่นอนและความซับซ้อนของปัจจัย ที่เกี่ยวข้องมากกว่า พื้นที่ศักยภาพปานกลางมีจำนวน 130.96 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 1.30) และ พื้นที่ศักยภาพต่ำมีจำนวน 9,796.74 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 97.32) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ป่าไม้ ส่วนใหญ่ยังคงมีความปลอดภัยจากการบุกรุก โดยเฉพาะในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติและพื้นที่ที่มีการ ควบคุมอย่างเข้มงวด

1.3 แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นพื้นที่เมือง แสดงพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 รูปแบบ โดยมีเพียง 13.03 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นเพียงร้อยละ 0.13 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่เหล่านี้ส่วนใหญ่กระจุกตัวในเขตเมืองและชานเมือง สะท้อนถึงลักษณะของการเติมเต็มพื้นที่ว่าง ในพื้นที่ที่มีการพัฒนา โครงสร้างพื้นฐานแล้ว รูปแบบการพัฒนาแบบนี้เป็นที่ต้องการในการวางแผนเมือง เนื่องจากช่วยลด การขยายตัวของเมืองแบบกระจาย และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้โครงสร้าง พื้นฐานที่มีอยู่แล้ว

อำเภอเมืองบุรีรัมย์มีพื้นที่ศักยภาพสูงมากที่สุด 2.93 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 22.5 ของพื้นที่ศักยภาพสูงทั้งหมด รองลงมาคืออำเภอสตึก (2.16 ตารางกิโลเมตร) และ อำเภอขามเฒ่า (1.17 ตารางกิโลเมตร) พื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่ว่าง พื้นที่รกร้าง หรือพื้นที่เบ็ดเตล็ดที่อยู่ในเขต เมืองหรือใกล้เคียง ซึ่งมีแนวโน้มได้รับการพัฒนาเป็นพื้นที่เมืองเนื่องจากอยู่ในทำเลที่มีโครงสร้าง พื้นฐานพร้อมแล้ว การเติมเต็มพื้นที่เหล่านี้เป็นทางเลือกที่ดีกว่าการขยายเมืองไปยังพื้นที่ เกษตรกรรมหรือพื้นที่ป่าไม้ เนื่องจากช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและรักษาพื้นที่สีเขียว ดังภาพประกอบ 37



ภาพประกอบ 37 แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นพื้นที่เมือง

การที่พื้นที่ศักยภาพสูงมีน้อยมากนี้สอดคล้องกับข้อมูลที่ว่า การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ เบ็ดเตล็ดเป็นพื้นที่เมืองมีสัดส่วนเพียงร้อยละ 9.6 ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด แสดงว่าพื้นที่ เบ็ดเตล็ดส่วนใหญ่ไม่ได้เปลี่ยนเป็นพื้นที่เมือง แต่อาจเปลี่ยนเป็นพื้นที่ประเภทอื่น เช่น พื้นที่เกษตรกรรม แหล่งน้ำ หรือพื้นที่ป่าไม้ที่ได้รับการฟื้นฟู พื้นที่ศักยภาพปานกลางมีจำนวน 4.95

ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 0.05) และพื้นที่ศักยภาพต่ำมีจำนวน 10,048.97 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 99.82) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่เบ็ดเตล็ดส่วนใหญ่ไม่มีแนวโน้มเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมืองในระยะใกล้

2. การจำแนกระดับศักยภาพ

จากการวิเคราะห์แผนที่ศักยภาพทั้ง 3 รูปแบบ สามารถจำแนกพื้นที่ตามระดับศักยภาพ ได้ 3 ระดับตามค่าความน่าจะเป็น ได้แก่ ระดับสูง (0.7-1.0) ระดับปานกลาง (0.4-0.7) และระดับ ต่ำ (0.0-0.4) การจำแนกระดับนี้มีความสำคัญต่อการวางแผนการใช้ที่ดินและการกำหนดนโยบาย การพัฒนา เนื่องจากช่วยระบุพื้นที่ที่ต้องการความสนใจเป็นพิเศษในการจัดการ และควบคุมการใช้ ที่ดิน ดังตาราง 31

ตาราง 31 การจำแนกระดับศักยภาพการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เมือง

ระดับศักยภาพ	ช่วงค่า	Agriculture to Urban		Forest to Urban		Miscellaneous to Urban	
		km ²	%	km ²	%	km ²	%
สูง	0.70-1.00	375.09	3.73	139.25	1.38	13.03	0.13
กลาง	0.40-0.69	2,010.11	19.97	130.96	1.30	4.95	0.05
ต่ำ	0.00-0.39	7,681.74	76.31	9,796.74	97.32	10,048.97	99.82
รวม		10,066.95	100.00	10,066.95	100.00	10,066.95	100.00

2.1 พื้นที่ศักยภาพสูง (0.7-1.0) เป็นพื้นที่ที่มีความน่าจะเป็นสูงในการเปลี่ยนแปลงเป็น พื้นที่เมือง พบมากที่สุดในรูปแบบ Agriculture to Urban (375.09 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 3.73) กระจุกตัวในอำเภอเมืองบุรีรัมย์ ประโคนชัย ลำปลายมาศ และนางรอง ซึ่งเป็นศูนย์กลาง การพัฒนาหลักของจังหวัด พื้นที่เหล่านี้ควรได้รับการวางแผนรองรับการพัฒนาอย่างเหมาะสม เช่น การจัดทำผังเมืองรวม การเตรียมโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็น การวางระบบสาธารณูปโภค และ การควบคุมการใช้ที่ดินให้สอดคล้องกับการพัฒนาที่ยั่งยืน การวางแผนที่ดีจะช่วยลดปัญหาที่อาจ เกิดขึ้นจากการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็ว เช่น ปัญหาจราจรติดขัด การขาดแคลนที่อยู่อาศัย และปัญหาสิ่งแวดล้อม

2.2 พื้นที่ศักยภาพปานกลาง (0.4-0.7) เป็นพื้นที่ที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับนโยบาย และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน พบมากในรูปแบบ Agriculture to Urban (2,010.11 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 19.97) กระจายตัวรอบพื้นที่ศักยภาพสูงและตามแนวเส้นทางคมนาคม สำคัญ พื้นที่เหล่านี้เหมาะสำหรับการควบคุมการใช้ที่ดินและการวางแผนเชิงรุกเพื่อ

กำหนดทิศทาง การพัฒนา การจัดทำแผนพัฒนาพื้นที่เฉพาะ (Special Development Zone) อาจเป็นเครื่องมือ ที่เหมาะสมในการบริหารจัดการพื้นที่เหล่านี้ เพื่อให้สามารถควบคุมทิศทางการพัฒนาได้ตาม ต้องการและป้องกันการพัฒนาที่ไม่เป็นระเบียบ

2.3 พื้นที่ศักยภาพต่ำ (< 0.4) เป็นพื้นที่ที่มีความน่าจะเป็นต่ำในการเปลี่ยนแปลง พบมาก ที่สุดในรูปแบบ Miscellaneous to Urban (ร้อยละ 99.82) และ Forest to Urban (ร้อยละ 97.32) พื้นที่เหล่านี้ส่วนใหญ่ห่างไกลจากศูนย์กลางเมืองและเส้นทางคมนาคมหลัก ควรได้รับการอนุรักษ์ เพื่อรักษาไว้ซึ่งพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ และความมั่นคงทางอาหาร การกำหนดเขตอนุรักษ์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (Conservation Zone) ในพื้นที่เหล่านี้จะช่วยป้องกันการบุกรุก และรักษาสสมดุลระหว่างการพัฒนากับการอนุรักษ์ โดยเฉพาะพื้นที่ป่าไม้ที่มีความสำคัญต่อระบบ นิเวศและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

การจำแนกระดับศักยภาพนี้มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบความแม่นยำของแบบ จำลอง โดย Sub-model 1 Agriculture to Urban ที่มีพื้นที่ศักยภาพสูงมากที่สุดก็มีความแม่นยำ สูงที่สุด (ร้อยละ 92.12 และ Skill Measure 0.8425) ในขณะที่ Sub-model 4 (Forest to Urban) ที่มีความซับซ้อนมากกว่าก็มีความแม่นยำต่ำกว่า (ร้อยละ 84.88 และ Skill Measure 0.6977) แสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของแผนที่ศักยภาพที่สร้างขึ้น และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูล ประกอบการตัดสินใจในการวางแผนพัฒนาจังหวัดได้

3. รูปแบบการกระจายตัวของศักยภาพ

การวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของพื้นที่ศักยภาพสูงแสดงให้เห็นถึงความแตกต่าง อย่างชัดเจนระหว่าง 3 รูปแบบการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสะท้อนถึงกลไกและปัจจัยขับเคลื่อนที่แตกต่างกันของแต่ละรูปแบบ ตาราง 32

ตาราง 32 เปรียบเทียบพื้นที่ศักยภาพสูงของ 3 รูปแบบการเปลี่ยนแปลง

รูปแบบการ	พื้นที่ศักยภาพ สูง (km ²)	สัดส่วน (%)	สัดส่วน ทั้งหมด(%)	Overall Accuracy(%)	การกระจาย
Agriculture to Urban	375.09	3.73	78.60	92.12	แนวตามถนนหลัก
Forest to Urban	139.25	1.38	11.80	84.88	กระจายไม่เป็นแนว
Miscellaneous to Urban	13.03	0.13	9.60	88.24	เติมเต็มในเมือง
รวมทั้งสิ้น	527.37		100.00		

3.1 รูปแบบการกระจายแบบแนว (Corridor Development) พบในการเปลี่ยนแปลงจาก พื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง โดยพื้นที่ศักยภาพสูงกระจายตัวตามแนวเส้นทางคมนาคมสำคัญ โดยเฉพาะทางหลวงหมายเลข 2 ซึ่งเป็นเส้นทางหลักเชื่อมกรุงเทพมหานครกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และทางหลวงหมายเลข 218 ที่เชื่อมอำเภอนางรองกับจังหวัดบุรีรัมย์กับ นอกจากนี้ยังพบการกระจาย ตัวตามแนวทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะบริเวณรอบสถานีรถไฟบุรีรัมย์และลำปลายมาศ รูปแบบนี้สอดคล้องกับทฤษฎี Corridor Development ที่อธิบายว่าพื้นที่ตามแนว เส้นทางคมนาคมจะมีการพัฒนาเป็นเมืองสูง เนื่องจากมีความได้เปรียบในการเข้าถึงและการเชื่อมโยง กับศูนย์กลางเศรษฐกิจ การกระจายตัวแบบนี้สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของระบบคมนาคมต่อ การพัฒนาเมือง และเป็นข้อมูลสำคัญในการวางแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในอนาคต

3.2 รูปแบบการกระจายแบบกระจาย (Dispersed Pattern) พบในการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ ป่าไม้เป็นพื้นที่เมือง โดยพื้นที่ศักยภาพสูงไม่ได้กระจุกตัวตามแนวถนนหรือรอบศูนย์กลางเมือง แต่กระจายตัวในบริเวณขอบป่า (Forest Edge) ระหว่างพื้นที่ป่าไม้กับพื้นที่เกษตรกรรม โดยเฉพาะ พื้นที่ตอนกลางและตอนใต้ของจังหวัด ได้แก่ อำเภอมืองบุรีรัมย์ นางรอง กระสัง สตึก และลำปลายมาศ รูปแบบนี้ สะท้อนถึงลักษณะของ Leap-frog Development ที่การพัฒนาสามารถเกิดขึ้นได้ในพื้นที่ห่างไกล จากศูนย์กลางเมืองหลัก หากมีปัจจัยดึงดูดที่เหมาะสม เช่น การมีแหล่งการศึกษา โรงเรียนขนาดใหญ่ หรือโครงการพัฒนาพิเศษ การกระจายตัวแบบนี้ ทำให้การควบคุมและป้องกันการบุกรุกป่ามี ความยากมากขึ้น เนื่องจากไม่สามารถคาดการณ์ได้ชัดเจนว่าพื้นที่ใดจะถูกบุกรุกในอนาคต

3.3. รูปแบบการกระจายแบบเติมเต็ม (Infill Development) พบในการเปลี่ยนแปลงจาก พื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นพื้นที่เมือง โดยพื้นที่ศักยภาพสูงกระจุกตัวในเขตเมืองและชานเมือง โดยเฉพาะ อำเภอมืองบุรีรัมย์ สตึก และนางรอง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการพัฒนาโครงสร้าง

พื้นฐานแล้ว รูปแบบนี้เป็น ที่ต้องการในการวางแผนเมืองสมัยใหม่ เนื่องจากช่วยลดการขยายตัวของเมืองแบบกระจาย (Urban Sprawl) ซึ่งมักก่อให้เกิดปัญหา เช่น การสูญเสียพื้นที่เกษตรกรรม ต้นทุนโครงสร้างพื้นฐานที่สูง และการใช้พลังงานในการเดินทางที่มาก การส่งเสริมให้มีการพัฒนาแบบ Infill จึงเป็นนโยบายที่ ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพ การกระจายตัวของพื้นที่ศักยภาพสูงรายอำเภอแสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของการ พัฒนาในจังหวัดบุรีรัมย์ ตาราง 33

ตาราง 33 การกระจายตัวของพื้นที่ศักยภาพสูงรายอำเภอ

ลำดับ	อำเภอ	ตารางกิโลเมตร				ร้อยละ
		Agri to Urban	For to Urban	Mis to Urban	รวม	
1	เมืองบุรีรัมย์	262.55	28.60	3.44	294.60	11.0
2	นางรอง	211.22	61.56	1.64	274.41	10.3
3	ประโคนชัย	230.04	17.72	0.33	248.10	9.3
4	ลำปลายมาศ	201.87	18.59	0.38	220.84	8.3
5	กระสัง	176.58	24.04	0.09	200.71	7.5
6	สตึก	165.60	18.66	3.28	187.54	7.0
7	ละหานทราย	132.88	5.95	1.03	139.87	5.2
8	บ้านกรวด	120.49	0.47	0.50	121.46	4.5
9	คูเมือง	102.03	11.74	0.58	114.35	4.3
10	หนองกี่	102.78	2.76	0.83	106.37	4.0
11	เฉลิมพระเกียรติ	64.90	29.21	0.74	94.85	3.5
12	หนองหงส์	89.16	5.11	0.03	94.31	3.5
13	ปะคำ	63.53	10.80	0.75	75.09	2.8
14	ชำนิ	60.51	11.52	1.63	73.66	2.8
15	พลับพลาชัย	66.24	0.15	0.28	66.68	2.5
16	พุทไธสง	62.08	3.11	0.58	65.77	2.5
17	แคนดง	42.49	8.89	0.24	51.62	1.9
18	ห้วยราช	44.35	0.35	0.14	44.84	1.7
19	นาโพธิ์	42.85	0.00	0.14	42.99	1.6
20	บ้านด่าน	37.02	3.85	0.29	41.16	1.5
21	โนนดินแดง	33.94	4.97	0.69	39.60	1.5

ตาราง 33 (ต่อ)

ลำดับ	อำเภอ	ตารางกิโลเมตร				ร้อยละ
		Agri to Urban	For to Urban	Mis to Urban	รวม	
22	บ้านใหม่ไชยพจน์	37.91	0.17	0.09	38.17	1.4
23	โนนสุวรรณ	34.16	1.97	0.28	36.42	1.4
รวมทั้งจังหวัด		2,385.21	270.21	17.98	2,673.40	100.0

จากตาราง 33 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ศักยภาพสูงกระจายอยู่ทั้ง 23 อำเภอของ จังหวัดบุรีรัมย์ โดยมีการกระจุกตัวอย่างชัดเจนใน 10 อำเภอแรก ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 71.4 ของพื้นที่ ศักยภาพสูงทั้งหมด อำเภอเมืองบุรีรัมย์และอำเภอนางรองเป็นอำเภอที่มีพื้นที่ศักยภาพสูง มากที่สุด โดยรวมกันมีพื้นที่ถึง 569.01 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 21.3 ของพื้นที่ ศักยภาพสูง ทั้งหมด การกระจุกตัวนี้สะท้อนถึงบทบาทของทั้งสองอำเภอในฐานะศูนย์กลางการ พัฒนาหลักของจังหวัด อำเภอเมืองบุรีรัมย์เป็นศูนย์กลางการบริหารราชการ การค้า การบริการ และการท่องเที่ยว โดยเฉพาะหลังจากการพัฒนาสนามบินบุรีรัมย์ อารินาและสนามแข่งรถช้าง อินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต ซึ่งดึงดูดนักท่องเที่ยวและกระตุ้นการลงทุนอย่างมาก ในขณะที่ อำเภอนางรองเป็นศูนย์กลางรองที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเป็นเส้นทางคมนาคมสำคัญ ที่ใช้เดินทางไปยังจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

การวิเคราะห์การกระจุกตัวในเชิงลึกพบว่า 5 อำเภอแรก ได้แก่ เมืองบุรีรัมย์ นางรอง ประโคนชัย ลำปลายมาศ และกระสัง มีพื้นที่ศักยภาพสูงรวมกันถึง 1,238.66 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 46.3 ของพื้นที่ทั้งหมด แสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นของการพัฒนาในพื้นที่จำกัด เมื่อขยายการพิจารณาไปยัง 15 อำเภอแรก พบว่ามีพื้นที่ศักยภาพสูงรวมกันถึงร้อยละ 86.5 ในขณะที่อีก 8 อำเภอที่เหลือมีพื้นที่ศักยภาพสูงรวมกันเพียงร้อยละ 13.5 ความไม่สม่ำเสมอ อย่างรุนแรงนี้ สะท้อนให้เห็นถึงโครงสร้างการพัฒนาแบบศูนย์กลาง รอบนอก (Core-Periphery) ที่ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเติบโตของเมืองที่อธิบายว่าการพัฒนามักกระจุกตัวในพื้นที่ ที่มีความได้เปรียบเปรียบเทียบ เช่น การเข้าถึงโครงสร้างพื้นฐาน ตลาด และบริการสาธารณะ

เมื่อพิจารณาตามประเภทการเปลี่ยนแปลง พบว่า Agriculture to Urban เป็นรูปแบบหลักที่มีพื้นที่ศักยภาพสูงมากที่สุด โดยมีพื้นที่ถึง 2,385.21 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 89.2 ของพื้นที่ศักยภาพสูงทั้งหมด สะท้อนถึงแรงกดดันต่อพื้นที่เกษตรกรรมจากการขยายตัวของเมืองที่รุนแรง รองลงมาคือ Forest to Urban ที่มีพื้นที่ 270.21 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 10.1) ซึ่งแม้จะ

มีสัดส่วนน้อยกว่ามาก แต่ก็ยังเป็นสัญญาณเตือนถึงการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้ที่ควรได้รับการควบคุมอย่างเข้มงวด และ Miscellaneous to Urban ที่มีพื้นที่เพียง 17.98 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 0.7) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่เบ็ดเตล็ดส่วนใหญ่ไม่ได้เปลี่ยนเป็นพื้นที่เมือง แต่อาจถูก พัฒนาเป็นพื้นที่ประเภทอื่นหรือยังคงเป็นพื้นที่รกร้าง

ผลการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลอง LCM

การทดสอบความแม่นยำของแบบจำลอง LCM เป็นขั้นตอนสำคัญที่ยืนยันความน่าเชื่อถือและความสามารถในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การวิเคราะห์ความแม่นยำในการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 1) การทดสอบความแม่นยำของแต่ละ Sub-model ในระหว่างกระบวนการฝึกฝนแบบจำลอง (Training & Testing Phase) และ 2) การทดสอบความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลองที่สมบูรณ์โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงปี พ.ศ. 2564

1. ผลการทดสอบความแม่นยำในระดับ Sub-model

การวิเคราะห์ความแม่นยำของแต่ละ Sub-model ดำเนินการผ่าน Multi-Layer Perceptron Neural Network โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดฝึกฝน (Training set) และชุดทดสอบ (Testing set) ในอัตราส่วน 50:50 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

1.1 Sub-model 1 Agriculture to Urban แสดงประสิทธิภาพสูงสุดด้วย Accuracy Rate ที่ 92.12% และ Skill Measure ที่ 0.8425 ความแม่นยำสูงนี้สะท้อนให้เห็นถึง 1) รูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน การเปลี่ยนจากพื้นที่เกษตรเป็นเมืองมีรูปแบบที่สม่ำเสมอและคาดการณ์ได้ โดยเฉพาะตามแนวทางหลวงและใกล้แหล่งท่องเที่ยว 2) ปัจจัยขับเคลื่อนที่แข็งแกร่งระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว (ค่าสัมประสิทธิ์ 0.9002) และปัจจัยเศรษฐกิจสังคมมีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับการเปลี่ยนแปลง 3) Skill (Transition) สูงมาก ค่า 0.9907 แสดงว่าแบบจำลองสามารถแยกแยะพื้นที่เกษตรที่จะเปลี่ยนเป็นเมืองได้แม่นยำมาก 4) ความสมดุลระหว่าง Training และ Testing RMS ที่ใกล้เคียงกัน (0.2942 vs 0.2937) แสดงว่าแบบจำลองไม่มีปัญหา Overfitting ดังตาราง 34

ตาราง 34 สรุปผลการทดสอบความแม่นยำของแต่ละ Sub-model

Sub-model	Training RMS	Testing RMS	Accuracy Rate (%)	Skill Measure	Skill (Transition)	Skill (Persistence)
Sub-model 1 Agriculture to Urban	0.2942	0.2937	92.12	0.8425	0.9907	0.6965
Sub-model 2 Forest to Urban	0.3004	0.3276	84.88	0.6977	0.8046	0.5882
Sub-model 3 Miscellaneous to Urban	0.1859	0.3195	87.8	0.7561	-	-
ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	0.2706	0.3011	90.15	0.7988	0.8977	0.6424

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามสัดส่วนการเปลี่ยนแปลง (78.6% : 11.8% : 9.6%)

1.2 Sub-model 2 Forest to Urban นี้มี Accuracy Rate ต่ำที่สุดที่ 84.88% และ Skill Measure ที่ 0.6977 ซึ่งยังคงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ต่ำกว่า Sub-models อื่น เนื่องจาก 1) ความซับซ้อนของกระบวนการบุกรุกป่า การเปลี่ยนจากป่าเป็นเมืองไม่ได้เป็นไปตามกฎเกณฑ์ทางเศรษฐกิจเพียงอย่างเดียว แต่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายมิติ เช่น ความยากจน การขาดที่ดินทำกิน นโยบายการจัดการป่าไม้ และแรงกดดันจากประชากร 2) การกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ พื้นที่ป่าไม่มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอและมักอยู่ในพื้นที่ที่เข้าถึงยาก การบุกรุกจึงเกิดแบบกระจายและไม่เป็นรูปแบบ 3) ข้อมูลจำกัด พื้นที่ป่าที่เปลี่ยนเป็นเมืองมีสัดส่วนน้อย (11.8%) ทำให้มีตัวอย่างสำหรับการฝึกฝนน้อยกว่า Sub-model อื่น 4) Testing RMS สูงกว่า Training RMS ช่วงห่างระหว่าง Training RMS (0.3004) และ Testing RMS (0.3276) แสดงถึงความยากในการทำนายพื้นที่ป่าที่จะถูกบุกรุก อย่างไรก็ตาม Skill Measure ที่ 0.6977 ยังคงอยู่ในระดับดี ตามเกณฑ์ของ Pontius (2008) และ Skill ที่ 0.8046 แสดงว่าเมื่อแบบจำลองทำนายว่าพื้นที่ป่าจะเปลี่ยนเป็นเมือง มักจะทำนายถูกต้องในระดับสูง

1.3 Sub-model 3 Miscellaneous to Urban นี้มี Accuracy Rate ที่ 87.80% และ Skill Measure ที่ 0.7561 อยู่ระหว่าง Sub-model 1 และ 2 ซึ่งสะท้อน 1) ความหลากหลายของพื้นที่ กลุ่ม Miscellaneous ประกอบด้วยพื้นที่หลายประเภท เช่น พื้นที่รกร้าง พื้นที่โล่ง พื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งมีลักษณะและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน 2) รูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่หลากหลาย: การพัฒนาพื้นที่เบ็ดเตล็ดขึ้นอยู่กับการปัจจัย ทั้งการเข้าถึงแหล่งน้ำ (0.8807) ความใกล้เคียงกับพื้นที่เกษตร (0.6458) และโรงงาน (0.5664) 3) ช่วงห่างระหว่าง Training และ Testing RMS ค่อนข้างมาก Training RMS (0.1859) ต่ำมากเมื่อเทียบกับ Testing RMS

