แบบจำลองการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในจังหวัดเชียงราย

วันณัชชา เทพวงศ์

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาภูมิสารสนเทศประยุกต์
ธันวาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

แบบจำลองการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในจังหวัดเชียงราย

วันณัชชา เทพวงศ์

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาภูมิสารสนเทศประยุกต์
ธันวาคม 2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

OPTIMUM PREDICTIVE MODEL FOR LAND USE AND LAND COVER CHANGE PREDICTION IN CHIANG RAI PROVINCE

WANNUTCHA THEPWONG

A Thesis Submitted to University of Phayao
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Master of Science Degree in Applied Geoinformatics
December 2022
Copyright 2022 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์
เรื่อง
แบบจำลองการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในจังหวัดเชียงราย

ของ วันณัชชา เทพวงค์

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศประยุกต์
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

.... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานัส ศรีวณิช)

.... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิติ เอี่ยมชื่น)

.... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นครินทร์ ชัยแก้ว)

.... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญศิริ สุขพร้อมสรรพ์)

.... คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรเทพ โรจนวสุ)

เรื่อง: แบบจำลองการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในจังหวัดเชียงราย
ผู้วิจัย: วันณัชชา เทพวงศ์, วิทยานิพนธ์: วท.ม.(ภูมิสารสนเทศประยุกต์), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2565
อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิติ เอี่ยมชื่น
คำสำคัญ: การใช้ที่ดิน, แบบจำลอง CA-Markov, แบบจำลอง CLUMondo, แบบจำลอง GEOSOS-Flus

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านภูมิศาสตร์ที่มีผลต่อการใช้ที่ดิน และเปรียบเทียบแบบจำลองในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo แบบจำลอง GEOSOS-Flus บริเวณพื้นที่จังหวัดเชียงราย ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 โดยจำแนกรูปแบบการใช้ที่ดินออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ พื้นที่นาข้าว พื้นที่ทุ่งหญ้า พื้นที่ไม้ยืนต้น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ

ผลการศึกษาพบว่า การปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ได้แก่ พื้นที่ไม้ยืนต้น พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ ส่วนพื้นที่ที่มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องทุกปี ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ ส่วนพื้นที่นาข้าว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2548 และพ.ศ. 2561 และมีแนวโน้มลดลงในปี พ.ศ. 2553 พ.ศ. 2558-พ.ศ. 2563 และพื้นที่ทุ่งหญ้า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2553 พ.ศ. 2561-พ.ศ. 2563 และมีแนวโน้มลดลงในปี พ.ศ. 2548 พ.ศ. 2558-พ.ศ. 2560 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านภูมิศาสตร์ที่มีผลต่อการใช้ที่ดิน พบว่า การใช้ที่ดินทั้ง 7 ประเภทมีความสัมพันธ์กับปัจจัยแทบทั้งหมด มีเพียงปัจจัยปริมาณน้ำฝน ที่ไม่สัมพันธ์กับการใช้ที่ดินประเภททุ่งหญ้าปี พ.ศ. 2559 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ มีเพียงปัจจัยปริมาณน้ำฝน เส้นทางน้ำ แหล่งการค้าชายแดน ความสูงเชิงเลข และหมู่บ้านที่สัมพันธ์กับการใช้ที่ดินประเภทเบ็ดเตล็ด/อื่นๆทุกปี และเปรียบเทียบแบบจำลองในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน พบว่า การคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น (ทุก 1 ปี 1 ช่วง) การคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง (ทุก 5 ปี 5 ช่วง) และการคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว (ทุก 10 ปี 10 ช่วง) มีค่าความถูกต้องเชิงพื้นที่ตั้งแต่ 80.47-90.23, 82.03- 88.28 และ 81.64-83.20 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 74.74-86.71, 74.84-84.84 และ 76.44-78.21 ตามลำดับ

Title: OPTIMUM PREDICTIVE MODEL FOR LAND USE AND LAND COVER CHANGE PREDICTION IN CHIANG RAI PROVINCE

Author: Wannutcha Thepwong, Thesis: M.Sc. (Applied Geoinformatics), University of Phayao, 2022

Advisor: Assistant Professor Niti Iamcheun , Ph.D.

Keywords: land use, CA-Markov model, CLUMondo model, GEOSOS-Flus

ABSTRACT

The purposes of this research were to study the land use change, the relationship between geographical factors affecting land use and compare models to forecast land use change. It is conducted by using CA-Markov model, CLUMondo model, GEOSOS-Flus model, Chiang Rai province in A.D.2000, A.D.2005, A.D.2010, A.D.2015 - A.D.2020. Land uses are classified into 7 categories; Paddy field area, Grass area, Perennial area, forest area, miscellaneous land, urban area, water body.

The finding of land use change found that land use that tends to increase, are Perennial area, urban area, water body. The areas that have a tendency to decline every year are forest area, miscellaneous land. Paddy field area it tends to increase in A.D.2005, A.D.2018 and tends to decrease in A.D.2010, A.D.2015-A.D.2020 and grass area there is a tendency to increase in A.D.2010, A.D.2018-A.D.2020, and it tends to decrease in A.D.2005, A.D.2015-A.D.2017. The study of the relationship between geographical factors affecting land use revealed that the 7 of land use were related to almost all factors, There is only the rainfall, that is not related to the use of Grass area land use in A.D.2016, The miscellaneous land there are factors rainfall, stream, border trade, DEM (digital elevation model) and village, relative to miscellaneous land land use every year. Comparing models for forecasting land use change, it was found that short-term forecast (every 1 year, 1 period), mid-term forecast (every 5 years, 5 periods), long-term forecasts (every 10 years, 10 periods). That overall accuracy 80.47-90.23, 82.03- 88.28, 81.64-83.20, and Kappa coefficients 74.74-86.71, 74.84-84.84, 76.44-78.21, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาช่วยเหลือจากหลายท่าน ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติ เอี่ยมชื่น ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานัส ศรีวณิช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญศิริ สุขพร้อมสรรพ์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นครินทร์ ชัยแก้ว อาจารย์บัญฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา ที่คอยช่วยเหลือในการวางแผนการวิจัย และคำปรึกษา แนะนำในหลายด้าน ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้การศึกษาเรื่อง แบบจำลองการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในจังหวัดเชียงราย ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งมีประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ สาขาภูมิสารสนเทศศาสตร์ที่ช่วยเหลือในการเรียนและการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัว คุณพ่อ คุณแม่ และพี่น้องทุกคน ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจมาโดยตลอดจนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้ด้วยดี

วันณัชชา เทพวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ
กิตติกรรมประกาศ .... ฉ
สารบัญ .... ช
สารบัญตาราง .... ฌ
สารบัญภาพ .... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
ที่มาและความสำคัญ 1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3
ขอบเขตการศึกษา 3
ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 6
นิยามศัพท์ 6
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
การรับรู้จากระยะไกล (Remote sensing) 7
แลนด์แซท (LANDSAT) 8
การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (Image classification) 10
แพลตฟอร์ม Google Earth Engine (GEE) 13
การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน 13
ปัจจัยขับเคลื่อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 14
การหาความสัมพันธ์ (Relationships) 16
แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 17

ประเภทแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 25
การตรวจสอบความถูกต้อง 29
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 42
เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา 42
ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา 42
การดำเนินงานด้านภูมิสารสนเทศ 44
วิธีการวิเคราะห์ 46
บทที่ 4 ผลการศึกษา...58
1.การจำแนกการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 - พ.ศ. 2563 58
2.การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 - พ.ศ. 2563 86
3.การคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo แบบจำลอง GeoSOS-FLUS 107
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 173
สรุปผลการศึกษา 173
อภิปรายผลการศึกษา 175
ข้อเสนอแนะ 181
บรรณานุกรม 183
ประวัติผู้วิจัย... 189

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ข้อมูลภาพดาวเทียมแลนด์แซท 5 ระบบ Thematic Mapper (TM) และ Multspectral Scanner (MSS)......9

ตาราง 2 ข้อมูลภาพดาวเทียมแลนด์แซท 8 ระบบ Operational Land Imager (OLI) และ Thermal infrared sensor (TIRS)...... 10

ตาราง 3 การเปรียบเทียบจุดแข็งและจุดอ่อนของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน....27

ตาราง 4 การตรวจสอบค่าความถูกต้องโดยใช้ตารางคำนวณค่าความผิดพลาด 30

ตาราง 5 ประเภทการใช้ที่ดินในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง......40

ตาราง 6 ปัจจัยที่ใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 41

ตาราง 7 รายละเอียดของการใช้ที่ดินแต่ละประเภทที่จำแนกได้ในพื้นที่ศึกษา......44

ตาราง 8 ข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด 44

ตาราง 9 การจำแนกการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 61

ตาราง 10 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม (หน่วย: ร้อยละ)......73

ตาราง 11 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2543–2548......75

ตาราง 12 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2548–2553 76

ตาราง 13 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553–2558......77

ตาราง 14 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2558–2559......78

ตาราง 15 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2559–2560......79

ตาราง 16 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2560–2561 80

ตาราง 17 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2561–2562...... 81

ตาราง 18 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2562–2563......82

ตาราง 19 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2543-2553 83

ตาราง 20 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553-2563 84

ตาราง 21 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2543-2563 85

ตาราง 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2543 88

ตาราง 23 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2548......................90

ตาราง 24 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2553......................92

ตาราง 25 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2558 94

ตาราง 26 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2559 96

ตาราง 27 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2560...................... 98

ตาราง 28 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2561 100

ตาราง 29 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2562 102

ตาราง 30 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563 104

ตาราง 31 ค่าพื้นที่ใต้เส้นโค้ง Receiver operating characteristic curve : ROC 106

ตาราง 32 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 (ราย 1 ปี)....................................... 108

ตาราง 33 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 (ราย 1 ปี) 110

ตาราง 34 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 (ราย 1 ปี)..112

ตาราง 35 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 (ราย 1 ปี)..114

ตาราง 36 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 (ราย 5 ปี) 116

ตาราง 37 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 (ราย 5 ปี) 118

ตาราง 38 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 (ราย 10 ปี) 120

ตาราง 39 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี)
.... 125

ตาราง 40 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี) 127

ตาราง 41 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี) 129

ตาราง 42 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี) 131

ตาราง 43 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 5 ปี) 133

ตาราง 44 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 5 ปี) 135

ตาราง 45 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 10 ปี) 137

ตาราง 46 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี) 142

ตาราง 47 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี) 144

ตาราง 48 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี) 146

ตาราง 49 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี) 148

ตาราง 50 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 5 ปี) 150

ตาราง 51 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 5 ปี) 152

ตาราง 52 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 10 ปี) 154

ตาราง 53 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี) 159

ตาราง 54 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี) 161

ตาราง 55 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี) 163

ตาราง 56 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี) 165

ตาราง 57 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 5 ปี) 167

ตาราง 58 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 5 ปี) 169

ตาราง 59 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 10 ปี) 171

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 พื้นที่ศึกษา....5
ภาพ 2 ระบบการบันทึกภาพของดาวเทียม....8
ภาพ 3 การจำแนกข้อมูลด้วยวิธีซัพพอร์ตเว็กเตอร์แมชชีน.... 12
ภาพ 4 แบบจำลองวิวัฒนาการใช้ที่ดินในประเทศไทย 14
ภาพ 5 การวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม.... 17
ภาพ 6 การแบ่งเขตการใช้ที่ดิน ตามแบบจำลอง Von Thunen 18
ภาพ 7 เซลล์รอบข้างที่นิยมใช้ในแบบจำลอง Cellular Automata.... 19
ภาพ 8 ขั้นตอนแบบจำลองเบื้องต้น.... 21
ภาพ 9 ปัจจัยที่ใช้ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน....23
ภาพ 10 กระบวนการการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน....24
ภาพ 11 การคำนวณความแม่นยำ.... 31
ภาพ 12 ขั้นตอนการศึกษา....46
ภาพ 13 ขั้นตอนการจำแนกการใช้ที่ดินด้วยเทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน....47
ภาพ 14 การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับการใช้ที่ดิน ด้วยสมการโลจิสติกส์ 48
ภาพ 15 การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน....49
ภาพ 16 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง CA-Markov (ทุก 1 ปี 1 ช่วง)....50
ภาพ 17 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง CA-Markov (ทุก 5 ปี 5 ช่วง).... 51
ภาพ 18 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง CA-Markov (ทุก 10 ปี 10 ช่วง) 51
ภาพ 19 การเปลี่ยนแปลงการใช้ ด้วยแบบจำลอง CLUMondo (ทุก 1 ปี 1 ช่วง)....52
ภาพ 20 การเปลี่ยนแปลงการใช้ ด้วยแบบจำลอง CLUMondo (ทุก 5 ปี 5 ช่วง)....53
ภาพ 21 การเปลี่ยนแปลงการใช้ ด้วยแบบจำลอง CLUMondo (ทุก 10 ปี 10 ช่วง)....53

ภาพ 22 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง GeoSOS-FLUS (ทุก 1 ปี 1 ช่วง).......54

ภาพ 23 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง GeoSOS-FLUS (ทุก 5 ปี 5 ช่วง)......55

ภาพ 24 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง GeoSOS-FLUS (ทุก 10 ปี 10 ช่วง)...55

ภาพ 25 การตรวจสอบความถูกต้อง...56

ภาพ 26 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2543 62

ภาพ 27 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2548.............63

ภาพ 28 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2553 64

ภาพ 29 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2558 65

ภาพ 30 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2559 66

ภาพ 31 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2560.............67

ภาพ 32 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2561............ 68

ภาพ 33 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2562 69

ภาพ 34 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2563 70

ภาพ 35 กราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 74

ภาพ 36 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2543-2548 75

ภาพ 37 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2548-2553 76

ภาพ 38 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553-2558 77

ภาพ 39 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2558-2559 78

ภาพ 40 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2559-2560 79

ภาพ 41 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2560-2561 80

ภาพ 42 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2561-2562 81

ภาพ 43 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2562-2563 82

ภาพ 44 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2543-2553 83

ภาพ 45 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2563 84

ภาพ 46 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2543-2563 85

ภาพ 47 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 (ราย 1 ปี)..109

ภาพ 48 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 (ราย 1 ปี) 111

ภาพ 49 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 (ราย 1 ปี)..113

ภาพ 50 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 (ราย 1 ปี) 115

ภาพ 51 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 (ราย 5 ปี) 117

ภาพ 52 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 (ราย 5 ปี)...119

ภาพ 53 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 (ราย 10 ปี) 121

ภาพ 54 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี).. 126

ภาพ 55 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี) .. 128

ภาพ 56 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี).. 130

ภาพ 57 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี).. 132

ภาพ 58 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 5 ปี). 134

ภาพ 59 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 5 ปี). 136

ภาพ 60 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 10 ปี)138

ภาพ 61 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี) 143

ภาพ 62 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี) 145

ภาพ 63 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี) 147

ภาพ 64 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี) 149

ภาพ 65 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 5 ปี) 151

ภาพ 66 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 5 ปี) 153

ภาพ 67 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 10 ปี) 155

ภาพ 68 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี) . 160

ภาพ 69 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี).. 162

ภาพ 70 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี).. 164

ภาพ 71 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี) .. 166

ภาพ 72 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 5 ปี) . 168

ภาพ 73 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 5 ปี) . 170

ภาพ 74 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 10 ปี) 172

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

การสร้างสมดุลระหว่างความต้องการการใช้ที่ดินและจำนวนประชากรทั่วโลกที่เพิ่มขึ้นเพื่อจัดหาทรัพยากรและพลังงานเพื่อตอบสนองการบริโภคของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็น อาหาร ที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรค เป็นต้น เป็นสิ่งที่สังคมต้องให้ความสำคัญโดยเฉพาะในทศวรรษข้างหน้า (Syed และA, 2016) ปัจจุบันประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเศรษฐกิจ จากปี พ.ศ. 2558 เศรษฐกิจไทยมีการขยายตัวอยู่ที่ร้อยละ 2.8 และในปี พ.ศ. 2561 เศรษฐกิจไทยมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 4.1 (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2561) เพียงเท่านั้นยังเกิดการขยายตัวทางอุตสาหกรรม พาณิชยกรรม ตลอดจนการคมนาคมขนส่งต่างๆ เนื่องจากเมืองแต่ละเมืองมีขนาด และกิจกรรมที่แตกต่างกันภายในเมืองนั้นๆ จะส่งผลต่อความเจริญหรือการขยายตัวของเมือง

โดยเฉพาะจังหวัดเชียงราย เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ใหญ่เป็นอันดับ 4 ของภาคเหนือ (รองมาจากเชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน และลำปาง) มีประชากรทั้งหมด 1,295,026 คน (กรมการปกครอง, 2562) ซึ่งจังหวัดเชียงรายถือว่าเป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจ การค้า และการคมนาคมแห่งอนุภูมิภาคลุ่มแม่น้ำโขง ระหว่างพม่า จีน และลาว เนื่องจากเมื่อปี พ.ศ. 2558 จังหวัดเชียงรายเข้าสู่ประชาคมอาเซียนอย่างเต็มรูปแบบ โดยมีการส่งเสริมและรวมตลาดฐานการผลิต ทั้งยังสามารถเคลื่อนย้ายและไหลเวียนสินค้า การลงทุน แรงงานฝีมือ ได้อย่างเสรี ทำให้มีอัตราการเติบโตทางการค้าขายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว พิจารณาจากอัตราการเติบโตของการค้าชายแดนปี พ.ศ. 2558 มูลค่าการส่งออกมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นจาก ปี พ.ศ. 2557 ร้อยละ 0.24 หรือประมาณ 86.87 ล้านบาท และมูลค่าการนำเข้ามีการขยายตัวเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 28.45 หรือประมาณ 1,290.2 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจชายแดนและโลจิสติกส์, 2558) ซึ่งการขยายตัวที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลมาจากการเปิดใช้สะพานมิตรภาพไทย-ลาวแห่งที่ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) ทำให้มีการขนส่งสินค้าทางบกจากจีนผ่านมายังจังหวัดเชียงรายมากขึ้น ส่งผลให้มีการพัฒนาเมืองเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก แต่ในขณะเดียวกันการพัฒนาเมืองที่เพิ่มมากขึ้นนั้นทำให้จังหวัดเชียงรายมีแนวโน้มการเกิดปัญหาในหลายด้าน เช่น ด้านการเกษตร การท่องเที่ยว ทรัพยากรน้ำ

คุณภาพชีวิต และปัญหาจะเกิดตามมาจากการเปลี่ยนแปลงด้านการใช้ที่ดิน (วรรโณบล ควรอาจ และผกามาศ ถิ่นพังงา, ม.ป.ป.) ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรกรรมไปเป็นพื้นที่อุตสาหกรรม โลจิสติกส์ และพื้นที่สำหรับเตรียมก่อสร้างโรงแรม ที่พัก รีสอร์ต เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันไม่สามารถจัดการปัญหาการใช้ที่ดินที่เกิดขึ้นในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาที่เมืองมีการขยายตัวแบบไร้ทิศทาง การบุกรุกพื้นที่ทั้งบนบกและแม่น้ำ และทรัพยากรธรรมชาติ ถูกทำลาย รวมทั้งสภาพวิถีชีวิตความเป็นอยู่แบบชุมชนพื้นบ้านเปลี่ยนแปลงไป (สุดารัตน์ อุทธารัตน์ และมานัส ศรีวณิช, 2562) ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาความเปลี่ยนแปลงและทิศทางการขยายตัวของเมืองตลอดจนทำนายผลที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตของการขยายตัวของเมือง

จากการศึกษาค้นคว้า พบว่าวิธีการที่ได้รับความนิยมในการศึกษาทิศทางการขยายตัวของเมือง คือ การใช้แบบจำลองการใช้ที่ดิน (Land use modeling) เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการศึกษาคาดการณ์แนวโน้มเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต ซึ่งการศึกษาการคาดการณ์การใช้ที่ดินนั้นมีการศึกษาอย่างแพร่หลาย เช่น Hamad, Balzter และKolo (2018) ได้ใช้แบบจำลอง Markov ศึกษา การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และสิ่งปกคลุมดินภายใต้สองสถานการณ์ที่แตกต่าง Van Asselen และVerburg (2013) ใช้แบบจำลอง CLUMondo ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงระบบที่ดินด้วยแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินระดับโลก วันณัชชา เทพวงศ์ และนครินทร์ ชัยแก้ว (2562) ใช้แบบจำลอง CLUMondo ร่วมกับแบบจำลอง CA-Markov ในการศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงพื้นที่เพื่อคาดการณ์แนวโน้มการใช้ที่ดิน และ Liang และคณะ (2018) ใช้แบบจำลอง GeoSOS-FLUS ในการศึกษาการกำหนดขอบเขตการเติบโตของเมืองในหลายสถานการณ์ และวิธีการทางสัณฐานวิทยา เป็นต้น