(0.3195) แสดงถึงความท้าทายในการทำนายพื้นที่ประเภทนี้ แม้ว่าแบบจำลองจะเรียนรู้รูปแบบจาก Training set ได้ดี แต่การประยุกต์ใช้กับ Testing set ยังคงมีความท้าทาย

2. ผลการทดสอบความแม่นยำโดยรวม

โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้ที่ดินจริงในปี พ.ศ. 2564 ผ่าน Error Matrix Analysis ซึ่งให้ภาพรวมของประสิทธิภาพแบบจำลองที่สมบูรณ์ ดังตาราง 35

ตาราง 35 ผลการทดสอบความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลอง

ตัวชี้วัด	ค่าที่ได้	ระดับ	เกณฑ์มาตรฐาน
Overall Accuracy	93.27%	ดีมาก	>85% = ดีมาก
Overall Kappa	0.8243	ดีมาก	0.6-0.8 = ดี, 0.8-1.0 = ดีมาก
Confidence Interval (95%)	0.066593 - 0.068061	สูง	ช่วงแคบ = ความเชื่อมั่นสูง

Overall Accuracy ที่ 93.27% หมายความว่าแบบจำลองสามารถทำนายการใช้ที่ดินถูกต้อง 93.27% ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบบจำลอง Land Use Change ที่ควรมีความแม่นยำอย่างน้อย 85% (Pontius, 2008)

Overall Kappa ที่ 0.8243 อยู่ในระดับดีมาก ตามเกณฑ์การตีความ Kappa ของ Landis and Koch (1977) อยู่ระหว่าง 0.81-1.00 มีความสอดคล้องดีมาก

Confidence Interval ที่แคบ ค่าอยู่ระหว่าง 0.066593 - 0.068061 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความมั่นคงและผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือสูง

3. Kappa coefficient ของแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน

การวิเคราะห์แยกตามประเภทการใช้ที่ดินช่วยให้เห็นความแม่นยำในการทำนายแต่ละประเภทอย่างละเอียด

พื้นที่เกษตร มีค่าสูงสุด (0.8626-0.9485) เนื่องจาก มีขอบเขตที่ชัดเจนและพื้นที่กว้างใหญ่ 76.51% ของจังหวัด มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงมีความสม่ำเสมอและคาดการณ์ได้และปัจจัยขับเคลื่อนมีความสัมพันธ์ที่ชัดเจน

พื้นที่เมือง มีค่าสูง (0.8661) แสดงว่าแบบจำลองสามารถทำนายการขยายตัวของเมืองได้แม่นยำ ปัจจัยด้านการท่องเที่ยวและโครงสร้างพื้นฐานมีอิทธิพลชัดเจน

พื้นที่ป่าไม้ มีค่าต่ำที่สุด (0.3689) สอดคล้องกับผลใน Sub-model 2 เนื่องจากพื้นที่ป่ามีเพียงร้อยละ 9.57 ของจังหวัด การบุกรุกป่ามีลักษณะกระจายและไม่เป็นรูปแบบและปัจจัยขับเคลื่อนซับซ้อนและหลากหลาย

แหล่งน้ำค่าสูงมาก (0.9695) เนื่องจากแหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในช่วงเวลาศึกษาและถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่คงที่ (Static area) ในบางส่วนของแบบจำลอง

พื้นที่เบ็ดเตล็ด มีค่าดี (0.8848) แม้จะมีความหลากหลายสูง เนื่องจากปัจจัยขับเคลื่อนหลายตัวทำงานร่วมกัน และการวิเคราะห์แยก Sub-model ช่วยจับรูปแบบได้ดีขึ้น ดังตาราง 36

ตาราง 36 Kappa Coefficient ของแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน

ประเภทการใช้ ที่ดิน	Kappa (Reference:Predicted)	Kappa (Reference:Truth)	การตีความ
Agriculture	0.9485	0.8626	ดีมาก พื้นที่เกษตรมีขอบเขตชัดเจน และทำนายได้ดี
Forest	0.1072	0.3689	ปานกลาง ความท้าทายสูงในการ ทำนายพื้นที่ป่าไม้
Miscellaneous	0.6341	0.8848	ดีมาก พื้นที่เบ็ดเตล็ดทำนายได้ดีเมื่อ พิจารณาจากความหลากหลาย
Urban	0.787	0.8661	ดีมาก แบบจำลองทำนายพื้นที่เมืองได้ แม่นยำสูง
Water	0.9695	0.7112	ดีมาก แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อย

การเปรียบเทียบแบบจำลอง พ.ศ.2564

การวิเคราะห์ Producer's Error แสดงความสามารถของแบบจำลองในการจับพื้นที่จริงแต่ละประเภทได้ครบถ้วน พบว่าพื้นที่เกษตรกรรมมีความแม่นยำสูงที่สุดโดยมี Error เพียง 2.92% สามารถจับพื้นที่จริงได้ถึง 97.08% เนื่องจากมีสัดส่วนสูง (76.53%) มีลักษณะทางกายภาพชัดเจน และตัวแปรขับเคลื่อนมีความสัมพันธ์ที่แม่นยำ รองลงมาคือพื้นที่แหล่งน้ำ (11.04%) และป่าไม้ (12.53%) ที่มี Error ในระดับต่ำถึงปานกลาง ขณะที่พื้นที่เมืองมี Error ค่อนข้างสูง (26.57%) สะท้อนการขยายตัวที่รวดเร็วจากการพัฒนาด้านการท่องเที่ยวกีฬา และพื้นที่เบ็ดเตล็ดมี Error สูงที่สุด (62.61%) เป็นผลจากปัญหา Class Imbalance ที่มีสัดส่วนเพียง 0.23% ทำให้แบบจำลองมีข้อมูล Training ไม่เพียงพอสำหรับการเรียนรู้

การวิเคราะห์ User's Error แสดงความน่าเชื่อถือของการทำนาย พบว่าพื้นที่เมืองมีความน่าเชื่อถือสูงที่สุดโดยมี Error เพียง 2.73% หมายความว่าเมื่อทำนายว่าเป็นเมือง จะถูกต้อง

ถึง 97.27% เนื่องจากแบบจำลองเรียนรู้อิทธิพลของตัวแปรด้านการท่องเที่ยวกีฬาและโครงสร้างพื้นฐานได้ชัดเจน รองลงมาคือป่าไม้ (4.66%) และเกษตรกรรม (5.00%) ที่มีความน่าเชื่อถือสูง ขณะที่แหล่งน้ำมี Error ค่อนข้างสูง (35.47%) เนื่องจากนาข้าวที่มีน้ำขังถูกจำแนกเป็นแหล่งน้ำ และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามฤดูกาล ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ดมี Error สูงที่สุด (89.08%) แสดงว่าเมื่อทำนายว่าเป็นเบ็ดเตล็ด มักจะผิด แต่ไม่ส่งผลกระทบมากนักเนื่องจากพื้นที่ที่ถูกทำนายเป็นเบ็ดเตล็ดมีเพียง 0.79% ของพื้นที่ศึกษา โดยรวมแล้วแบบจำลองมี Overall Accuracy ที่ 93.27% และ Overall Kappa ที่ 0.8243 อยู่ในระดับดี โดยมีจุดแข็งในการทำนายพื้นที่เกษตรและป่าไม้ซึ่งรวมกันคิดเป็น 86.11% ของพื้นที่ศึกษา ดังตาราง 37

ตาราง 37 การเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองและแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2564

Land use	Agriculture	Forest	Miscellaneous	Urban	Water	Total	User's Error
Agriculture	332,409	4,838	450	11,961	245	349,903	5.00%
Forest	1,572	37,487	0	210	49	39,318	4.66%
Miscellaneous	1,418	302	384	214	1,198	3,516	89.08%
Urban	728	206	24	34,839	18	35,815	2.73%
Water	6,276	26	169	219	12,171	18,861	35.47%
Total	342,403	42,859	1,027	47,443	13,681	447,413	
Producer' Error	2.92%	12.53%	62.61%	26.57%	11.04%		6.73%

การเปรียบเทียบพื้นที่การใช้ที่ดินระหว่างแบบจำลองกับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2564

การเปรียบเทียบพื้นที่การใช้ที่ดินระหว่างแบบจำลอง พ.ศ.2564 กับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ.2564 พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายปริมาณพื้นที่แต่ละประเภทได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยมีความแตกต่างที่หลากหลายขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละประเภท

พื้นที่เกษตรกรรมมีความแตกต่างต่ำที่สุดเพียง +2.19% (+168.75 ตารางกิโลเมตร) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถคงสัดส่วนพื้นที่เกษตรได้อย่างแม่นยำสูง การทำนายที่มากกว่าจริงเล็กน้อยสอดคล้องกับ Producer's Error ที่ต่ำมาก (2.92%) และ User's Error ที่ต่ำ (5.00%) ซึ่งมีความสำคัญต่อการวางแผนเกษตรกรรม เนื่องจากพื้นที่เกษตรคิดเป็น 76.53% ของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ป่าไม่มีความแตกต่าง -8.26% (-78.92 ตารางกิโลเมตร) การทำนายที่น้อยกว่าจริงสะท้อนถึงการบุกรุกพื้นที่ป่าที่เกิดขึ้นต่อเนื่อง โดยพื้นที่ป่าบางส่วนถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตร

หรือที่อยู่อาศัย แม้จะมีความแตกต่างค่อนข้างมาก แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสอดคล้องกับสถานการณ์จริงที่มีแรงกดดันจากการขยายตัวของพื้นที่เกษตรและที่อยู่อาศัย

พื้นที่เบ็ดเตล็ดมีความแตกต่าง +242.33% (+56.00 ตารางกิโลเมตร) ถึงแม้ร้อยละจะสูงมาก แต่ในเชิงพื้นที่สัมบูรณ์ไม่มากนัก การทำนายที่มากกว่าจริงสอดคล้องกับ Error of Commission ที่สูงมาก (89.08%) เป็นผลจากปัญหา Class Imbalance ที่พื้นที่เบ็ดเตล็ดจริงมีเพียง 0.23% ของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่เมืองมีความแตกต่าง -24.51% (-261.63 ตารางกิโลเมตร) การทำนายที่น้อยกว่าจริงค่อนข้างมากสะท้อนถึงการขยายตัวของเมืองที่รวดเร็วกว่าที่คาดการณ์ โดยเฉพาะจากการพัฒนาด้านการท่องเที่ยวกีฬา แม้จะมีความแตกต่างสูง แต่ User's Error ต่ำมาก (2.73%) แสดงว่าเมื่อทำนายว่าเป็นเมืองมักถูกต้อง 97.27% ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการวางแผนโครงสร้างพื้นฐาน

พื้นที่แหล่งน้ำมีความแตกต่าง +37.87% (+116.55 ตารางกิโลเมตร) การทำนายที่มากกว่าจริงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามฤดูกาลและการจำแนกนาข้าวที่มีน้ำขังเป็นแหล่งน้ำ แม้ User's Error จะค่อนข้างสูง (35.47%) แต่ Producer's Error ต่ำ (11.04%) แสดงว่าแบบจำลองสามารถจับแหล่งน้ำจริงได้ครบถ้วนพอสมควร

โดยสรุป แบบจำลองมีประสิทธิภาพสูงในการทำนายปริมาณพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งเป็นประเภทหลักของจังหวัดบุรีรัมย์ ขณะที่พื้นที่เมืองและแหล่งน้ำมีความแตกต่างค่อนข้างสูง สะท้อนถึงความซับซ้อนและการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของประเภทเหล่านี้ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการปรับปรุงแบบจำลองในอนาคต ดังตาราง 38

ตาราง 38 การเปรียบเทียบพื้นที่การใช้ที่ดินระหว่างแผนที่จำลองกับแผนที่จริง พ.ศ.2564

ประเภทการใช้ที่ดิน	พื้นที่จริง		พื้นที่จำลอง		ความแตกต่าง	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Agriculture	7,704.07	76.53%	7,873.07	78.26%	169	2.19%
Forest	964.33	9.58%	885.41	8.80%	-78.92	-8.18%
Miscellaneous	23.11	0.23%	79.11	0.79%	56	242.33%
Urban	1,067.47	10.61%	805.84	8.01%	-261.63	-24.51%
Water	307.82	3.06%	424.37	4.22%	116.55	37.87%
รวม	10,066.79	100.00%	10,067.80	100.00%	1	0.01%

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของเมืองบุรีรัมย์ทั้ง 29 ตัวแปรใน 4 กลุ่มหลัก ประกอบด้วย ปัจจัยด้านการท่องเที่ยว กีฬา ปัจจัยด้านโครงสร้างพื้นฐานและการเข้าถึง ปัจจัยด้านลักษณะทางกายภาพและสิ่งแวดล้อม และปัจจัยด้านเศรษฐกิจสังคม พบว่าปัจจัยด้านการท่องเที่ยว กีฬา มีอิทธิพลสูงที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยวมีค่า Cramer's V สูงถึง 0.9002 ในการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจจากเกษตรกรรมสู่การท่องเที่ยวและบริการอย่างชัดเจน การพัฒนาสนามกีฬาหลัก (สนามช้างอารีนา) ได้สร้างรูปแบบการพัฒนาแบบ Polycentric Development โดยเป็น Sub-center ที่มีอิทธิพลต่อการขยายตัวของเมืองรอบ ๆ แทนที่จะเป็นการพัฒนาแบบ Monocentric ที่กระจุกตัวเพียงศูนย์กลางเมืองเดียว

การพัฒนาแบบจำลอง LCM ด้วย MLP Neural Network แสดงประสิทธิภาพสูงโดยมี Overall Accuracy 93.27% และ Overall Kappa 0.8243 ซึ่งอยู่ในระดับดีเลิศตามเกณฑ์ของ Landis & Koch (1977) การวิเคราะห์ใน 3 Sub-models พบว่า Agriculture to Urban (78.6% ของการเปลี่ยนแปลง) มีความแม่นยำสูงสุด (92.12%) สะท้อนถึงความชัดเจนของรูปแบบการเปลี่ยนแปลง ขณะที่ Forest to Urban (11.8%) มีความแม่นยำต่ำที่สุด (84.88%) เนื่องจากการบุกรุกป่ามีรูปแบบที่ไม่แน่นอนและกระจายตัว การวิเคราะห์ Error of Omission พบว่าพื้นที่เกษตรกรรมมีความแม่นยำสูงที่สุด (Producer's Error เพียง 2.92%) ขณะที่พื้นที่เบ็ดเตล็ดมี Error สูงสุด (62.61%) เนื่องจากปัญหา Class Imbalance การวิเคราะห์ Error of Commission พบว่าพื้นที่เมืองมีความน่าเชื่อถือสูงที่สุด (User's Error เพียง 2.73%) แสดงว่าเมื่อแบบจำลองทำนายว่าเป็นเมืองจะถูกต้อง 97.27%

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี 2544-2564 แสดงให้เห็นถึงแรงกดดันต่อพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้อย่างชัดเจน พื้นที่เกษตรกรรมลดลง 7.30% (606.33 ตารางกิโลเมตร) และ

พื้นที่ป่าไม้ลดลง 19.61% (235.04 ตารางกิโลเมตร) เหลือเพียง 9.57% ของพื้นที่จังหวัด ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานสากล 10% ในขณะที่พื้นที่เมืองเพิ่มขึ้น 20.13% (177.91 ตารางกิโลเมตร) การเปลี่ยนแปลงนี้สะท้อนถึงความท้าทายด้านความยั่งยืน โดยเฉพาะความจำกัดด้านน้ำ (พื้นที่ชลประทานเพียง 13.63%)

การสังเคราะห์ข้อค้นพบทั้งหมดชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาฉากทัศน์ทางเลือกที่สมดุลระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ปัจจัยและค่าสัมประสิทธิ์ที่วิเคราะห์ได้จะนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาฉากทัศน์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) ฉากทัศน์การพัฒนาตามปกติ 2) ฉากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา 3) ฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE และ 4) ฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน โดยความแม่นยำสูงของแบบจำลอง 93.27% ยืนยันความน่าเชื่อถือในการคาดการณ์อนาคตและการนำไปใช้ในการวางแผนนโยบาย

การเลือกใช้ MLP Neural Network ในการศึกษาครั้งนี้ ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นการตัดสินใจที่เหมาะสมและสอดคล้องกับลักษณะ ของข้อมูล โดยความสามารถในการจำลองความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นทำให้ แบบจำลองสามารถจับรูปแบบที่ซับซ้อนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ดี กว่าวิธีการทางสถิติแบบดั้งเดิม ความแม่นยำที่สูงของแบบจำลอง และความสามารถในการทำนายการเปลี่ยนแปลงในอนาคตที่สอดคล้องกับแนวโน้มจริง ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา สะท้อนให้เห็นถึงประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้เครื่องมือ ที่เหมาะสมกับลักษณะของปัญหาที่ศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพิจารณาถึง ลักษณะ non-linear ของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการ เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มักถูกมองข้ามในการศึกษาที่ใช้วิธีการทางสถิติแบบดั้งเดิม แบบจำลองที่ได้จากการศึกษานี้จึงมีความพร้อมที่จะนำไปใช้ในการสร้างฉากทัศน์การพัฒนาในอนาคต

สร้างฉากทัศน์ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ ด้วยแบบจำลอง LCM

การพัฒนาฉากทัศน์การใช้ประโยชน์ที่ดินตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ระยะ 10 ปี (พ.ศ. 2564-2574) และการประเมินความเหมาะสมของแต่ละฉากทัศน์ โดยใช้แบบจำลอง LCM ร่วมกับ Markov Chain และ Cellular Automata ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินภายใต้ฉากทัศน์ทั้ง 4 ฉากทัศน์ ได้แก่ 1) ฉากทัศน์การพัฒนาตามปกติ 2) ฉากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา 3) ฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE และ 4) ฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน

การพัฒนาจากทัศนในการศึกษานี้อิงตามผลการวิเคราะห์การขยายพื้นที่เมืองของ จังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา ในวัตถุประสงค์ที่ 1 และวิเคราะห์ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมือง ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์จาก วัตถุประสงค์ที่ 2 พบว่าระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยวเป็นปัจจัยสำคัญสูงสุด มีค่าสัมประสิทธิ์ 0.9002 และแบบจำลอง Multi-Layer Perceptron Neural Network มีความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 93.27 (Overall Kappa = 0.8243) แต่ละจากทัศนนี้ได้รับการออกแบบให้สอดคล้องกับเป้าหมาย การพัฒนาจังหวัดที่แตกต่างกัน โดยมีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ 3 ประการหลัก ได้แก่ 1) ค่า สัมประสิทธิ์ของปัจจัยขับเคลื่อน 2) Transition Probability Matrix และ 3) ข้อจำกัดเชิงพื้นที่ (Constraints)

จากทัศนการพัฒนาตามปกติเป็นจากทัศนฐานที่ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มธรรมชาติโดยไม่มีการแทรกแซงเชิงนโยบายพิเศษ จาก ทัศนการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา มุ่งเน้นการพัฒนาบุรีรัมย์ให้เป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยวและ กีฬาระดับนานาชาติ โดยต่อยอดจากความสำเร็จของสนามกีฬาหลัก (สนามช้างอารีนา) จากทัศน การพัฒนาเมือง MICE มุ่งเน้นการพัฒนาบุรีรัมย์ให้เป็นศูนย์กลางการประชุมและนิทรรศการระดับ ภูมิภาค เชื่อมโยงกับประเทศเพื่อนบ้านในกลุ่ม CLMV กัมพูชา (Cambodia) ลาว (Lao PDR) เมียนมา (Myanmar) และเวียดนาม (Vietnam) และจากทัศนการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน มุ่งเน้น การยกระดับภาคเกษตรซึ่งเป็นฐานเศรษฐกิจหลักของจังหวัดควบคู่กับการอนุรักษ์และฟื้นฟู ทรัพยากรธรรมชาติ

การพัฒนาจากทัศน

การพัฒนาจากทัศนการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดบุรีรัมย์ พ.ศ. 2574 ดำเนินการ ภายใต้กรอบแนวคิดการพัฒนาจากทัศนแบบบูรณาการที่ผสมผสานระหว่างการวิเคราะห์เชิง ปริมาณด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยการมีส่วนร่วมของผู้มี ส่วนได้ส่วนเสีย (Reed et al., 2013) การศึกษานี้ได้พัฒนาจากทัศน 4 รูปแบบที่สะท้อนทิศ ทางการพัฒนาที่เป็นไปได้ของจังหวัด โดยเชื่อมโยงกับวิสัยทัศน์และยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัด บุรีรัมย์ที่กำหนดไว้ว่า "บุรีรัมย์ศูนย์กลางการท่องเที่ยวอารยธรรมขอมและกีฬามาตรฐานโลก เศรษฐกิจมั่นคง สู้สังคมเข้มแข็งอย่างยั่งยืน" (สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์, 2566)

การวิเคราะห์สถานการณ์พื้นฐานดำเนินการโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ ประโยชน์ที่ดินจังหวัดบุรีรัมย์ระหว่างปี พ.ศ. 2544-2564 ด้วยเทคโนโลยีระบบสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ผ่านแพลตฟอร์ม Google Earth Engine ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

Landsat-5 TM และ Landsat-8 OLI ด้วยอัลกอริทึม Random Forest ผลการวิเคราะห์ให้ความถูกต้องระหว่างร้อยละ 88.43-93.17 และค่า Kappa Index 0.86-0.92 แสดงถึงความน่าเชื่อถือสูงของการจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน 5 ประเภทหลัก ได้แก่ เกษตรกรรม เมืองและชุมชน ป่าไม้ แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด นอกจากนี้ การศึกษายังใช้วิธีการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบตามแนวทาง PRISMA เพื่อระบุปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ทั้งในระดับโลกและระดับชาติ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นโยบาย BCG Economy และการพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษ รวมถึงปัจจัยเฉพาะพื้นที่ เช่น ทุนทางวัฒนธรรม ลักษณะทางธรณีวิทยา และโครงสร้างพื้นฐาน (Rounsevell et al., 2012)

การคำนวณ Transition Probability Matrix สำหรับแต่ละฉากทัศน์ใช้หลักการสมดุลของพื้นที่ (Land Balance Principle) โดยมีข้อกำหนดว่าผลรวมของสัดส่วนการใช้ที่ดินทั้ง 5 ประเภทต้องเท่ากับร้อยละ 100 เสมอ และเมื่อพื้นที่ประเภทหนึ่งเพิ่มขึ้น พื้นที่ประเภทอื่นจะต้องลดลงตามสมดุล Transition Probability Matrix หรือเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงเป็นองค์ประกอบหลักของแบบจำลอง Markov Chain ที่แสดงความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากประเภท i ไปยังประเภท j ภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยมีคุณสมบัติทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญ ได้แก่ ค่าในเมทริกซ์ทุกค่าต้องมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ผลรวมของแต่ละแถวต้องเท่ากับ 1 ค่าบนเส้นทแยงมุมแสดงความน่าจะเป็นที่พื้นที่จะคงอยู่ในประเภทเดิม และค่านอกเส้นทแยงมุมแสดงความน่าจะเป็นที่พื้นที่จะเปลี่ยนไปเป็นประเภทอื่น (Eastman, 2012)

1. ฉากทัศน์ที่ 1 การพัฒนาตามปกติ

ฉากทัศน์การพัฒนาตามปกติเป็นฉากทัศน์อ้างอิง ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มธรรมชาติโดยไม่มีการแทรกแซงเชิงนโยบายพิเศษหรือการลงทุนขนาดใหญ่ ฉากทัศน์นี้ใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบความแตกต่างของฉากทัศน์อื่น เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของนโยบายและการลงทุน (Alcamo, 2006) การพัฒนาในฉากทัศน์นี้เป็นไปตามแผนพัฒนาจังหวัดปกติและงบประมาณประจำปีตามปกติ ไม่มีโครงการพิเศษขนาดใหญ่เหมือนฉากทัศน์อื่น การเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามกลไกของตลาดและแนวโน้มทางประชากร โดยพื้นที่เมืองจะขยายตัวตามการเติบโตของประชากรและกิจกรรมทางเศรษฐกิจในอัตราปกติ พื้นที่เกษตรจะค่อยๆ ลดลงจากการเปลี่ยนแปลงอาชีพของเกษตรกร โดยเฉพาะคนรุ่นใหม่ที่ย้ายเข้าทำงานในเมืองหรือภาคบริการ พื้นที่ป่าไม้จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากโครงการปลูกป่าตามแผนปกติของรัฐบาล การคำนวณใช้แบบจำลอง CA-MARKOV ที่ใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงในอดีตเป็นฐาน โดยผสมผสานระหว่างแนวคิดของ Markov Chain ที่มุ่งเน้นการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

และแนวคิดของ Cellular Automata ที่ให้ความสำคัญกับมิติเชิงพื้นที่และอิทธิพลจากพื้นที่โดยรอบ (Sang et al., 2011; Subedi et al., 2013)

2. ฉากทัศน์ที่ 2 การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา

ฉากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬามีพื้นฐานมาจากศักยภาพที่มีอยู่แล้วของจังหวัดบุรีรัมย์ ได้แก่ สนามฟุตบอลช้างอารีนา (Chang Arena) ซึ่งเป็นสนามฟุตบอลมาตรฐาน FIFA ที่ได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติ และสนามช้างอินเตอร์เนชั่นแนลเซอร์กิต (Chang International Circuit) ซึ่งเป็นสนามแข่งรถระดับมาตรฐาน FIA Grade 1 เป็นสนามแห่งแรกและแห่งเดียวในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่ได้รับการรับรองในระดับสูงสุด ฉากทัศน์นี้มุ่งเน้นการพัฒนาจังหวัดให้เป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยวเชิงกีฬาระดับนานาชาติของภูมิภาคเอเชีย โดยการต่อยอดและขยายโครงสร้างพื้นฐานด้านกีฬาให้ครอบคลุมกีฬาหลากหลายประเภท การพัฒนาหลักประกอบด้วยการสร้าง World Sport Complex ขนาด 3,000 ไร่ที่ครอบคลุมกีฬาทุกประเภท การยกระดับสนามกีฬาอำเภอทั้ง 23 แห่งให้ได้มาตรฐานระดับภูมิภาค การจัดตั้งศูนย์กีฬาเพื่อความเป็นเลิศ 5 ศูนย์ครอบคลุมกีฬาฟุตบอล วอลเลย์บอล มวย จักรยาน และกรีฑา และการพัฒนาโรงแรมและที่พักระดับสากลเพิ่มขึ้น 20,000 ห้องเพื่อรองรับนักท่องเที่ยวเชิงกีฬาและผู้ร่วมชมกิจกรรม ดังตาราง 39

ตาราง 39 Transition Probability Matrix ฉากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา

Given: Probability of changing to	Agi	Forest	Miscellaneous	Urban	Water
Agi	0.9424	0.0060	0.0004	0.0664	0.0030
Forest	0.0000	0.9850	0.0000	0.0150	0.0000
Miscellaneous	0.0000	0.0000	0.8800	0.1100	0.0100
Urban	0.0150	0.0067	0.0083	0.9700	0.0000
Water	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	1.0000

จากตาราง ดังตาราง 39 พบว่าพื้นที่เกษตรกรรม มีความน่าจะเป็นในการคงอยู่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมเท่ากับ 0.9424 หรือร้อยละ 94.24 และมีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เมืองและชุมชน เท่ากับ 0.0664 หรือร้อยละ 6.64 ซึ่งสะท้อนถึงแรงกดดันจากการขยายตัวของเมืองเพื่อรองรับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านกีฬาและการท่องเที่ยว นอกจากนี้ยังมีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนเป็นพื้นที่ป่าไม้ เท่ากับ 0.0060 และพื้นที่แหล่งน้ำ เท่ากับ 0.0030

สำหรับพื้นที่ป่าไม้ มีความน่าจะเป็นในการคงอยู่เท่ากับ 0.9850 หรือร้อยละ 98.50 และมีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมืองเท่ากับ 0.0150 แสดงถึงแรงกดดันจากการพัฒนาที่มีต่อพื้นที่ป่าไม้ในระดับปานกลาง พื้นที่เบ็ดเตล็ด มีความน่าจะเป็นในการคงอยู่เท่ากับ 0.8800 และมีความน่าจะเป็นสูงในการเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมืองเท่ากับ 0.1100 เนื่องจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดมักเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพในการพัฒนา พื้นที่เมืองและชุมชนมีความน่าจะเป็นในการคงอยู่เท่ากับ 0.9700 และพื้นที่แหล่งน้ำมีความน่าจะเป็นในการคงอยู่เท่ากับ 1.0000 เนื่องจากข้อจำกัดทางกฎหมายและนโยบายที่ไม่อนุญาตให้เปลี่ยนแปลงแหล่งน้ำ

3. ฉากทัศน์ที่ 3 การพัฒนาเมือง MICE

ฉากทัศน์การพัฒนาเป็นเมือง MICE มีรากฐานมาจากทำเลยุทธศาสตร์ของจังหวัดบุรีรัมย์ที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและติดชายแดนกับประเทศกัมพูชา ทำให้มีศักยภาพในการเป็นศูนย์กลางการประชุมและจัดแสดงสินค้าระดับอนุภูมิภาคอาเซียน โดยเฉพาะการเชื่อมโยงกับประเทศในกลุ่ม CLMV ซึ่งมีการเติบโตทางเศรษฐกิจสูงและเป็นตลาดขนาดใหญ่กว่า 240 ล้านคน ฉากทัศน์นี้เชื่อมโยงกับนโยบายระดับชาติในการพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (NeEC) รวมถึงแผนการยกระดับจุดผ่อนปรนช่องสายตะกู-จบกี้เป็นจุดผ่านแดนถาวร การพัฒนาหลักประกอบด้วยการสร้างศูนย์ประชุมนานาชาติบุรีรัมย์ขนาด 1,875 ไร่พร้อมห้องประชุมหลักจุ 5,000 ที่นั่ง การพัฒนาศูนย์แสดงสินค้าและนิทรรศการ 1,875 ไร่ การสร้างโรงแรมและที่พักระดับ 4-5 ดาวเพิ่มขึ้น 30,000 ห้อง การพัฒนาพื้นที่พาณิชยกรรมครอบคลุมศูนย์การค้า ร้านอาหาร และธุรกิจบริการ พื้นที่เศรษฐกิจชายแดน 5,000 ไร่ และการยกระดับสนามบินบุรีรัมย์เป็นสนามบินนานาชาติเต็มรูปแบบพร้อมขยายเพื่อรองรับผู้โดยสารเพิ่มขึ้นเป็น 5 ล้านคนต่อปี ดังตาราง 40

ตาราง 40 Transition Probability Matrix ฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE

Given: Probability of changing to	Agi	Forest	Miscellaneous	Urban	Water
Agi	0.9022	0.0023	0.0004	0.0910	0.0041
Forest	0.0000	0.9800	0.0000	0.0200	0.0000
Miscellaneous	0.0000	0.0000	0.8800	0.1100	0.0100
Urban	0.0150	0.0067	0.0067	0.9716	0.0000
Water	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

จากตาราง 40 พบว่าพื้นที่เกษตรกรรมมีความน่าจะเป็นในการคงอยู่เท่ากับ 0.9022 หรือร้อยละ 90.22 ซึ่งต่ำที่สุดในทุกภาคพื้นที่ และมีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เมืองและชุมชนสูงที่สุดเท่ากับ 0.0910 หรือร้อยละ 9.10 สะท้อนถึงแรงกดดันจากการขยายตัวของเมืองที่รุนแรงที่สุดเพื่อรองรับการพัฒนาศูนย์ประชุม ศูนย์แสดงสินค้า โรงแรม และพื้นที่เศรษฐกิจชายแดน นอกจากนี้ยังมีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนเป็นพื้นที่แหล่งน้ำเท่ากับ 0.0041 ซึ่งสูงที่สุดในทุกภาคพื้นที่ เพื่อรองรับความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นจากการขยายตัวของเมือง

สำหรับพื้นที่ป่าไม้ มีความน่าจะเป็นในการคงอยู่เท่ากับ 0.9800 หรือร้อยละ 98.00 และมีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมืองเท่ากับ 0.0200 ซึ่งสูงกว่าภาคพื้นที่อื่น แสดงถึงแรงกดดันจากการพัฒนาเมืองที่มีต่อพื้นที่ป่าไม้ในระดับสูง พื้นที่เมืองและชุมชนมีความน่าจะเป็นในการคงอยู่เท่ากับ 0.9716 และพื้นที่แหล่งน้ำมีความน่าจะเป็นในการคงอยู่เท่ากับ 1.0000

4. ภาคพื้นที่ 4 การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน

ภาคพื้นที่การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนตอบสนองต่อวิสัยทัศน์เกษตรสร้างมูลค่า สิ่งแวดล้อมยั่งยืน โดยมีแนวคิดหลักในการรักษาพื้นที่เกษตรกรรมให้คงอยู่และยกระดับประสิทธิภาพการผลิต ควบคู่ไปกับการเพิ่มพื้นที่ป่าไม้และการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ภาคพื้นที่นี้เชื่อมโยงกับนโยบาย BCG Economy Model ของรัฐบาล รากฐานสำคัญของภาคพื้นที่นี้มาจากทุนทางธรรมชาติที่เอื้อต่อการเกษตรคุณภาพสูง โดยเฉพาะดินภูเขาไฟที่มีความอุดมสมบูรณ์ และเหมาะสมกับการปลูกข้าวหอมมะลิ จังหวัดบุรีรัมย์มีผลิตภัณฑ์บ่งชี้ทางภูมิศาสตร์คือข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟบุรีรัมย์ซึ่งมีคุณภาพและราคาสูงกว่าข้าวหอมมะลิทั่วไปถึงร้อยละ 30-40 การพัฒนาหลักประกอบด้วยการพัฒนาเกษตรอินทรีย์เป้าหมายร้อยละ 10 ของพื้นที่เกษตร การพัฒนาเกษตรอัจฉริยะเป้าหมายร้อยละ 30 ของพื้นที่เกษตรโดยใช้เทคโนโลยี IoT และ Precision Agriculture การพัฒนาคัลต์เตอร์ใหม่อินทรีย์ครบวงจรขนาด 100,000 ไร่ การเพิ่มพื้นที่ชลประทานจากร้อยละ 13.63 เป็นร้อยละ 25 ของพื้นที่เกษตร และการฟื้นฟูและเพิ่มพื้นที่ป่าไม้เป้าหมาย 116,762 ไร่ ดังตาราง 41

ตาราง 41 Transition Probability Matrix จากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน

Given: Probability of changing to	Agi	Forest	Miscellaneous	Urban	Water
Agi	0.9622	0.0292	0.0004	0.0080	0.0002
Forest	0.0000	0.9900	0.0000	0.0100	0.0000
Miscellaneous	0.0000	0.0000	0.8800	0.1100	0.0100
Urban	0.0100	0.0050	0.0050	0.9800	0.0000
Water	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

จากตาราง 41 พบว่าพื้นที่เกษตรกรรมมีความน่าจะเป็นในการคงอยู่สูงที่สุดในทุกจากทัศน์เท่ากับ 0.9622 หรือร้อยละ 96.22 สะท้อนถึงนโยบายการรักษาพื้นที่เกษตรกรรมอย่างเข้มข้น และมีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่ป่าไม้สูงที่สุดเท่ากับ 0.0292 หรือร้อยละ 2.92 สะท้อนถึงนโยบายการฟื้นฟูป่าไม้ผ่านโครงการปลูกป่าในพื้นที่เกษตรกรรมที่ไม่เหมาะสม ขณะที่ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมืองมีเพียง 0.0080 หรือร้อยละ 0.80 ซึ่งต่ำที่สุดในทุกจากทัศน์ แสดงถึงการควบคุมการขยายตัวของเมืองอย่างเข้มงวด

สำหรับพื้นที่ป่าไม้ มีความน่าจะเป็นในการคงอยู่สูงที่สุดเท่ากับ 0.9900 หรือร้อยละ 99.00 และมีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมืองต่ำที่สุดเท่ากับ 0.0100 แสดงถึงนโยบายการอนุรักษ์ป่าไม้ที่เข้มงวด พื้นที่เมืองและชุมชนมีความน่าจะเป็นในการคงอยู่สูงที่สุดเท่ากับ 0.9800 และมีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนกลับเป็นพื้นที่เกษตรกรรมเท่ากับ 0.0100 ซึ่งสะท้อนถึงแนวคิดการพัฒนาเมืองแบบกระชับ (Compact City) ที่ควบคุมการขยายตัวของเมืองและฟื้นฟูพื้นที่รกร้างในเมืองกลับเป็นพื้นที่สีเขียว

ผลการจำลองจากทัศน์ปี พ.ศ. 2574

สัดส่วนการใช้ที่ดินภายใต้จากทัศน์ทั้ง 4 จากทัศน์ การจำลองจากทัศน์โดยใช้แบบจำลอง LCM และ CA-MARKOV แสดงผลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ตาราง 42 แสดงสัดส่วนการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2564 (ปีฐาน) และการคาดการณ์ในปี พ.ศ. 2574 ภายใต้จากทัศน์ทั้ง 4 จากทัศน์

ตาราง 42 สัดส่วนการใช้ที่ดินจังหวัดบุรีรัมย์ปี พ.ศ. 2564 และการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2574 ภายใต้อาณาเขตทั้ง 4 อำเภอ

ประเภทการใช้ที่ดิน	ปีฐาน พ.ศ.2564	Sustainable Agri (%)	การเปลี่ยนแปลง (%)	BAU (%)	การเปลี่ยนแปลง (%)	Sports Tourism (%)	การเปลี่ยนแปลง (%)	MICE City (%)	การเปลี่ยนแปลง (%)
Agriculture	76.53	75.92	-0.59	74.91	-1.62	71.45	-5.06	69.57	-6.94
Forest	9.57	9.48	-0.09	9.07	-0.51	9.43	-0.14	9.39	-0.18
Miscellaneous	0.24	0.2	-0.04	0.13	-0.1	0.2	-0.04	0.2	-0.04
Urban	10.62	11.33	0.71	12.8	2.2	15.85	5.23	17.78	7.16
Water	3.07	3.05	-0.02	3.09	0.03	3.05	-0.02	3.06	-0.01
รวม	100	100	-	100	-	100	-	100	-

จากตาราง 42 พบว่าแต่ละอำเภอมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ต่างกันอย่างชัดเจน อำเภอการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนแสดงการเปลี่ยนแปลงที่สมดุลที่สุด โดยพื้นที่เกษตรกรรมลดลงเพียงร้อยละ 0.59 (จากร้อยละ 76.53 เหลือร้อยละ 75.92) และพื้นที่เมืองเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.71 (จากร้อยละ 10.62 เป็นร้อยละ 11.33) สะท้อนถึงการเติบโตแบบค่อยเป็นค่อยไปตามแนวโน้มธรรมชาติที่มีการควบคุม ในขณะที่อำเภอการพัฒนาเมือง MICE แสดงการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงที่สุด โดยพื้นที่เกษตรกรรมลดลงสูงสุดที่ร้อยละ 6.94 (เหลือร้อยละ 69.57) และพื้นที่เมืองเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ร้อยละ 7.16 (เป็นร้อยละ 17.78)

อำเภอการพัฒนาตามปกติแสดงการเปลี่ยนแปลงที่ปานกลาง โดยพื้นที่เกษตรกรรมลดลงร้อยละ 1.62 (เหลือร้อยละ 74.91) และพื้นที่เมืองเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.20 (เป็นร้อยละ 12.80) สะท้อนถึงการเติบโตตามแนวโน้มธรรมชาติโดยไม่มีการแทรกแซงเชิงนโยบายพิเศษ อำเภอการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬาอยู่ระหว่างกลางของสองอำเภอที่มีการเปลี่ยนแปลงมาก โดยพื้นที่เกษตรกรรมลดลงร้อยละ 5.06 (เหลือร้อยละ 71.45) และพื้นที่เมืองเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.23 (เป็นร้อยละ 15.85) สิ่งที่น่าสนใจคือพื้นที่ป่าไม้ในทุกอำเภอมีการลดลงเล็กน้อย (ร้อยละ 0.09-0.51) แม้ว่าจะมีเป้าหมายในการเพิ่มพื้นที่ป่าก็ตาม โดยอำเภอการพัฒนาตามปกติมีการลดลงของพื้นที่ป่าไม้มากที่สุดที่ร้อยละ 0.51 (จากร้อยละ 9.57 เหลือร้อยละ 9.07) ในขณะที่อำเภอการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนมีการลดลงน้อยที่สุดที่ร้อยละ 0.09 (เหลือร้อยละ 9.48)

ปรากฏการณ์นี้สะท้อนถึงความท้าทายในการบรรลุเป้าหมายการอนุรักษ์และเพิ่มพื้นที่ป่าไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีความต้องการใช้ที่ดินเพื่อการพัฒนาในด้านอื่น ๆ

การวิเคราะห์สัดส่วนรวมระหว่างพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความยั่งยืนที่สำคัญ พบว่าจากทัศนการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 85.40 รองลงมาคือจากทัศนการพัฒนาตามปกติที่ร้อยละ 83.98 จากทัศนการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬาที่ร้อยละ 80.88 และต่ำที่สุดคือจากทัศนการพัฒนาเมือง MICE ที่ร้อยละ 78.96 เมื่อเทียบกับเกณฑ์ความยั่งยืนที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 85 พบว่าเฉพาะจากทัศนการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนเท่านั้นที่สามารถรักษาสัดส่วนเกษตรและป่าให้สูงกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ได้

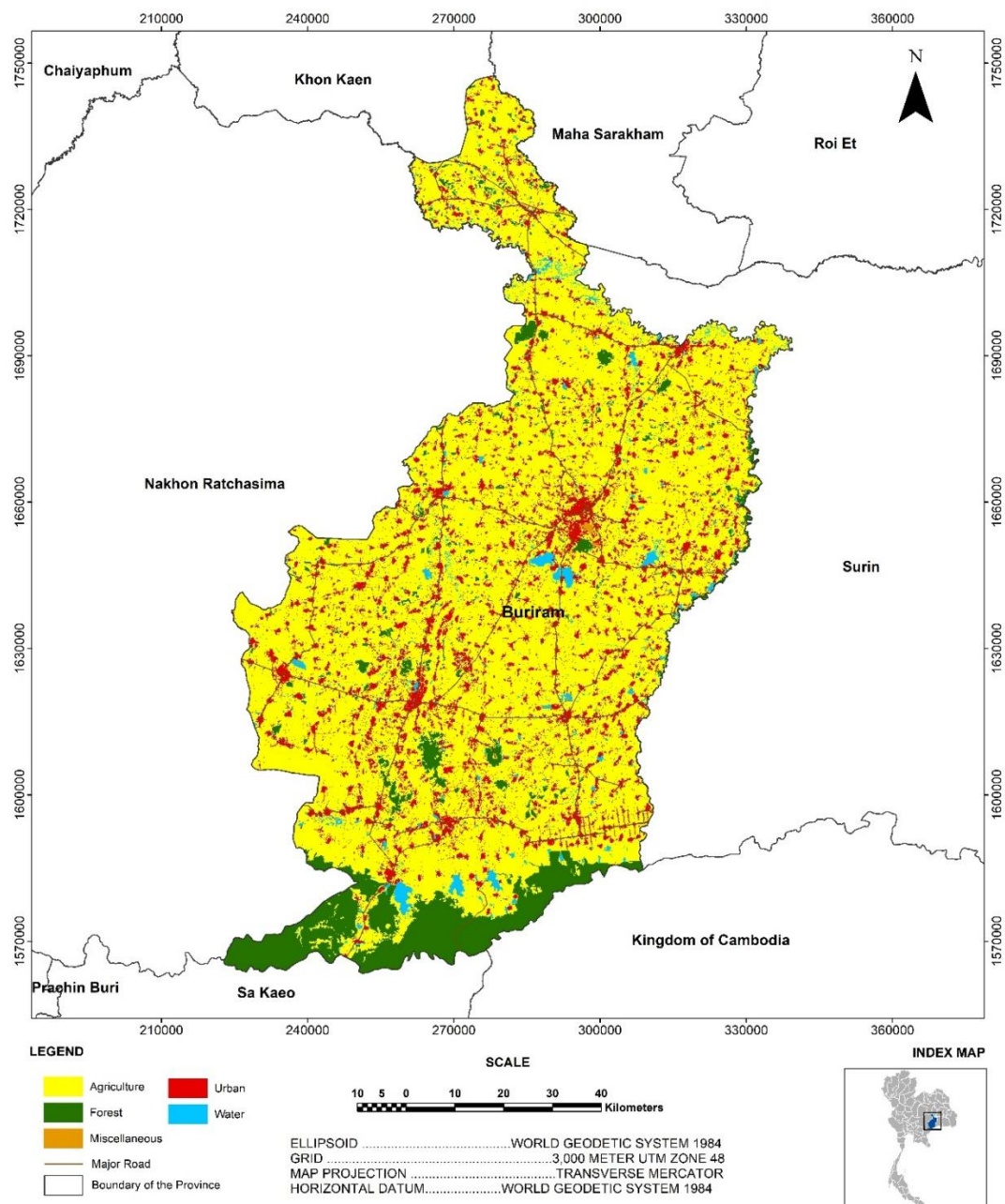
การเปรียบเทียบจากทัศน พ.ศ.2567 กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ.2564

การเปรียบเทียบผลการคาดการณ์จากแบบจำลองกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนาจังหวัดเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินความเป็นไปได้ของแต่ละจากทัศน การวิเคราะห์นี้จะแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงตามเป้าหมายที่กำหนดได้ดีเพียงใด

1. จากทัศนการพัฒนาตามปกติ

จากทัศนการพัฒนาตามปกติเป็นจากทัศนอ้างอิงที่แสดงการเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มธรรมชาติโดยไม่มีการแทรกแซงเชิงนโยบายพิเศษ ผลการคาดการณ์พบว่าพื้นที่เกษตรกรรมลดลงจาก 7704.27 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 76.53) ในปี พ.ศ. 2564 เหลือ 7541.18 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 74.91) ในปี พ.ศ. 2574 คิดเป็นการลดลง 163.09 ตารางกิโลเมตร หรือลดลงร้อยละ 1.62 การเปลี่ยนแปลงหลักเกิดจากการขยายตัวของพื้นที่เมืองและชุมชนซึ่งรับพื้นที่จากภาคเกษตรกรรม 208.78 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.71 ของพื้นที่เกษตรกรรมเดิม

พื้นที่ป่าไม้ลดลงจาก 963.41 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.57) เหลือ 913.08 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.07) ลดลง 51.34 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.51 โดยมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม 41.47 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่เมือง 9.25 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เมืองและชุมชนเพิ่มขึ้นจาก 1069.11 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 10.62) เป็น 1288.57 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 12.80) เพิ่มขึ้น 221.47 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.20 โดยพื้นที่เมืองเดิมทั้งหมดคงสภาพร้อยละ 100 พื้นที่เบ็ดเตล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 24.16 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 0.24) เหลือ 13.09 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 0.13) ลดลงร้อยละ 0.10 โดยกระจายไปยังการใช้ที่ดินหลายประเภท พื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 309.06 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.07) เป็น 311.07 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.09) ดังภาพประกอบ 38 และ ตาราง 43



ภาพประกอบ 38 ฉากทัศน์การพัฒนาตามปกติ จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ.2574

ตาราง 43 เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากทัศน์การพัฒนาตามปกติ

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	จากทัศน์การพัฒนาตามปกติ พ.ศ. 2574 (km ²)						
	ปี พ.ศ.2564	Agriculture	Forest	Miscellaneous	Urban	Water	รวม
Agriculture		7495.44	0.00	0.00	208.78	0.00	7704.22
Forest		41.47	912.08	0.00	9.25	1.55	964.35
Miscellaneous		3.71	0.88	12.94	2.90	2.68	23.11
Urban		0.00	0.00	0.00	1067.49	0.00	1067.49
Water		0.00	0.00	0.50	0.00	307.33	307.83
รวม		7540.62	912.96	13.43	1288.42	311.56	10066.99

2. จากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา

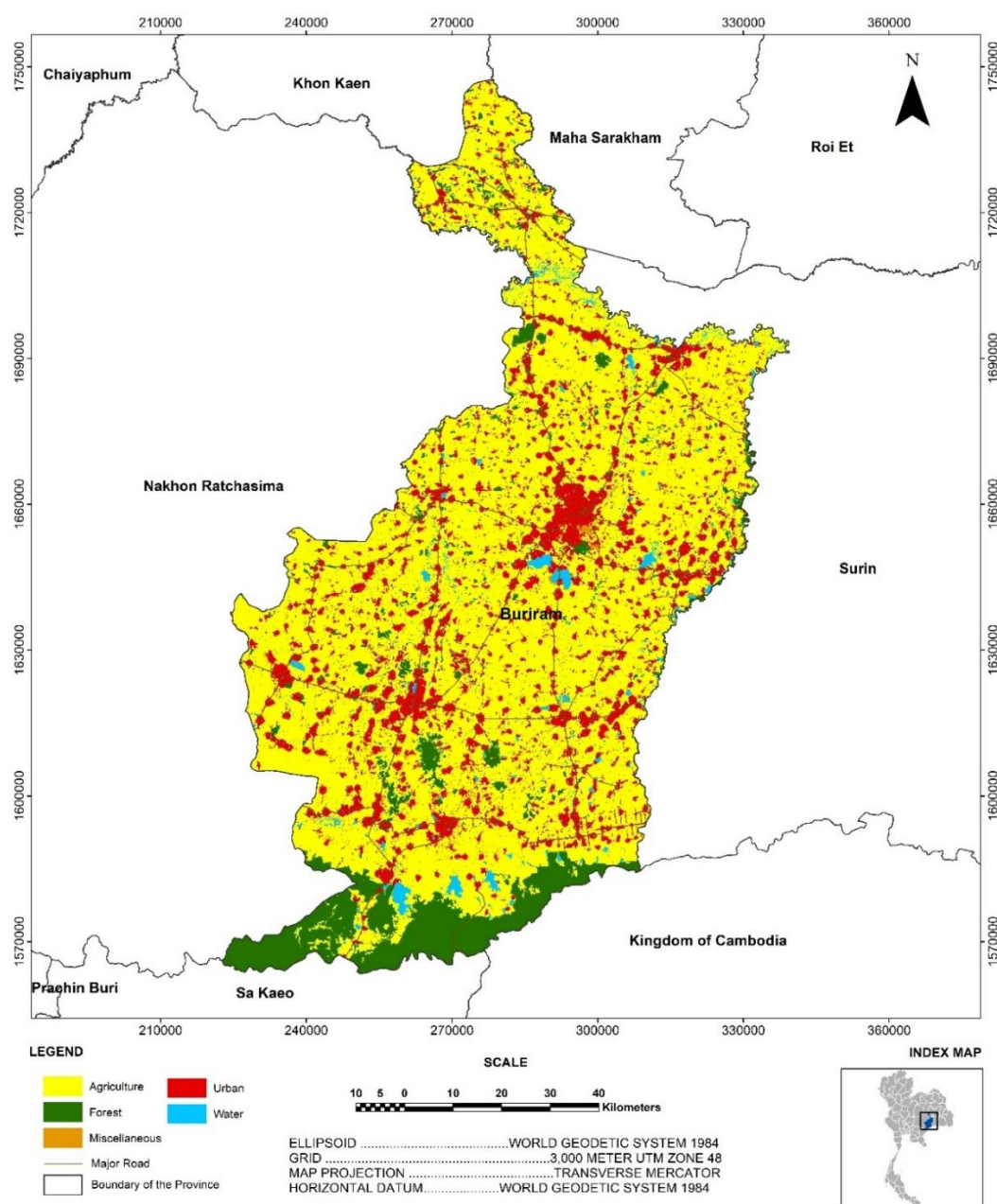
จากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬามุ่งเน้นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านกีฬาและการท่องเที่ยว ผลการคาดการณ์พบว่าพื้นที่เกษตรกรรมลดลงจาก 7704.27 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 76.53) เหลือ 7192.86 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 71.45) ลดลง 509.39 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 5.06 โดยเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมืองทั้งหมด 511.44 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 6.64 ของพื้นที่เกษตรกรรมเดิม ส่วนที่คงสภาพเดิม 7192.78 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 93.36

ตาราง 44 เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	จากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา พ.ศ. 2574 (km ²)						
	ปี พ.ศ.2564	Agriculture	Forest	Miscellaneous	Urban	Water	รวม
Agriculture		7192.78	0.00	0.00	511.44	0.00	7704.22
Forest		0.00	949.95	0.00	14.40	0.00	964.35
Miscellaneous		0.00	0.00	20.41	2.48	0.23	23.11
Urban		0.00	0.00	0.00	1067.49	0.00	1067.49
Water		0.00	0.00	0.23	0.00	307.60	307.83
รวม		7192.78	949.95	20.63	1595.80	307.83	10066.99

จากตาราง 44 พื้นที่ป่าไม้ลดลงเล็กน้อยจาก 963.41 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.57) เหลือ 949.32 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.43) ลดลง 14.09 ตารางกิโลเมตร โดยเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมือง 14.40 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.49 ส่วนที่คงสภาพเดิม 949.95 ตารางกิโลเมตร คิด

เป็นร้อยละ 98.51 พื้นที่เมืองและชุมชนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก 1069.11 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 10.62) เป็น 1595.62 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 15.85) เพิ่มขึ้น 526.50 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 5.23 การขยายตัวของพื้นที่เมืองในระดับสูงนี้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนา โครงสร้างพื้นฐานด้านกีฬา ได้แก่ World Sport Complex สนามกีฬาอำเภอ และโรงแรมเพื่อ รองรับนักท่องเที่ยว ดังภาพประกอบ 39



ภาพประกอบ 39 ฉากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ.2574

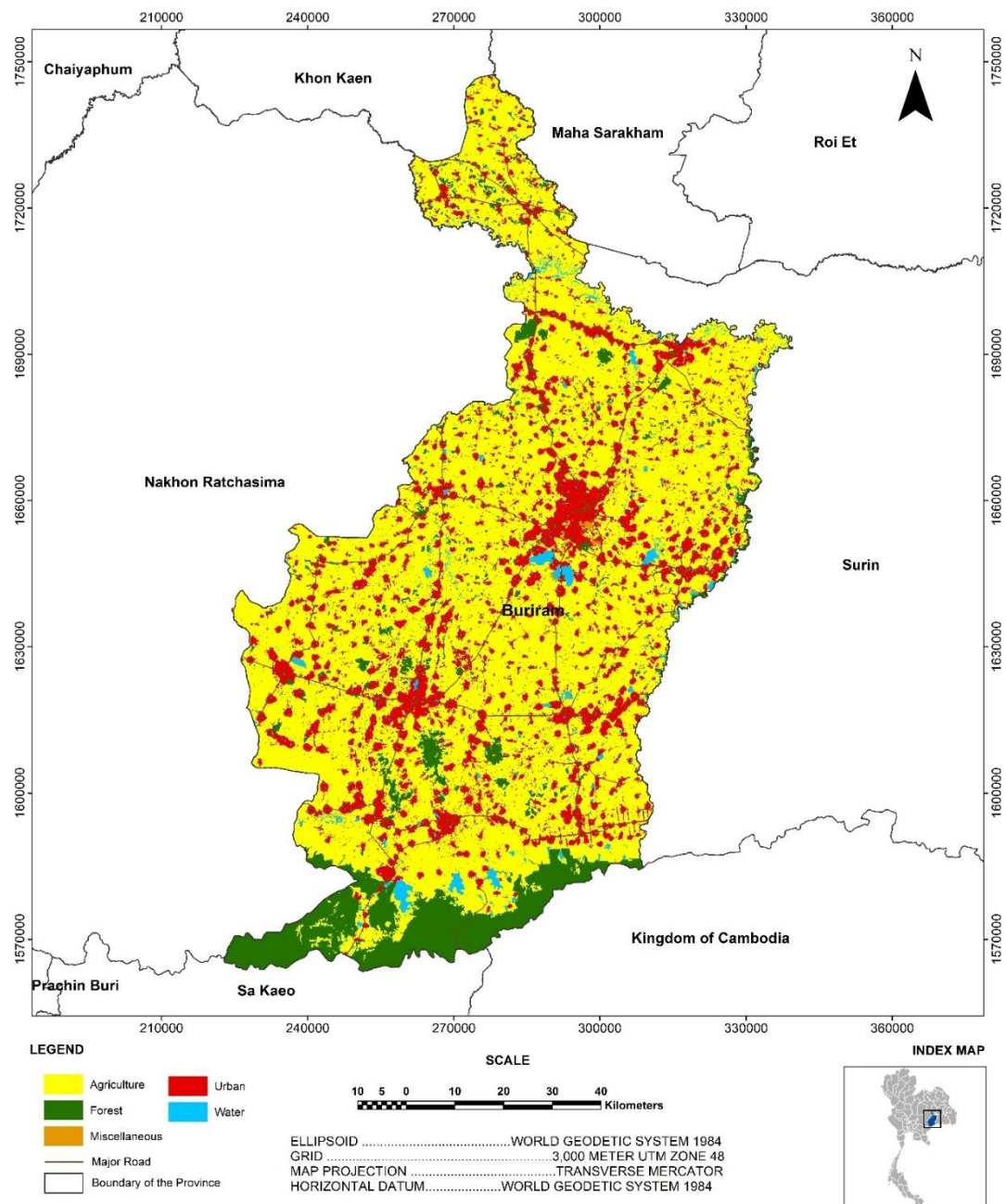
3. ฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE

ฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE มุ่งเน้นการพัฒนาเป็นศูนย์กลางการประชุมและจัดแสดงสินค้าระดับอนุภูมิภาค ผลการคาดการณ์พบว่าพื้นที่เกษตรกรรมลดลงมากที่สุดในทุกฉากทัศน์ จาก 7704.27 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 76.53) เหลือ 7003.60 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 69.57) ลดลง 698.65 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 6.94 โดยเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมืองทั้งหมด 700.89 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 9.10 ของพื้นที่เกษตรกรรมเดิม ส่วนที่คงสภาพเดิม 7003.33 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 90.90

พื้นที่ป่าไม้ลดลงจาก 963.41 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.57) เหลือ 945.29 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.39) ลดลง 18.12 ตารางกิโลเมตร โดยเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมือง 19.13 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.98 ซึ่งสูงกว่าฉากทัศน์อื่น พื้นที่เมืองและชุมชนเพิ่มขึ้นมากที่สุดในทุกฉากทัศน์ จาก 1069.11 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 10.62) เป็น 1789.91 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 17.78) เพิ่มขึ้น 720.80 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 7.16 การขยายตัวของเมืองในระดับสูงที่สุดนี้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาศูนย์ประชุมนานาชาติ ศูนย์แสดงสินค้า โรงแรมระดับ 4-5 ดาว และพื้นที่เศรษฐกิจชายแดน ดังตาราง 45 และภาพประกอบ 40

ตาราง 45 เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินฉากทัศน์ MICE City

การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2564	ฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE พ.ศ. 2574 (km ²)					
	Agriculture	Forest	Miscellaneous	Urban	Water	รวม
Agriculture	7003.33	0.00	0.00	700.89	0.00	7704.22
Forest	0.00	945.22	0.00	19.13	0.00	964.35
Miscellaneous	0.00	0.00	20.41	2.48	0.23	23.11
Urban	0.00	0.00	0.00	1067.49	0.00	1067.49
Water	0.00	0.00	0.00	0.00	307.83	307.83
รวม	7003.33	945.22	20.41	1789.98	308.05	10066.99



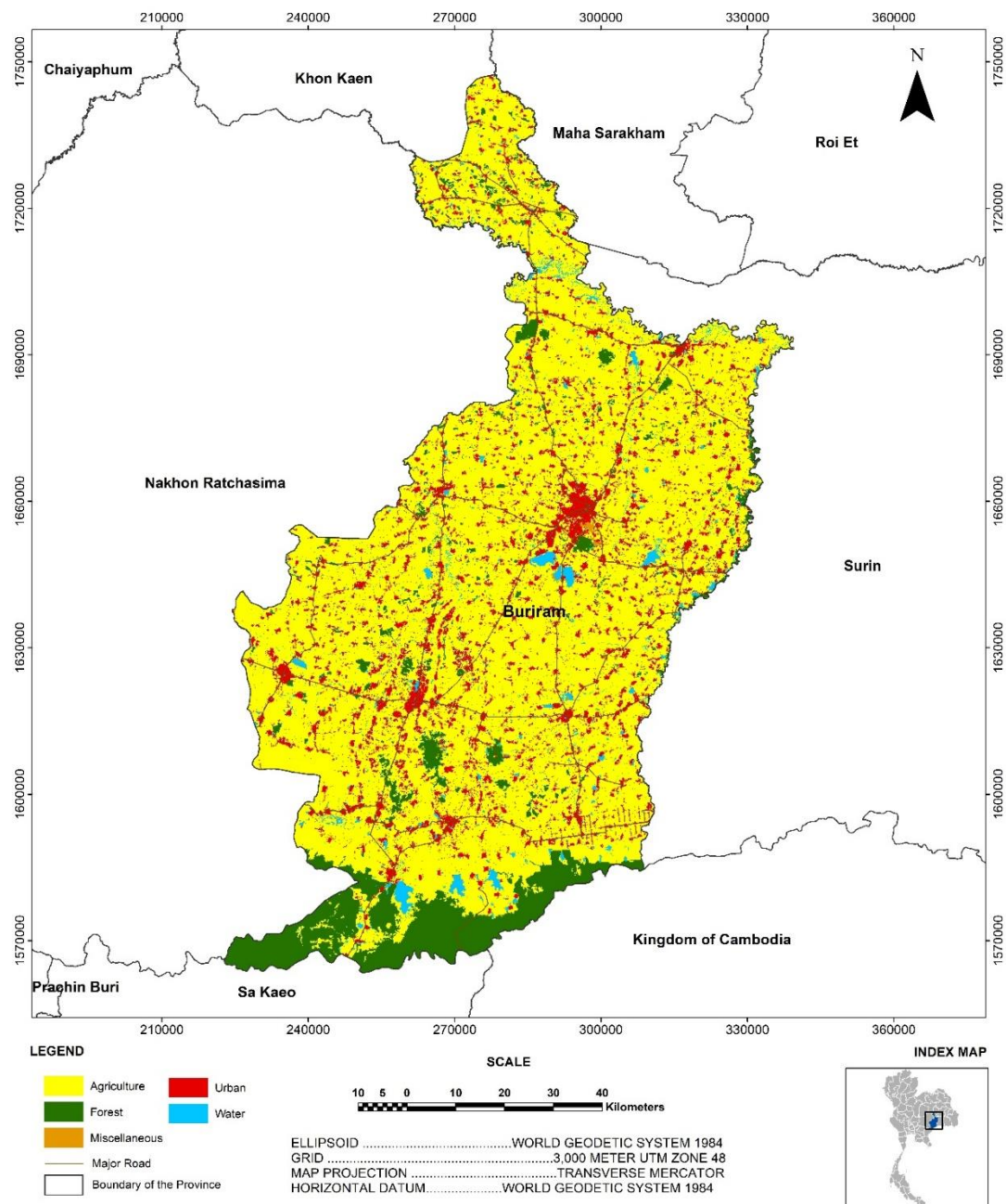
ภาพประกอบ 40 ฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ.2574

4. ฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน

ฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนมุ่งเน้นการรักษาพื้นที่เกษตรกรรมและยกระดับประสิทธิภาพการผลิต ผลการคาดการณ์พบว่าพื้นที่เกษตรกรรมลดลงน้อยที่สุดในทุกฉากทัศน์ จาก 7704.27 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 76.53) เหลือ 7642.86 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 75.92) ลดลงเพียง 59.40 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.59 ของพื้นที่เกษตรกรรมเดิม โดยส่วนใหญ่เปลี่ยนเป็นพื้นที่เมือง 61.43 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.80 ส่วนที่คงสภาพเดิมสูงถึง 7642.79 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 99.20 พื้นที่ป่าไม้ลดลงน้อยที่สุดในทุกฉากทัศน์ จาก 963.41 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.57) เหลือ 954.35 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.48) ลดลงเพียง 9.06 ตารางกิโลเมตร โดยเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมือง 9.45 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.98 ส่วนที่คงสภาพเดิม 954.90 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 99.02 พื้นที่เมืองและชุมชนเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดในทุกฉากทัศน์ จาก 1069.11 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 10.62) เป็น 1140.59 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 11.33) เพิ่มขึ้นเพียง 71.48 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.71 การควบคุมการขยายตัวของเมืองอย่างเข้มงวดนี้สอดคล้องกับเป้าหมายการรักษาพื้นที่เกษตรกรรมและการพัฒนาอย่างยั่งยืน ดังตาราง 46 ภาพประกอบ 41

ตาราง 46 เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2564 (km ²)	ฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน พ.ศ. 2574 (km ²)					
	Agriculture	Forest	Miscellaneous	Urban	Water	รวม
Agriculture	7642.79	0.00	0.00	61.43	0.00	7704.22
Forest	0.00	954.90	0.00	9.45	0.00	964.35
Miscellaneous	0.00	0.00	20.41	2.48	0.23	23.11
Urban	0.00	0.00	0.00	1067.49	0.00	1067.49
Water	0.00	0.00	0.00	0.00	307.83	307.83
รวม	7642.79	954.90	20.41	1140.84	308.05	10066.99



ภาพประกอบ 41 จากทิศทางการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน จังหวัดบุรีรัมย์ ปี พ.ศ.2574

การเปรียบเทียบและประเมินผลจากทัศน์

1. การวิเคราะห์ Trade-offs ระหว่างจากทัศน์ การเปรียบเทียบจากทัศน์ทั้ง 4 จากทัศน์แสดงให้เห็นถึง Trade-offs ที่สำคัญระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ตาราง 47 สรุป Trade-offs หลักของแต่ละจากทัศน์

ตาราง 47 Trade-offs Matrix การเปรียบเทียบระหว่างการพัฒนาและการอนุรักษ์

จากทัศน์	การสูญเสียเกษตร (%)	การเปลี่ยนแปลงป่า (%)	การเติบโตเมือง (%)	สัดส่วนเกษตรและป่าไม้ (%)	การเติบโตของเมือง (%/ปี)	แรงกดดัน (ไร่)	คะแนนความยั่งยืน
Sustainable Agriculture	-0.59	-0.09	0.71	85.4	0.60%	1,771	9.5/10
BAU	-1.62	-0.51	2.2	83.98	2.10%	5,450	7.5/10
Sports Tourism	-5.06	-0.14	5.23	80.88	4.80%	13,146	6.5/10
MICE City	-6.94	-0.18	7.16	78.96	6.60%	18,000	4.0/10

*ความยั่งยืน1) สัดส่วนเกษตรและป่าไม้ > 85% = 9-10 คะแนน 2) 80-85% = 6-8 คะแนน 3) < 80% = 4-5 คะแนน

จากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนแสดงความสมดุลที่ดีที่สุดในทุกมิติ แสดงถึงความน่าเชื่อถือสูง มีการสูญเสียพื้นที่เกษตรต่ำที่สุด (เพียงร้อยละ 0.59) การเติบโตของพื้นที่เมืองที่สมเหตุสมผล (ร้อยละ 0.71 หรือ 0.6% ต่อปี) และสามารถรักษาสัดส่วนรวมของพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ไว้ได้ที่ร้อยละ 85.40 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ความยั่งยืนที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 85 นอกจากนี้ ยังมีแรงกดดันต่อทรัพยากรต่ำที่สุดเพียง 1,771 ไร่ จึงได้รับคะแนนความยั่งยืนสูงสุดที่ 9.5 คะแนน

จากทัศน์การพัฒนาตามปกติ มีความสมดุลที่ดีพอสมควร โดยมีสัดส่วนเกษตรและป่าไม้ที่ร้อยละ 83.98 ซึ่งใกล้เคียงกับเกณฑ์ยั่งยืน แรงกดดันต่อทรัพยากรอยู่ในระดับปานกลางที่ 5,450 ไร่ และอัตราการเติบโตของเมืองที่ร้อยละ 2.1 ต่อปีซึ่งเป็นอัตราที่สมเหตุสมผลสำหรับเมืองขนาดกลาง จึงได้คะแนนความยั่งยืนที่ 7.5 จาก 10 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากจากทัศน์นี้ไม่มีการปรับพารามิเตอร์เพื่อสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาเฉพาะ จึงไม่สามารถบรรลุเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดได้อย่างเต็มที่

จากทัศนวิสัยการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา มีการสูญเสียพื้นที่เกษตรมาก (ร้อยละ 5.06) การเติบโตของพื้นที่เมืองสูง (ร้อยละ 5.23 หรือ 4.8% ต่อปี) และแรงกดดันต่อทรัพยากรสูงถึง 13,146 ไร่ ทำให้สัดส่วนรวมของเกษตรและป่าไม้ลดลงเหลือร้อยละ 80.88 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ความยั่งยืน จึงได้คะแนนที่ 6.5 จาก 10 การค้นพบนี้บ่งชี้ว่าจากทัศนวิสัยศักยภาพในการสร้างการเติบโตทางเศรษฐกิจ แต่ต้องปรับลดขนาดโครงการให้สมดุลมากขึ้นเพื่อรักษาความยั่งยืนของฐานทรัพยากร

จากทัศนวิสัยพัฒนาเมือง MICE มีความไม่สมดุลมากที่สุด มีการสูญเสียพื้นที่เกษตรสูงที่สุด (ร้อยละ 6.94) การเติบโตของพื้นที่เมืองสูงมาก (ร้อยละ 7.16 หรือ 6.6% ต่อปี) แรงกดดันต่อทรัพยากรสูงที่สุดถึง 18,000 ไร่ และสัดส่วนรวมของเกษตรและป่าไม้ลดลงเหลือร้อยละ 78.96 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ความยั่งยืนอย่างมีนัยสำคัญ จึงได้คะแนนต่ำสุดที่ 4.0 จาก 10 จากทัศนวิสัยมีความเสี่ยงสูงต่อความยั่งยืนและจำเป็นต้องปรับลดขนาดโครงการอย่างมากหรือขยายระยะเวลาการดำเนินการ ดังตาราง 48

ตาราง 48 การจัดอันดับจากทัศนวิสัยตามตัวชี้วัดหลัก

ตัวชี้วัด	ลำดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	อันดับ 4
รักษาพื้นที่เกษตร	Sustainable	BAU	Sports Tourism	MICE City
	-75.92%	-74.91%	-71.45%	-69.57%
การเติบโตเมืองที่สมดุล	Sustainable	BAU	Sports Tourism	MICE City
	(+0.71%)	(+2.20%)	(+5.23%)	(+7.16%)
สัดส่วนเกษตรและป่า	Sustainable	BAU	Sports Tourism	MICE City
	-85.40%	-83.98%	-80.88%	-78.96%
แรงกดดันต่ำ	Sustainable	BAU	Sports Tourism	MICE City
	(1,771 ไร่)	(5,450 ไร่)	(13,146 ไร่)	(18,000 ไร่)
ความยั่งยืนโดยรวม	Sustainable	BAU	Sports Tourism	MICE City
	(9.5/10)	(7.5/10)	(6.5/10)	(4.0/10)

จากตาราง 48 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าจากทัศนวิสัยพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนมีอันดับที่ 1 ในทุกตัวชี้วัดหลัก ตามมาด้วยจากทัศนวิสัยพัฒนาตามปกติที่มีอันดับที่ 2 ในเกือบทุกตัวชี้วัด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากจากทัศนวิสัยพัฒนาตามปกติไม่มีการปรับพารามิเตอร์เพื่อสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาเฉพาะ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นแนวทางหลักในการพัฒนา แต่สามารถใช้เป็น Baseline ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจากทัศนวิสัยอื่น ๆ ได้

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

การพัฒนาจากทัศนหลายมิติตามเป้าหมายการพัฒนาพื้นที่ของจังหวัดบุรีรัมย์ เป็น การศึกษาที่ผสมผสานเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ การเรียนรู้ของเครื่อง และแบบจำลองเชิงพื้นที่ เพื่อวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินภายใต้บริบทของการพัฒนา เมืองตามเป้าหมายการพัฒนา การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการนำเสนอกรอบแนวคิดแบบบูรณาการที่ เชื่อมโยงระหว่างการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ การสร้างแบบจำลอง และการพัฒนาจากทัศนเชิง คาดการณ์อย่างเป็นระบบ โดยมุ่งหวังให้ผลการศึกษาเป็นองค์ความรู้เชิงประจักษ์สำหรับการ วางแผนพัฒนาจังหวัดอย่างยั่งยืน การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 วัตถุประสงค์หลักที่เชื่อมโยง และเกี่ยวเนื่องซึ่งกันและกัน สรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการขยายพื้นที่เมืองของจังหวัดบุรีรัมย์