โดยมีแบบจำลองมากมายที่ได้รับความนิยมใช้ในการศึกษาการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เช่น แบบจำลอง Cellular Automata DUEM มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีขนาดเกิน 3,000 พิกเซล แบบจำลอง Cellular Automata Markov Chain: CA-Markov มีข้อจำกัดของแบบจำลอง คือ ต้องใช้ข้อมูลการใช้ที่ดิน 2 ปี ที่วิเคราะห์ข้อมูลโดยไม่ได้คำนึงถึงแรงขับเคลื่อน แบบจำลอง Conversion of Land Use and It's Effects of Small District: CLUE-S มีข้อจำกัดของแบบจำลอง คือ เป็นแบบจำลองที่ต้องอาศัยปัจจัยขับเคลื่อน (Driving factors) ในการวิเคราะห์ และต้องวิเคราะห์บนระบบปฏิบัติการ Windows 32 bit แบบจำลอง CLUMondo มีข้อจำกัดของแบบจำลองเช่นเดียวกับ CLUE-S แตกต่างตรงที่ สามารถวิเคราะห์บนระบบปฏิบัติการ Windows 64 bit

และใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการถดถอย เพียงอย่างเดียว แบบจำลอง Land Change Modeler: LCM มีข้อจำกัดของแบบจำลอง คือ ตัวแบบจำลองถูกพัฒนาบนซอฟต์แวร์รหัสปิด ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการใช้งาน และแบบจำลอง Future Land Use Simulation Model Software: GeoSOS-FLUS มีข้อจำกัดของแบบจำลอง คือ เป็นแบบจำลองที่ต้องอาศัยปัจจัยขับเคลื่อน และใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม เพียงอย่างเดียว เป็นต้น ซึ่งจากที่ได้กล่าวไปในข้างต้นสามารถแบ่งกลุ่มของแบบจำลองออกเป็น 2 แบบ คือ 1) แบบจำลองที่ไม่ได้คำนึงถึงแรงขับเคลื่อน และ 2) แบบจำลองที่คำนึงถึงแรงขับเคลื่อน

เมื่อพิจารณาตามข้อจำกัดของแบบจำลอง พบว่ามี 3 แบบจำลองที่นำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้โดยแบบจำลองที่เลือกใช้ ได้แก่ แบบจำลอง CA-Markov,แบบจำลอง GeoSOS-FLUS และ แบบจำลอง CLUMondo เพื่อคาดการณ์แนวโน้มการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2563 ทั้งนี้การจำลองสถานการณ์เป็นสิ่งสำคัญที่จะวิเคราะห์กระบวนการ และรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อการวางแผนดำเนินงานในด้านต่างๆ ทั้งการวางผังเมือง หรือใช้เป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจในการวางแผนการบริหารจัดการอย่างเหมาะสม และยั่งยืนตลอดจนใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่าง ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านภูมิศาสตร์ที่มีผลต่อการใช้ที่ดิน

3. เพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน CA-Markov, แบบจำลอง CLUMondo และ แบบจำลองGeoSOS-FLUS

ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตด้านพื้นที่

พื้นที่จังหวัดเชียงราย ตั้งอยู่ตอนเหนือสุดของประเทศไทย มีภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูงมีป่าไม้ปกคลุม มีที่ราบเป็นหย่อมๆ ตามลุ่มน้ำสำคัญ ได้แก่ แม่น้ำโขง แม่น้ำสาย

แม่น้ำรวก น้ำแม่ลาว น้ำแม่จัน น้ำแม่คำ และน้ำแม่กกเป็นแม่น้ำสายสำคัญซึ่งไหลผ่านกลางจังหวัด และมีภูเขาล้อมรอบโดยเฉพาะทางทิศตะวันตกเป็นแนวเทือกเขาผีปันน้ำ มีความสูงประมาณ 278–2,007 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ดังภาพ 1 ซึ่งจังหวัดเชียงรายมีเขตพื้นที่รับผิดชอบ ครอบคลุมพื้นที่ 18 อำเภอ 124 ตำบล 1,751 หมู่บ้าน และมีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้

- ทิศเหนือ ติดต่อกับ สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
- ทิศตะวันออก ติดต่อกับ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
- ทิศใต้ ติดต่อกับ จังหวัดพะเยา จังหวัดลำปาง และจังหวัดเชียงใหม่
- ทิศตะวันตก ติดต่อกับ จังหวัดเชียงใหม่ และสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา

การแบ่งกลุ่มพื้นที่ศึกษา

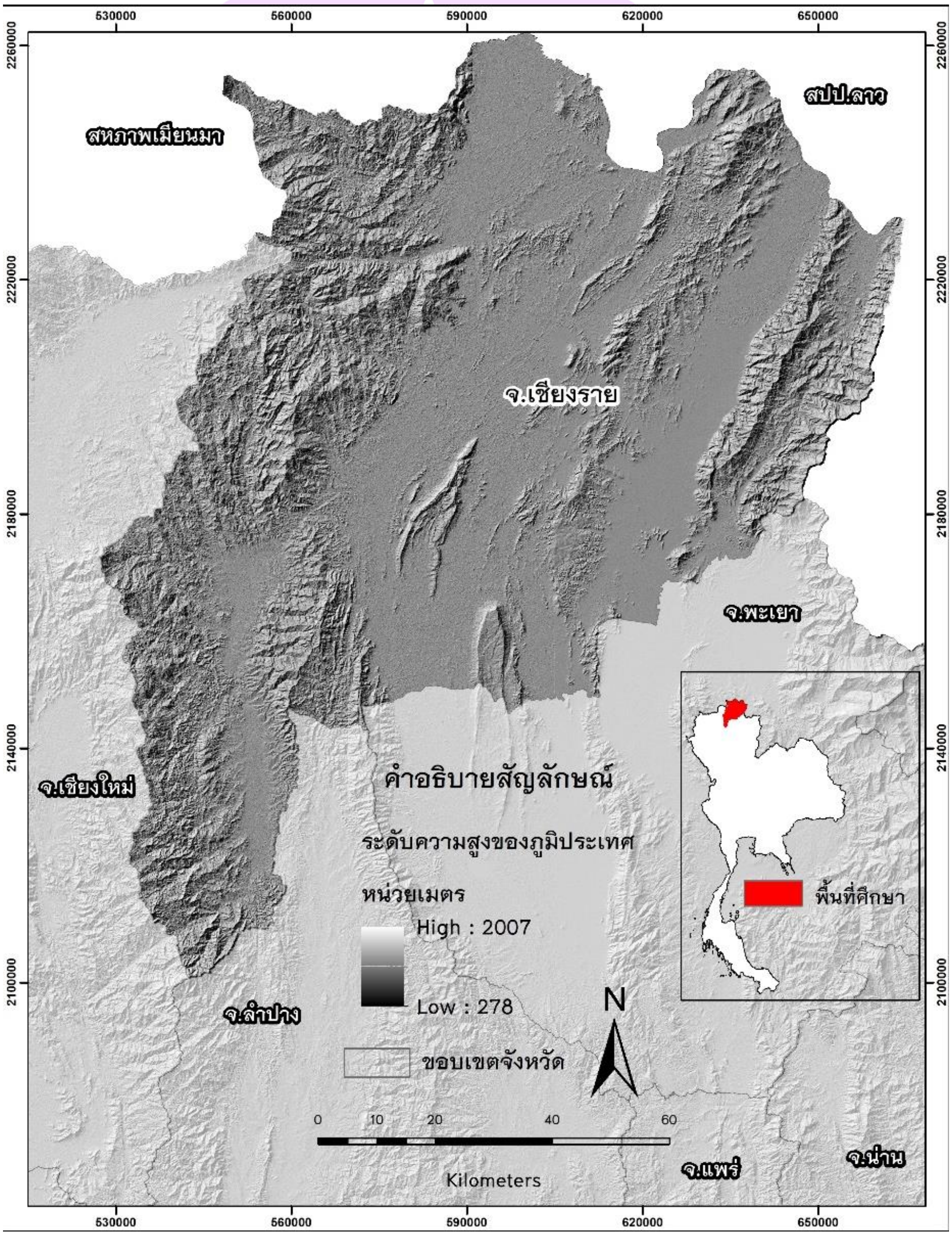
การแบ่งลำดับกลุ่มการขยายตัวของพื้นที่ศึกษา จะแบ่งจากอัตราการขยายตัวของชุมชนเมืองเป็นหลักตามแผนพัฒนาจังหวัดเชียงราย พ.ศ. 2561 – 2564 (คณะกรรมการบริหารงานจังหวัดแบบบูรณาการจังหวัดเชียงราย, 2559) โดยจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1) **กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว** คือ พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านการขยายตัวของเมืองที่มาก ซึ่งเป็นศูนย์กลางทางการพาณิชย์ ที่อยู่อาศัย การท่องเที่ยว ที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรม เป็นศูนย์กลางการเชื่อมโยงต่าง ๆ และมีจำนวนการจดทะเบียนธุรกิจเป็นจำนวนมาก ได้แก่ อำเภอเมืองเชียงราย และพื้นที่ที่เป็นแหล่งการขยายตัวด้านเศรษฐกิจซึ่งมีศักยภาพในการพัฒนาด้านการค้าชายแดน ธุรกิจโลจิสติกส์ อุตสาหกรรม และการท่องเที่ยว โดยมีการค้าชายแดนและการเชื่อมต่อกับประเทศเพื่อนบ้านในกลุ่มอนุภาค ได้แก่ อำเภอแม่สาย อำเภอเชียงของ และอำเภอเชียงแสน

2) **กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง** คือ พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านเกษตรกรรม ซึ่งแบ่งตามแหล่งการผลิตพืชเศรษฐกิจของจังหวัด ที่มีจำนวนผลการผลิตที่มาก โดยอำเภอพาน เป็นแหล่งผลิต ข้าว ลำไย ยางพารา สับปะรด ส่วนอำเภอแม่สรวย เป็นแหล่งผลิต ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ลำไย ลิ้นจี่ ชา กาแฟ อำเภอแม่จัน เป็นแหล่งผลิต ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สับปะรด อำเภอเวียงชัย เป็นแหล่งผลิต ยางพารา อำเภอแม่ฟ้าหลวง เป็นแหล่งผลิต ข้าวโพด

เลี้ยงสัตว์ ชา กาแฟ อำเภอเวียงป่าเป้า เป็นแหล่งผลิต ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ชา และอำเภอเทิง เป็นแหล่งผลิต ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ลำไย ยางพารา

3) **กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า** คือ พื้นที่มีลักษณะพื้นที่เป็นภูเขาสูง หรือ มีการขยายตัวแบบอื่นที่ไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มทั้งสองที่ได้กล่าวไปก่อนหน้า ได้แก่ อำเภอแม่ลาว อำเภอขุนตาล อำเภอพญาเม็งราย อำเภอดอยหลวง อำเภอป่าแดด อำเภอเวียงเชียงรุ้ง และอำเภอเวียงแก่น



ภาพ 1 พื้นที่ศึกษา

ขอบเขตด้านเนื้อหา

ในการศึกษาในครั้งนี้ จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาแบบจำลองการใช้ที่ดินครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเชียงราย เพื่อสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต โดยใช้ข้อมูลการใช้ที่ดิน แบ่งข้อมูลออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ พื้นที่นาข้าว พื้นที่ทุ่งหญ้า พื้นที่ไม้ยืนต้น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ รวมกับ ปัจจัยขับเคลื่อนทั้งหมด 14 ปัจจัย ได้แก่ ดิน (ดินร่วน, ดินทราย, ดินทรายแป้ง, ดินเหนียว , พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน) เส้นทางน้ำ บ่อน้ำ หมู่บ้าน ความลาดชัน เส้นทางคมนาคม น้ำฝน ความสูงเชิงเลข ประชากร และการค้าชายแดน

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1.สามารถนำข้อมูลการใช้ที่ดินในอนาคตไปประกอบการวางแผน การจัดการใช้ที่ดินได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

2.สามารถนำข้อมูลจากการศึกษาไปเป็นแนวทางในการเลือกใช้แบบจำลองในการคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต โดยพิจารณาตามข้อมูลปัจจัย และสภาพแวดล้อมบริบทของพื้นที่ได้อย่างถูกต้อง และเหมาะสม เพื่อการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นิยามศัพท์

กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว คือ พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านการขยายตัวของเมืองที่มาก ได้แก่ อำเภอเมืองเชียงราย และพื้นที่ที่เป็นแหล่งการขยายตัวด้านเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ได้แก่ อำเภอแม่สาย อำเภอเชียงของ และอำเภอเชียงแสน

กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง คือ พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านเกษตรกรรม ได้แก่ อำเภอพาน อำเภอแม่สรวย อำเภอแม่จัน อำเภอเวียงชัย อำเภอแม่ฟ้าหลวง อำเภอเวียงป่าเป้า และอำเภอเทิง

กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า คือ พื้นที่มีลักษณะเป็นภูเขาสูง หรือ มีการขยายตัวแบบอื่นที่ไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มทั้งสองที่ได้กล่าวไปก่อนหน้า ได้แก่ อำเภอแม่ลาว อำเภอขุนตาล อำเภอพญาเม็งราย อำเภอดอยหลวง อำเภอป่าแดด อำเภอเวียงเชียงรุ้ง และอำเภอเวียงแก่น

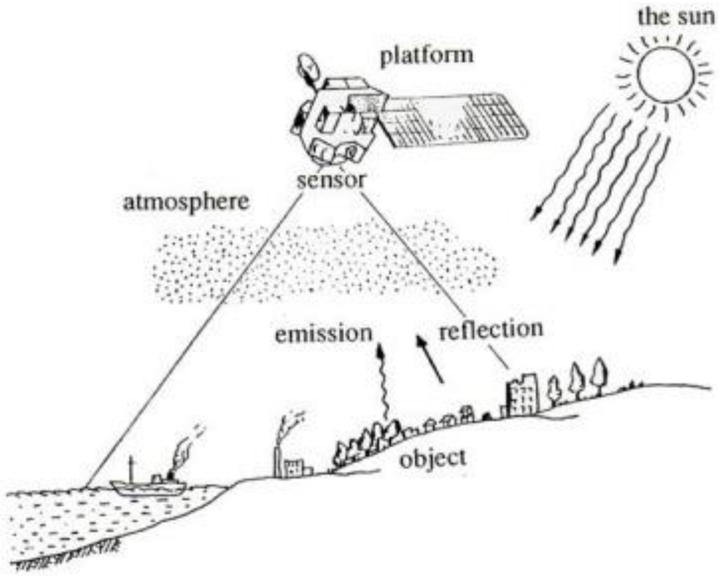
บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่อง แบบจำลองเชิงพื้นที่สำหรับการประเมินและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน และวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนระหว่างปี พ.ศ. 2543–2563 กรณีศึกษาจังหวัดเชียงราย ประเทศไทย ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการศึกษา โดยจะกล่าวถึงการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) ดาวเทียมแลนด์แซท (LANDSAT) การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (Image classification) แพลตฟอร์ม Google Earth Engine (GEE) การหาความสัมพันธ์ (Relationships) การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การตรวจสอบความถูกต้อง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การรับรู้จากระยะไกล (Remote sensing)

Remote Sensing ในภาษาไทยมีคำแปลที่ใช้กันอยู่หลายคำ ได้แก่ “การรับรู้จากระยะไกล” “การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล” (สุพรรณิการ์ เกตุศิริ, 2557) “โทรสัมผัส” (ศิริวิไล ธีระโรจนารัตน์, 2558) และ“โทรนิทัศน์” (ชวลิต ขาวเขียว และทิวา ศุภจรรยา, 2005) เป็นต้น การรับรู้จากระยะไกล คือ วิทยาศาสตร์ และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ และปรากฏการณ์บนพื้นโลก จากเครื่องรับรู้ที่ไม่ต้องไปสัมผัสวัตถุโดยตรงด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่ใช้หลักการของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบไปยังวัตถุบนพื้นโลกที่มีขนาดวัตถุ รูปร่าง หรือพื้นผิวที่แตกต่างกัน สะท้อนกลับมายังอุปกรณ์บันทึกบนดาวเทียม ซึ่งการสะท้อนกลับมาจะได้สัญญาณที่บันทึกแตกต่างกันด้วยทำให้เราสามารถแยกแยะวัตถุต่างๆ บนภาพออกจากกันได้ (สุรชัย รัตนเสริมพงศ์, 2536) เช่น พื้นดิน พื้นน้ำ หรือสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น โดยระบบการบันทึกภาพของดาวเทียมแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบพาสซีฟ (Passive System) มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ และระบบแอกทีฟ (Active System) มีการสร้างขึ้นด้วยตัวดาวเทียมเอง ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ ตามความยาวคลื่น โดยในแต่ละช่วงจะมีคุณสมบัติ และประโยชน์แตกต่างกัน โดยช่วงคลื่นที่นิยมนำมาใช้สำหรับภาพถ่ายดาวเทียม ได้แก่ ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) ประกอบด้วย ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (Blue) มีความยาวคลื่นประมาณ 0.4–0.5 ไมโครเมตร

จะสะท้อนพลังงานได้ดีในพื้นที่น้ำ ช่วงคลื่นสีเขียว (Green) มีความยาวคลื่นประมาณ 0.5–0.6 ไมโครเมตร จะสะท้อนพลังงานได้ดีในพื้นที่ป่า โดยคลอโรฟิลล์ในใบพืชจะดูดซับพลังงานในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน และช่วงคลื่นสีแดง (Red) มีความยาวคลื่นประมาณ 0.6–0.7 ไมโครเมตร จะสะท้อนพลังงานได้ดีในพื้นที่ดิน เนื่องจากมีโครงสร้าง และแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบที่เหมาะสมกับคุณสมบัติการสะท้อนของช่วงคลื่นสีแดง และช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared) เช่น ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) มีความยาวคลื่นประมาณ 0.7–1.3 ไมโครเมตร ใช้ในการศึกษาความสมบูรณ์ของพืชพรรณ เป็นต้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558) ดังภาพ 2



ภาพ 2 ระบบการบันทึกภาพของดาวเทียม

ที่มา : (Japan Association on Remote Sensing, 1993)

แลนด์แซท (LANDSAT)

แลนด์แซท คือ ชื่อของชุดดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติที่ขึ้นสู่วงโคจร และทำการบันทึกข้อมูลพื้นผิวโลก ซึ่งดาวเทียมดวงแรกของโครงการ คือ ดาวเทียมแลนด์แซท 1 (LANDSAT 1) ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2515 โดยในระยะแรกถูกพัฒนาภายใต้องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐ (National Aeronautics and Space Administration : NASA) เริ่มแรกถูกใช้ดำเนินการเชิงพาณิชย์ ต่อมารัฐบาลสหรัฐได้กำหนดให้

ใช้ในการสำรวจทรัพยากรด้วยดาวเทียม อยู่ภายใต้ USGS และ NASA ในโครงการ U.S. Global Change Research Program ซึ่งประกอบด้วย ดาวเทียมแลนด์แซท 1 ถึงดาวเทียมแลนด์แซท 8 และสามารถนำข้อมูลมาใช้ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ปัจจุบันข้อมูลภาพดาวเทียมที่นิยมใช้มากที่สุดได้จากภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท ซึ่งมีทั้ง แลนด์แซท 5 และแลนด์แซท 8 ที่ใช้ในงานต่างๆ ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายแลนด์แซท 5 ระบบ Multspectral Scanner (MSS) และ Thematic Mapper (TM) และดาวเทียมแลนด์แซท 8 ระบบ Operational Land Imager (OLI) และ Thermal infrared sensor (TIRS) ตาราง 1 และตาราง 2 โดยข้อมูลภาพได้จากดาวเทียมแลนด์แซท 5 และดาวเทียมแลนด์แซท 8 มีรายละเอียด ดังนี้

ตาราง 1 ข้อมูลภาพดาวเทียมแลนด์แซท 5 ระบบ Thematic Mapper (TM) และ Multspectral Scanner (MSS)

ช่วงคลื่น	**ความยาวคลื่น** (ไมโครเมตร)	**รายละเอียดจุดภาพ** (เมตร)	**ระบบ**
Band 1 (Blue)	0.45 – 0.52	30	TM
Band 2 (Green)	0.52 – 0.60	30	TM
Band 3 (Red)	0.60 – 0.69	30	TM
Band 4 (NIR)	0.77 – 0.90	30	TM
Band 5 (SWIR)	1.55 – 1.75	30	TM
Band 6 (TIRS)	10.40 – 12.50	30	TM
Band 7 (Panchromtic)	2.08 – 2.35	30	TM
Band 4 (Blue-Green)	0.5 – 0.6	80	MSS
Band 5 (Red)	0.6 – 0.7	80	MSS
Band 6 (NIR)	0.7 – 0.8	80	MSS
Band 7 (NIR)	0.8 – 1.1	80	MSS

ที่มา: Administration (2013)

ตาราง 2 ข้อมูลภาพดาวเทียมแลนด์แซท 8 ระบบ Operational Land Imager (OLI) และ Thermal infrared sensor (TIRS)

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	รายละเอียดจุดภาพ (เมตร)	ระบบ
Band 1 (Coastal/Aerosol)	0.435 – 0.451	30	OLI
Band 2 (Blue)	0.452 – 0.512	30	OLI
Band 3 (Green)	0.533 – 0.590	30	OLI
Band 4 (Red)	0.636 – 0.673	30	OLI
Band 5 (NIR)	0.851 – 0.879	30	OLI
Band 6 (SWIR-1)	1.566 -1.651	30	OLI
Band 7 (SWIR-2)	2.107 – 2.294	30	OLI
Band 8 (Pan)	0.503 - 0.676	15	OLI
Band 9 (Cirrus)	1.363 – 1.384	30	OLI
Band 10 (TIR-1)	10.60 – 11.19	100	TIRS
Band 11 (TIR-2)	11.50 – 12.51	100	TIRS