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2544-2565 โดย ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat และขั้นตอนวิธี Random Forest ผ่านแพลตฟอร์ม Google Earth Engine จำแนกออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ป่า ไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด ผลการประเมินความถูกต้องพบว่า การจำแนกมีความ ถูกต้องโดยรวมอยู่ในระดับสูง โดยปี พ.ศ. 2544 มีค่าความถูกต้องร้อยละ 92.68 และค่า สัมประสิทธิ์แคปปา 0.91 ปี พ.ศ. 2554 มีค่าความถูกต้องร้อยละ 88.43 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.86 และปี พ.ศ. 2564 มีค่าความถูกต้องร้อยละ 93.17 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.92 ซึ่ง เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ Landis and Koch (1977) ที่กำหนดค่าความถูกต้องขั้นต่ำไว้ที่ ร้อยละ 80 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2544-2564 ระยะเวลา 21 ปี สามารถ จำแนกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มการเปลี่ยนแปลงเชิงเพิ่ม (Growth-oriented Changes) และ กลุ่มการเปลี่ยนแปลงเชิงลด (Decline-oriented Changes) กลุ่มการเปลี่ยนแปลงเชิงเพิ่ม ประกอบด้วย พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น 717.76 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 40.84 ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด พื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้น 160.94 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 9.16 และพื้นที่เบ็ดเตล็ดเพิ่มขึ้น 37.33 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.12 กลุ่มการเปลี่ยนแปลงเชิง ลดประกอบด้วย พื้นที่เกษตรกรรมลดลง 606.33 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 34.50 และพื้นที่ ป่าไม้ลดลง 235.04 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 13.37 การวิเคราะห์การขยายตัวของพื้นที่

เมืองในระดับอำเภอพบว่า อำเภอที่มีการขยายตัวของพื้นที่เมืองมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ อำเภอเมืองบุรีรัมย์เพิ่มขึ้น 90.44 ตารางกิโลเมตร อำเภอนางรองเพิ่มขึ้น 82.97 ตารางกิโลเมตร อำเภอประโคนชัยเพิ่มขึ้น 60.57 ตารางกิโลเมตร อำเภอลำปลายมาศเพิ่มขึ้น 54.89 ตารางกิโลเมตร และอำเภอกระสังเพิ่มขึ้น 52.62 ตารางกิโลเมตร เมื่อพิจารณาอัตราการเติบโตของพื้นที่เมืองพบว่า อำเภอที่มีอัตราการเติบโตสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ อำเภอเฉลิมพระเกียรติมีอัตราการเติบโต 3.45 เท่า อำเภอหนองหงส์มีอัตราการเติบโต 3.22 เท่า และอำเภอลำปลายมาศมีอัตราการเติบโต 2.97 เท่าของพื้นที่ฐานในปี พ.ศ. 2544

การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเมือง

การศึกษาได้คัดเลือกปัจจัยทั้งหมด 29 ตัวแปรจากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบจำนวน 124 บทความระหว่างปี ค.ศ. 2010–2024 โดยจำแนกออกเป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มปัจจัยธรรมชาติ 10 ตัวแปร กลุ่มปัจจัยสิ่งปลูกสร้าง 12 ตัวแปร กลุ่มปัจจัยเศรษฐกิจสังคม 5 ตัวแปร และกลุ่มปัจจัยนโยบายและข้อจำกัด 2 ตัวแปร การวิเคราะห์ใช้ความละเอียดจุดภาพ 150×150 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา 955,833 จุดภาพ

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัย การวิเคราะห์ด้วย Multi-Layer Perceptron Neural Network พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง (Sub-model 1) คือ ระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยว ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สูงถึง 0.9002 รองลงมาคือ สัดส่วนพื้นที่เกษตร (0.4258) และระดับความสูง (0.4075) ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจของจังหวัดบุรีรัมย์จากเกษตรกรรมสู่การท่องเที่ยวและบริการ โดยภาคบริการเติบโตเป็นร้อยละ 59.4 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด สำหรับการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เมือง (Sub-model 2) พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงสุดคือ ระยะห่างจากพื้นที่เมืองเดิม (ค่าสัมประสิทธิ์ 0.8810) รองลงมาคือ อัตราการเติบโตของประชากร (0.5406) และระยะห่างจากสถานีรถไฟ (0.5243) ซึ่งสะท้อนถึงแรงกดดันจากการขยายตัวของเมืองแบบ Urban Sprawl ตามทฤษฎี Spatial Diffusion (Batty, 2007)

ผลการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ การทดสอบไคสแควร์และค่าสัมประสิทธิ์ไครเมอร์วี พบว่าปัจจัย 27 ตัวจาก 29 ตัว (ร้อยละ 93.10) มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.001$ โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์แข็งแกร่งมาก ($V \geq 0.70$) จำนวน 9 ตัว ได้แก่ เหมืองแร่ ($V = 0.9713$) สถานีรถไฟ ($V = 0.9424$) ทางรถไฟ ($V = 0.9259$) โรงแรม ($V = 0.9131$) แหล่งท่องเที่ยว ($V = 0.9123$) สนามกีฬาหลัก ($V = 0.8869$)

โรงพยาบาล ($V = 0.8477$) ความเหมาะสมของดิน ($V = 0.7665$) และระบบชลประทาน ($V = 0.7651$)

ผลการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลอง LCM แบบจำลอง LCM ที่พัฒนาขึ้นมีค่า Overall Accuracy ร้อยละ 93.27 และ Overall Kappa 0.8243 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก (Almost Perfect Agreement) ตามเกณฑ์ของ Landis and Koch (1977) เมื่อวิเคราะห์รายละเอียดของแต่ละ Sub-model พบว่า Sub-model 1 Agriculture to Urban มีความแม่นยำสูงสุดร้อยละ 92.12 (Skill Measure = 0.8425) Sub-model 2 (Forest to Urban) มีความแม่นยำร้อยละ 84.88 (Skill Measure = 0.6977) และ Sub-model 3 (Miscellaneous to Urban) มีความแม่นยำร้อยละ 87.80 (Skill Measure = 0.7561)

การสร้างฉากทัศน์ตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์

การพัฒนาฉากทัศน์การใช้ประโยชน์ที่ดินตามเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ระยะ 10 ปี (พ.ศ. 2564-2574) ประกอบด้วย 4 ฉากทัศน์ ได้แก่ ฉากทัศน์การพัฒนาตามปกติ (BAU) ฉากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา (Sports Tourism) ฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE และฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน (Sustainable Agriculture) โดยใช้แบบจำลอง LCM ร่วมกับ CA-MARKOV ผลการจำลองฉากทัศน์ ฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนแสดงการเปลี่ยนแปลงที่สมดุลที่สุด โดยพื้นที่เกษตรกรรมลดลงเพียงร้อยละ 0.59 และพื้นที่เมืองเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.71 สามารถรักษาสัดส่วนรวมของพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ไว้ได้ที่ร้อยละ 85.40 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ความยั่งยืนที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 85 ในขณะที่ฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE แสดงการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงที่สุด โดยพื้นที่เกษตรกรรมลดลงร้อยละ 6.94 และพื้นที่เมืองเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.16 ทำให้สัดส่วนรวมลดลงเหลือร้อยละ 78.96 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ความยั่งยืน

การประเมินความแม่นยำของฉากทัศน์ ฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนมีค่า Overall Kappa สูงสุดที่ 0.9941 และ Cramer's V ที่ 0.9799 อยู่ในระดับ Almost Perfect ตามด้วยฉากทัศน์การพัฒนาตามปกติ (Kappa = 0.9784) ฉากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬา (Kappa = 0.9584) และฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE (Kappa = 0.9434) ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ Trade-offs แสดงให้เห็นว่าฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนได้รับคะแนนความยั่งยืนสูงสุดที่ 9.5 จาก 10 คะแนน

การกำหนดฉากทัศน์ฐานในการศึกษาครั้งนี้ ฉากทัศน์การพัฒนาตามปกติ ถูกกำหนดให้เป็นฉากทัศน์ฐานสำหรับการเปรียบเทียบกับฉากทัศน์ทางเลือกอื่นๆ การกำหนดฉากทัศน์ฐานนี้สอดคล้องกับหลักการพัฒนาฉากทัศน์ที่เสนอโดย J. Alcamo (2008) และ Rounsevell

et al. (2012) ซึ่งระบุว่าจากทัศนฐานควรสะท้อนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในอดีตและปัจจุบันโดยสมมติว่านโยบายและปัจจัยขับเคลื่อนจะดำเนินไปตามทิศทางเดิมโดยไม่มีการแทรกแซงเชิงนโยบายใหม่ จากทัศน BAU ในการศึกษานี้ใช้ Transition Probability Matrix จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2554-2564 เป็นฐานในการคาดการณ์ไปยังปี พ.ศ. 2574 โดยมีสมมติฐานว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงและปัจจัยขับเคลื่อนจะคงที่ตลอดระยะเวลาการจำลองแนวทางนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Beroho et al. (2023) ที่ใช้แบบจำลอง CA-Markov สำหรับการจำลองจากทัศนการใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำเมดิเตอร์เรเนียนของประเทศโมร็อกโก และ dos Santos et al. (2024) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำ Tocantins-Araguaia ประเทศบราซิล

การเปรียบเทียบจากทัศนทางเลือกกับจากทัศนฐาน เมื่อใช้จากทัศน BAU เป็นฐานในการเปรียบเทียบ แสดงให้เห็นว่าหากการพัฒนาดำเนินไปตามแนวโน้มเดิม พื้นที่เกษตรกรรมจะลดลงร้อยละ 1.62 และพื้นที่เมืองจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.20 ภายในปี พ.ศ. 2574 โดยสัดส่วนรวมของพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้จะอยู่ที่ร้อยละ 83.98 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ความยั่งยืนที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 85 ตามแนวทางของ United Nations Sustainable Development Goals เป้าหมายที่ 15

การวิเคราะห์จากทัศนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาในอนาคต จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบจากทัศนทั้ง 4 จากทัศนโดยใช้จากทัศน BAU เป็นฐาน พบว่าจากทัศนการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน เป็นจากทัศนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ในอนาคต โดยมีเหตุผลสนับสนุน 4 ประการดังนี้ 1) มีค่า Overall Kappa สูงที่สุด (0.9941) ซึ่งอยู่ในระดับ Almost Perfect Agreement ตามเกณฑ์ของ Landis and Koch (1977) และสูงกว่าจากทัศน BAU ถึง 0.0157 หน่วย ค่า Kappa ที่สูงนี้บ่งชี้ว่าแบบจำลองสามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินภายใต้จากทัศน SAD ได้อย่างแม่นยำและสอดคล้องกับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Mondal et al. (2024) ที่ใช้แบบจำลอง CA-Markov ร่วมกับ Trends.Earth module ในกลุ่มน้ำ Upper Zambezi และพบว่าค่า Kappa ที่สูงกว่า 0.85 บ่งชี้ถึงความน่าเชื่อถือของการจำลองจากทัศน 2) สามารถรักษาสัดส่วนพื้นที่สีเขียวได้สูงถึงร้อยละ 85.40 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ความยั่งยืนที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 85 ตามแนวทางของ United Nations ในขณะที่จากทัศน BAU มีสัดส่วนเพียงร้อยละ 83.98 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ และจากทัศน MCD มีสัดส่วนต่ำที่สุดเพียงร้อยละ 78.96 การค้นพบนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Wu et al. (2024) เรื่อง "Scenario Simulation of Urban Land Use and Ecosystem Service Coupling Major Function-Oriented Zoning" ที่พบว่าการรักษาสัดส่วนพื้นที่สีเขียวไว้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 มีความสำคัญต่อการรักษาบริการระบบนิเวศในพื้นที่เมืองที่กำลังขยายตัว 3) มีอัตราการสูญเสีย

พื้นที่เกษตรกรรมต่ำที่สุด (ร้อยละ 0.59) เมื่อเปรียบเทียบกับฉากทัศน์อื่นๆ การรักษาพื้นที่เกษตรกรรมไว้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความมั่นคงทางอาหารและเศรษฐกิจฐานรากของจังหวัดบุรีรัมย์ซึ่งมีประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Asif et al. (2025) เรื่อง "Predicting land use and land cover changes for sustainable land management using CA-Markov modelling and GIS techniques" ในเมือง Lahore ประเทศปากีสถาน ที่พบว่าการขยายตัวของเมืองส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อพื้นที่เกษตรกรรม โดยพื้นที่พืชผักลดลงถึง 198.7 ตารางกิโลเมตรในช่วง 30 ปี 4) ได้รับคะแนนความยั่งยืนสูงที่สุด (9.5 จาก 10 คะแนน) จากการประเมิน Trade-offs Matrix ซึ่งพิจารณาปัจจัยหลายมิติ ได้แก่ การเติบโตทางเศรษฐกิจ การรักษาทรัพยากรธรรมชาติ และความเป็นธรรมทางสังคม ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิด Sustainable Land Use Planning ของ Lambin and Meyfroidt (2010) ที่เน้นความสำคัญของการรักษาสมดุลระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และสอดคล้องกับหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงที่เป็นแนวทางการพัฒนาของประเทศไทย

อภิปรายผล

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและรูปแบบการขยายตัวของเมือง การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลา การศึกษาพบว่าพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างมีการขยายตัวมากที่สุดถึง 717.76 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 40.84 ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรมลดลง 606.33 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 34.50) และพื้นที่ป่าไม้ลดลง 235 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 13.37) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chen et al. (2020) ที่พบรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกันในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ความแม่นยำของการจำแนกข้อมูล การใช้เทคนิค Random Forest ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินให้ค่าความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 92.68, 88.43 และ 93.17 ในปี 2544, 2554 และ 2564 ตามลำดับ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ Kappa อยู่ที่ 0.91, 0.86 และ 0.92 ซึ่งสอดคล้องกับ Intarat and Sillaparat (2019) และ Intarat (2022) ที่ยืนยันประสิทธิภาพของ Machine Learning ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจผลการศึกษาสะท้อนการเปลี่ยนผ่านทางเศรษฐกิจจากภาคเกษตรสู่ภาคบริการ โดยสัดส่วนภาคเกษตรใน GPP ลดลงจากร้อยละ 25.1 เป็นร้อยละ 18.7 ขณะที่ภาคบริการเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 52.3 สอดคล้องกับทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ Chenery and Syrquin (1975) และการศึกษาของ Gollin et al. (2014) ผลกระทบจากการพัฒนาการท่องเที่ยวและกีฬา การพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์เป็น "Sports City" ส่งผลให้มีนักท่องเที่ยว 758,081 คน สร้าง

รายได้ 1,456.21 ล้านบาท สอดคล้องกับทฤษฎี Event-Led Urban Development ของ Richards and Palmer (2010) โดยพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างจำนวนนักท่องเที่ยวกับการขยายตัวของเมืองในอัตรา 0.15-0.25 ตารางกิโลเมตรต่อนักท่องเที่ยว 1,000 คน ตามที่ (Gössling et al., 2012) ได้ศึกษาไว้ ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม การขยายตัวของเมืองส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ โดยพื้นที่ป่าไม้สูญเสียไป 235.04 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่เกษตรกรรมลดลง 606.33 ตารางกิโลเมตร สอดคล้องกับ van Vliet et al. (2019) ที่พบว่า การสูญเสียป่าไม้ทางอ้อมผ่านการแทนที่ด้วยพื้นที่เกษตรมีมากกว่าการสูญเสียโดยตรง 5-10 เท่า อัตราการสูญเสียพื้นที่เกษตรร้อยละ 1.9 ต่อปีใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่ร้อยละ 1.8-2.4 ตามผลของ Seto et al. (2013)

ปัจจัยขับเคลื่อนการเจริญเติบโตของเมืองบุรีรัมย์ ผลการวิจัยที่พบว่าระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยวมีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุด (0.9002) สอดคล้องกับแนวคิด Polycentric Development ของ Batty (2007) ที่อธิบายว่าเมืองสมัยใหม่ไม่จำเป็นต้องเติบโตจากศูนย์กลางเดียว แต่สามารถพัฒนาจาก Sub-centers หลายแห่งได้ ในกรณีของจังหวัดบุรีรัมย์ สนามช้างอารีนาและแหล่งท่องเที่ยวทางวัฒนธรรม เช่น ปราสาทหินพนมรุ้ง ทำหน้าที่เป็น Sub-centers ที่ดึงดูดการพัฒนาและการลงทุน ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบการพัฒนาแบบ Monocentric City ตามทฤษฎีของ Alonso (1964) ที่เน้นการขยายตัวจากศูนย์กลางธุรกิจ เพียงแห่งเดียว การค้นพบนี้มีนัยสำคัญต่อการวางแผนพัฒนาเมือง โดยชี้ให้เห็นว่าจังหวัดบุรีรัมย์มีลักษณะการพัฒนาแบบ Destination-driven มากกว่า Corridor-driven กล่าวคือ การพัฒนาเกิดขึ้นตามจุดหมายปลายทาง (แหล่งท่องเที่ยว สนามกีฬา) มากกว่าการขยายตัวตามแนวถนนอย่างเป็นเชิงเส้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Aithal and Ramachandra (2020) ที่พบว่าเมืองที่มีอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรมและกีฬาที่ชัดเจนมีแนวโน้มการเติบโตแบบหลายศูนย์กลาง อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์ของระยะห่างจากถนนสายหลัก (0.1766) ที่ต่ำกว่าที่คาดหวังเมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Achmad et al. (2015) และ Han et al. (2015) ที่พบว่าปัจจัยนี้มักถูกใช้บ่อยที่สุดใน 62 จาก 124 บทความที่ทบทวน อาจอธิบายได้จากบริบทเฉพาะของจังหวัดบุรีรัมย์ที่มีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านกีฬาและการท่องเที่ยวเป็นตัวนำ ทำให้ลดความสำคัญของปัจจัยด้านการเข้าถึงทางถนนลงเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยด้านการท่องเที่ยว

การค้นพบรูปแบบการพัฒนาแบบหลายศูนย์กลาง ในจังหวัดบุรีรัมย์นี้สอดคล้องกับผลการศึกษาล่าสุดของ Mostofa and Nazem (2024) ที่ศึกษาเรื่อง "Predicting urban tomorrow: CA-Markov modeling and district evolution" ซึ่งพบว่าการพัฒนาเมืองในภูมิภาคที่มีจุดดึงดูด

เฉพาะ เช่น แหล่งท่องเที่ยวและสนามกีฬา มักมีรูปแบบการขยายตัวแบบหลายศูนย์กลางมากกว่า การขยายตัวจากศูนย์กลางเดียว โดยแบบจำลอง CA-Markov สามารถจำลองรูปแบบการขยายตัวดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ การศึกษาของ Doyog and Lin (2025) ที่ศึกษาเรื่อง "Tourism-Induced Urbanization in Phuket Island, Thailand" ได้วิเคราะห์การขยายตัวของเมืองที่เกิดจากการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ตตลอดระยะเวลา 37 ปี พบว่าการท่องเที่ยวเป็นปัจจัยขับเคลื่อนหลักของการขยายตัวเมือง โดยมีค่า Urban Expansion Intensity Index (UEII) สูงถึง 14.20 ในช่วงปี ค.ศ. 2021-2024 หลังจากการฟื้นตัวจากการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ผลการศึกษาดังกล่าวสนับสนุนข้อค้นพบของการศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์ที่พบว่าระยะห่างจากแหล่งท่องเที่ยวมีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุด (0.9002) ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง

ในระดับนโยบาย รายงานของ World (2024) เรื่อง "Thailand Economic Monitor: Unlocking the Growth Potential of Secondary Cities" ระบุว่าประเทศไทยมีความเหลื่อมล้ำทางพื้นที่สูง โดยกรุงเทพมหานครมีประชากรมากกว่าเมืองรองลำดับที่สอง (เชียงใหม่) ถึง 29 เท่า และมีผลิตภัณฑ์มวลรวมมากกว่าจังหวัดรองลำดับที่สอง (ชลบุรี) ถึง 40 เท่า รายงานดังกล่าวเสนอว่าการพัฒนาเมืองรอง เป็นกลยุทธ์สำคัญในการกระจายความเจริญและลดความเสี่ยงจากการกระจุกตัวทางเศรษฐกิจ ดังนั้น ผลการศึกษาในจังหวัดบุรีรัมย์ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาเป็นเมืองกีฬาและเมือง MICE จึงสอดคล้องกับทิศทางนโยบายการพัฒนาเมืองรองของประเทศไทย

ความสอดคล้องของผลการวิเคราะห์ทางสถิติกับแบบจำลอง MLP ความแตกต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์เคอร์เนลและค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลอง MLP มีนัยสำคัญทางทฤษฎี โดยเฉพาะกรณีของปัจจัยพื้นที่เมือง ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ MLP สูงสุด (0.8953) แต่มีค่าเคอร์เนลในระดับอ่อน (0.2280) ความแตกต่างนี้อธิบายได้จากลักษณะการวัดที่ต่างกัน ค่าเคอร์เนลวัดความเป็นอิสระทางสถิติ (Statistical Independence) ระหว่างตัวแปร ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ MLP วัดอิทธิพลสัมพัทธ์ในการพยากรณ์ โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น และปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ผลการวิเคราะห์นี้สอดคล้องกับทฤษฎีการเติบโตของเมืองที่พื้นที่เมืองเดิมเป็นแกนหลักในการขยายตัว แม้จะกระจายตัวอย่างกว้างขวาง (ค่าเคอร์เนลต่ำ) แต่มีบทบาทสำคัญที่สุดในการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลง (ค่าสัมประสิทธิ์ MLP สูง) ซึ่งสนับสนุนแนวคิด

Spatial Diffusion ของ Hägerstrand (1967) ที่อธิบายว่าการขยายตัวของเมืองมักเกิดขึ้นในรัศมีใกล้เคียงกับพื้นที่เมืองเดิม

ประสิทธิภาพของแบบจำลอง LCM ค่า Overall Accuracy ร้อยละ 93.27 และ Overall Kappa 0.8243 ที่ได้จากการศึกษานี้สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบบจำลอง Land Use Change ที่ควรมีความแม่นยำอย่างน้อยร้อยละ 85 ตามที่เสนอโดย Pontius (2008) และสูงกว่าผลการศึกษาที่ใช้วิธีการคล้ายกันในบริบทอื่น เช่น การศึกษาของ Samie et al. (2017) ในประเทศปากีสถานที่ได้ค่า Kappa 0.78 และการศึกษาของ Li et al. (2019) ในประเทศจีนที่ได้ค่า Kappa 0.81 ค่าความแม่นยำของแบบจำลองในการศึกษานี้ยังอยู่ในระดับที่สูงกว่าหรือเทียบเท่ากับการศึกษาส่วนใหญ่ การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบของ Gaur and Singh (2023) ศึกษาเรื่อง "A Comprehensive Review on Land Use/Land Cover Change Modeling for Urban Development: Current Status and Future Prospects" ได้วิเคราะห์เทคนิคการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและระบุว่าแบบจำลอง LCM เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับอัลกอริทึม MLP ซึ่งสามารถจับความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ดีกว่าวิธีการทางสถิติแบบดั้งเดิม การศึกษาของ Tariq et al. (2023) ศึกษาเรื่อง "Modelling of land use and land cover changes and prediction using CA-Markov and Random Forest" ได้ใช้แบบจำลอง CA-Markov ร่วมกับ Random Forest ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ทะเลทรายในประเทศปากีสถาน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แคปปาสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องสูงถึงร้อยละ 97 ซึ่งบ่งชี้ว่าหากทัศน์ที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมสำหรับการจำลองซ้ำ ผลการศึกษาดังกล่าวสนับสนุนความเหมาะสมของการใช้แบบจำลอง CA-Markov ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในภูมิภาคที่มีสภาพภูมิอากาศกึ่งแห้งแล้งซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นอกจากนี้ การศึกษาของ Shakya et al. (2024) ศึกษาเรื่อง "Machine learning and GIS based simulation of urban expansion for sustainable planning in Chaurjahari of Nepal" ได้ใช้แบบจำลอง LCM ร่วมกับ MLP ในการจำลองการขยายตัวของเมืองในประเทศเนปาล พบว่ามีค่า Calibration Accuracy ร้อยละ 73.4 และ Skill Measure 0.6813 ซึ่งต่ำกว่าผลการศึกษานี้ที่มีค่า Overall Accuracy ร้อยละ 93.27 และ Overall Kappa 0.8243 ความแตกต่างดังกล่าวอาจเกิดจากความครอบคลุมของปัจจัยขับเคลื่อนที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยการศึกษานี้ใช้ปัจจัยขับเคลื่อนถึง 29 ตัวแปรซึ่งครอบคลุมมิติด้านกายภาพ เศรษฐกิจ สังคม

และนโยบายอย่างครบถ้วน ในขณะที่การศึกษาในประเทศเนปาลใช้ปัจจัยขับเคลื่อนจำนวนน้อยกว่า

ความแม่นยำที่สูงของ Sub-model 1 Agriculture to Urban ร้อยละ 92.12 เมื่อเทียบกับ Sub-model 2 (Forest to Urban) ร้อยละ 84.88 อธิบายได้จากความซับซ้อนของกระบวนการปลูกป่าไม้ที่ไม่ได้เป็นไปตามกฎเกณฑ์ทางเศรษฐกิจเพียงอย่างเดียว แต่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายมิติ เช่น ความยากจน การขาดที่ดินทำกิน นโยบายการจัดการป่าไม้ และแรงกดดันจากประชากร ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Verburg et al. (2019) ที่ชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้มีความซับซ้อนและคาดการณ์ได้ยากกว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรกรรม

การเปรียบเทียบฉากทัศน์และความยั่งยืน ผลการวิเคราะห์ Trade-offs ระหว่างฉากทัศน์ทั้ง 4 ฉากทัศน์แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์แบบแลกเปลี่ยนระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนสามารถคงสัดส่วนรวมของพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ไว้ได้ที่ร้อยละ 85.40 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ความยั่งยืนที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 85 ตามแนวทางของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ เป้าหมายที่ 15 ในขณะที่ฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE มีสัดส่วนรวมเพียงร้อยละ 78.96 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ความยั่งยืนอย่างมีนัยสำคัญ การค้นพบนี้สอดคล้องกับแนวคิด Sustainable Land Use Planning ของ Lambin and Meyfroidt (2010) ที่เน้นความสำคัญของการรักษาความสมดุลระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าทุกฉากทัศน์มีการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ (ร้อยละ 0.09-0.51) แม้จะมีเป้าหมายในการเพิ่มพื้นที่ป่าก็ตาม ซึ่งบ่งชี้ถึงความจำเป็นในการมีมาตรการเชิงรุกที่เข้มข้นยิ่งขึ้นเพื่อบรรลุเป้าหมายการอนุรักษ์

การเชื่อมโยงกับเป้าหมายการพัฒนาจังหวัดและนโยบายระดับชาติ มีความสอดคล้องอย่างชัดเจนกับวิสัยทัศน์ของจังหวัดบุรีรัมย์ที่ว่า "บุรีรัมย์ศูนย์กลางการท่องเที่ยวอารยธรรมขอมและกีฬามาตรฐานโลก เศรษฐกิจมั่นคง สู้สังคมเข้มแข็งอย่างยั่งยืน" โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ฉากทัศน์การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงกีฬาและฉากทัศน์การพัฒนาเมือง MICE สนับสนุนเป้าหมายการพัฒนา 3 ประการแรกของแผนพัฒนาจังหวัด ได้แก่ การพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากและเสริมสร้างความเข้มแข็งของเศรษฐกิจจังหวัด การพัฒนาการท่องเที่ยวและกีฬาเชิงสร้างสรรค์ และการยกระดับการผลิตสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นถึงความขัดแย้งระหว่างเป้าหมายบางประการ โดยเฉพาะระหว่างการพัฒนาทางเศรษฐกิจกับการรักษาสภาพแวดล้อมและความมั่นคงทางอาหาร การวิเคราะห์ Trade-offs Matrix แสดงให้เห็นว่าฉากทัศน์ที่เน้นการเติบโตทางเศรษฐกิจสูง มีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบด้านลบต่อพื้นที่เกษตรกรรมและ

ทรัพยากรธรรมชาติมากกว่าจากทัศนที่เน้นความยั่งยืน การตระหนักรู้ในความขัดแย้งนี้เป็นจุดเริ่มต้นสำคัญในการพัฒนานโยบายที่สมดุลและยั่งยืน

ความเชื่อมโยงกับยุทธศาสตร์ชาติและนโยบายระดับประเทศ มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) โดยเฉพาะในด้านการพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพคน การพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพทางเศรษฐกิจ และการพัฒนาภูมิภาคและจัดการเมือง นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566-2570) ที่เน้นการพัฒนาอย่างยั่งยืนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง โดยเฉพาะในเรื่องของการสร้างสมดุลระหว่างการขยายตัวทางเศรษฐกิจกับการรักษาสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงทางอาหาร งานวิจัยนี้มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนหลายข้อ ได้แก่ SDG 2 (Zero Hunger) SDG 8 (Decent Work and Economic Growth) SDG 11 (Sustainable Cities and Communities) SDG 13 (Climate Action) และ SDG 15 (Life on Land) การวิเคราะห์ Trade-offs Matrix ที่รวมอยู่ในการประเมินจากทัศนสะท้อนให้เห็นถึงความพยายามในการบรรลุ SDGs หลายข้อพร้อมกัน โดยตระหนักถึงความขัดแย้งและความสัมพันธ์เชิงซับซ้อนระหว่างเป้าหมายต่าง ๆ

การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การคำนึงถึงความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งเป็นข้อค้นพบสำคัญที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ จากผลการศึกษา พบว่าปัจจัยเชิงพื้นที่ส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยมีลักษณะที่หลากหลาย เช่น distance decay effects ที่พบในตัวแปรระยะห่างจากถนนและศูนย์กลางเมือง threshold effects ที่ปรากฏชัดเจนในตัวแปรความลาดชันและระดับความสูง saturation effects ที่เกิดขึ้นกับความหนาแน่นประชากร และ interaction effects ที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างปัจจัยต่างๆ ความสัมพันธ์เหล่านี้ไม่สามารถจำลองได้ดีด้วยวิธีการทางสถิติ แบบดั้งเดิมที่สมมติความสัมพันธ์เชิงเส้น เช่น Linear Regression หรือ Logistic Regression ซึ่งอาจนำไปสู่การประมาณค่าที่ไม่แม่นยำและการทำนายที่คลาดเคลื่อนการใช้ Multi-Layer Perceptron Neural Network ช่วยให้เราสามารถจับความสัมพันธ์เหล่านี้ได้โดยอัตโนมัติ โดยไม่ต้องระบุรูปแบบความสัมพันธ์ไว้ล่วงหน้า ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบสำคัญเมื่อทำงานกับข้อมูลที่มีความซับซ้อนสูงและมีปัจจัยจำนวนมาก ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ทั้งหมด 29 ตัวแปร กระบวนการเรียนรู้แบบ data-driven ของ Neural Network ทำให้สามารถค้นพบรูปแบบที่ซับซ้อนและ interaction effects ระหว่างปัจจัยต่างๆ ได้ดีกว่าการกำหนดรูปแบบ

ไว้ล่วงหน้าด้วยความรู้ของผู้วิจัย อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของ Neural Network คือ ความยากในการตีความความสัมพันธ์ที่เรียนรู้ได้ ซึ่งเรียกว่า black-box nature ซึ่งอาจเป็นปัญหาหากงานวิจัยมีวัตถุประสงค์หลัก ในการทำความเข้าใจกลไกเชิงสาเหตุมากกว่าการทำนาย ในกรณีเช่นนั้น อาจพิจารณาใช้วิธีการที่ตีความได้ง่ายกว่า เช่น Generalized Additive Models (GAM) ซึ่งสามารถจำลอง non-linearity ได้พร้อมกับให้ความสามารถในการตีความที่ดีกว่า หรือใช้เทคนิค Explainable AI (XAI) เช่น SHAP (SHapley Additive exPlanations) และ LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) เพื่ออธิบายผลการทำนายของ Neural Network หรืออาจใช้ hybrid approach โดยใช้ Neural Network เพื่อการทำนายที่แม่นยำ และใช้ GAM เพื่ออธิบายความสัมพันธ์

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

พัฒนารอบการวางผังเมืองที่บูรณาการ จังหวัดควรจัดทำกรอบการวางผังเมืองที่บูรณาการระหว่างการพัฒนาเมืองและการรักษาพื้นที่เกษตรกรรม โดยกำหนดเขตพัฒนาเมืองที่ชัดเจน (Urban Growth Boundary) และเขตอนุรักษ์พื้นที่เกษตรกรรมที่มีศักยภาพสูง (Agricultural Protection Zone) อย่างเคร่งครัด สอดคล้องกับแนวคิด Smart Growth (Bengston et al., 2004)

ส่งเสริมการพัฒนาแบบ Compact City ควรมุ่งเน้นการพัฒนาแบบเพิ่มความหนาแน่น (Intensification) ในพื้นที่ศูนย์กลางเมืองมากกว่าการขยายพื้นที่ (Sprawl) โดยส่งเสริมการพัฒนาแบบ Mixed-use Development และการใช้ที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการพัฒนาขนส่งสาธารณะที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดการพึ่งพารถยนต์ส่วนบุคคล ตามหลักการ Transit-Oriented Development (TOD) ที่นำเสนอโดย Cervero and Kockelman (1997)

พัฒนาการเกษตรมูลค่าสูงและการท่องเที่ยวเชิงเกษตร ควรสนับสนุนการเกษตรมูลค่าสูง การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร และการท่องเที่ยวเชิงเกษตร (Agro-tourism) ในพื้นที่ชนบท เพื่อยกระดับรายได้ให้เกษตรกรโดยไม่จำเป็นต้องแปลงสภาพพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่เมือง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด Multifunctional Agriculture ของ Wilson (2007)

สร้างกลไกการมีส่วนร่วมของชุมชน ควรจัดทำกลไกการมีส่วนร่วมของชุมชนและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในกระบวนการวางแผนการใช้ที่ดินและการพัฒนา เพื่อให้การพัฒนาตอบสนองความต้องการและความคาดหวังของชุมชนท้องถิ่น รวมถึงสร้างความรู้สึกรับเป็นเจ้าของ (Ownership) ในการพัฒนา ตามหลักการ Participatory Planning ของ Healey (1997)

พัฒนาระบบฐานข้อมูลและการติดตามประเมินผล ควรจัดทำระบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศที่ทันสมัยและเป็นปัจจุบันสำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการกำหนดตัวชี้วัดสำหรับการติดตามและประเมินผลการพัฒนาตามฉากทัศน์ที่วางไว้ โดยใช้แนวทาง Holling (1978)

ส่งเสริมการอนุรักษ์และฟื้นฟูพื้นที่ป่าไม้ ควรดำเนินมาตรการเชิงรุกในการอนุรักษ์และฟื้นฟูพื้นที่ป่าไม้ อาทิ การบังคับใช้กฎหมายป่าไม้อย่างเข้มงวด การสนับสนุนการปลูกป่าชุมชน การจ่ายค่าตอบแทนบริการระบบนิเวศ (Payment for Ecosystem Services) และการสร้างแรงจูงใจในการอนุรักษ์ป่าสำหรับชุมชนท้องถิ่น ตามแนวทางของ Wunder (2007)

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

แม้ว่าการศึกษานี้จะใช้วิธีการที่เป็นระบบและมีความแม่นยำสูง แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณา ประการแรก ความละเอียดจุดภาพ 150×150 เมตร อาจไม่เพียงพอสำหรับการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็ก โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่เมืองที่มีความหนาแน่นสูง ประการที่สอง แบบจำลองไม่ได้รวมปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่งอาจส่งผลต่อการใช้ที่ดินในระยะยาว และประการที่สาม การจำลองฉากทัศน์ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่านโยบายและเงื่อนไขทางเศรษฐกิจจะคงที่ตลอดระยะเวลาการจำลอง สำหรับการศึกษาในอนาคต ควรพิจารณาการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงขึ้น การผสมผสานแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการพัฒนา Agent-Based Models เพื่อจำลองพฤติกรรมการตัดสินใจของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระดับจุลภาค นอกจากนี้ ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกับจังหวัดอื่นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีบริบทการพัฒนาที่แตกต่างกัน เพื่อทดสอบความสามารถในการถ่ายโอน (Transferability) ของแบบจำลอง

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของเมืองบุรีรัมย์ด้วยแบบจำลอง LCM ร่วมกับ MLP Neural Network พบว่าปัจจัยด้านการท่องเที่ยวและกีฬา มีอิทธิพลสูงสุดต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน สะท้อนถึงการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเศรษฐกิจจากภาคเกษตรกรรมสู่ภาคการท่องเที่ยวและบริการ การพัฒนาสนามกีฬาหลักได้สร้างรูปแบบการพัฒนาแบบ Polycentric Development โดยทำหน้าที่เป็น Sub-center ที่มีอิทธิพลต่อการแผ่ขยายของเมือง

การพัฒนาฉากทัศน์ทั้ง 4 ฉากทัศน์แสดงให้เห็นถึง Trade-offs ระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ฉากทัศน์การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนเป็นฉากทัศน์ที่มีความสมดุลมากที่สุด โดยสามารถรักษาสัดส่วนรวมของพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ไว้ได้สูงกว่าเกณฑ์ความยั่งยืน มีคะแนนความยั่งยืนสูงสุด (9.5/10) การศึกษานี้ให้ข้อมูลเชิงนโยบายที่สำคัญ

สำหรับการวางแผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์อย่างยั่งยืน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบูรณาการการพัฒนาเศรษฐกิจผ่านการท่องเที่ยวและกีฬาเข้ากับการรักษาฐานทรัพยากรธรรมชาติ



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

กรมการปกครอง. (2563). ข้อมูลสถิติประชากร.

https://stat.bora.dopa.go.th/new_stat/webPage/statByYear.php

กรมศิลปากร. (2563). ปราสาทหินสมยขอม. สำนักพิมพ์กรมศิลปากร.

กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. (2562). สถิตินักท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์. กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา.

กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. (2564). สนามกีฬาช้างอารีนา. กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2567). แหล่งท่องเที่ยวจังหวัดบุรีรัมย์.

<https://www.tourismthailand.org>

ฉัตรชัย พงษ์ประยูร. (2536). การตั้งถิ่นฐานมนุษย์ ทฤษฎี และแนวปฏิบัติ. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชูเดช โลศิริ. (2559). การวิเคราะห์และการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชูเดช โลศิริ. (2559). แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินกับการคาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคต. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 19, 340-357.

ปกรณ เมฆแสงสว. (2548). การประยุกต์ใช้ระบบภูมิสารสนเทศเพื่อการศึกษาผลกระทบจากการขยายตัวของเมือง ต่อปัญหาขยะในเขตอำเภอเมืองสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี [วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์].

สมพร สง่างศ์. (2554). ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน. ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมพร สง่างศ์. (2556). การประเมินผลกระทบจากการขยายตัวของเมืองที่มีต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมในแอ่งเชียงใหม่-ลำพูน (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2559). สรุปสาระสำคัญแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560-2564. สำนักนายกรัฐมนตรี.

สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์. (2559). แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ 4 ปี (พ.ศ. 2561-2565). สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์.

สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์. (2566). แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ (พ.ศ. 2566-2570). สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2565). สถิติประชากรประเทศไทย. สำนักงานสถิติแห่งชาติ.

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2564). *ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด*.

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.

สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดบุรีรัมย์. (2562). *ข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดบุรีรัมย์*.

สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดบุรีรัมย์.

สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2554). *โครงการศึกษาเพื่อกำหนดเป้าหมายและแนวทางการใช้ที่ดินที่สอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาประเทศ* (รายงานการวิจัย). สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง. (2565). *สถิติจำนวนประชากร*. กระทรวงมหาดไทย.

สุพรรณิ ทักษิณสัมพันธ์. (2547). *การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการวางแผนจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม บริเวณลุ่มน้ำโดยรอบเขตอุทยานแห่งชาติภูพาน จังหวัดสกลนคร* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์].

องค์การบริหารส่วนจังหวัดบุรีรัมย์. (2567). *ข้อมูลทั่วไปจังหวัดบุรีรัมย์*.

<https://www.buriram.go.th>

Abdi, A. M. (2020). Land cover and land use classification performance of machine learning algorithms in a boreal landscape using Sentinel-2 data. *GIScience & Remote Sensing*, 57(1), 1-20. <https://doi.org/10.1080/15481603.2019.1650447>

Aburas, M. M., Ho, Y. M., Ramli, M. F., & Ash'aari, Z. H. (2021). Improving the capability of an integrated CA-Markov model to simulate spatio-temporal urban growth trends using an Analytical Hierarchy Process and Frequency Ratio. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 59, 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.03.006>

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>

Agarwal, C., Green, G. M., Grove, M., Evans, T. P., & Schweik, C. (2002). *A Review and Assessment of Land-Use Change Models: Dynamics of Space, Time, and Human Choice*.

Aithal, B. H., & Ramachandra, T. V. (2020). Insights to urban growth dynamics through landscape spatial pattern analysis. *International Journal of Applied Earth*

Observation and Geoinformation, 88, 102065.

<https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102065>

Akber, M. A., & Shrestha, R. P. (2015). Modeling urban growth in Chiang Rai metropolitan area using SLEUTH urban growth model. 2015 Fourth International Conference on Agro-Geoinformatics,

Alcamo, J. (2006). Searching for the future of land: Scenarios from the local to global scale. 137-155.

Alcamo, J. (2008). Environmental Futures: The Practice of Environmental Scenario Analysis. *Developments in Integrated Environmental Assessment*, 2, 1-212.

[https://doi.org/10.1016/S1574-101X\(08\)00406-7](https://doi.org/10.1016/S1574-101X(08)00406-7)

Alcamo, J. (2008). Methodology for developing the MA scenarios (J. A. B. E. A. L. D. A. M. T. Alder, Trans.). In D. van Vuuren, *Environmental futures: The practice of environmental scenario analysis* (Vol. 2, 145-172). Elsevier.

Alonso, W. (1964). *Location and land use: Toward a general theory of land rent*. Harvard University Press.

Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., & Witmer, R. E. (1976). *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*.

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>

Arsanjani, J. J., Helbich, M., Kainz, W., & Boloorani, A. D. (2013). Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 265-275.

Asif, M., Kazmi, J. H., Tariq, A., Zhao, N., Guluzade, R., Soufan, W., Almutairi, K. F., Sabagh, A. E., & Aslam, M. (2025). Predicting land use and land cover changes for sustainable land management using CA-Markov modelling and GIS

- techniques. *Scientific Reports*, 15(1), 87796. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87796-w>
- Attah, R. U., Okon, U. E., & Umana, C. E. (2024). Integration of GIS and data analytics for data-driven decision-making in public sector governance and urban planning: A review. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, 12(2), 114-131. <https://doi.org/10.30574/msarr.2024.12.2.0191>
- Attarat, S., & Srivanit, M. (2019). Urban growth and land use/land cover change in Chiang Mai, Thailand. *Geographia Technica*, 14(2), 23-37.
- Axelrod, R., & Tesfatsion, L. (2006). Appendix A A Guide for Newcomers to Agent-Based Modeling in the Social Sciences. In L. Tesfatsion & K. L. Judd, *Handbook of Computational Economics* (Vol. 2, 1647-1659). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1574-0021\(05\)02044-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02044-7)
- Bajracharya, P. R. (2016). *Modeling urban growth and land use change in Albuquerque using SLEUTH* [University of New Mexico]. http://digitalrepository.unm.edu/geog_etds/26
- Basin, U. T. P. (2024, 2024/04/08). *Urban planning and GIS: Creating sustainable and smart cities*. University of Texas Permian Basin. <https://online.utpb.edu/about-us/articles/gis-geospatial/urban-planning-and-gis-creating-sustainable-and-smart-cities/>
- Batty, M. (1992). Urban modeling in computer-graphic and geographic information system environments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 19(6), 663-688.
- Batty, M. (2004). Dissecting the streams of planning history: Technology versus policy through models. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31, 326-330.
- Batty, M. (2007). *Cities and complexity: Understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. MIT Press.
- Batty, M. (2009). Urban modeling. In *International encyclopedia of human geography* (51-58). Elsevier.

- Batty, M., & Xie, Y. (1994). From cells to cities. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 21(7), S31-S48. <https://doi.org/10.1068/b21S031>
- 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>
- Benkhelif, A., Setti, M., Sehl, B., Djeddaoui, F., & Islam, N. (2024). Predicting urban growth and its impact on fragile environment using Land Change Modeler (LCM): a case study of Djelfa City, Algeria. *GeoJournal*, 89, 72. <https://doi.org/10.1007/s10708-024-11078-7>
- Beroho, M., Briak, H., Cherif, E. K., Boulahfa, I., Ouallali, A., Mrabet, R., Kebede, F., Bernardino, A., & Aboumaria, K. (2023). Future Scenarios of Land Use/Land Cover (LULC) Based on a CA-Markov Simulation Model: Case of a Mediterranean Watershed in Morocco. *Remote Sensing*, 15(4), 1162. <https://doi.org/10.3390/rs15041162>
- 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.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Briassoulis, H. (2000). *Analysis of land use change: Theoretical and modeling approaches*. University of Aegean.
- Brown, D. G., Band, L. E., Green, K. O., Irwin, E. G., Jain, A., Pontius Jr, R. G., & Verburg, P. H. (2013). *Advancing land change modeling: opportunities and research requirements*.
- Brown, D. G., Johnson, K. M., Loveland, T. R., & Theobald, D. M. (2014). Rural land-use trends in the conterminous United States, 1950--2000. *Ecological Applications*, 15(6), 1851-1863. <https://doi.org/10.1890/03-5220>

- Burgess, E. W. (1925). The growth of the city: An introduction to a research project. In *The city* (47-62). University of Chicago Press.
- Camacho Olmedo, M. T., Pontius Jr, R. G., Paegelow, M., & Mas, J. F. (2015). Comparison of simulation models in terms of quantity and allocation of land change. *Environmental Modelling & Software*, 69, 214-221.
- 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>
- Carter, H. (1995). *The study of urban geography* (4th.). Arnold.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.10.007>
- Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199-219. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6)
- Chang International Circuit, B. (2018). *Chang International Circuit*. <https://www.changcircuit.com>
- 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. <https://doi.org/10.3390/ijerph10083535>
- Chen, G., Li, X., Liu, X., Chen, Y., Liang, X., Leng, J., Xu, X., Liao, W., Wu, Q., & Huang, K. (2020). Global projections of future urban land expansion under shared socioeconomic pathways. *Nature Communications*, 11(1), 537. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14386-x>
- Chenery, H. B., & Syrquin, M. (1975). *Patterns of development, 1950-1970*. Oxford University Press.

- Clarke, K. C. (2008). A decade of cellular urban modeling with SLEUTH: Unresolved issues and problems. In *Planning Support Systems for Cities and Regions* (47-60).
- Clarke, K. C., Hoppen, S., & Gaydos, L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), 247-261.
<https://doi.org/10.1068/b240247>
- Cleexchange. (2016). *Introduction to System Dynamics Models*.
<https://www.youtube.com/watch?v=IenySRdkRu8>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices* (3rd.). CRC Press.
- 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>
- County Health, R., & Roadmaps. (2024). *Zoning regulation and land use policy reforms*.
<https://www.countyhealthrankings.org/strategies-and-solutions/what-works-for-health/strategies/zoning-regulation-and-land-use-policy-reforms>
- Cyberswift. (2024, 2024/12/13). *The power of GIS in urban planning: A comprehensive overview*. <https://www.cyberswift.com/blog/the-power-of-gis-in-urban-planning-a-comprehensive-overview/>
- de Oliveira Duarte, D., Zanetti, J., da Silva Carvalho, O., & de Carvalho Júnior, O. A. (2018). Maximum likelihood classification: An improved approach using Bayesian networks applied to remote sensing data. *Applied Geomatics*, 10(1), 41-52.
- Dezhkam, S., Jabbarian Amiri, B., Darvishsefat, A. A., & Sakieh, Y. (2013). 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/s10708-013-9515-3>
- Di Gregorio, A., & Jansen, L. J. M. (1998). *Land cover classification system (LCCS): Classification concepts and user manual*.
- Dietzel, C., & Clarke, K. C. (2007). Toward optimal calibration of the SLEUTH land use change model. *Transactions in GIS*, 11(1), 29-45. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2007.01031.x>
- dos Santos, W. P., Acuña-Guzman, S. F., de Oliveira, P. T. S., & Beniaich, A. (2024). CA-Markov prediction modeling for the assessment of land use/land cover change in two sub-basins of the Tocantins-Araguaia River Basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196, 499. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12673-4>
- Doyog, N. D., & Lin, C. (2025). Tourism-Induced Urbanization in Phuket Island, Thailand (1987-2024): A Spatiotemporal Analysis. *Urban Science*, 9(3), 55.
<https://doi.org/10.3390/urbansci9030055>
- Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva manual*. Clark Labs, Clark University.
- Eastman, J. R. (2020). *TerrSet 2020: Geospatial monitoring and modeling system manual*. Clark Labs, Clark University.
- Eastman, J. R., Solorzano, L. A., & Van Fossen, M. E. (2005). Transition potential modeling for land-cover change. In D. J. Maguire, M. Batty, & M. F. Goodchild, *GIS, spatial analysis, and modeling* (357-385). ESRI Press.
- Espey, J., Swanson, E., Badiiee, S., Christensen, Z., Fischer, A., Levy, M., & Yetman, G. (2024). Data for sustainable development: Measuring progress and ensuring inclusion. In *Global Sustainable Development Report 2024*. United Nations.
- Esri. (2025). *Mapping and analyzing property values with GIS*. <https://www.esri.com/en-us/industries/land-administration/strategies/value-analysis>
- Fulcrum. (2025, 2025/10/28). *Geospatial data solutions in modern urban planning*.
<https://www.fulcrumapp.com/blog/geospatial-data-solutions-in-modern-urban-planning/>

- Gashaw, T., Tulu, T., Argaw, M., Abeyou, W., Tolessa, T., & Kindu, M. (2021). Estimating the impacts of land use/land cover changes on Ecosystem Service Values: The case of the Andassa watershed in the Upper Blue Nile basin of Ethiopia. *Ecosystem Services*, 31, 219-228.
- Gaur, S., & Singh, R. (2023). A Comprehensive Review on Land Use/Land Cover (LULC) Change Modeling for Urban Development: Current Status and Future Prospects. *Sustainability*, 15(2), 903. <https://doi.org/10.3390/su15020903>
- Gibson, C. C., Ostrom, E., & Ahn, T. K. (2000). The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. *Ecological Economics*, 32(2), 217-239.
- Gollin, D., Lagakos, D., & Waugh, M. E. (2014). The agricultural productivity gap. *The Quarterly Journal of Economics*, 129(2), 939-993. <https://doi.org/10.1093/qje/qjt056>
- Goodarzi, M. R., Abedi-Koupai, J., Hosseinifard, 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. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2017.62423>
- Google Map. (2565). *Satellite Imagery*. <https://www.google.co.th/maps/place/%E0%B8%9A%E0%B8%B8%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%A1%E0%B8%A2%E0%B9%8C/@14.9638554,102.4082543,273511m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x311999c027a33247:0x10469cfc8de4970!8m2!3d14.9930017!4d103.1029191?hl=th>
- 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>
- Gössling, S., Scott, D., & Hall, C. M. (2012). Tourism and climate change: Impacts, adaptation and mitigation. *Tourism Management*, 33(4), 919-929. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2011.10.002>
- Habitat, U. N. (2023). *SDG indicator 11.3.1 monitoring guide*.