ที่มา: Administration (2013)

การศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 5 และ แลนด์แซท 8 เนื่องจากเป็นดาวเทียมที่สามารถใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย มีความละเอียดอยู่ในระดับปานกลาง แต่สามารถจำแนกการใช้ที่ดินได้ครบทั้ง 7 ประเภทตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา อีกทั้ง ดาวเทียมแลนด์แซท 5 ถูกปล่อยขึ้นสู่วงโคจร เมื่อปี พ.ศ. 2527 และแลนด์แซท 8 ถูกปล่อยขึ้นสู่วงโคจร เมื่อปี พ.ศ. 2556 ซึ่งช่วงระยะเวลาที่ผู้วิจัยใช้ในการศึกษา คือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2563 ที่อยู่ในช่วงการบันทึกภาพของทั้ง 2 ดาวเทียม จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้เลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 5 และแลนด์แซท 8 ในการศึกษาเพื่อความต่อเนื่องของชุดข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิจัย

การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (Image classification)

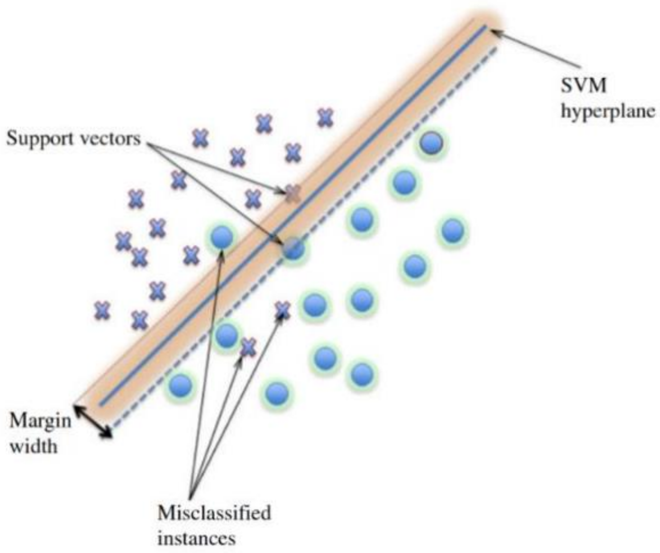
การจำแนกประเภทข้อมูลแบบไม่ควบคุม (Unsupervised Classification) เป็นวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลโดยอัตโนมัติที่อาศัยค่าสถิติของการสะท้อนแสงของช่วงคลื่นแสงของ

วัตถุต่างๆ บนพื้นผิวโลก โดยที่ผู้แปลไม่ต้องกำหนดพื้นที่ตัวอย่างของข้อมูลแต่ละประเภทให้กับคอมพิวเตอร์ มักจะใช้ในกรณีไม่มีข้อมูลเพียงพอในพื้นที่ที่ทำการจำแนก หรือผู้แปลไม่มีความรู้ความเคยชินในพื้นที่ศึกษาโดยคอมพิวเตอร์จะทำการสุ่มตัวอย่างแบบคละ แล้วจึงนำมาจัดกลุ่มแบ่งข้อมูลออกเป็นประเภทต่าง ๆ ซึ่งแต่ละประเภทที่จัดกลุ่มกันนั้นจะมีลักษณะเชิงคลื่นที่เหมือนกัน เรียกว่า Clustering ซึ่งแบ่งออกเป็นสองแบบ คือ การรวมกลุ่มแบบลำดับชั้น (Hierarchical Clustering) เป็นวิธีนำจุดภาพมาจัดรวมเป็นกลุ่ม โดยใช้ระยะห่างเป็นเครื่องวัด และการรวมกลุ่มแบบไม่เป็นลำดับชั้น (Non-Hierarchical Clustering) เป็นการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มชั่วคราวจำนวนหนึ่ง โดยข้อมูลในแต่ละกลุ่มจะถูกตรวจสอบโดยใช้ตัวแปรเพื่อทำการจัดข้อมูลใหม่ให้อยู่ในกลุ่มที่เหมาะสมกว่าโดยมีการแบ่งกลุ่มชัดเจนดีขึ้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2561)

วิธีการจำแนกประเภทข้อมูลแบบควบคุม (Supervised Classification) เป็นการจำแนกข้อมูลเชิงภาพ โดยการจำแนกประเภทข้อมูลนั้น ผู้แปลจะต้องกำหนดตัวอย่างของประเภทข้อมูลให้แก่คอมพิวเตอร์ โดยใช้การเลือกพื้นที่ตัวอย่าง (Training Areas) ซึ่งข้อมูลตัวอย่างที่ผู้แปลเป็นผู้กำหนดนั้นได้จากการตีความหมายภาพถ่ายดาวเทียมที่ถูกต้องด้วยสายตาโดยอาศัยประสบการณ์ ความเข้าใจและความรู้ที่มีอยู่ ตลอดจนกระบวนการต่างๆในการตีความหมาย เช่น การสำรวจภาคสนาม การใช้แผนที่ภาพถ่ายต่างๆ และสถิติอื่นๆเป็นต้น ในการกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง ควรใช้ภาพสีผสมเทียมที่เรียกว่า “False Color Composite” ที่ผ่านการเน้นความคมชัดของข้อมูล ไปตรวจสอบกับสภาพความเป็นจริงในพื้นที่โดยคอมพิวเตอร์จะคำนวณหาค่าสถิติต่างๆ จากพื้นที่ตัวอย่างที่กำหนด เพื่อจำแนกประเภทของข้อมูล และสุดท้ายจะดำเนิน การรวมประเภทข้อมูลที่มีลักษณะใกล้เคียงกันจัดกลุ่มข้อมูลเป็นกลุ่มเดียวกัน (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2561)

Support Vector Machine: SVM เป็นการจำแนกแบบไม่อาศัยพารามิเตอร์ทางสถิติ (Non-Parametric Statistical) ดังนั้น การจำแนกด้วยวิธี SVM จึงไม่ได้อาศัยรากฐานของการกระจายตัวของข้อมูล (Data Distribution) (ทรัน วัน นินห์ และชาติชาย ไวยสุระสิงห์, 2560) ซึ่งข้อมูลในการจำแนกจะไม่กระจายตัว จึงสามารถจำแนกข้อมูลได้แม่นยำแม้จำนวนพื้นที่ตัวอย่างมีจำกัด โดยอาศัยหลักการของโมเดล Linear Model ที่แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 คลาส คือ โมเดลที่ไม่ Overfitting หรือ โมเดลที่ไม่จำรูปแบบของข้อมูล Training มากเกินไป คือ

เลือกโมเดลที่มีระยะห่างของ Margin ระหว่างคลาสมากที่สุด และมีการใช้ Kernel Function เพื่อทำการแปลงข้อมูลที่ไม่สามารถ Linear Model ไปอยู่มิติที่สูงขึ้นซึ่งทำให้แบ่งข้อมูลได้ง่าย โดยเคอร์เนลที่ใช้จะมี 3 ชนิด ได้แก่ โพลิโนเมียล (Polynomial), เรเดียลเบสิสฟังก์ชัน (Radial Basis Function–RBF) และซิกมอยด์ (Sigmoid)



ภาพ 3 การจำแนกข้อมูลด้วยวิธีซัพพอร์ตเว็กเตอร์แมชชีน
ที่มา : ทรัน วัน นินห์ และชาติชาย ไวยสุระสิงห์ (2560)

หลังจากได้ภาพถ่ายดาวเทียมมาแล้วจะทำการจำแนกประเภทของข้อมูลภาพ โดยจะทำการจำแนกจุดภาพโดยใช้วิธีการ Support Vector Machine (SVM) ซึ่งเหตุผลที่เลือกใช้วิธี SVM นั้น เนื่องจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกการใช้ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม พบว่า สามารถใช้ในจำแนกข้อมูลดาวเทียมที่ให้ผลลัพธ์ได้ดี และเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ไม่เพียงเท่านั้นยังให้ค่าความแม่นยำสูงกว่าวิธีอื่น (TAATI และคณะ, 2015; ทรัน วัน นินห์ และชาติชาย ไวยสุระสิงห์, 2560)

โดยการเรียกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม และการจำแนกข้อมูลจุดภาพ (จำแนกประเภทการใช้ที่ดิน) จะทำการวิเคราะห์ผ่านแพลตฟอร์ม Google Earth Engine (GEE) ทั้งหมด

แพลตฟอร์ม Google Earth Engine (GEE)

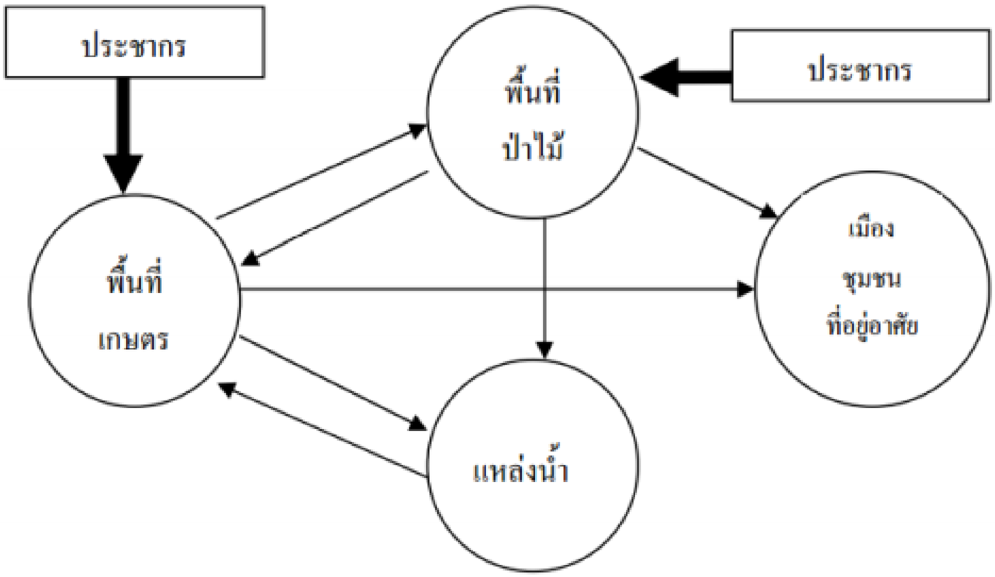
แพลตฟอร์ม Google Earth Engine (GEE) เป็นอีกหนึ่งวิธีการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ นอกจากนี้แพลตฟอร์ม Google Earth Engine ยังเปิดให้บริการโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ มีชุดคำสั่ง และสคริปต์พื้นฐานที่สามารถเรียนรู้ และนำมาประยุกต์ต่อยอดได้ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลทางด้าน สังคม ประชากรศาสตร์ สภาพอากาศ และอื่น ๆ (Mutanga และKumar, 2019) ที่สำคัญ Google Earth Engine มีคลังข้อมูลขนาดเพตาไบต์ บรรจุไปด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมที่สามารถเปิดเผยต่อสาธารณะชนได้ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูล LANDSAT SENTINEL MODIS DEM ฯลฯ แพลตฟอร์ม Google Earth Engine เป็นการประมวลผลบนคลาวด์ จึงประหยัดเวลาและประหยัดทรัพยากรการจัดเก็บข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้

การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

การใช้ที่ดิน คือ ลักษณะของพื้นที่ที่มนุษย์เข้าไปครอบครอง แล้วมีการจัดการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ หรือมีการทำกิจกรรมต่างๆ เพื่อสนองความต้องการของมนุษย์ เช่น การใช้พื้นที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่กักเก็บน้ำ ที่อยู่อาศัย หรือเป็นที่ตั้งเขตอุตสาหกรรม เป็นต้น (มาตรฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน, 2556)

นิพันธ์ วิเชียรน้อย (2552) ได้กล่าวถึงลักษณะการใช้ที่ดิน คือ การใช้ประโยชน์จากที่ดิน เพื่อประกอบกิจกรรมอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น ที่อยู่อาศัย กิจกรรมทางธุรกิจการค้า อุตสาหกรรม สถานที่ราชการ โรงเรียน ถนน หรือ สาธารณสถานต่างๆ โดยการใช้ที่ดินในเมืองจะแตกต่างกับการใช้ที่ดินในชนบท กล่าวคือ การใช้ที่ดินในชนบทจะมุ่งเน้นใช้ที่ดินเพื่อผลิตผลทางการเกษตร ส่วนการใช้ที่ดินในเขตเมืองจะแบ่งเป็น การใช้ที่ดินเป็นถนน การใช้ที่ดินเป็นที่อยู่อาศัย การใช้ที่ดินเพื่อเป็นสถานที่ประกอบการค้า หรือย่านการค้า การใช้ที่ดินเพื่อการอุตสาหกรรม และการใช้ที่ดินเป็นศาสนสถาน เป็นต้น

ดรรชนี เอมพันธุ์ (2531) ได้กล่าวถึงรูปแบบ และสาเหตุการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในประเทศไทย จากป่าไม้ไปเป็นการใช้ที่ดินประเภทอื่นๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมักจะเป็นไปในลักษณะของการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ที่ดินที่มีสภาพเป็นป่าไม้ไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม จากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นเมือง ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรทำให้ต้องการที่อยู่อาศัยมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่เป็นผลมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์มากกว่าการเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ



ภาพ 4 แบบจำลองวิวัฒนาการใช้ที่ดินในประเทศไทย

ที่มา: ดรรชนี เอมพันธุ์ (2531)

จากนิยามและการศึกษาที่ผ่านมาสรุปได้ว่า การใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งมักจะถูกเปลี่ยนจากการใช้ที่ดินประเภทหนึ่งเป็นอีกประเภทหนึ่ง และการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่นั้นมักจะมาจากความต้องการในด้านต่างๆ ของมนุษย์ เช่น เกษตรกรรม พาณิชกรรม อุตสาหกรรม และที่อยู่อาศัย เป็นต้น โดยการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพ สังคม การเมือง และเทคโนโลยี อีกทั้งส่วนหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลต่อการขยายการเจริญเติบโตของเมือง ซึ่งส่วนใหญ่มักมีผลกระทบต่อพื้นที่ในเขตรอบนอกของเมืองโดยมีการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ที่ดินแบบชนบทเป็นการใช้ที่ดินแบบเมือง

ปัจจัยขับเคลื่อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เป็นผลมาจากปัจจัยมากมายที่กระทำต่อพื้นผิวของโลก ซึ่งผลกระทบเหล่านั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ และที่เกิดจากธรรมชาติ (Lambin และคณะ, 2001) ซึ่งรูปแบบการใช้ที่ดิน และกิจกรรมเชิงพื้นที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการใช้ที่ดินในอนาคต โดยรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจะมีปัจจัยขับเคลื่อนเป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ และจัดสรรให้กับประเภทการใช้ที่ดิน โดยแบ่งปัจจัยในการขับเคลื่อนหลักออกเป็น 6 แบบ (Soesbergen, 2016) ดังนี้

1) ปัจจัยด้านประชากร (Demography Factor) เช่น การเพิ่มขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Increment) คือ การเกิด และการตาย (fertility, mortality) การโยกย้ายเข้า/ออก (in/out Migration) ความหนาแน่นประชากร (Population Density) การกระจายของประชากร (Population Distribution) และวงจรชีวิต (Life Cycle Features) เป็นต้น

2) ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ (Economic Factor) เช่น การเติบโตของตลาด และการค้า (Market Growth & Commercialisation) โครงสร้างเศรษฐกิจ (Economic Structures) การทำให้เกิดเป็นเมือง และอุตสาหกรรม (Urbanisation and Industrialisation) และตัวแปรพิเศษ (Special Variables) ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของราคา การเปรียบเทียบต้นทุน

3) ปัจจัยด้านเทคโนโลยี (Technological Factor) เช่น การเปลี่ยนแปลงเทคนิคในการเกษตร (AGRO-Technical Change) การใช้งานในภาคไม้ (Applications in the Wood Sector) และปัจจัยการผลิตของการเกษตร (Agricultural Production Factors)

4) นโยบาย & ปัจจัยด้านสถาบัน (Policy & institutional Factors) เช่น นโยบายที่เป็นทางการ (Formal Policies) คือ การพัฒนาด้านเศรษฐกิจ นโยบายของสภาพภูมิอากาศ (Policy Climate)

5) ปัจจัยทางวัฒนธรรม (Cultural factors) เช่น ทัศนคติสาธารณะ ค่านิยม ความเชื่อรายบุคคล (Public Attitudes, Values & Beliefs) และพฤติกรรมครัวเรือน Individual & Household Behavior

6) ปัจจัยด้านอื่นๆ (Other Factors) เช่น ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Factors) ได้แก่ ลักษณะที่ดิน (Land Characteristics) ดิน (Soil Quality) ภูมิประเทศ (Topography) และคุณภาพป่าไม้ (Forest Fragmentation) เป็นต้น และปัจจัยด้านชีวฟิสิกส์ (Biophysical Drivers) ได้แก่ ไฟไหม้ (Fires) ภัยแล้ง (Droughts) น้ำท่วม (Flood) และศัตรูพืช (Pests) เป็นต้น

หลังจากได้ข้อมูลการใช้ที่ดินจากการจำแนก นำมาหาความสัมพันธ์กับปัจจัยขับเคลื่อนอีกครั้ง โดยใช้การวิเคราะห์โลจิสติคถดถอย เพื่อคัดกรองปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาก่อนจะนำไปวิเคราะห์ในแบบจำลองในการคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต

การหาความสัมพันธ์ (Relationships)

การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติค (Logistic Regression) คือ การวิเคราะห์ที่ตัวแปรตาม หรือ ตัวแปรเกณฑ์เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติคทวิ และการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติคพหุกลุ่ม ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์ เพื่อทำนายโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจโดยอาศัยสมการโลจิสติคที่สร้างขึ้นจากชุดตัวแปรทำนาย โดยทั่วไปแล้ว จะแบ่งเป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ ซึ่งอาจมีตัวแปรบางตัวเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ และตัวแปรเชิงกลุ่ม ดังนั้นการวิเคราะห์จะต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติค ซึ่งมีรูปแบบการวิเคราะห์ดังนี้ (พิณรัตน นุชโพธิ์ และศุภศิว สุวรรณเกสร, 2017)

$$\mathrm{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = B_0 + B_1X_{1,I} + B_2X_{2,I} \ldots B_NX_{N,I}$$

โดยที่กำหนดให้

P_I = ค่าความน่าจะเป็นของกริดที่พิจารณา

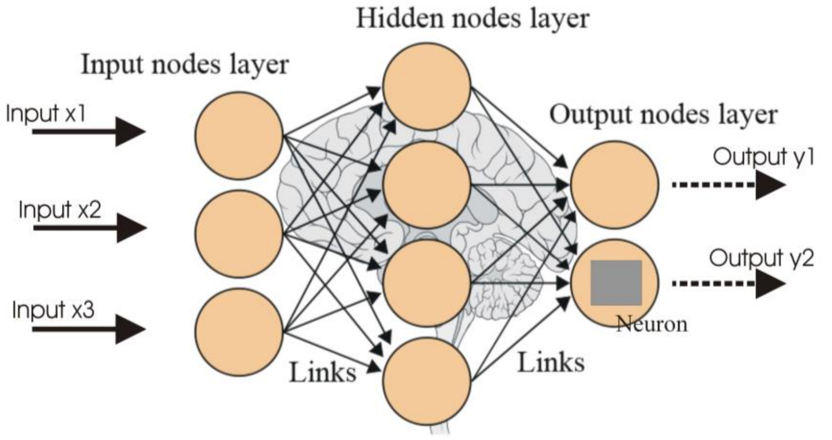
I = พื้นที่ที่ทำการศึกษา

X = ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง

B = ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks : ANN) คือ ศาสตร์แขนงหนึ่งของทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) ที่ประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบโมเดลทางคณิตศาสตร์ โดยจะมีรูปแบบโครงสร้างการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลเรียกว่า เซลล์ประสาท (Neuron) และจุดประสานประสาท (Synapses) ที่มีจุดต่อจำนวนโครงข่ายประสาทประกอบขึ้นด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ใยประสาท (Dendrite หรือ Input) ตัวเซลล์ (Soma) และแกนประสาท (Axon หรือ Output) ในแต่ละโครงข่ายประสาทจะเชื่อมต่อกัน โดยการประมวลผลต่างๆ เกิดขึ้นในหน่วยประมวลผลย่อย เรียกว่า โหนด (Node) ซึ่งเป็นการจำลองลักษณะการทำงานมาจากการส่งสัญญาณระหว่างโหนดที่เชื่อมต่อกัน โดยจำลองให้ Input แต่ละอันมี Weight เป็นตัวกำหนดน้ำหนัก และเซลล์ประสาทแต่ละหน่วยจะมีค่า Threshold หรือ Hidden

เป็นตัวกำหนดว่าน้ำหนักรวมของ Input ต้องมากขนาดไหนจึงจะสามารถส่งไปยัง Output (อำภา สาระศิริ, 2559) จะมีรูปแบบการวิเคราะห์ดังภาพ 5