- Hägerstrand, T. (1967). *Innovation diffusion as a spatial process*. University of Chicago Press.
- Han, H., Yang, C., & Song, J. (2015). Scenario simulation and the prediction of land use and land cover change in Beijing, China. *Sustainability*, 7(4), 4260-4279. <https://doi.org/10.3390/su7044260>
- Harris, C. D., & Ullman, E. L. (1945). The nature of cities. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 242(1), 7-17. <https://doi.org/10.1177/000271624524200103>
- Hasan, M. A., Ahmed, S., & Rahman, M. (2023). The impact of urban spatial plan on land value: An approach system to relating space syntax premises to the land price [Article 7239]. *Sustainability*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/su15097239>
- Hassani, B., & Tavakkoli, M. (2007). A multi-objective structural optimization using optimality criteria and cellular automata. *ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BUILDING AND HOUSING)*, 8, 77-88.
- He, S., Su, Y., Wang, L., Gallagher, L., & Cheng, H. (2022). Urban expansion and biodiversity: Progress, problems, and prospects. *Environmental Development*, 42, 100677.
- Healey, P. (1997). *Collaborative planning: Shaping places in fragmented societies*. Macmillan Press.
- Holling, C. S. (1978). *Adaptive environmental assessment and management*. John Wiley & Sons.
- Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, 2(5), 359-366.
- Hoyt, H. (1939). *The structure and growth of residential neighborhoods in American cities*. Federal Housing Administration.
- 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>
- Ibrahim, I., Sa'ad, U., Yaro, H., Adebayo, O., Shittu, W., & Abdulazeez, S. (2024). Effect of Locational Attributes on Residential Property Value in Birnin Kebbi Town, Kebbi State Nigeria.
- Institute, U. S. C. S. S. (2024, 2024/11/18). *What is spatial data analysis?* University of Southern California. <https://gis.usc.edu/blog/what-is-spatial-data-analysis/>
- Intarat, K. (2022). Accuracy comparison of land use classification using machine learning algorithms. *Journal of Remote Sensing and GIS*, 15(2), 45-58.
- Intarat, K., & Sillaparat, W. (2019). Land use land cover change detection using remote sensing and GIS in Songkhla Lake Basin. *Burapha Science Journal*, 24(3), 1330-1345.
- Islam, K., Rahman, M. F., & Jashimuddin, M. (2018). Modeling land use change using cellular automata and artificial neural network: the case of Chunati Wildlife Sanctuary, Bangladesh. *Ecological Indicators*, 88, 439-453.
- Italy, G. (2015). Urban Model: Multiple Nuclei. <https://taylorgeoitalyisawesome.wordpress.com/2015/05/10/urban-model-multiple-nuclei>
- Jean-Paul, R. (2022). Cellular Automata Land Use Dynamics. <https://transportgeography.org/contents/chapter8/urban-land-use-transportation/cellular-automata-land-use>
- Kamusoko, C., Aniya, M., Adi, B., & Manjoro, M. (2009). Rural sustainability under threat in Zimbabwe—simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. *Applied Geography*, 29(3), 435-447.
- Khoi, D. D., & Murayama, Y. (2010). Forecasting areas vulnerable to forest conversion in the Tam Dao National Park region, Vietnam. *Remote Sensing*, 2(5), 1249-1272.

- Kim, D. (2012). *Modelling urban growth: Towards an agent based microeconomic approach to urban dynamics and spatial policy simulation* [Doctoral dissertation, University College London]. London.
- Kok, K., Rothman, D. S., & Patel, M. (2007). Multi-scale narratives from an IA perspective: Part I. European and Mediterranean scenario development. *Futures*, 39(2-3), 261-284.
- Kritchayan, I. (2022). Accuracy comparison of land use classification using machine learning algorithms. *Journal of Remote Sensing and GIS*, 15(2), 45-58.
- 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. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205-241.
- Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2010). Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy*, 27(2), 108-118.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.003>
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., & Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261-269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lee, C. M., Jeon, S. W., & Cha, M. S. (2018). Modeling and mapping urban growth patterns in a developing country and its applications. *Journal of Environmental Management*, 231, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.024>
- Leta, M. K., Demissie, T. A., & Tränckner, J. (2021). Modeling and prediction of land use land cover change dynamics based on land change modeler (LCM) in Nashe

- Watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Sustainability*, 13(7), 3740.
<https://doi.org/10.3390/su13073740>
- Li, C. (2024). Multi-scenario simulation of ecosystem service value for optimization of land use in the Sichuan-Yunnan ecological barrier, China. *Ecological Indicators*, 132, Article 108328.
- Li, X., & Yeh, A. G. O. (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(4), 323-343.
- Li, X., Zhou, Y., Zhao, M., & Zhao, X. (2019). A harmonized global nighttime light dataset 1992--2018. *Scientific Data*, 7(1), 168. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0510-y>
- Lichter, M., & Falk, I. (2022). Land value dynamics and the spatial evolution of cities following COVID 19 using big data analytics. *The Annals of Regional Science*, 69, 469-493. <https://doi.org/10.1007/s00168-022-01153-7>
- 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(3), 623-634.
<https://doi.org/10.1007/s00254-007-0677-y>
- Liu, X., & Feng, J. (2016). Analyzing urban growth scenarios through spatial metrics: A case study in Ningbo, China. *Habitat International*, 53, 135-147.
<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.11.010>
- Liu, Y. (2008). *Modelling urban development with geographical information systems and cellular automata*. CRC Press.
- 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.
- Losiri, C., Nagai, M., Ninsawat, S., & Shrestha, R. P. (2016). Modeling urban expansion in Bangkok metropolitan region using demographic–economic data through

- cellular automata-Markov chain and multi-layer perceptron-Markov chain models. *Sustainability*, 8(7), 686.
- 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), 1242. <https://doi.org/10.3390/su8121242>
- MacDonald, J. M., Anderson, J. M., & Bluthenthal, R. (2024). Does urban development influence crime? Evidence from Philadelphia's new zoning regulations [Article 103459]. *Journal of Urban Economics*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2024.103459>
- Macintyre, P., van Niekerk, A., & Mucina, L. (2020). Efficacy of multi-season Sentinel-2 imagery for compositional vegetation classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 85, 101980.
- Maithani, S. (2011). Neural networks-based simulation of land cover scenarios in Dehradun city using remote sensing and GIS. *Journal of Earth System Science*, 119(3), 381-392. <https://doi.org/10.1007/s12040-010-0029-8>
- Majnouni-Toutakhane, A. (2020). Comparison of machine learning algorithms for land cover mapping. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100301.
- Mapscaping. (2024, 2024/10/13). *GIS for urban planning*. <https://mapscaping.com/gis-for-urban-planning/>
- Mas, J. F., & Flores, J. J. (2008). The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 29(3), 617-663.
- Mas, J. F., Kolb, M., Paegelow, M., Camacho Olmedo, M. T., & Houet, T. (2014). Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software*, 51, 94-111.
- Mas, J. F., Puig, H., Palacio, J. L., & Sosa-López, A. (2004). Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks. *Environmental Modelling & Software*, 19(5), 461-471. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00161-0](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00161-0)

- Matthews, R. B., Gilbert, N. G., Roach, A., Polhill, J. G., & Gotts, N. M. (2007). Agent-based land-use models: A review of applications. *Landscape Ecology*, 22(10), 1447-1459. <https://doi.org/10.1007/s10980-007-9135-1>
- Mazzia, V., Khaliq, A., & Chiaberge, M. (2020). Improvement in land cover and crop classification based on temporal features learning from Sentinel-2 data using recurrent-Convolutional Neural Network (R-CNN). *Applied Sciences*, 10(1), 238.
- McDonald, R. I., Güneralp, B., Huang, C. W., Seto, K. C., & You, M. (2022). Conservation priorities to protect vertebrate endemics from global urban expansion. *Biological Conservation*, 224, 290-299.
- McManamay, R. A. (2024). US cities can manage national hydrology and biodiversity using local infrastructure policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(36), 9581-9586.
- Megahed, Y., Cabral, P., Silva, J., & Caetano, M. (2015). Land cover mapping analysis and urban growth modelling using remote sensing techniques in greater Cairo region—Egypt. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(3), 1750-1769.
- Memarian, H., Balasundram, S. K., Talib, J. B., Sung, C. T. B., Sood, A. M., & Abbaspour, K. (2012). Validation of CA-Markov for simulation of land use and cover change in the Langat Basin, Malaysia. *Journal of Geographic Information System*, 4(6), 542-554.
- Mimis, A., Rovolis, A., & Stamou, M. (2024). A comprehensive overview regarding the impact of GIS on property valuation [Article 175]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/ijgi13060175>
- Mishra, V. N., Rai, P. K., & Mohan, K. (2014). Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: A case study of Muzaffarpur (Bihar), India. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA*, 64(1), 111-127. <https://doi.org/10.2298/IJGI1401111M>
- Mondal, S., Sharma, N., Kappas, M., & Garg, P. K. (2024). Integrated use of the CA-Markov model and the Trends.Earth module to enhance the assessment of land

- cover degradation. *Environmental Systems Research*, 13, 25.
<https://doi.org/10.1186/s40068-024-00355-6>
- Mostofa, T. M., & Nazem, N. I. (2024). Predicting urban tomorrow: CA-Markov modeling and district evolution. *Earth Science Informatics*, 17, 1340.
<https://doi.org/10.1007/s12145-024-01340-4>
- Müller, D., & Munroe, D. K. (2014). Current and future challenges in land-use science. *Journal of Land Use Science*, 9(2), 133-142.
- Munshi, T., Zuidgeest, M., Brussel, M., & van Maarseveen, 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>
- Ozturk, D. (2015). Urban growth simulation of Atakum (Samsun, Turkey) using cellular automata-Markov chain and multi-layer perceptron-Markov chain models. *Remote Sensing*, 7(5), 5918-5950.
- 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., . . . Tetzlaff, J. M. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.
<https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Park, R. E., Burgess, E. W., & McKenzie, R. D. (1925). *The city*. University of Chicago Press.
- Parker, D. C., Manson, S. M., Janssen, M. A., Hoffmann, M. J., & Deadman, P. (2003). Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review. *Annals of the Association of American Geographers*, 93(2), 314-337.
<https://doi.org/10.1111/1467-8306.9302004>
- Patel, D. P., & Ramesh, A. (2023). Land use and land cover change detection in Kanhar River Basin, Uttar Pradesh, India using remote sensing and GIS techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(5), 562.

- Peng, J., Zhao, S., Liu, Y., & Tian, L. (2015). Identifying the urban-rural fringe using wavelet transform and kernel density estimation: A case study in Beijing City, China. *Environmental Modelling & Software*, 83, 286-302.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.06.007>
- Piedelobo, L., Taramelli, A., Schiavon, E., Valentini, E., Molina, J. L., Nguyen Xuan, A., & González-Aguilera, D. (2019). Assessment of green infrastructure in Riparian zones using copernicus programme. *Remote Sensing*, 11(24), 2967.
- 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., Tayyebi, A., Doucette, J., Pekin, B. K., Braun, D., & Plourde, J. (2014). A big data urban growth simulation at a national scale: Configuring the GIS and neural network based land transformation model to run in a high performance computing (HPC) environment. *Environmental Modelling & Software*, 51, 250-268.
- Pontius, R. G., Jr. (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>
- Pontius, R. G., Jr., & Malanson, J. (2005). Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2), 243-265. <https://doi.org/10.1080/13658810410001713434>
- 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., & Schneider, L. C. (2001). Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture*,

Ecosystems & Environment, 85(1-3), 239-248. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00187-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00187-6)

Pourmohammadi, P., Adiban, M., Strager, M. P., & Ashrafzadeh, A. (2020). A scenario-based approach for assessing the hydrological impacts of land use and climate change in the Marboreh watershed, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(7), 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08435-6>

Pradhan, P. (2017). Antagonists of urban growth and development: A review. *Environment and Urbanization ASIA*, 8(1), 1-22.

<https://doi.org/10.1177/0975425316683862>

Reed, M. S., Kenter, J., Bonn, A., Broad, K., Burt, T. P., Fazey, I. R., Fraser, E. D. G., Hubacek, K., Nainggolan, D., Quinn, C. H., Stringer, L. C., & Ravera, F. (2013). Participatory scenario development for environmental management: A methodological framework illustrated with experience from the UK uplands. *Journal of Environmental Management*, 128, 345-362.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.016>

Richards, G., & Palmer, R. (2010). *Eventful cities: Cultural management and urban revitalisation*. Routledge.

Richards, J. A. (2013). *Remote sensing digital image analysis: An introduction* (5th.). Springer.

Rienow, A., & Goetzke, R. (2015). Supporting SLEUTH–Enhancing a cellular automaton with support vector machines for urban growth modeling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 49, 66-81.

Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Haack, B. N., Rijal, S., & Zhang, P. (2018). Land use/land cover dynamics and modeling of urban land expansion by the integration of cellular automata and Markov chain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(4), 154. <https://doi.org/10.3390/ijgi7040154>

Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Wang, N., & Lin, Y. (2019). Monitoring and modeling of spatiotemporal urban expansion and land-use/land-cover change using

- integrated Markov chain cellular automata model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(9), Article 288.
- Rodrigue, J.-P. (2024). Urban land use and transportation. In *The geography of transport systems* (6th.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003343196>
- Rodrigue, J. P., Comtois, C., & Slack, B. (2020). *The geography of transport systems* (5th.). Routledge.
- Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., & Rigol-Sanchez, J. P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93-104.
- Rotmans, J., van Asselt, M., Anastasi, C., Greeuw, S., Mellors, J., Peters, S., Rothman, D., & Rijkens, N. (2000). Visions for a sustainable Europe. *Futures*, 32(9-10), 809-831.
- Rounsevell, M. D. A., Pedrolí, B., Erb, K.-H., Gramberger, M., Busck, A. G., Haberl, H., Kristensen, S., Kuemmerle, T., Lavorel, S., Lindner, M., Lotze-Campen, H., Metzger, M. J., Murray-Rust, D., Popp, A., Pérez-Soba, M., Reenberg, A., Vadineanu, A., Verburg, P. H., & Wolfslehner, B. (2012). Challenges for land system science. *Land Use Policy*, 29(4), 899-910. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.01.007>
- Rui, Y. (2013). *Urban growth modeling based on land-use changes and road network expansion* [KTH Royal Institute of Technology].
- Sakieh, Y., Amiri, B. J., Danekar, A., Feghhi, J., & Dezhkam, S. (2015). Scenario-based evaluation of urban development sustainability under climate change: A case study in Karaj metropolitan area, Iran. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(12), 14464-14489. <https://doi.org/10.3390/ijerph121114464>
- 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), 1285. <https://doi.org/10.3390/su9081285>

- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., & Yun, W. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3-4), 938-943.
- Santé, I., García, A. M., Miranda, D., & Crecente, R. (2010). Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, 96(2), 108-122.
- Scholl, T., & Brenner, T. (2021). Geo-spatial analysis of population density and annual income to identify large-scale socio-demographic disparities [Article 432]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(7).
<https://doi.org/10.3390/ijgi10070432>
- 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., 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., 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., Parnell, S., & Elmqvist, T. (2013). A global outlook on urbanization. In *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities* (1-12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_1
- Shafizadeh Moghadam, H., & Helbich, M. (2013). Spatiotemporal urbanization processes in the megacity of Mumbai, India: A Markov chains-cellular automata urban growth model. *Applied Geography*, 40, 140-149.

- Shahbaz, P., Boz, I., & Ul Haq, S. (2020). Adaptation strategies to climate change and their impacts on household food security in southern China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(16), 19427-19439.
- Shakya, B., Bhandari, S., Pandey, V. P., & Shrestha, S. (2024). Machine learning and GIS based simulation of urban expansion for sustainable planning in Chaurjahari of Nepal. *Discover Cities*, 2, 107. <https://doi.org/10.1007/s44327-025-00107-w>
- Shimizu, K., Murakami, W., Furuichi, T., & Estoque, R. C. (2023). Mapping land use and land cover changes in Vietnam using Landsat time-series data. *Sustainability*, 15(8), 6565.
- 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>
- Siddiqui, A., Siddiqui, A., Maithani, S., Jha, A. K., Kumar, P., & Srivastav, S. K. (2018). Urban growth dynamics of an Indian metropolitan using CA-Markov and logistic regression. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(3), 229-236.
- Silva, E., & Wu, N. (2012). Surveying models in urban land studies. *Journal of Planning Literature*, 27(2), 139-152.
- Simeone, O., & Gravagnuolo, A. (2024). Market-oriented real estate valuation using GIS and machine learning [Article 1582]. *Sustainability*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/su16041582>
- Subedi, P., Subedi, K., & Thapa, B. (2013). Application of a hybrid cellular automaton–Markov (CA-Markov) model in land-use change prediction: a case study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 1(6), 126-132.

- Sujarwo, M., Hakim, F., & Indarto, I. (2023). Monitoring land use and land cover change in Mayang Watershed, East Java using Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 20(1), 45-58.
- Swart, R. J., Raskin, P., & Robinson, J. (2004). The problem of the future: Sustainability science and scenario analysis. *Global Environmental Change*, 14(2), 137-146.
- Tariq, A., Shu, H., Siddiqui, S., Mousa, B. G., Munir, I., Nasri, A., Waqas, H., Lu, L., & Baqa, M. F. (2023). Modelling of land use and land cover changes and prediction using CA-Markov and Random Forest. *Geocarto International*, 38(1), 2210532. <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2210532>
- Tayyebi, A., & Pijanowski, B. C. (2014). Modeling multiple land use changes using ANN, CART and MARS: Comparing tradeoffs in goodness of fit and explanatory power of data mining tools. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28, 102-116.
- Thaipublica. (2564). ปรับทิศสู่การท่องเที่ยวเมืองรองในประเทศ. <https://thaipublica.org/2021/12/tceb-mice-be-in-buriram-campaign>
- thestorythailand. (2022). บุรีรัมย์ เมืองท่องเที่ยวเชิงกีฬา. <https://www.thestorythailand.com>
- Transportation, U. S. D. o. (2025). *Land use as a strategy for transportation, housing, and the environment*. <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2025-01/Land%20Use%20as%20a%20Strategy.pdf>
- Turner, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20666-20671. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104>
- Turner, B. L., Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L., & Leemans, R. (1995). Land-use and land-cover change: science/research plan. 7, 108-123.
- Undp. (2023). *Sustainable cities and communities*.
- United, N. (2012). *World urbanization prospects: The 2011 revision*.
- United, N. (2018). *World urbanization prospects: The 2018 revision*.

- URBAN DESIGN. (2022). *Urban theory*. https://urbandesignlab.in/understanding-the-concentric-zone-model/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=understanding-the-concentric-zone-model.
- van Vliet, J., Eitelberg, D. A., & Verburg, P. H. (2019). A global analysis of land take in cropland areas and production displacement from urbanization. *Global Environmental Change*, 43, 107-115.
- 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 understanding of land system change. *Global Environmental Change*, 47, 107-115.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.08.002>
- Verburg, P. H., Schot, P. P., Dijst, M. J., & Veldkamp, A. (2004). Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*, 61(4), 309-324.
- Verburg, P. H., Schulp, C. J. E., Witte, N., & Veldkamp, A. (2006). Downscaling of land use change scenarios to assess the dynamics of European landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(1), 39-56.
- Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., & Mastura, S. (2002). Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. *Environmental Management*, 30(3), 391-405.
- 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>
- Wahyudi, A., & Liu, Y. (2013). Cellular automata for urban growth modeling: a chronological review on transition rules. Proceedings of CUPUM 2013: 13th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management-Planning Support Systems for Sustainable Urban Development,

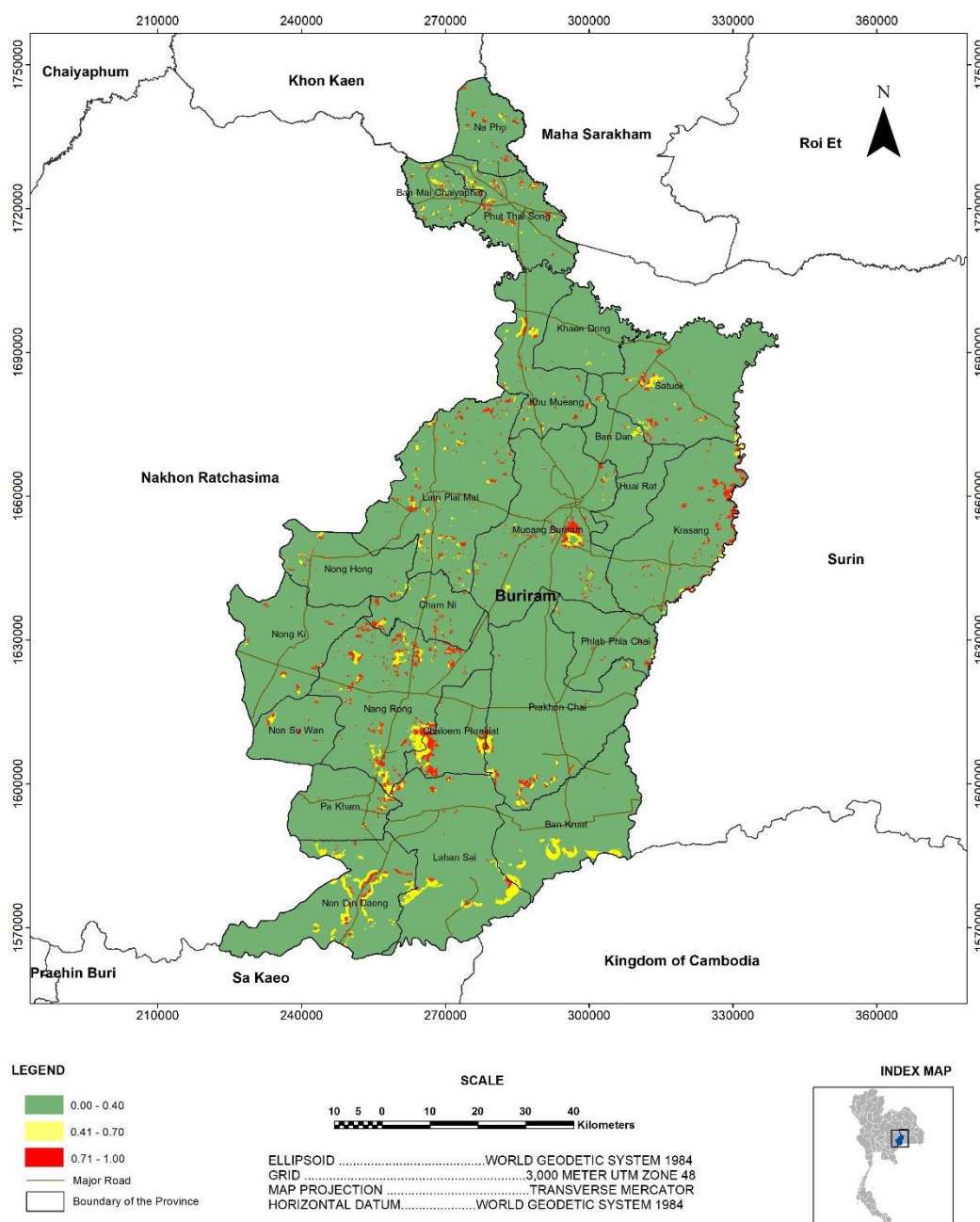
- Wang, J., Chen, Y., Shao, X., Zhang, Y., & Cao, Y. (2016). Land-use changes and policy dimension driving forces in China: Present, trend and future. *Land Use Policy*, 29(4), 737-749.
- White, R., & Engelen, G. (1993). Cellular automata and fractal urban form: A cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A*, 25(8), 1175-1199. <https://doi.org/10.1068/a251175>
- Wilson, G. A. (2007). *Multifunctional agriculture: A transition theory perspective*. CABI.
- World, B. (2024). *Thailand Economic Monitor: Unlocking the Growth Potential of Secondary Cities*.
<https://www.worldbank.org/en/country/thailand/publication/temjuly2024>
- WorldPop. (2025). *Open spatial demographic data and research*. University of Southampton. <https://www.worldpop.org/>
- Wu, F., Zhang, L., & Chen, M. (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, 410198.
<https://doi.org/10.1155/2015/410198>
- Wu, S., Li, X., Zhang, Y., Wang, J., & Liu, H. (2024). Scenario Simulation of Urban Land Use and Ecosystem Service Coupling Major Function-Oriented Zoning. *Ecosystem Health and Sustainability*, 10, 0078.
<https://doi.org/10.34133/ehs.0078>
- Wunder, S. (2007). The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. *Conservation Biology*, 21(1), 48-58. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00559.x>
- 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>
- Xie, L., Zhang, Y., & Wang, J. (2024). Research progress of the impacts of comprehensive transportation network on territorial spatial development and protection [Article 479]. *Land*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/land13040479>