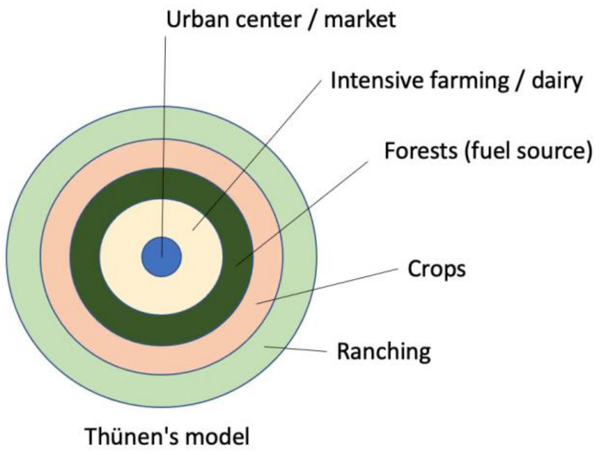
ภาพ 5 การวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม

ที่มา: (Syed และA, 2016)

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

แบบจำลองการใช้ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมของ Von Thunen ถูกนำมาใช้ในการแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกทำเล และการตั้งถิ่นฐานของชุมชนเกษตรในเขตชนบทอันมีกิจกรรมทางการเกษตรที่เกี่ยวโยงกันเป็นลูกโซ่กับตัวเมือง หรือตลาดที่เป็นศูนย์กลางของชุมชน ต่อมาได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการค้นหาทำเลที่ตั้งสำหรับกิจกรรมต่างๆ โดยเฉพาะระยะทางเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกทำเลที่ตั้ง รวมทั้งการจัดทำผังเมืองเพื่อใช้ที่ดินให้เกิดประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจสูงสุด ลักษณะการใช้ที่ดินของแบบจำลองนี้จะเป็นแบบวงแหวนซ้อนกันจะเกิดขึ้นรอบๆ จุดศูนย์กลาง จะแบ่งเขตการใช้ที่ดินออกเป็น 4 เขต ดังภาพ 6 ได้แก่ เขตที่ 1 เป็นเขตวงแหวนชั้นในใกล้กับจุดศูนย์กลางมากที่สุด (รอบๆตัวเมือง) เขตนี้จะผลิตสินค้าเกษตรที่ใช้พื้นที่น้อย ผลผลิตเน่าเสียได้ง่าย ต้องขนส่งไปยังตลาดอย่างรวดเร็ว เช่น ผักผลไม้ และนม เนื้อที่ของเขตนี้จะขยายออกตามความต้องการของตลาด และบุกรุกเขตที่อยู่ถัดไป เขตที่ 2 เป็นเขตวงแหวนชั้นที่สอง เหมาะสำหรับการทำป่าไม้สำหรับเป็นเชื้อเพลิงและไม้ใช้สอย ซึ่งไม้นับเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญสำหรับการให้ความร้อนในการปรุงอาหาร และยังนำมาใช้ในการสร้างที่อยู่อาศัยรวมทั้งประดิษฐ์เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ จึงเป็นที่ต้องการอยู่ตลอด แต่ผลผลิตนี้มีน้ำหนักมากและการขนส่งยากจึงจำเป็นที่ต้องเลือกทำเลที่อยู่ใกล้

ใจกลางเมือง เขตที่ 3 เป็นเขตวงแหวนชั้นที่สาม ใช้ปลูกพืชประเภทธัญญาหาร เช่น ข้าว และพืชไร่ สลับด้วยพืชอื่นๆ มีน้ำหนักน้อยกว่า เก็บรักษาไว้ได้นานกว่าผักผลไม้และนมไม่สิ้นเปลืองค่าขนส่งมากนัก จึงสามารถเลือกทำเลที่ห่างออกไปจากตัวเมืองได้มากขึ้น เขตที่ 4 เป็นเขตพื้นที่เกษตรกรรมอยู่วงแหวนรอบนอกสุด เป็นเขตเลี้ยงสัตว์ ซึ่งเป็นทำเลที่อยู่ห่างไกลจากศูนย์กลางมากที่สุด ถึงแม้ว่าจะอยู่ไกลแต่เกษตรกรก็สามารถต้อนสัตว์ไปขายได้โดยไม่ต้องบรรทุก เป็นการประหยัดค่าขนส่ง ส่วนพื้นที่ที่เลยออกจากเขตที่ 4 ออกไปนั้น ที่ดินจะถูกปล่อยให้รกร้างว่างเปล่าหรือเป็นป่าทึบ เป็นทำเลที่ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจสำหรับการทำการเกษตรเพราะอยู่ไกลตลาดเกินไป

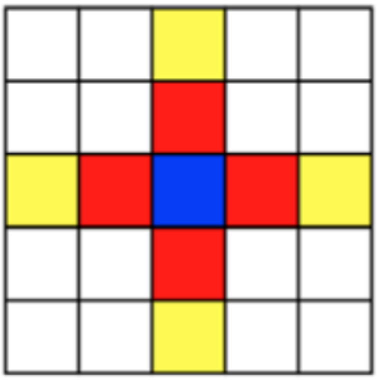


ภาพ 6 การแบ่งเขตการใช้ที่ดิน ตามแบบจำลอง Von Thunen
ที่มา : Altaweel (2020)

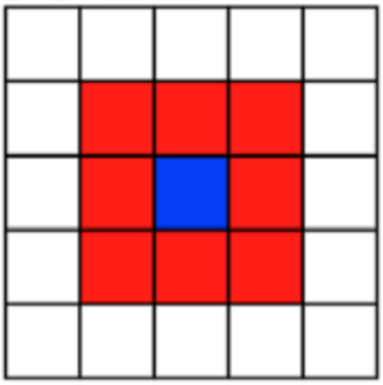
Cellular Automata DUEM เป็นแบบจำลองการใช้ที่ดินในการสร้างแบบจำลองเมืองพัฒนาโดย Yichun Xie จากสถาบัน The Institute For Geospatial Research & Education (IGRE) ที่ Eastern Michigan University ในช่วงปลายทศวรรษ 1990 ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองวิวัฒนาการของเมืองแบบไดนามิก และขึ้นอยู่กับวิธีการของออโตมาตาเซลลูลาร์ในการสร้างแบบจำลองเมือง ใช้ได้กับพื้นที่ที่มีขนาดไม่เกิน 3,000 พิกเซล มีการจำลองการใช้ที่ดิน 5 ประเภท ได้แก่ ที่อยู่อาศัย อุตสาหกรรม การค้า พื้นที่ว่าง และถนน (พร้อมโหนดถนนที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาถนน) เพื่อเปลี่ยนอิทธิพลของการใช้ที่ดินต่อเพื่อนบ้านในละแวกใกล้เคียงที่มีขนาดแตกต่างกันผลของวงจรชีวิตที่จำลองว่าการใช้ที่ดินส่งผลต่อการใช้ที่ดินอื่นๆ อย่างไร

Land Change Modeler (LCM) เป็นแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน แบบจำลองที่สามารถใช้ได้ดีในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และการสร้างแบบจำลองในอนาคต ซึ่งใช้งานง่าย และช่วยลดความซับซ้อนของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง โดยจะมุ่งเน้นไปที่การแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว และถูกนำมาใช้ในงานที่หลากหลาย เช่น การจำลองสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงที่ดินในอนาคต และไม่เพียงเท่านั้นแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินนี้ยังมีเครื่องมือพิเศษสำหรับการประเมิน การลดการปล่อยมลพิษจากการตัดไม้ทำลายป่าและการย่อยสลายของป่า หรือการบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

CA-Markov เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจ โดยเป็นการทำงานร่วมกันของแบบจำลอง Cellular Automata (CA) และแบบจำลอง Markov Chain ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และสิ่งปกคลุมดิน ซึ่งใช้ผลการคาดการณ์ปริมาณการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่ได้จากการใช้ที่ดิน ในช่วงเวลา T+1 ไปสู่ช่วงเวลาที่ต้องการคาดการณ์ คือช่วงเวลา T+2 โดยจะจำลองการใช้ที่ดินในรูปแบบของข้อมูลที่เป็นราสเตอร์ : Raster ในแต่ละเซลจะมีสถานภาพเป็นของตัวเองตามการใช้ที่ดิน โดยสถานภาพในอนาคตจะขึ้นอยู่กับกฎการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ และเวลาของเซลที่อยู่รอบข้าง ซึ่งเซลรอบข้างที่นิยมใช้ในแบบจำลอง CA จะมีอยู่ 2 แบบ ได้แก่ Von Neumann Neighborhood ที่ประกอบด้วยเซลล์รอบข้าง 4 เซล และแบบ Moore Neighborhood ประกอบด้วยเซลล์รอบข้าง 8 เซล ดังภาพ 7



Von Neumann Neighborhood



Moore Neighborhood

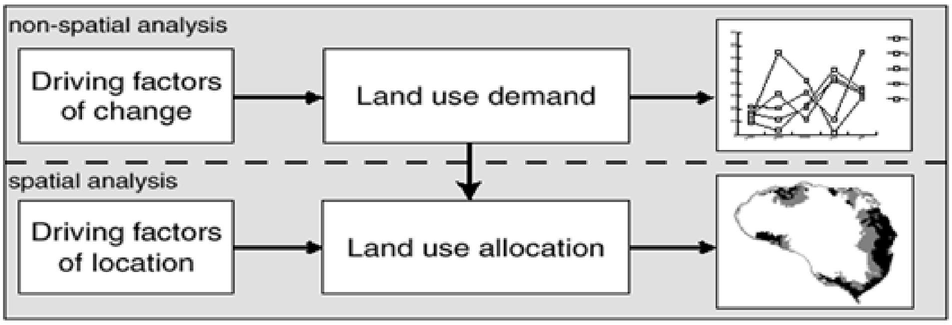
ภาพ 7 เซลล์รอบข้างที่นิยมใช้ในแบบจำลอง Cellular Automata

ที่มา: ชูเดช โลศิริ (2016)

CLUE มีชื่อเต็มคือ Conversion of Land Use and It's Effect Modeling Framework เป็นแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเป็นผลมาจากการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการที่ดำเนินการในระดับต่างๆ แบบจำลองในระดับภูมิภาคถึงระดับโลกมักไม่สามารถรวมกระบวนการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในท้องถิ่นได้ โดยแบบจำลองที่รวมการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความต้องการในพื้นที่ซึ่งมีกระบวนการแปลงเฉพาะ แบบจำลอง CLUE แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ที่ดิน และการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความต้องการที่ดินเพื่อเกษตรกรรม และกระบวนการผลิตพืชที่นำไปสู่การเจริญเติบโตของพืชพันธุ์ธรรมชาติบนพื้นที่เพาะปลูกไว้อย่างชัดเจน การทดแทนของพืชตามธรรมชาติจะได้รับการจำลองขึ้นอยู่กับความผันแปรเชิงพื้นที่ในด้านสภาพทางชีวฟิสิกส์ และการจัดการที่เกี่ยวข้องในขณะที่พลวัตของพื้นที่การเกษตรถูกกำหนดโดยแบบจำลองหลายภาคส่วนทั่วโลก ผลที่ได้จะช่วยให้สามารถสำรวจการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และภูมิประเทศในอนาคต แบบจำลองเหมาะสำหรับภูมิภาค และกระบวนการขนาดใหญ่ที่มีปฏิสัมพันธ์กับพลศาสตร์ท้องถิ่น (Verburg และOvermars, 2009)

CLUE-S มีชื่อเต็มคือ Conversion of Land Use and It's Effects of Small District เป็นแบบจำลองที่สร้าง และพัฒนาขึ้นเพื่อการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน โดยใช้สมการเชิงปริมาณ และความสัมพันธ์ของการใช้ที่ดินกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ร่วมกับแบบจำลองพลวัต (Dynamic Model) ของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินเบื้องต้นแบบจำลองนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ทำการศึกษาในระดับนานาชาติ และระดับภาคพื้น ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาในแถบอเมริกากลาง ประเทศเอกวาดอร์ ประเทศจีน และบริเวณเกาะชวาในประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งส่วนใหญ่ทำการศึกษาในพื้นที่ขนาดใหญ่ รายละเอียดและความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในรูปของกริดไฟล์ (Pixel) ซึ่งมีความละเอียดต่ำ แต่เนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินอยู่ในรูปของแผนที่ หรือ ภาพถ่ายดาวเทียม และแสดงรูปแบบการใช้ที่ดินในลักษณะรูปหลายเหลี่ยม (Polygon)

CLUMondo เป็นแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และเป็นรุ่นล่าสุดของแบบจำลองในกลุ่ม CLUE การศึกษาการเปลี่ยนแปลง และผลกระทบการใช้ที่ดิน แบบจำลอง CLUMondo ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกการวิเคราะห์แบบไม่เชิงพื้นที่ และส่วนที่สองการวิเคราะห์เชิงพื้นที่



ภาพ 8 ขั้นตอนแบบจำลองเบื้องต้น

ที่มา: Verburg และคณะ (2015)

การจัดสรรความต้องการการใช้ที่ดิน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ปัจจัย ได้แก่

1. นโยบายเชิงพื้นที่ เป็นการกำหนดว่าการใช้ที่ดินประเภทใด หรือ พื้นที่ใดเป็นพื้นที่หวงห้าม เช่น นโยบายการ แบ่งเขตการใช้ที่ดินหรือสิทธิ์ในการถือครองที่ดิน ซึ่งจะแสดงขอบเขตพื้นที่ตามนโยบายต่างๆ ไว้ในแผนที่นโยบายด้านพื้นที่ ในบางครั้งอาจครอบคลุมการใช้ที่ดินทุกประเภทในพื้นที่ เช่น การกำหนดเขตห้ามตัดต้นไม้ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ หรือพื้นที่ของทหาร เป็นต้น และในบางกรณี นโยบายการใช้ที่ดินจะครอบคลุม เฉพาะการใช้ที่ดินบางประเภท เช่น พื้นที่อยู่อาศัยสามารถเปลี่ยนแปลงได้เฉพาะ ในพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เบ็ดเตล็ด เป็นต้น ซึ่งการกำหนดสามารถปรับหรือกำหนดได้ในตารางการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Conversion Matrix)

2. การกำหนดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉพาะของการใช้ที่ดิน การกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน หรือการแสดงพฤติกรรม ของการใช้ที่ดินแต่ละประเภทจะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย ประกอบด้วย

2.1 ความยากง่ายต่อการเปลี่ยนแปลง (Conversion Resistance) เกี่ยวข้องกับความสามารถในการฟื้นฟูการใช้ที่ดินบางประเภทเปลี่ยนแปลงยาก ยกเว้นมีความต้องการอย่างมากในการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะใช้เงินในการลงทุนค่องข้างสูง เช่น ที่อยู่อาศัย และแหล่งน้ำ แต่การใช้ที่ดินบางประเภท สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เนื่องจากมีความเหมาะสมของที่ดินและมีความต้องการ เช่น พื้นที่เกษตรกรรม สามารถเปลี่ยนเป็นที่อยู่อาศัย และ

พื้นที่เกษตรกรรม มีการขยายไปยังพื้นที่ป่าไม้ หรือ ไร่เลื่อนลอย เป็นต้น ทั้งนี้ความยากง่ายต่อการเปลี่ยนแปลง มีค่าระหว่าง 0 (เปลี่ยนแปลงได้ง่าย) และ 1 (ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้)

2.2 ลำดับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Land-Use Transition Sequences) ลำดับการเปลี่ยนของการใช้ที่ดินแต่ละประเภท ซึ่งจะระบุไว้ตามลำดับการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

2.2.1 การใช้ที่ดินประเภทใดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ประเภทใดไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ บริเวณใดของพื้นที่ศึกษา สามารถเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้

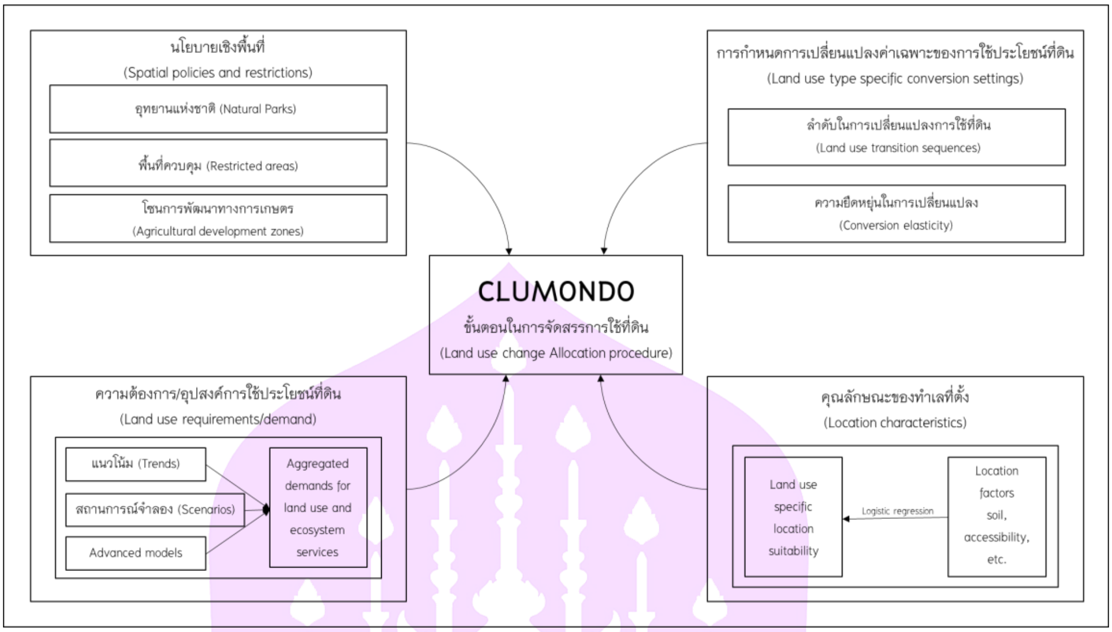
2.2.2 บริเวณใดห้ามมีการเปลี่ยนแปลง (เขตหวงห้าม)

2.2.3 ช่วงเวลาที่ใช้ (ช่วงเวลา) การใช้ที่ดินประเภทใดประเภทนั้นๆ จะกลับมาเหมือนเดิม ก่อนเปลี่ยนเป็นประเภทอื่น ยกตัวอย่าง เช่น การเปลี่ยนแปลงจากทุ่งหญ้าไม่สามารถเปลี่ยนเป็นป่าไม้สมบูรณ์ได้ในเวลา 1 ปี แต่ใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลงหลายปี ถึงจะเปลี่ยนจากทุ่งหญ้าจะกลายเป็นป่า เป็นต้น

2.2.4 จำนวนปีที่มากจะสามารถใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนั้นๆ ในพื้นที่เดิม ยกตัวอย่าง เช่น การทำการเกษตรแบบไร่เลื่อนลอย ไม่สามารถดำเนินการในพื้นที่เดิมได้ตลอด เนื่องจากการสูญเสียธาตุ อาหารในดิน และการรุกรานของวัชพืช เป็นต้น การระบุจำนวนปีน้อยที่สุดหรือมากที่สุด สามารถดำเนินการได้ที่ตารางกำหนดการเปลี่ยนแปลง (Conversion Matrix) เช่น จำนวนปีของการใช้ที่ดิน และความเหมาะสมต่อการใช้ที่ดินแต่ละประเภทจะถูกนำมาพิจารณาด้วยกัน

3. ความต้องการใช้ที่ดิน จะระบุเป็นภาพรวมของพื้นที่ศึกษา แยกตามแต่ละภาพเหตุการณ์ (Scenario) สำหรับแบบจำลอง จะกำหนดแต่ละประเภทของการใช้ที่ดิน เช่น จำนวนกริด เฮคแตร์ ตารางเมตร ตารางกิโลเมตร จำนวนต้น จำนวนตัวของปศุสัตว์ จำนวนหลังคาเรือน เป็นต้น ดังนั้นการจะกำหนดว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินสามารถเกิดขึ้นได้มากน้อยเพียงใด จะได้จากการประเมินแยกอิสระจากแบบจำลอง ซึ่งสามารถคำนวณได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับพื้นที่ศึกษา และภาพเหตุการณ์ ยกตัวอย่าง เช่น การประเมินจากอัตราการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอดีต การเพิ่มขึ้นของประชากร และความต้องการใช้ทรัพยากร หรือการวิเคราะห์เศรษฐกิจเพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้ที่ดิน เป็นต้น

4. คุณลักษณะของทำเลที่ตั้ง การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จะเกิดขึ้นในพื้นที่ที่เหมาะสมมากที่สุดของแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน ซึ่งสามารถประเมินได้จากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

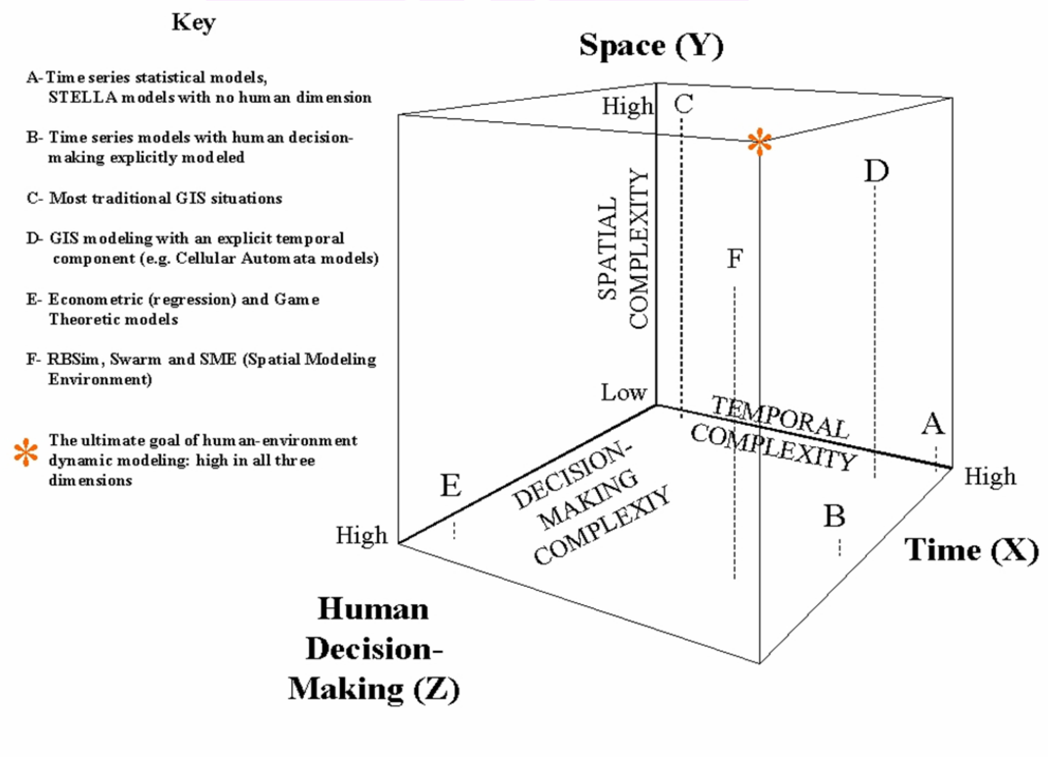


ภาพ 9 ปัจจัยที่ใช้ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

ที่มา: Verburg และคณะ (2015)

GeoSOS-FLUS แบบจำลองแบบบูรณาการสำหรับการจำลองสถานการณ์การใช้ที่ดินหลายประเภท ที่พัฒนาโดย East China Normal University (ECNU) ในประเทศจีน ถูกสร้างขึ้นในซอฟต์แวร์ GUI ชื่อ GeoSOS-FLUS มีรูปแบบการจัดสรรพื้นที่ตามทฤษฎีของ Cellular Automata (CA) สำหรับจำลองวิเคราะห์สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ใช้สำหรับการพิจารณาทั้งกิจกรรมของมนุษย์ และผลกระทบทางระบบนิเวศตามธรรมชาติโดยการค้นหาความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างรูปแบบการใช้ที่ดิน และแรงผลักดันต่างๆ ของมนุษย์และธรรมชาติ โดยได้ถูกพัฒนาให้สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินให้มีความสะดวกต่อการใช้งาน มีประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งสามารถใช้งานได้ง่าย และสามารถนำไปใช้งานที่หลากหลาย ได้แก่ การกำหนดขอบเขตการก่อสร้างในเมือง การจำลองความละเอียดสูงของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินภายในเมือง การจัดการสิ่งแวดล้อม และการวางผังเมือง การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินขนาดใหญ่ และผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ การวิเคราะห์ความเหมาะสมของที่ดินในระดับภูมิภาค การเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับการสูญเสียพื้นที่ทางธรรมชาติ และพื้นที่เกษตรกรรม และสำหรับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เมื่อจำลองรูปแบบการใช้ที่ดินในอนาคต

Agarwal และคณะ (2002) ได้รีวิวแบบจำลองทั้งหมด 19 แบบจำลอง และได้อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเป็นส่วนหนึ่งของการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่มีอิทธิพลต่อความสมดุลของระบบนิเวศ และความเป็นอยู่ของมนุษย์ โดยการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนมีความเป็นพลวัตที่ เกี่ยวข้องกับพื้นที่ (Space) กระบวนการทางชีวกายภาพ (Biophysical Process) เวลา (Time) และการตัดสินใจของมนุษย์ (Human Decision Making) ดังนี้



ภาพ 10 กระบวนการการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

ที่มา : Agarwal และคณะ (2002)

ประเภทแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

ชูเดช โลศิริ (2016) ได้ศึกษาจำแนกประเภทแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งจำแนกตามคุณสมบัติ วิธีการจำลอง ตามวิธีของ (Silva และWu, 2012) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.แบบจำลองปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial Interaction Model) เป็นแบบจำลองพื้นฐานที่อยู่บนหลักการของปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่ เพื่อการบ่งบอกถึงการเคลื่อนไหวระหว่างสถานที่บนพื้นที่ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น แบบจำลองแรงโน้มถ่วง (Gravity Model) ที่ประยุกต์กฎของนิวตันในการอธิบายความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของวัตถุ 2 ชนิด ที่มีขนาดและระยะทางที่แตกต่างกัน

2.แบบจำลองที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ สถิติ (Mathematical and Statistical Model) เป็นแบบจำลองที่อาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ และสถิติในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ในการคาดการณ์ เช่น การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นในการหาความสัมพันธ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองจะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่ยากต่อการเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงพื้นที่

3.แบบจำลองระบบพลวัต (System Dynamic Model) เป็นแบบจำลองเชิงปริมาณใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการทางอตุสาหกรรม และต่อมาได้มีการพัฒนาเพื่อใช้ในการศึกษาพลวัตของพื้นที่กับปัจจัยในการหาความสัมพันธ์ของพื้นที่ เพื่อให้ตอบสนองในช่วงเวลาที่แตกต่างกันของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

4.แบบจำลองระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Model) เป็นแบบจำลองที่รวมการพิจารณาความเชี่ยวชาญกับเทคนิคความน่าจะเป็นไว้ด้วยกัน เช่น วิธีการทางตรรกศาสตร์และกฎต่างๆ (Logic Based And Rule Based) ในการแปลงความรู้เชิงคุณภาพให้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อใช้จำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

5.แบบจำลองวิวัฒนาการ (Evolutionary Model) เป็นแบบจำลองที่อาศัยเทคนิควิธีการของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) เข้ามาใช้ในการปรับแก้ตัวแปรของแบบจำลองโดยอัตโนมัติ เช่น แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN) ซึ่งเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วย กลุ่มของโครงข่ายใยประสาทที่เชื่อมโยงกันที่มีโครงสร้างคล้ายกับสมองของมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ต่างๆ แต่ละเซลล์จะมีค่าเบี่ยงเบน และระหว่างเซลล์ต่างๆ ที่เชื่อมโยงถึงกันจะมีค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งทั้งสองค่านี้

สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลองทำให้ระบบที่มีอยู่เกิดวิวัฒนาการในตัวเองอันจะนำไปสู่การปรับตัวให้กลายเป็นคำตอบที่ดีกว่าและดีที่สุด

6.แบบจำลองมาร์คอฟเซลลูลาร์ออร์โตมาตา (Markov Cellular Automata) เป็นแบบจำลองที่ประกอบด้วยเซลลูลาร์ออโตมาตา (CA) และมาร์คอฟ (Markov) ที่ทำงานร่วมกันเพื่อการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในรูปแบบของราสเตอร์ : Raster โดยภาพเหตุการณ์ในอนาคตจะขึ้นอยู่กับกฎของการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ และเวลาของกริดเซลที่อยู่รอบข้าง ซึ่งเซลรอบข้างที่นิยมใช้ในการจำลองของ CA มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบ Von Neumann Neighborhood ที่ประกอบด้วยเซลล์รอบข้างจำนวน 4 เซล และ More Neighborhood ที่ประกอบด้วย เซลรอบข้างจำนวน 8 เซล

7.แบบจำลองตัวแทน (Agent Based Model: ABM) เป็นแบบจำลองที่อาศัยตัวแทนของวัตถุ และสามารถสะท้อนพฤติกรรมในตัดสินใจของมนุษย์ในรูปแบบของพื้นที่ และเวลา การทำงานของแบบจำลองตัวแทนประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ 1)เป็นการคาดการณ์ที่ตัดสินใจจากปัจจัยต่างๆ 2)เป็นการคาดการณ์ผลลัพธ์ที่จะเกิดกับระบบ และ 3) เป็นการวนซ้ำเพื่อให้ได้ปัจจัยที่ดีที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจของแต่ละตัวแทน ซึ่งแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่มีความยืดหยุ่นในการตัดสินใจสูงภายใต้ระบบที่มีความซับซ้อน

8.แบบจำลองผสม (Hybrid Model) เป็นแบบจำลองที่เกิดจากการรวมวิธีการและเทคนิคต่างๆ ที่ได้กล่าวมาในข้างต้น เช่น การทำงานของแบบจำลอง CA ซึ่งเป็นแบบจำลองที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ร่วมกับแบบจำลอง ABM โดยแบบจำลองนี้จะแสดงพฤติกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

ตาราง 3 การเปรียบเทียบจุดแข็งและจุดอ่อนของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

แบบจำลอง	ผู้พัฒนา/วัตถุประสงค์	จุดแข็ง	จุดอ่อน
CA-Markov	พัฒนาขึ้นโดยห้อง ปฏิบัติการคลาร์ก เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากการทำงานของ CA และ Markov Chain	-เหมาะสมกับข้อมูลที่มีโครงสร้างแบบราสเตอร์ : Raster -ทำงานกับข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ดี -เหมาะสมกับการเลียนแบบการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพ	-ขาดมิติการตัดสินใจของมนุษย์ -ขาดตัวแปรทางด้านชีวภาพ -กฎของการเปลี่ยนแปลงถูกกำหนดด้วยมาตราส่วนระดับท้องถิ่น
CLUE-S	พัฒนาขึ้นโดย มหาวิทยาลัย Wageningen เพื่อสร้างสถานการณ์จำลองของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่เป็นไปตามแรงขับเคลื่อนโดยใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์	-เหมาะสมในการวิเคราะห์กับสถานการณ์ต่างๆ -สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับท้องถิ่นที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงในระดับภูมิภาค -สามารถบูรณาการร่วมกับการวางแผนในเชิงนโยบายได้	-จำลองบนพื้นฐานของการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการถดถอยเพียงอย่างเดียว -ต้องทำการวิเคราะห์บนระบบปฏิบัติการ Windows 32 bit
LTM	พัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการคลาร์ก เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากการทำงานของ CA และ Markov Chain	-ให้ผลลัพธ์ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย -บูรณาการ GIS ANN และสถิติเชิงพื้นที่ในการคาดการณ์ -ใช้กับแบบจำลองมาตราส่วนระดับภูมิภาคได้เป็นอย่างดี	-คำนวณความต้องการของที่ดินจากจำนวนประชากรที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงอย่างเดียว -ไม่สามารถจำลองความเป็นพลวัตของแรงขับเคลื่อนของปัจจัยต่าง ๆ
SLEUTH	พัฒนาโดย Clarke et al. (1997) แห่งมหาวิทยาลัย California, Santa Barbara เพื่อจำลองการขยายตัวของพื้นที่เมืองและตรวจสอบแหล่งชุมชนเมืองที่ เกิดใหม่ที่อาจจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	-จำลองการขยายตัวของเมือง 4 รูปแบบ -ให้ผลลัพธ์ทั้งรูปภาพ และสถิติ -ถูกออกแบบให้สามารถปรับค่าได้เอง โดยการใช้ค่าตัวคูณ (Threshold MultiPlier) -เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิดติดตั้งง่าย -เชื่อมโยงกับข้อมูล GIS ที่มีโครงสร้างแบบ ราสเตอร์ : Raster ได้ง่าย	-ไม่ได้ใช้การตัดสินใจของมนุษย์ที่มีผลต่อการขยายตัวของเมืองและสิ่งก่อสร้าง -ไม่ได้นำปัจจัยทางด้านชีวภาพเศรษฐกิจ และสังคมมาพิจารณา -ใช้ข้อมูลปริมาณมากใช้เวลาเตรียมข้อมูลนาน -ใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงในกระบวนการจำลองให้มีค่าใช้จ่ายสูง

URBANSIM	พัฒนาโดย Paul Waddell เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินการคมนาคม และนโยบายสาธารณะ ที่กำหนดแนวโน้มของการขยายตัวของชุมชน ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ	-สะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการของการเปลี่ยนแปลงโลกกับการจำลองสิ่งแวดล้อม -สามารถจำลองความซับซ้อนของระบบเมืองได้ดี -เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด	-แบบจำลองมีความซับซ้อนสูง -ใช้ข้อมูลมากต้องเสียเวลาและงบประมาณในการเตรียมข้อมูลก่อนการจำลอง -การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองมีความซับซ้อน และใช้เวลานาน
CLUMondo	พัฒนาโดย Peter Verburg เป็นแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเชิงพื้นที่ ที่เป็นพลวัต ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากธนาคารพัฒนาเอเชีย ภายใต้โครงการสิ่งแวดล้อมอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขง	-เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิดติดตั้งง่าย -สามารถทำการวิเคราะห์ต้องบนระบบปฏิบัติการ Windows 64 bit -สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ในระดับประเทศ -สามารถบูรณาการร่วมกับการวางแผนในเชิงนโยบายได้	-จำลองบนพื้นฐานของการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการถดถอย เพียงอย่างเดียว
GeoSOS-FLUS	พัฒนาโดย East China Normal University (ECNU) ในประเทศจีน	-เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิดติดตั้งง่าย -มีรูปแบบการจัดสรรพื้นที่ตามทฤษฎีของ (CA) -สามารถวิเคราะห์แนวโน้มการใช้ที่ดินในอนาคตได้ โดยไม่ต้องใช้ซอฟแวร์ตัวอื่นช่วย	-จำลองบนพื้นฐานของการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เพียงอย่างเดียว

หมายเหตุ : ดัดแปลงมาจาก ชูเดช โลศิริ (2016)

การศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง CA-Markov, แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS โดยเหตุผลที่เลือกแบบจำลอง CA-Markov นั้นเนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ได้รับความนิยมในการใช้งานเป็นจำนวนมากทั้งในและต่างประเทศ ส่วนแบบจำลอง CLUMondo พิจารณาจากการศึกษาของ Agarwal และคณะ (2002) ที่ได้มีการศึกษาแบบจำลองทั้ง 19 ตัว ซึ่งกล่าวไว้ว่าแบบจำลอง CLUE ใช้งานได้ดีในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน แต่เนื่องแบบจำลอง CLUE เป็นเวอร์ชั่นที่ใช้ระบบปฏิบัติการแบบเก่า ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้งานในระบบปฏิบัติการปัจจุบันจึงเลือกใช้แบบจำลอง CLUMondo ซึ่งเป็นแบบจำลองเวอร์ชั่นล่าสุดของ แบบจำลอง CLUE ทีมีการทำงานเหมือนกัน และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS นั้นเป็นแบบจำลองที่มีการใช้ปัจจัยขับเคลื่อนในการคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต และที่สำคัญยังเป็นแบบจำลองตัวใหม่ และในประเทศไทยยังไม่ได้มีการศึกษาที่มากนัก อีกทั้งแบบ 3 นั้นเป็นซอฟแวร์แบบเปิดที่สามารถใช้งานได้โดยปราศจากค่าใช้จ่าย

การตรวจสอบความถูกต้อง

การคำนวณจำนวนจุดภาพที่เหมาะสมในการกำหนดกลุ่มตัวอย่างแบบทวินาม (Binomial Probability Theory) การคำนวณหาจำนวนจุดด้วยการกระจาย ลักษณะแบบทวินามที่มีการกระจายแบบปกติ เพื่อคำนวนความถูกต้องของแผนที่การจำแนกประเภทที่ดินโดยใช้สูตรตามทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทวินามของ (Fitzpatrick-Lins, 1981) ทำการกำหนดกลุ่มตัวอย่างขนาด N ในการจำแนกพื้นที่ทำประโยชน์ ซึ่งมีรูปแบบการคำนวณดังนี้

$$N = \frac{Z^2(P)(Q)}{E^2}$$

โดยที่ P = เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยรวมของงานที่ต้องการ ในการศึกษานี้ใช้ที่ 80

Q = 100 – P ในการศึกษานี้ใช้ที่ 20

E = ความผิดพลาดที่ยอมรับได้

Z = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด (Z = 1.96 ที่ระดับความเชื่อมั่น95%)

เมทริกซ์ความคลาดเคลื่อนสามารถนำมาใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการอธิบายข้อมูลโดยอาศัยเทคนิคทางสถิติวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นการอธิบายแบบง่าย ไม่ซับซ้อน และนิยมนำมาทดสอบ คือ ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) แสดงได้ดังตาราง 4

ตาราง 4 การตรวจสอบค่าความถูกต้องโดยใช้ตารางคำนวณค่าความผิดพลาด

	Reference Data				
	1	2	3	K	Row Total
Classified Data					
1	N_{11}	N_{12}	N_{13}	N_{1k}	N_{k+}
2	N_{21}	N_{22}	N_{23}	N_{2k}	N_{k+}
3	N_{31}	N_{32}	N_{33}	N_{3k}	N_{k+}
K	N_{k1}	N_{k2}	N_{k3}	N_{kk}	N_{k+}
Colum Total	N_{+1}	N_{+2}	N_{+3}	N_{+K}	N

ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องทั้งหมด คำนวณจากผลรวมทั้งหมดของจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้ถูกต้องหารด้วยจำนวนภาพทั้งหมด ดังนี้

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\sum_{I=1}^{K} N_{ii}}{N}$$

โดย I คือ แถว (Row)

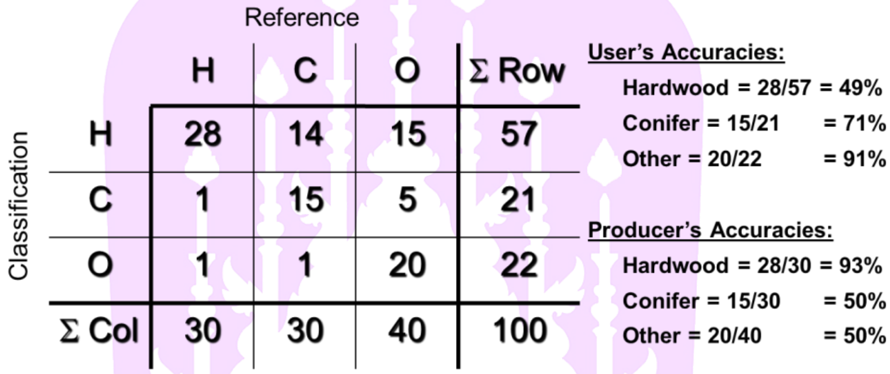
J คือ แนวตั้ง (Column)

N_{ii} คือ แถวที่ I แนวตั้งที่ I หรือแถวที่ J บรรทัดที่ J

N คือ ผลรวมทั้งหมด

ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa Coefficient) คือค่าทดสอบความสอดคล้อง (Consistency) ของข้อมูล 2 กลุ่ม ในบางกรณีใช้สำหรับการประเมินค่าของข้อมูลชุดเดียวกัน โดยแบ่งเกณฑ์ตาม (Congalton, 2001) ดังนี้

ค่าความเชื่อมั่น ตั้งแต่ 0.80 ขึ้นไป	คือ มีความเชื่อมั่นสูง
ค่าความเชื่อมั่น ตั้งแต่ 0.40 ถึง 0.80	คือ มีความเชื่อมั่นปานกลาง
ค่าความเชื่อมั่น น้อยกว่า 0.80	คือ มีความเชื่อมั่นต่ำ


Reference / Classification

	H	C	O	Σ Row
H	28	14	15	57
C	1	15	5	21
O	1	1	20	22
Σ Col	30	30	40	100

ภาพ 11 การคำนวณความแม่นยำ

$$\hat{K} = \frac{N\sum_{I=1}^{K} X_{ii} - \sum_{I=1}^{K}(X_{I+} \times X_{+I})}{N^2 - \sum_{I=1}^{K}(X_{I+} \times X_{+I})}$$

โดย	$\hat{K}$	คือ	สัมประสิทธิ์แคปปาของความสอดคล้อง
	X_{ii}	คือ	ผลรวมของแนวทแยงมุมของเมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน
	X_{I+}	คือ	ผลรวมของแถวของเมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน
	X_{+I}	คือ	ผลรวมของคอลัมน์ของเมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน
	N	คือ	จำนวนความคลาดเคลื่อน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิติ เอี่ยมชื่น และวันณัชชา เทพวงศ์ (2563) ศึกษาเรื่อง การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพกับการใช้ที่ดินเพื่อคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดิน และคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตโดยการประยุกต์ใช้งานร่วมกันของแบบจำลอง Markov Chain และแบบจำลอง CLUMondo พื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่ลุ่มน้ำอิงตอนบน จังหวัดพะเยา มีวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยโลจิสติค และสมการสหสัมพันธ์สถิติเพียร์สันในการอธิบายลำดับ และทิศทางของความสัมพันธ์เชิงเส้นจากค่าสัมประสิทธิ์สหพันธ์ใน 2 รูปแบบคือ ความสัมพันธ์แบบแปรตามกัน และความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน เพื่อนำค่าความสัมพันธ์ไปใช้คาดการณ์แนวโน้มการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำอิงตอนบนจังหวัดพะเยาในอีก 17 ปีข้างหน้า (ปี พ.ศ.2579) ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง Markov Chain และแบบจำลอง CLUMondo ผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยสมการถดถอยโลจิสติค พบว่าข้อมูลทั้งหมดที่นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินกับปัจจัยขับเคลื่อนนั้นมีความสัมพันธ์กันทั้งหมด การวิเคราะห์สหสัมพันธ์สถิติเพียร์สัน พบว่าปัจจัยด้านความสูงเชิงเลขจะมีความสัมพันธ์แบบแปรตามกัน และแบบแปรผกผันกับการใช้ที่ดินมากที่สุด ได้แก่ นาข้าว มันสำปะหลัง ยางพารา ไม้ผลผสม พืชผัก ข้าวโพด ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ ป่าไม้ เบ็ดเตล็ด และแหล่งน้ำ และผลลัพธ์ที่ได้จากการคาดการณ์ พบว่าในปี พ.ศ. 2579 พื้นที่การใช้ที่ดินประเภทเกษตรผสมผสาน มันสำปะหลัง ไม้ผลผสม พืชผัก ข้าวโพด ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และพื้นที่เบ็ดเตล็ดจะมีขนาดลดลงจากปี พ.ศ. 2562 ในทางตรงกันข้าม ในปี พ.ศ. 2579 พื้นที่การใช้ที่ดินประเภทนาข้าว ยางพารา สถานที่เพาะเลี้ยงปลา ป่าไม้ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และแหล่งน้ำ จะมีขนาดเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2562