- Zhang, L., Wang, H., & Li, Y. (2024). The spatio-temporal development and influencing factors of urban residential land prices in Hebei Province, China [Article 1234]. *Land*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/land13081234>
- Zhao, X., Liu, J., & Bu, Y. (2024). Investigating the impact of urban land expansion on ecosystem services and human wellbeing. *Environmental Impact Assessment Review*, 95, 106987.
- 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(4), 372-384. <https://doi.org/10.3832/ifor1151-007>
- Zhou, L., Dang, X., Sun, Q., & Wang, S. (2022). Multi-scenario simulation of urban land change in Shanghai by random forest and CA-Markov model. *Sustainable Cities and Society*, 55, Article 102045.
- กรมการปกครอง. (2563). ข้อมูลสถิติประชากร. Retrieved 10 เมษายน from https://stat.bora.dopa.go.th/new_stat/webPage/statByYear.php
- กรมศิลปากร. (2563). ปราสาทหินสมัขอม. สำนักพิมพ์กรมศิลปากร. <https://www.finearts.go.th/phanomrunghistoricalpark/view/28205-%E0%B8%A0%E0%B8%B9%E0%B9%80%E0%B8%82%E0%B8%B2%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9E%E0%B8%99%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B9%89%E0%B8%87>
- กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. (2562). สถิตินักท่องเที่ยวจังหว้ดบุรีรัมย์.
- กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. (2564). สนามกีฬาช้างอารีนา.
- การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2567). แหล่งท่องเที่ยวจังหว้ดบุรีรัมย์. <https://www.tourismthailand.org>
- ฉัตรชัย พงศ์ประยูร. (2536). การตั้งถิ่นฐานมนุษย์ ทฤษฎี และแนวปฏิบัติ. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชูเดช โลศิริ. (2559). การวิเคราะห์และการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

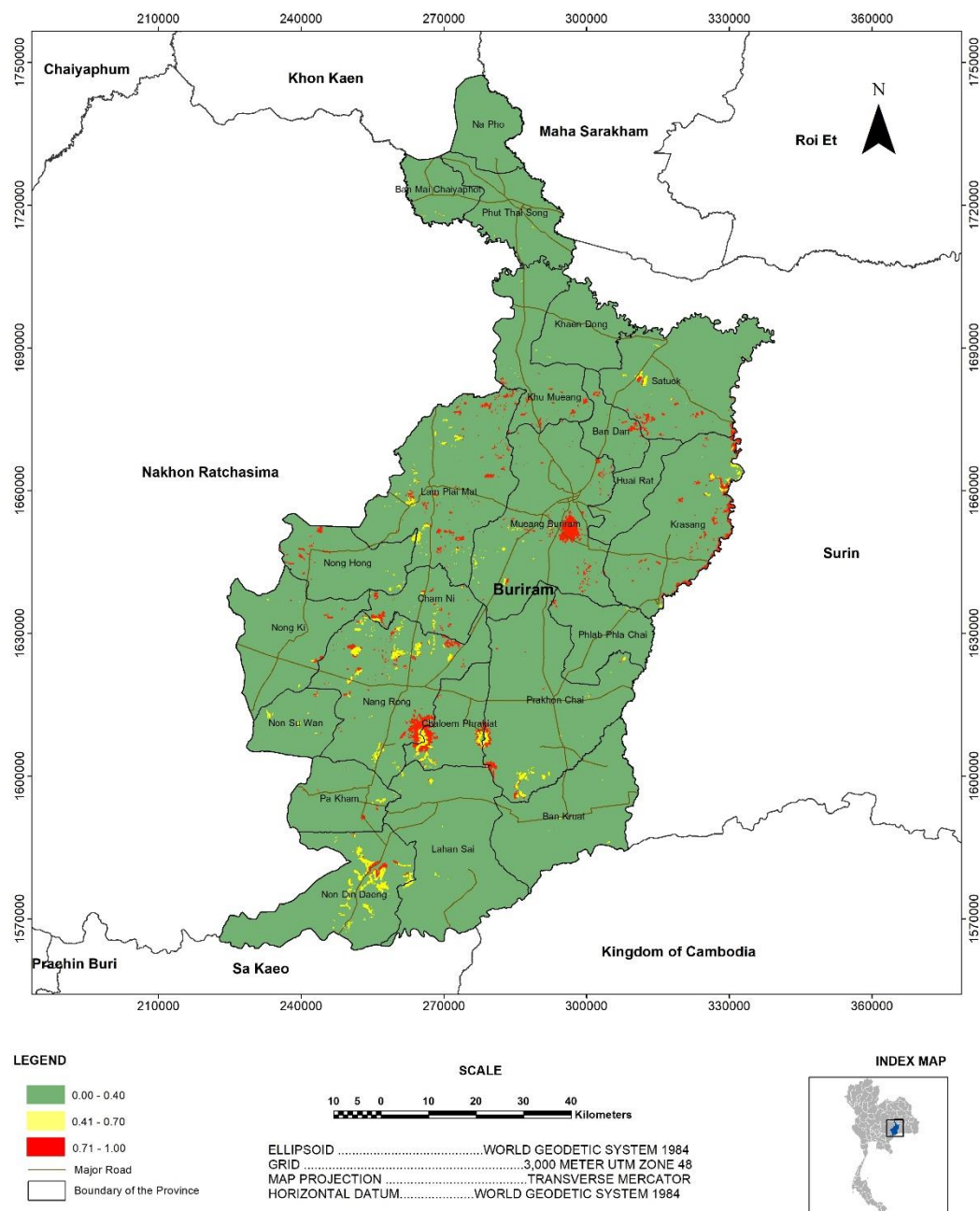
- ชูเดช โลศิริ. (2599). แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินกับการคาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคต. วารสาร สังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ, 19, 340-357.
- ปกรณ เมฆแสงสว. (2548). การประยุกต์ใช้ระบบภูมิสารสนเทศเพื่อการศึกษาผลกระทบจากการขยายตัวของเมือง ต่อปัญหาขยะในเขตอำเภอเมืองสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์].
- สง่าวงศ์, ส. (2556). การประเมินผลกระทบจากการขยายตัวของเมืองที่มีต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมในแอ่งเชียงใหม่-ลำพูน.
- สมพร สง่าวงศ์. (2554). ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน. ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2559). สรุปสาระสำคัญแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560-2564. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี.
- สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์. (2559a). แผนพัฒนาจังหวัด 4 ปี (ปี พ.ศ.2561-2565) จังหวัดบุรีรัมย์ <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:D7IC-pB2kz8J:www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER4/DRAWER078/GENERAL/DATA0000/00000026.PDF+&cd=3&hl=th&ct=clnk&gl=th>
- สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์. (2559b). แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ 4 ปี (พ.ศ. 2561-2565).
- สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์. (2566). แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ พ.ศ. 2566-2570.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2565). สถิติประชากรประเทศไทย.
- สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2564). ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด.
- สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดบุรีรัมย์. (2562). ข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดบุรีรัมย์.
- สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2554). โครงการศึกษาเพื่อกำหนดเป้าหมายและแนวทางการใช้ที่ดินที่สอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาประเทศ.
- สำนักบริหารการทะเบียน, ก. (2565). สถิติจำนวนประชากร.
- องค์การบริหารส่วนจังหวัดบุรีรัมย์. (2567). ข้อมูลทั่วไปจังหวัดบุรีรัมย์. <https://www.buriram.go.th>

ภาคผนวก ก
แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลง

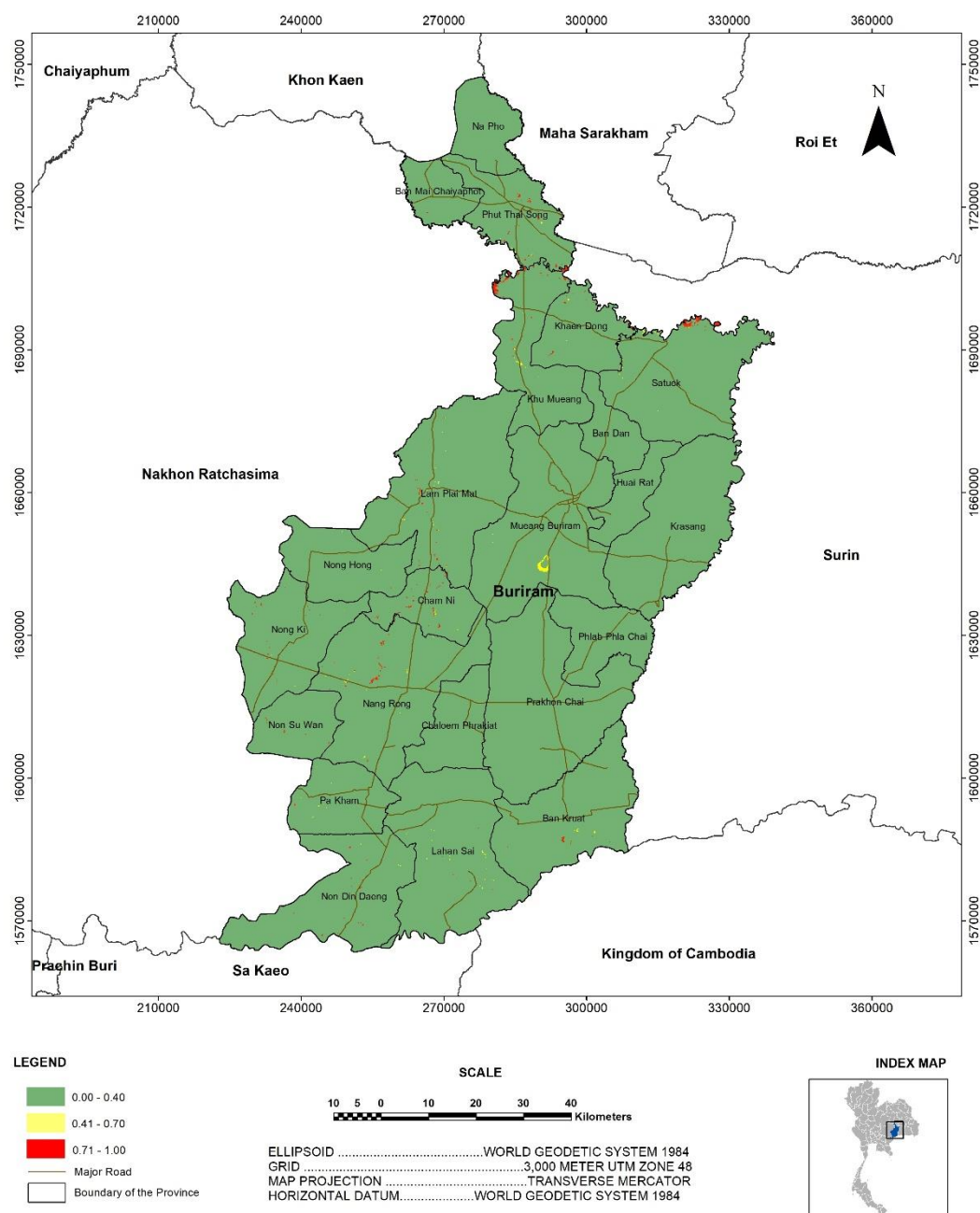




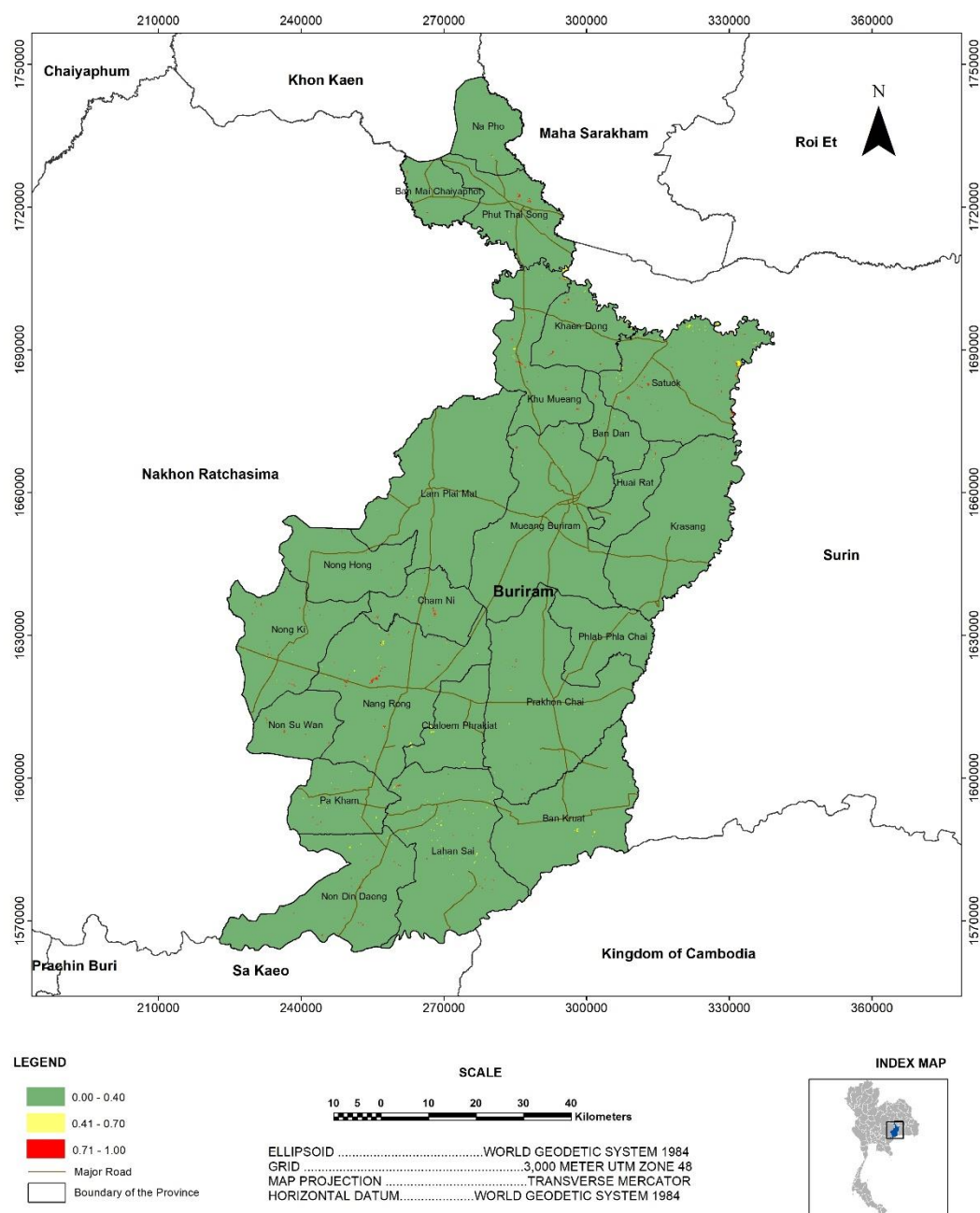
แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นเกษตรกรรม



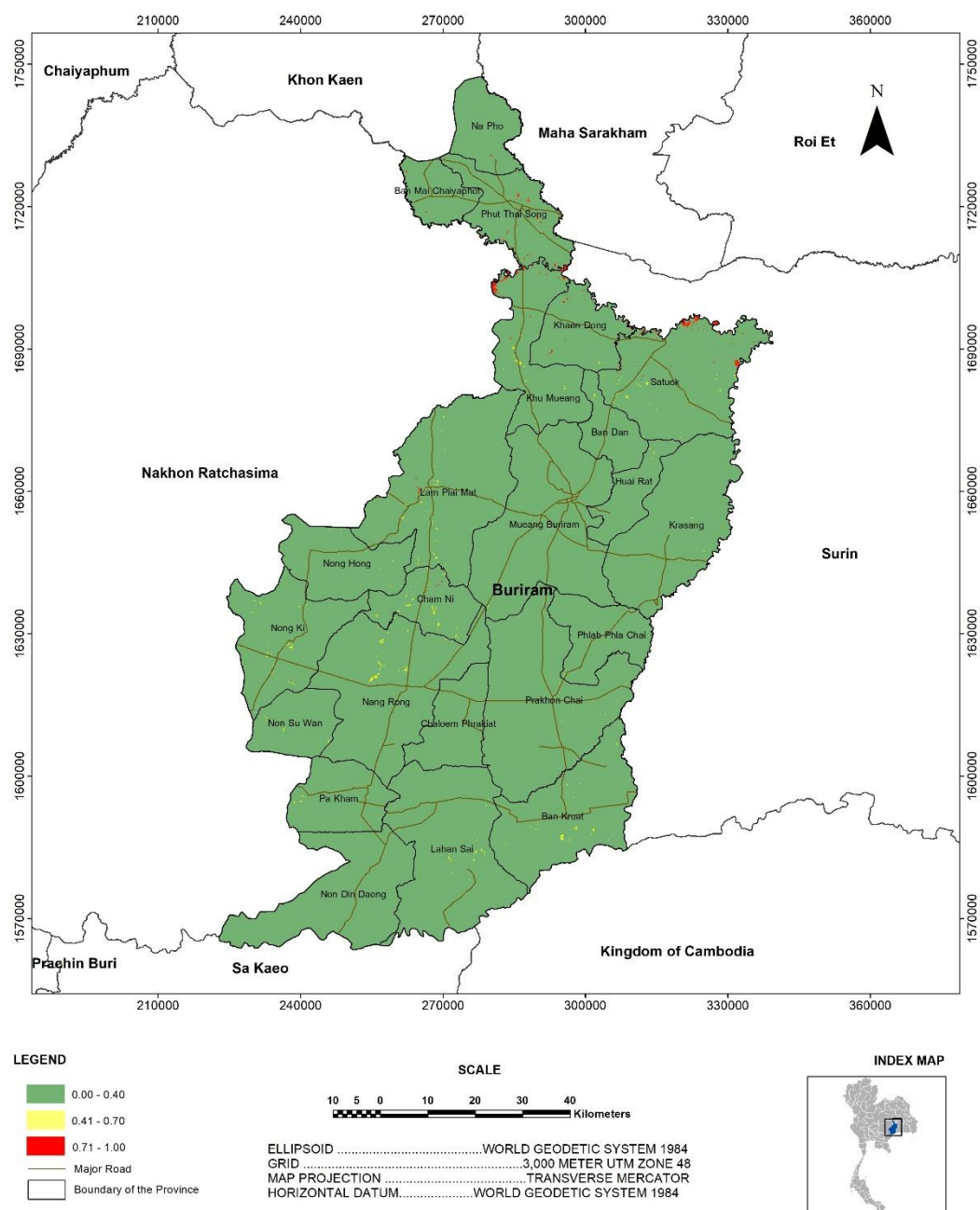
แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่แหล่งน้ำ



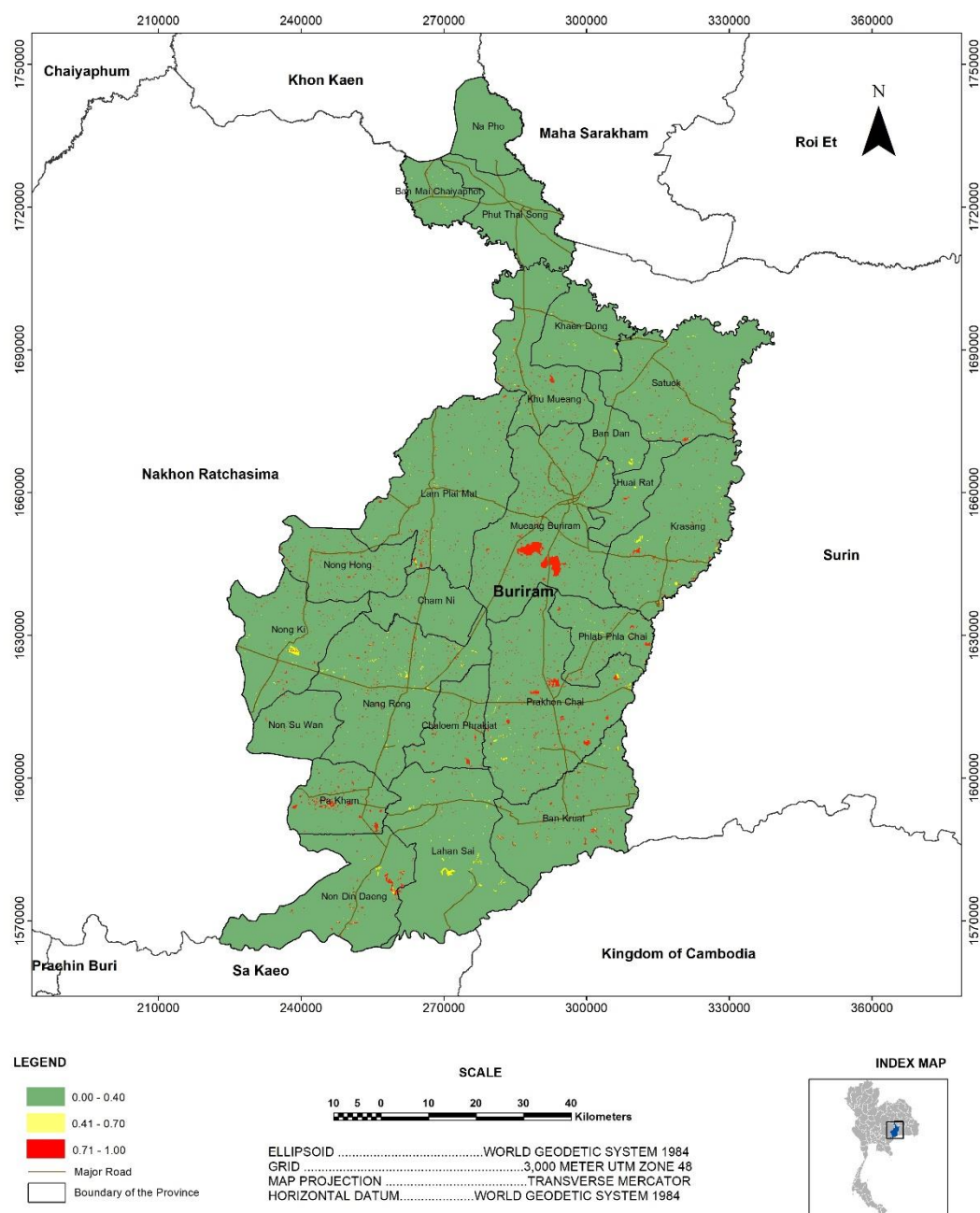
แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นเกษตรกรรม



แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นป่าไม้



แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นแหล่งน้ำ



แผนที่ศักยภาพการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่แหล่งน้ำเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

ณัฐวุฒิ ทะนันไธสง