ธณัชชัย วิยานนท์, ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์ และวิษุวัฒก์ แต้มสมบัติ (2563) ศึกษาเรื่อง การคาดการณ์การใช้ที่ดินในลุ่มน้ำสาขาย่อยห้วยผาก จังหวัดเพชรบุรี ด้วยแบบจำลอง CA-Markov มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการคาดการณ์การใช้ที่ดินลุ่มน้ำสาขาย่อยห้วยผาก โดยคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ.2558 จากข้อมูลปี พ.ศ. 2550 – พ.ศ. 2554 และคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2564 จากข้อมูลปีฐาน พ.ศ. 2554 – พ.ศ. 2559 และ พ.ศ.2569 จากข้อมูลปีฐาน พ.ศ. 2559 – พ.ศ. 2564 โดยจัดแบ่งการใช้ที่ดินออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เบ็ดเตล็ด พื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่แหล่งน้ำ และข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ได้แก่ ระดับความสูง ความลาดชัน ระยะทางห่างจากแหล่งน้ำ ระยะทางห่างจากหมู่บ้าน ระยะทางห่างจากถนน โดยเปรียบเทียบ

ระหว่างวิธี Artificial Neural Network (ANN) และ Logistic Regression (LR) และตรวจสอบความถูกต้องกับข้อมูลปี พ.ศ. 2559 ทำการสุ่มจุดภาพ แบบ Stratified Random จำนวนจุดทั้งหมด 506 จุด ผลการศึกษาพบว่า ค่าความถูกต้องโดยรวมจากวิธี ANN มีค่า 97.63% สูงกว่าวิธี LR ซึ่งมีค่า 85.97% และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา Kappa จากวิธี ANN และวิธี LR มีค่า 0.96 และ 0.76 ตามลำดับ และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในปี พ.ศ.2564 และ ปี พ.ศ.2569 พบว่า พื้นที่เกษตร ที่อยู่อาศัยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เบ็ดเตล็ดมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่พื้นที่แหล่งน้ำ วิธี ANN มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนวิธี LR มีแนวโน้มลดลง

Yang, Chen และZheng (2015) ศึกษาเรื่อง การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยการรวมแบบจำลอง CA-ANN และดัชนีรูปแบบภูมิทัศน์ พื้นที่ศึกษาฉางผิง ปักกิ่ง ประเทศจีน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การใช้ที่ดินในฉางผิง พ.ศ. 2531 – พ.ศ. 2541 และการจำลองการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2551 โดยทำการจำแนกข้อมูลการใช้ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 ในช่วงฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2531, พ.ศ. 2541 และ พ.ศ. 2551 ออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่ก่อสร้าง พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ และใช้ข้อมูลปัจจัย ได้แก่ ระยะห่างจากเขตเมืองใหญ่ ระยะทางจากพื้นที่เมืองที่ใกล้ที่สุด ถนน ทางรถไฟ ป่าไม้ ที่ดินก่อสร้าง เส้นทางน้ำ ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงพื้นที่การใช้ที่ดินในฉางผิง พ.ศ. 2531 – พ.ศ. 2541 พื้นที่ป่าไม้มีพื้นที่เพิ่มขึ้น 8.88 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เพาะปลูกมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 53.9 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ก่อสร้างมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 85.11 ตารางกิโลเมตร พื้นที่แหล่งน้ำมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 2.96 ตารางกิโลเมตร พื้นที่อื่นๆมีพื้นที่ลดลง 150.85 ตารางกิโลเมตร และการจำลองการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2551 พบว่า มี พื้นที่ป่าไม้ 674.38 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เพาะปลูก 383.65 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ก่อสร้าง 255.64 ตารางกิโลเมตร พื้นที่แหล่งน้ำ 8.56 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่อื่นๆ 29.77 ตารางกิโลเมตร เมื่อตรวจสอบความถูกต้องจากการจำลอง พบว่า พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่ก่อสร้าง พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ มีความถูกต้องอยู่ที่ 0.761, 0.582, 0.497, 0.372 และ 0.084 ตามลำดับ

สุวิมล ต้นศิริ, วันชัย อรุณประภารัตน์ และวีระภาส คุณรัตน์ (2018) ศึกษาเรื่อง การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาวจังหวัดจันทบุรี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และการคาดการณ์แนวโน้มการใช้ที่ดินในอนาคต โดยจำแนกการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533, พ.ศ. 2544 และ พ.ศ. 2555 จากข้อมูลภาพดาวเทียม Landsat-5 ออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้

ไม้ยืนต้น สวนผลไม้ พืชไร่ พื้นที่ชุมชน พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ และทำการคาดการณ์แนวโน้มการใช้ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง Markov จากฐานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2544 – พ.ศ. 2555 ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 – พ.ศ. 2544 พื้นที่สวนผลไม้ ไม้ยืนต้นพื้นที่ชุมชน แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ มีพื้นที่เพิ่มขึ้น 36.85 17.03 0.52 0.23 และ 0.7 ตารางกิโลเมตร ร้อยละ 4.95 2.29 0.07 0.03 และ 0.09 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนพืชไร่ และพื้นที่ป่าไม้ มีพื้นที่ลดลง 49.00 และ 6.34 ตารางกิโลเมตร ร้อยละ 6.58 และ 0.85 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 – พ.ศ. 2555 พบว่า พื้นที่สวนผลไม้ และไม้ยืนต้น มีพื้นที่เพิ่มขึ้น 18.64 และ 5.58 ตารางกิโลเมตร ร้อยละ 2.50 และ 0.75 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนพืชไร่ และพื้นที่ป่าไม้ มีพื้นที่ลดลง 22.45 และ 0.82 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 3.02 และ 0.11 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ และผลจากการคาดการณ์การใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2566 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov โดยใช้ฐานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วงปี พ.ศ. 2544 – พ.ศ. 2555 พบว่าผลการคาดการณ์การใช้ที่ดินอีก 11 ปี ข้างหน้า ประกอบด้วย พื้นที่ป่าไม้ สวนผลไม้ไม้ยืนต้น พืชไร่ พื้นที่อื่นๆ แหล่งน้ำ และพื้นที่ชุมชน มีเนื้อที่ประมาณ 590.04 55.45 53.04 40.98 2.50 1.98 และ 0.84 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 79.22 7.44 7.12 5.50 0.34 0.27 และร้อยละ 0.11 ตามลำดับ

วีระภาส คุณรัตนสิริ (2563) ศึกษาเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง CLUE-S เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ จังหวัดน่าน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUE-S และ คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2563 โดยใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินจากการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมในปี พ.ศ. 2551 (Landsat 5) ปี พ.ศ. 2556 และปี พ.ศ. 2561 (Landsat 8) และข้อมูลปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ทั้ง 10 ปัจจัย ผลการศึกษาการเปรียบเทียบแบบจำลองพบว่า แบบจำลอง CA-Markov มีร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม เท่ากับ 90.95 และมีค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.80 และแบบจำลอง CLUE-S มีร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวมเท่ากับ 91.96 และมีค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.82 และ คาดการณ์การใช้ที่ดินในปี พ.ศ.2563 พบว่า การคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง CA-Markov พื้นที่ป่าไม้มีพื้นที่มากที่สุดโดยมีพื้นที่ 4,239,462.91 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 65.04 ของพื้นที่ รองลงมาได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรมมีพื้นที่ 2,237,124.78 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 34.32 พื้นที่แหล่งน้ำ มีพื้นที่ 21,949.00 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.34 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีพื้นที่ 19,193.07 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.29 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด มีพื้นที่น้อยที่สุด

โดยมีพื้นที่ 610.87 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.01 และการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง CLUE-S พื้นที่ป่าไม้มีพื้นที่มากที่สุด 4,375,671.88 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 67.13 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมา คือ พื้นที่เกษตรกรรม มีพื้นที่ 2,101,510.94 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 32.24 พื้นที่แหล่งน้ำ มีพื้นที่ 21,979.69 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.34 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีพื้นที่ 18,804.69 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.29 และพื้นที่เบ็ดเตล็ดมีพื้นที่น้อยที่สุด โดยมีพื้นที่เท่ากับ 373.44 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.01

วุฒิพงษ์ นิลจันทร์ (2560) ศึกษาเรื่อง การเปรียบเทียบการคาดการณ์การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler กรณีศึกษาจังหวัดอุตรดิตถ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2550 – พ.ศ. 2559 และคาดการณ์รูปแบบการใช้ที่ดินในอีก 10 ปี ข้างหน้า คือปี พ.ศ. 2569 จากแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler โดยแบ่งประเภทการใช้ที่ดินออกเป็น 5 ประเภท คือ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เบ็ดเตล็ด พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง พื้นที่แหล่งน้ำ และใช้ข้อมูลปัจจัยขับเคลื่อน ทั้ง 5 ปัจจัย ได้แก่ ความสูงเชิงเลข ความลาดชัน ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากแม่น้ำ ระยะห่างจากเขื่อน ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน พบว่าระหว่าง ปี พ.ศ. 2550 – พ.ศ. 2559 มีพื้นที่ทั้งหมด 4,914,280 ไร่ โดยมีพื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้น 266,562 ไร่ ร้อยละ 38.23 พื้นที่ป่าไม้ลดลง 319,014 ไร่ ร้อยละ 45.75 พื้นที่เบ็ดเตล็ดลดลง 29,599 ไร่ ร้อยละ 4.2 พื้นที่สิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น 42,967 ไร่ ร้อยละ 6.16 พื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้น 39,084 ไร่ ร้อยละ 5.61 ตามลำดับ การคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วงปี พ.ศ. 2559 – พ.ศ. 2569 โดยแบบจำลอง CA-Markov พบว่า มีความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 94.08 การคาดการณ์โดยแบบจำลอง Land Change Modeler มีความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 93.53

ชุติพงศ์ ร่มสนธิ์ (2551) ศึกษาเรื่อง การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov บริเวณลุ่มน้ำแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และตรวจสอบความถูกต้องของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่ได้จากแบบจำลอง CA-Markov โดยใช้ข้อมูลปีตั้งต้น และข้อมูลแต่ละช่วงปีคาบเวลาราย 1 ปี ราย 2 ปี และราย 3 ปี ผลการศึกษา การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินระหว่างปี พ.ศ. 2531 – พ.ศ. 2540 จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ผลการศึกษาพบว่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณของป่าไม้ คาบเวลารายปีแบ่งออกเป็น

2 ช่วงเวลา คือ ระหว่าง พ.ศ. 2531 – พ.ศ. 2537 มีค่าระหว่าง 0.9065–0.9546 และระหว่าง พ.ศ. 2537 – พ.ศ. 2540 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.9603–0.9841 ซึ่งสอดคล้องกับอัตตราการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้ไปเป็นพื้นที่การใช้ที่ดินประเภทอื่นอย่างรวดเร็วเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 4.98 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนในช่วง 3 ปีหลังพื้นที่ป่าไม้มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่การใช้ที่ดินประเภทอื่นในอัตราที่ลดลงเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 1.52 และการตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์ พบว่า ช่วงคาบเวลาราย 1 ปี ช่วงคาบเวลาราย 2 ปี และช่วงคาบเวลาราย 3 ปี มีค่าความถูกต้อง อยู่ที่ร้อยละ 90 85 และ 80 ตามลำดับ

Ornetsmüller, Verburg และHeinimann (2016) ศึกษาเรื่อง สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงระบบที่ดินในสปป. ลาว: การเปลี่ยนแปลงเพื่อตอบสนองความต้องการทางเลือกสำหรับสินค้า และบริการที่จัดหาโดยที่ดิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์การเติบโตอย่างยั่งยืนของการใช้ที่ดินในสถานการณ์ที่แตกต่างกันในปี 2573 ด้วยแบบจำลอง CLUMondo โดยจะแบ่งออกเป็น 3 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์ Trend จากแนวโน้มอดีตถึงปัจจุบัน สถานการณ์ ASEAN จากการไหลเวียนของการค้าและการลงทุนอย่างเสรีภายในอาเซียน และสถานการณ์ Green คือ การอนุรักษ์ป่าไม้และระบบนิเวศ ผลการศึกษาพบว่า ในปี 2553 พื้นที่ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศ คือ ป่าทึบ และจากการคาดการณ์ในปี 2573 สถานการณ์ Trend และ Green มีพื้นที่ป่าทึบลดลงเล็กน้อย และมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในพื้นที่เพาะปลูกถาวร ส่วนสถานการณ์ ASEAN เนื่องจากความต้องการการอนุรักษ์ความหลากหลายทางนิเวศ ทำให้พื้นที่ป่าทึบมีพื้นที่เพิ่มขึ้น

นิติ เอี่ยมชื่น และวันณัชชา เทพวงศ์ (2563) ศึกษาเรื่อง การพยากรณ์การใช้ที่ดินด้วยแบบจำลอง CLUMondo กรณีศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินไปยังอนาคต โดยทำการจำแนกการใช้ที่ดินออกเป็น 5 ประเภทได้แก่ พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง พื้นที่การเกษตร พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด ร่วมกับข้อมูลปัจจัยทางกายภาพทั้ง 7 ได้แก่ ระยะห่างจากทางน้ำ ความสูงเชิงเลข ความลาดชัน ปริมาณน้ำฝนรายปี ระยะห่างจากหมู่บ้าน ระยะห่างจากถนน และการระบายน้ำของดิน ในการศึกษาจะทำการจำลองสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินไปยังปี พ.ศ. 2567 โดยใช้ภาพจำลองเหตุการณ์จากแนวโน้มการใช้ที่ดินในอดีต ผลจากวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินใน พ.ศ. 2549 มีลักษณะการใช้ที่ดินดังนี้ พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง ซึ่งมีพื้นที่มากที่สุด 89,855 ไร่ รองลงมาคือ พื้นที่ป่าไม้ 73,136 ไร่ พื้นที่เกษตรกรรม 15,206 ไร่ พื้นที่เบ็ดเตล็ด 13,389 ไร่ พื้นที่แหล่งน้ำ 2,869 ไร่ และในปี พ.ศ. 2558 มีลักษณะการใช้ที่ดินดังนี้ พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง

มีพื้นที่มากที่สุด 110,260 ไร่ รองลงมาคือ พื้นที่ป่าไม้ 68,808 ไร่ พื้นที่เกษตรกรรม 8,141 ไร่ พื้นที่เบ็ดเตล็ด 4,125 ไร่ พื้นที่แหล่งน้ำ 3,121 ไร่ ตามลำดับ โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2549 – พ.ศ. 2558 มีพื้นที่เพิ่มขึ้น คือ พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ ขณะที่พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด มีพื้นที่การใช้ที่ดินมีพื้นที่ลดลง และผลจากการจำลองคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินพบว่า ในปี พ.ศ. 2567 มีพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง 119,014 ไร่ พื้นที่ป่าไม้ 65,580 ไร่ พื้นที่เกษตรกรรม 4,817 ไร่ พื้นที่แหล่งน้ำ 3,227 ไร่ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด 1,817 ไร่

Liu และคณะ (2017) ศึกษาเรื่อง แบบจำลองการใช้ที่ดินในอนาคต (Flus) สำหรับการจำลองสถานการณ์การใช้ที่ดินหลายรูปแบบโดยเชื่อมโยงผลกระทบจากมนุษย์และธรรมชาติ พื้นที่ศึกษาประเทศจีน มีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2010 และการจำลองการใช้ที่ดินในอนาคต (Flus) โดยข้อมูลการใช้ที่ดิน 6 ประเภท ได้แก่ เกษตรกรรม ป่าไม้ สิ่งปลูกสร้าง/ชุมชน แหล่งน้ำ ทุ่งหญ้า เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ และใช้ข้อมูลปัจจัย 9 ปัจจัย ได้แก่ ดิน ความลาดชัน ถนน ความสูงเชิงเลข ประชากร GDP ระยะห่างเขตเมือง อุณหภูมิ นิเวศวิทยา ไปเปรียบเทียบการคาดการณ์การใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2010 ด้วยแบบจำลอง (Flus, CLUE-S, CA-ANN, CA-Logistic) และทำการจำลองการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2050 ด้วยแบบจำลอง Flus โดยจำลอง 4 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์จากแนวโน้มในอดีต (BD) สถานการณ์การพัฒนาที่รวดเร็ว (FD) สถานการณ์การพัฒนาช้า (SD) สถานการณ์การพัฒนาที่กลมกลืนกัน (HD) ผลการศึกษาการเปรียบเทียบการคาดการณ์การใช้ที่ดินในปี 2010 ด้วยแบบจำลอง พบว่า แบบจำลอง Flus มีค่า FOM 12.46% ความถูกต้องโดยรวม 0.84 ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.79 แบบจำลอง CLUE-S มีค่า FOM 10.55% ความถูกต้องโดยรวม 0.80 ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.75 แบบจำลอง CA-ANN มีค่า FOM 9.14% ความถูกต้องโดยรวม 0.78 ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.73 และแบบจำลอง CA-Logistic มีค่า FOM 9.09% ความถูกต้องโดยรวม 0.76 ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.71 และผลการจำลองการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2050 พบว่า ที่ดินในเมืองมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มขึ้นในทุกสถานการณ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์การพัฒนาที่รวดเร็ว (FD) ตามด้วยสถานการณ์จากแนวโน้มในอดีต (BD) การขยายตัวของเมืองส่วนใหญ่เกิดขึ้นในพื้นที่ชายฝั่งตะวันออก พื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในสถานการณ์การพัฒนาที่รวดเร็ว (FD) และสถานการณ์จากแนวโน้มในอดีต (BD) เนื่องจากความกดดันของประชากร และในสถานการณ์การพัฒนาที่กลมกลืนกัน (HD) พื้นที่เพาะปลูกมีแนวโน้มลดลง

Li, Cheng และHan (2020) ศึกษาเรื่อง ผลกระทบในอนาคตของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อระบบนิเวศภายใต้สถานการณ์จำลองในพื้นที่อนุรักษ์ระบบนิเวศกรุงปักกิ่ง ประเทศจีน มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่มีต่อระบบนิเวศ 3 อย่าง คือ การกักเก็บคาร์บอน (CS), การควบคุมน้ำท่วม (FR) และการอนุรักษ์ดิน (SC) ทำการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2573 ภายใต้สถานการณ์ 3 สถานการณ์ คือ Business As Usual (BAU), Ecological Land Protection (ELP) และ Rapid Economic Development (RED) โดยใช้แบบจำลอง Markov ร่วมกับ GeoSOS–FLUS ในการคาดการณ์ จากนั้นจึงแก้ไขบริการระบบนิเวศทั้งสามโดยใช้โมเดล Invest ผลการศึกษา พบว่า ในปี พ.ศ. 2573 สถานการณ์ BAU พื้นที่ทุ่งหญ้ามีพื้นที่ 866.58 คิดเป็นร้อยละ 7.78 พื้นที่แหล่งน้ำมีพื้นที่ 142.92 คิดเป็นร้อยละ 1.28 พื้นที่เพาะปลูกมีพื้นที่ 718.01 คิดเป็นร้อยละ 6.44 พื้นที่ปลูกสร้างมีพื้นที่ 817.75 คิดเป็นร้อยละ 7.34 พื้นที่อื่นๆมีพื้นที่ 15.24 คิดเป็นร้อยละ 0.14 พื้นที่ป่าไม้ 4,995.83 คิดเป็นร้อยละ 44.83 พื้นที่ไม้พุ่มมีพื้นที่ 3,587.88 คิดเป็นร้อยละ 32.20 สถานการณ์ ELP พื้นที่ทุ่งหญ้ามีพื้นที่ 751.48 คิดเป็นร้อยละ 6.74 พื้นที่แหล่งน้ำมีพื้นที่ 174.64 คิดเป็นร้อยละ 1.57 พื้นที่เพาะปลูกมีพื้นที่ 849.83 คิดเป็นร้อยละ 7.63 พื้นที่ปลูกสร้างมีพื้นที่ 730.83 คิดเป็นร้อยละ 6.56 พื้นที่ที่ไม่ได้ใช้มีพื้นที่ 13.43 คิดเป็นร้อยละ 0.12 พื้นที่ป่าไม้ 5,070.86 คิดเป็นร้อยละ 45.50 พื้นที่ไม้พุ่มมีพื้นที่ 3,552.12 คิดเป็นร้อยละ 31.87 และสถานการณ์ RED พื้นที่ทุ่งหญ้ามีพื้นที่ 791.36 คิดเป็นร้อยละ 7.10 พื้นที่แหล่งน้ำมีพื้นที่ 179.37 คิดเป็นร้อยละ 1.61 พื้นที่เพาะปลูกมีพื้นที่ 799.27 คิดเป็นร้อยละ 7.17 พื้นที่ปลูกสร้างมีพื้นที่ 991.67 คิดเป็นร้อยละ 8.90 พื้นที่ที่ไม่ได้ใช้มีพื้นที่ 8.83 คิดเป็นร้อยละ 0.08 พื้นที่ป่าไม้ 4798.94 คิดเป็นร้อยละ 43.06 พื้นที่ไม้พุ่มมีพื้นที่ 3574.94 คิดเป็นร้อยละ 32.08 ซึ่งในช่วงปี พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2573 การกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดอยู่ที่ 98.92 Tg และในปี พ.ศ. 2573 คาดว่าจะลดลงเหลือ 96.74 Tg ภายใต้สถานการณ์ RED ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการรุกล้ำของเมืองอย่างรวดเร็วในพื้นที่เพาะปลูกและพื้นที่ป่า สถานการณ์ ELP ได้รับการคาดการณ์ว่าจะส่งผลให้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวมสูงสุด (100.24 Tg) เนื่องจากทุ่งหญ้าพื้นที่พุ่มไม้และการขยายตัวของพื้นที่ป่า (+1.27 Tg) พื้นที่ป่ามีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนสูงสุด และคาดว่าจะมีค่าการกักเก็บคาร์บอนในปี พ.ศ. 2573 เท่ากับ 65.42, 66.80 และ 63.75 Tg ภายใต้สถานการณ์ BAU, ELP และ RED ตามลำดับ การควบคุมน้ำท่วมทั้งหมดคาดว่าจะลดลงจากพื้นฐานปี พ.ศ. 2558 (350.37 ล้านลูกบาศก์เมตร) ในปี พ.ศ. 2573 ภายใต้สถานการณ์ BAU, ELP และ RED

คาดการณ์ปริมาณน้ำภายใต้สถานการณ์ RED จะมีปริมาณน้ำเป็นจำนวนรวมสูงสุด (รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 352.26 ล้านลูกบาศก์เมตร) ซึ่งเพิ่มขึ้น 1.89 ล้านลูกบาศก์เมตร สถานการณ์ ELP เพิ่มขึ้น 0.12 ล้านลูกบาศก์เมตร เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2558 เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจากทุ่งหญ้าพื้นที่เพาะปลูก และพื้นที่พุ่มไม้ไปเป็นพื้นที่ป่าการอนุรักษ์ดิน ในสถานการณ์ BAU คาดการณ์ว่าการแปลงดินจะลดลงจาก 246.86 ล้านตันในปี พ.ศ. 2558 เป็น 246.74 ล้านตันในปี พ.ศ. 2573 ลดลง 0.12 ล้านตัน เนื่องจากการแปลงจากพื้นที่เพาะปลูกเป็นพื้นที่หญ้าและพื้นที่ป่าเป็นพื้นที่พุ่มไม้ สถานการณ์ ELP และ RED คาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้น 3.4 ล้านตันและ 1.88 ล้านตันตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนจากพื้นที่เพาะปลูกและป่าไม้เป็นที่ดินที่สร้าง

จากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น พบว่ามีการนำแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมาทำการศึกษาเปรียบเทียบกันเป็นจำนวนมาก แต่ก็ยังมีแบบจำลองบางตัวยังไม่มีการนำมาเปรียบเทียบกัน เช่น การนำแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS มาเปรียบเทียบกัน และช่วงเวลาในการคาดการณ์โดยส่วนมากจะแบบช่วงยาว (ช่วง 10 ปี) เพียงเท่านั้น ซึ่งการคาดการณ์แบบช่วงสั้น (ช่วง 1 ปี, ช่วง 2 ปี, ช่วง 3 ปี) และแบบช่วงกลาง (ช่วง 5 ปี) นั้นยังมีการศึกษาไม่มากนัก ดังนั้นผู้ศึกษาจึงมีความสนใจที่จะนำแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS มาเปรียบเทียบกัน โดยทำการคาดการณ์ทั้ง 3 ช่วง ทั้งช่วงสั้น ช่วงกลาง ช่วงยาว และจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น พบว่ามีประเภทการใช้ที่ดิน และปัจจัยขับเคลื่อนที่เกี่ยวข้องที่สามารถนำมาเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินกับปัจจัยขับเคลื่อน เพื่อใช้ในการคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต โดยผู้วิจัยได้สรุปข้อมูลออกมาดังตาราง 4 และ ตาราง 5

ตาราง 5 ประเภทการใช้ที่ดินในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้เขียน	เกษตรผสมผสาน	นาข้าว	มันสำปะหลัง	ยางพารา	ไม้ผลผสม	พืชผัก	ข้าวโพด	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	เกษตรกรรม	ป่าไม้	เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	สิ่งปลูกสร้าง/ชุมชน	แหล่งน้ำ	ทุ่งหญ้า	ไม้ยืนต้น/ไม้พุ่ม	สวนผลไม้	พืชไร่	หิน	เหมืองแร่
(นิติ เอี่ยมชื่น และวันณัชชา เทพวงศ์, 2563)	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X						
(สุวิมล ต้นศิริ, วันชัย อรุณประภารัตน์ และวีระภาส คุณรัตน์, 2018)											X	X	X	X		X	X	X		
(ธณัชชัย วิยานนท์, ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์ และวิษุวัฒก์ แต้มสมบัติ, 2563)										X	X	X	X	X						
(Liu และคณะ, 2017)										X	X	X	X	X	X					
(Ornetsmüller, Verburg และHeinimann, 2016)		X								X	X		X	X					X	X
(วีระภาส คุณรัตนสิริ, 2563)										X	X	X	X	X						
(นิติ เอี่ยมชื่น และวันณัชชา เทพวงศ์, 2563)										X	X	X	X	X						
(Li, Cheng และHan, 2020)										X	X	X	X	X	X	X				
(วุฒิพงษ์ นิลจันทร์, 2560)										X	X	X	X	X						
(Yang, Chen และZheng, 2015)										X	X	X	X	X						
(ชุติพงศ์ ร่มสนธิ์, 2551)										X	X		X	X						

ตาราง 6 ปัจจัยที่ใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้เขียน	พื้นที่ศึกษา	ดิน	เส้นทางน้ำ/แหล่งน้ำ	บ่อน้ำ/เขื่อน	หมู่บ้าน	ความลาดชัน	เส้นทางคมนาคม	น้ำฝน	รอยเลื่อน	ความสูงเชิงเลข	ประชากร	GDP	ระยะห่างเขตเมือง	อุณหภูมิ	นิเวศวิทยา	ทิศด้านลาด	รายได้ต่อครัวเรือน	พืช	ที่ดินก่อสร้าง	ธรณีวิทยา
(นิติ เอี่ยมชื่น และวันณัชชา เทพวงศ์, 2563)	ลุ่มน้ำาอิง ตอนบน จังหวัดพะเยา	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
(ธณัชชัย วิยานนท์, ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์ และวิษุวัฒก์ แต้มสมบัติ, 2563)	ลุ่มน้ำสาขาย่อยห้วยผาก จังหวัดเพชรบุรี		X		X	X	X			X										
(Liu และคณะ, 2017)	ประเทศจีน	X				X	X			X	X	X	X	X	X					
(Ornetsmüller, Verburg และHeinimann, 2016)	ประเทศลาว	X	X		X	X	X	X		X	X			X						
(วีระภาส คุณรัตนสิริ, 2563)	ป่าสงวนแห่งชาติ จังหวัดน่าน	X	X		X	X	X	X		X	X					X	X			
(นิติ เอี่ยมชื่น และวันณัชชา เทพวงศ์, 2563)	อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่	X	X		X	X	X	X		X										
(Li, Cheng และHan, 2020)	กรุงปักกิ่ง ประเทศจีน	X						X		X				X				X		
(วุฒิพงษ์ นิลจันทร์, 2560)	จังหวัดอุตรดิตถ์		X	X		X	X			X										
(Yang, Chen และZheng, 2015)	ฉางผิง ประเทศจีน		X				X						X						X	
(ชุติพงค์ ร่มสนธิ์, 2551)	ลุ่มน้ำแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่	X	X		X	X	X			X										X

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

แนวทางการศึกษาวิจัยเรื่อง แบบจำลองเชิงพื้นที่สำหรับการประเมิน และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ดินและสิ่งปกคลุมดินและวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนระหว่างปี พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2563 กรณีศึกษาจังหวัดเชียงราย ประเทศไทย จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาการเปรียบเทียบแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมกับปัจจัยต่างๆ เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงเครื่องมือ ข้อมูล และขั้นตอนการศึกษาวิจัยดังนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

โปรแกรมคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต ใช้ในการวิเคราะห์ ประมวลผลการใช้ที่ดินในอนาคต ได้แก่ แบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

โปรแกรมทางภูมิสารสนเทศศาสตร์ ใช้ในการเตรียมข้อมูลเพื่อนำเข้าแบบจำลอง

แพลตฟอร์ม Google Earth Engine ใช้ในการจำแนกการใช้ที่ดิน

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การเลือกประเภทการใช้ที่ดินในการศึกษาครั้งนี้ ได้เลือกมาจากการศึกษาบทความวิจัย 11 บทความ ดังตารางที่ 5 ที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้า โดยจะเห็นว่าประเภทการใช้ที่ดินจากบทความนั้นมีทั้งหมด 20 ประเภท แต่เมื่อพิจารณาตามศักยภาพความละเอียดของข้อมูลภาพดาวเทียมที่ใช้ และกิจกรรมการใช้ที่ดินในจังหวัดเชียงราย จึงจำเป็นต้องทำการจัดกลุ่มการใช้ที่ดิน และคัดแยกการใช้ที่ดินบางประเภทออก เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลภาพดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา เหลือเพียง 7 ประเภท ได้แก่ นาข้าว ป่าไม้ เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ สิ่งปลูกสร้าง/ชุมชน แหล่งน้ำ ทุ่งหญ้า และไม้ยืนต้น/ไม้พุ่ม ดังตาราง 7

การเลือกปัจจัยในการศึกษานั้นได้ใช้วิธีการคัดเลือกมาจากการศึกษาบทความวิจัย 10 บทความ ดังตารางที่ 6 ที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้า จะเห็นได้ว่าปัจจัยจากทั้ง 10 บทความนั้นมีทั้งหมด 19 ปัจจัย ได้แก่ ดิน เส้นทางน้ำ บ่อน้ำ หมู่บ้าน ความลาดชัน เส้นทางคมนาคม น้ำฝน รอยเลื่อน ความสูงเชิงเลข ประชากร GDP ระยะห่างเขตเมือง อุณหภูมิ นิเวศวิทยา ทิศทางด้านลาด รายได้ต่อครัวเรือน พืช ที่ดินก่อสร้าง และธรณีวิทยา แต่เมื่อพิจารณาจากบริบทพื้นที่ศึกษา และข้อมูลที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ จึงจำเป็นต้องทำการคัดปัจจัยออกทั้งหมด 10 ปัจจัย ได้แก่ รอยเลื่อน GDP ระยะห่างเขตเมือง อุณหภูมิ นิเวศวิทยา ทิศทางด้านลาด รายได้ต่อครัวเรือน พืช ที่ดินก่อสร้าง และธรณีวิทยา จึงทำให้เหลือข้อมูลที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ได้นั้นมีอยู่ 9 ปัจจัย ได้แก่ **ดิน** ซึ่งชนิดของเนื้อดินมีผลต่อเลือกลักษณะประเภทการใช้ที่ดิน คือ ดินร่วน, ดินทราย, ดินทรายแป้ง, ดินเหนียว, พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน **เส้นทางน้ำ** ซึ่งระยะห่างจากเส้นทางน้ำมีผลต่อการนำมาทำน้ำประปาที่ตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้น้ำภาคครัวเรือนของเมือง **บ่อน้ำ** ซึ่งระยะห่างจากบ่อน้ำมีผลต่อความต้องการใช้น้ำ ทั้งภาคการเกษตรกับภาคครัวเรือนของเมือง **หมู่บ้าน** ซึ่งระยะห่างจากหมู่บ้านมีผลต่อความเป็นเมือง และการขยายตัวของเมือง **ความลาดชัน** ซึ่งภูมิประเทศที่สูงชันเกิน จะมีการเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดินที่ยากกว่าบริเวณพื้นที่ราบ **เส้นทางคมนาคม** ซึ่งระยะถนนมีผลต่อการขยายตัวของเมือง และที่สำคัญจังหวัดเชียงรายมีเส้นทางเชื่อมต่อการค้าทางบกกับประเทศเพื่อนบ้าน **น้ำฝน** ซึ่งปริมาณน้ำฝนมีผลต่อปริมาณน้ำที่อยู่ในลุ่มน้ำต่างๆ ที่ถูกนำไปใช้ในการทำน้ำประปา ในการอุปโภค บริโภค **ความสูงเชิงเลข** ซึ่งความสูงของภูมิประเทศมีผลต่อการขยายตัวของเมือง และทิศทางการใช้พื้นที่ และ**ประชากร** ซึ่งความหนาแน่นของประชากร มีผลต่อการใช้พื้นที่และการขยายตัวของเมือง แต่เนื่องด้วยพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงรายนั้น มีแหล่งการค้าชายแดนที่มีอัตราการเติบโตทางการค้าขาย และส่งผลให้เกิดการพัฒนาเมือง ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเพิ่มปัจจัย **แหล่งการค้าชายแดน** เข้าไปอีก 1 ปัจจัย โดยปัจจัยดินจะทำการแยกเนื้อดินออกเป็น 5 ปัจจัย ซึ่งเมื่อนับรวมแต่ละชนิดของเนื้อดินนั้น จะมีปัจจัยรวมทั้งหมดเป็น 14 ปัจจัย ดังตาราง 8

ตาราง 7 รายละเอียดของการใช้ที่ดินแต่ละประเภทที่จำแนกได้ในพื้นที่ศึกษา

ประเภทการใช้ที่ดิน	รายละเอียด
พื้นที่นาข้าว	พื้นที่นาข้าว
พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่ป่าไม้
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	เหมืองแร่ สันทราย และที่โล่งเตียนปราศจากสิ่งปกคลุม
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	แหล่งชุมชน ที่อยู่อาศัย และโรงงานอุตสาหกรรม
พื้นที่แหล่งน้ำ	แม่น้ำ ลำธาร หนอง คลอง บึง และแหล่งเก็บน้ำที่สร้างขึ้น
พื้นที่ทุ่งหญ้า	ทุ่งหญ้า และพืชไร่
พื้นที่ไม้ยืนต้น	พืชสวน และไม้ผล

ตาราง 8 ข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด

ข้อมูล	คำอธิบาย	แหล่งที่มา
ดิน	เนื้อดิน (ดินร่วน, ดินทราย, ดินทรายแป้ง, ดินเหนียว , พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน)	กรมพัฒนาที่ดิน
เส้นทางน้ำ	ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 กรมแผนที่ทหาร
บ่อน้ำ	ระยะห่างจากบ่อน้ำ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
หมู่บ้าน	ระยะห่างจากหมู่บ้าน	กรมพัฒนาที่ดิน
ความลาดชัน	ความลาดชัน	จากความสูงเชิงเลข
เส้นทางคมนาคม	ระยะห่างจากถนน	แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 กรมแผนที่ทหาร
น้ำฝน	ปริมาณน้ำฝน	กรมอุตุนิยมวิทยา
ความสูงเชิงเลข	ความสูงเชิงเลข	สำนักงานสำรวจทางธรณีวิทยาสหรัฐ (United States Geological Survey :USGS)
ประชากร	ความหนาแน่นของประชากร (ระดับตำบล)	กรมการปกครอง
แหล่งการค้าชายแดน	ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน	จากการสำรวจ

การดำเนินงานด้านภูมิสารสนเทศ

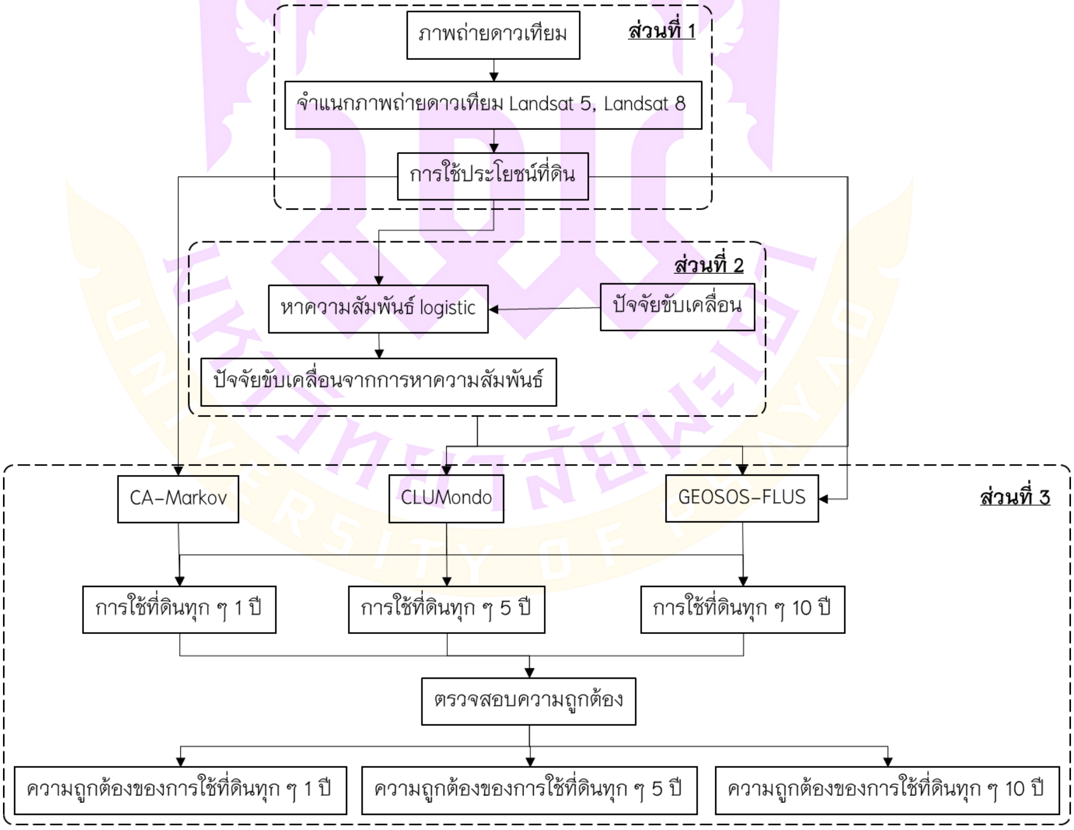
การรวบรวมข้อมูลของพื้นที่ศึกษา เป็นกระบวนการในการเตรียมข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการศึกษามาวิเคราะห์ และจัดทำชั้นข้อมูลต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลด้านภูมิสารสนเทศ เพื่อนำมาวิเคราะห์ในซอฟต์แวร์เฉพาะทาง ประกอบไปด้วย

- เนื้อดิน: Soil Texture ได้จากกรมพัฒนาที่ดิน โดยแปลงข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector) เป็นราสเตอร์ (Raster) ใช้ฟังก์ชัน Spatial Analyst Tools > Feature to Raster
- ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ : Stream ได้จากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 กรมแผนที่ทหาร โดยแปลงข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector) เป็นราสเตอร์ (Raster) ใช้ฟังก์ชัน Spatial Analyst Tools > Euclidean Distance
- ระยะห่างจากบ่อน้ำ : Well ได้จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล โดยแปลงข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector) เป็นราสเตอร์ (Raster) ใช้ฟังก์ชัน Spatial Analyst Tools > Feature to Raster
- ระยะห่างจากหมู่บ้าน : Village ได้จากกรมพัฒนาที่ดิน โดยแปลงข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector) เป็นราสเตอร์ (Raster) ใช้ฟังก์ชัน Spatial Analyst Tools > Euclidean Distance
- ความลาดชัน : Slope สามารถสร้างได้จากข้อมูล DEM โดยจะใช้การคำนวณความแตกต่างของค่าความสูงจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งที่อยู่ใกล้เคียง โดยสามารถกำหนดลักษณะการคำนวณได้สองรูปแบบดังนี้ 1.Degree (องศา) และ 2. Percent rise (เปอร์เซ็นต์) ใช้ฟังก์ชัน 3D Analyst > Slope
- ระยะห่างจากถนน : Road ได้จากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 กรมแผนที่ทหาร โดยแปลงข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector) เป็นราสเตอร์ (Raster) ใช้ฟังก์ชัน Spatial Analyst Tools > Euclidean Distance
- ปริมาณน้ำฝน : Rain ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยแปลงข้อมูลเวกเตอร์ (Vector) เป็นราสเตอร์ (Raster) ใช้ฟังก์ชัน 3D Analyst > IDW
- ความสูงเชิงเลข : Digital Elevation Model (DEM) จัดเก็บอยู่ในข้อมูลประเภทราสเตอร์ (Raster) ใช้สำหรับแสดงค่าความสูงของภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษา แหล่งที่มาของข้อมูล : สำนักงานสำรวจทางธรณีวิทยาสหรัฐ : USGS ASTER-DEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)
- ความหนาแน่นของประชากร : Population ได้จากกรมการปกครอง โดยแปลงข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector) เป็นราสเตอร์ (Raster) ใช้ฟังก์ชัน Spatial Analyst Tools > Kernel Density

- การระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน : Market ได้จากการสำรวจ โดยแปลงข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector) เป็นราสเตอร์ (Raster) ใช้ฟังก์ชัน Spatial Analyst Tools > Feature to Raster

วิธีการวิเคราะห์

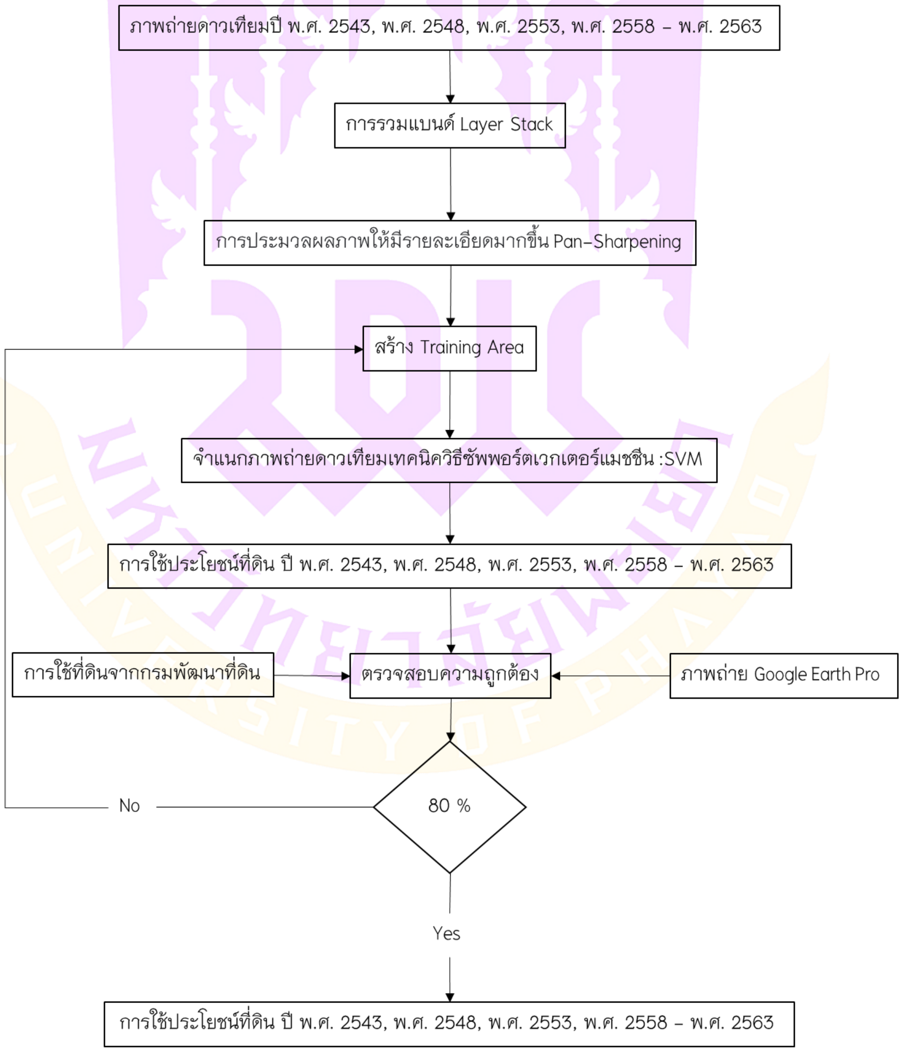
ขั้นตอนการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามวัตถุประสงค์ ได้แก่ **ส่วนแรก** คือ การจำแนกการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548,พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 **ส่วนที่สอง** คือ การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดิน เพื่อคัดเลือกปัจจัยขับเคลื่อนที่จะนำมาใช้ในการคาดการณ์อนาคต และ**ส่วนสุดท้าย** คือ การคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA–Markov แบบจำลอง CLUMondo และ แบบจำลองGeoSOS–FLUS เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ดังภาพ 12



ภาพ 12 ขั้นตอนการศึกษา

<u>ส่วนที่ 1</u> การจำแนกการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548,พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563

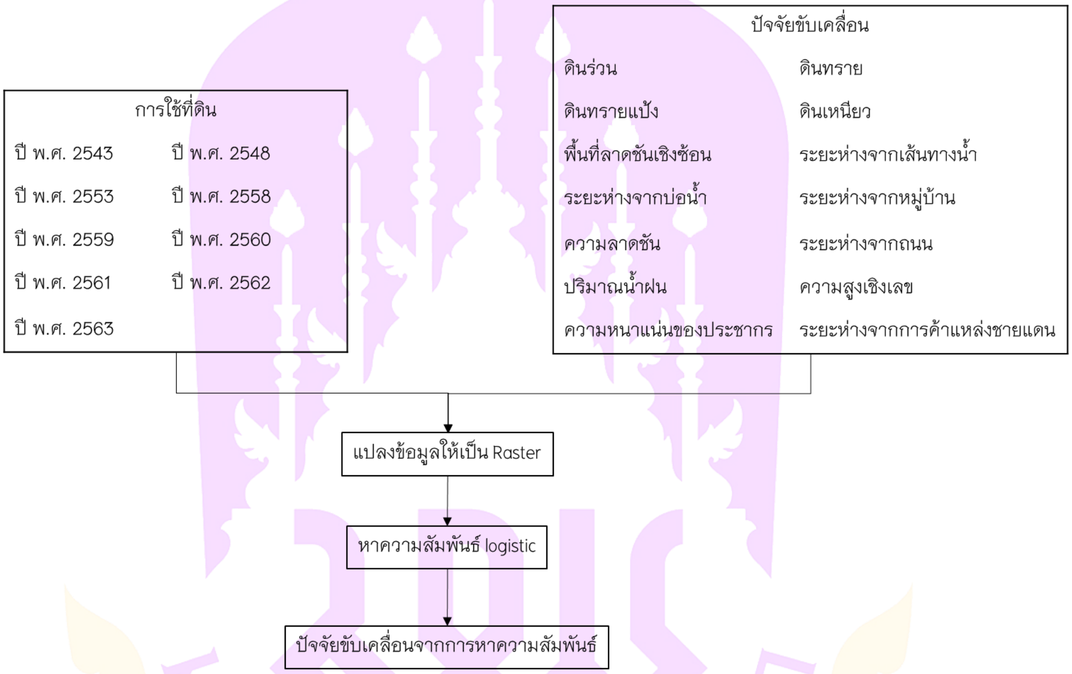
การจำแนกการใช้ที่ดิน ทั้งหมด 9 ปี จำแนกออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ พื้นที่นาข้าว พื้นที่ทุ่งหญ้า และพื้นที่ไม้ยืนต้นพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และ พื้นที่แหล่งน้ำ ด้วยเทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM) ผ่านแพลตฟอร์ม Google Earth Engine ภายหลังการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินครบทั้ง 9 ปี จะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนก เพื่อให้ข้อมูลที่นำมาใช้มีความน่าเชื่อถือ ด้วยวิธีการตรวจสอบความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) และความสอดคล้อง (Kappa Coefficient) โดยจะทำการตรวจสอบกับทั้งข้อมูลการใช้ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน และจากภาพถ่าย Google Earth Pro ดังภาพ 13



ภาพ 13 ขั้นตอนการจำแนกการใช้ที่ดินด้วยเทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

<u>ส่วนที่ 2</u> การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับการใช้ที่ดิน

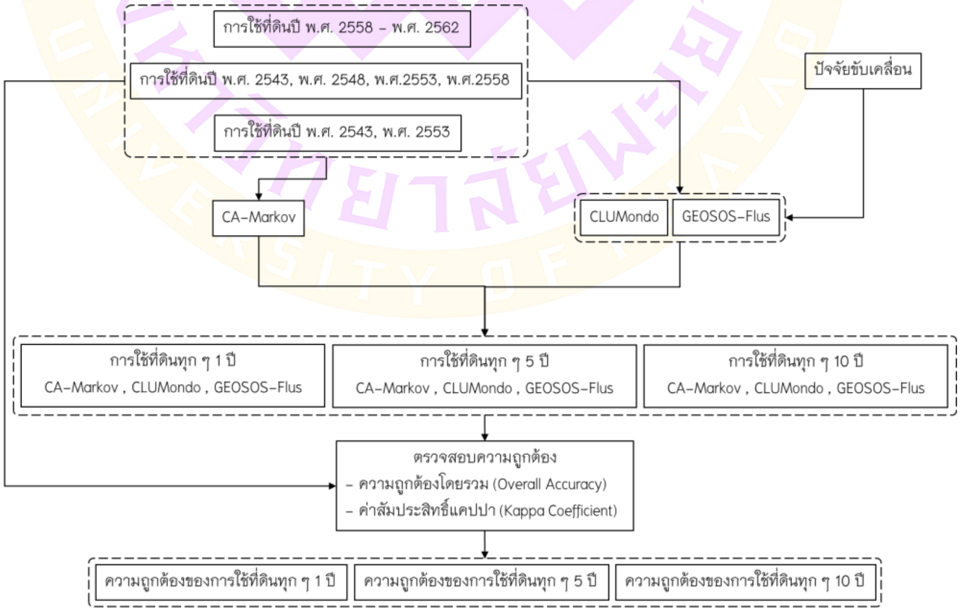
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับการใช้ที่ดิน โดยใช้สมการโลจิสติกส์ (Logistic Regression) ซึ่งจะนำเข้าข้อมูลปัจจัยขับเคลื่อนทั้ง 14 ปัจจัย และการใช้ที่ดินทั้ง 7 ประเภทที่เป็นไฟล์ข้อมูลราสเตอร์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบโลจิสติกส์ โดยวิธีวิเคราะห์จะทำการสุ่มจุดและดึงค่าของข้อมูล ณ ตำแหน่งนั้นออกมาเพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามสมการโลจิสติกส์ ดังภาพ 14



ภาพ 14 การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับการใช้ที่ดิน ด้วยสมการโลจิสติกส์

<u>ส่วนที่ 3</u> การคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo แบบจำลอง GeoSOS-FLUS เป็นแบบจำลองที่ใช้แสดงถึงความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ ที่มีความน่าจะเป็นที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินไปเป็นประเภทต่างๆ โดยการนำข้อมูลการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 ทั้ง 7 ประเภท กับข้อมูลปัจจัย มากำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ และคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตจากแนวโน้มในอดีต โดยจะแบ่งการคาดการณ์ออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงสั้น (ทุก 1 ปี) ช่วงกลาง (ทุก 5 ปี) และช่วงยาว (10 ปี) หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยการสุ่มจุดตรวจสอบ (Test Point) ทั้งหมด 256 จุด และนำจุดตรวจสอบมาดึงค่า ณ ตำแหน่งนั้นของข้อมูลการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 ทั้ง 7 ประเภท จากแบบจำลอง และการใช้ที่ดินที่ได้จากการแปลภาพดาวเทียม ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 เปรียบเทียบกับว่ามีข้อมูลตรงกันร้อยละเท่าไร โดยทั่วไปหากทำการเปรียบเทียบแล้วมีข้อมูลตรงกันมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (Percent) ถือว่ามีความน่าเชื่อถือ และนำผลจากตรวจสอบมาวิเคราะห์ความถูกต้องของแต่ละแบบจำลอง แต่ละช่วงมาเทียบกันเพื่อหาแบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุด ดังภาพ 15 โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์แต่ละแบบจำลองดังนี้



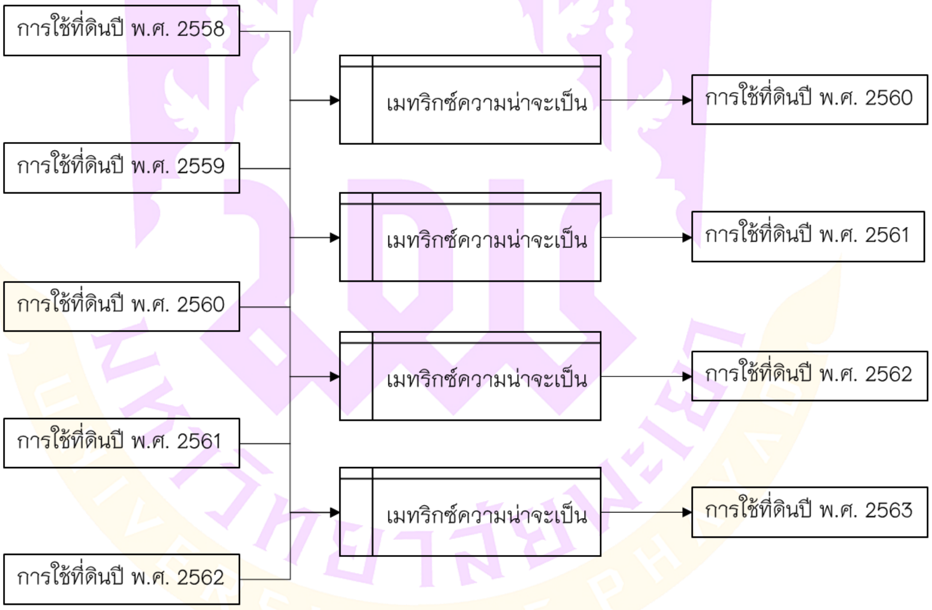
ภาพ 15 การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

การคาดการณ์การใช้ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยแบบจำลอง CA-Markov โดยมีกระบวนการศึกษาดังนี้

1. การคาดการณ์แบบช่วงสั้น (ทุก 1 ปี 1 ช่วง)

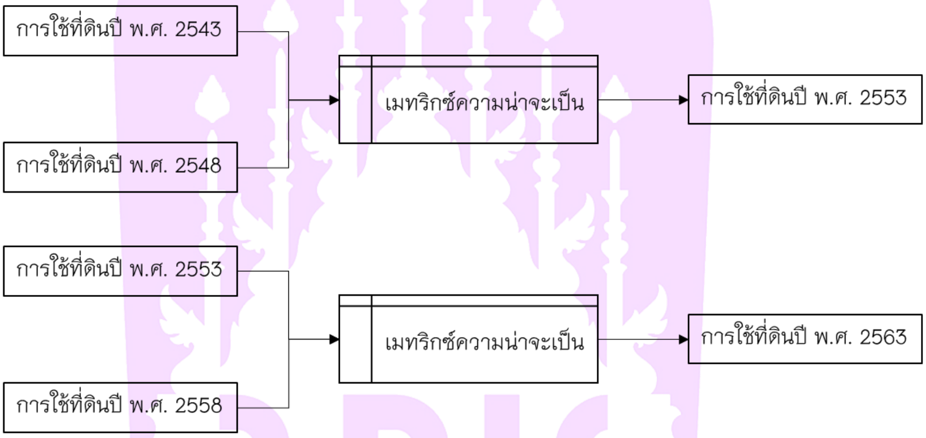
การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลแบบช่วงสั้น ราย 1 ปี ใช้เมทริกซ์คำนวณความน่าจะเป็นของแต่ละช่วงเวลา กับสัดส่วนการใช้ที่ดินปีก่อนหน้าช่วงเวลาที่คาดการณ์ เช่น หากต้องการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2560 ใช้เมทริกซ์ความน่าจะเป็นระหว่างปี พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2559 คูณกับสัดส่วนการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2559 และต้องการคาดการณ์ ปี พ.ศ. 2561 ใช้เมทริกซ์ความน่าจะเป็นระหว่างปี พ.ศ. 2559 – พ.ศ. 2560 คูณกับสัดส่วนการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2560 เป็นต้น และใช้วิธีการเดียวกันทำการคาดการณ์ปีถัดไปอย่างต่อเนื่อง ดังภาพ 16



ภาพ 16 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง CA-Markov (ทุก 1 ปี 1 ช่วง)

2. การคาดการณ์แบบช่วงกลาง (ทุก 5 ปี 5 ช่วง)

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลแบบช่วงกลาง ราย 5 ปี จะใช้วิธีการแบบเดียวกันกับการคาดการณ์ราย 1 ปี แต่แตกต่างกันที่การคาดการณนี้ใช้เมทริกซ์คำนวนความน่าจะเป็นของราย 5 ปี ทำการคาดการณ์ปีถัดไปอย่างต่อเนื่อง เช่น หากต้องการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2553 ใช้เมทริกซ์ความน่าจะเป็นระหว่างปี พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2548 คูณกับสัดส่วนการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2548 และ การคาดการณ์ปี พ.ศ. 2563 ใช้เมทริกซ์ความน่าจะเป็นระหว่างปี พ.ศ. 2553 – พ.ศ. 2558 คูณกับสัดส่วนการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2558 ดังภาพ 17



ภาพ 17 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง CA-Markov (ทุก 5 ปี 5 ช่วง)

3. การคาดการณ์แบบช่วงยาว (ทุก 10 ปี 10 ช่วง)

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลแบบช่วงยาว ราย 10 ปี จะใช้วิธีการแบบเดียวกันกับการคาดการณ์ราย 5 ปี แต่แตกต่างกันที่การคาดการณ์นี้ใช้เมทริกซ์คำนวนความน่าจะเป็นของราย 10 ปี ทำการคาดการณ์ปีถัดไปอย่างต่อเนื่อง เช่น หากต้องการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2563 ใช้เมทริกซ์ความน่าจะเป็นระหว่างปี พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2553 คูณกับสัดส่วนการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2553 ดังภาพ 18

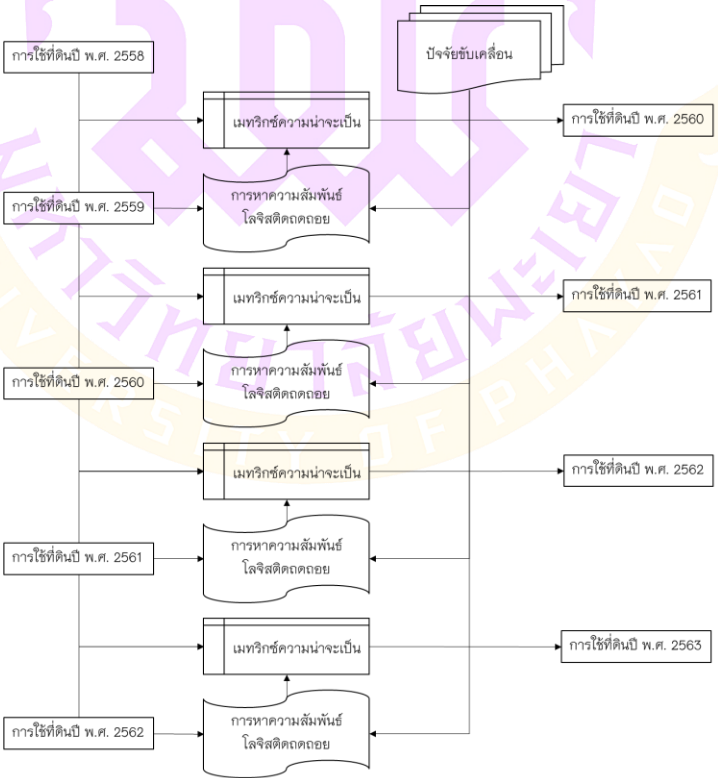
ภาพ 18 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง CA-Markov (ทุก 10 ปี 10 ช่วง)

การคาดการณ์การใช้ที่ดินด้วยแบบจำลอง CLUMondo

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยแบบจำลอง CLUMondo ใช้การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยสมการโลจิสติกถดถอย ซึ่งอยู่ในโปรแกรม CLUMondo และจะต้องทำการกำหนดพารามิเตอร์ของการใช้ที่ดินในอนาคตให้กับแบบจำลอง โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการกำหนดการใช้ที่ดินในอนาคตจากแนวโน้มในอดีต ที่ได้มาจากการใช้เมทริกซ์ความน่าจะเป็น จากโปรแกรม Markov Chain มีกระบวนการศึกษาดังนี้

1. การคาดการณ์แบบช่วงสั้น (ทุก 1 ปี 1 ช่วง)

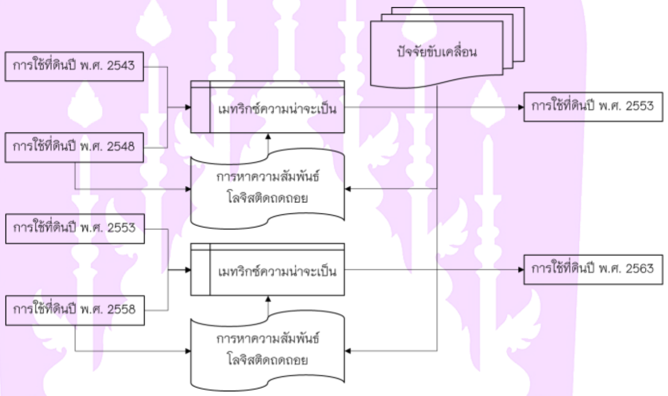
การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลแบบช่วงสั้น ราย 1 ปี จะใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินเพียง 1 ปี มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกับปัจจัยขับเคลื่อน และกำหนดพารามิเตอร์ในอนาคตจากเมทริกซ์ความน่าจะเป็น เช่น หากต้องการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2560 ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2559 (เป็นปีฐาน) และปัจจัยขับเคลื่อน จากนั้นกำหนดพารามิเตอร์การใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2560 และใช้วิธีการเดียวกันทำการคาดการณ์ปีถัดไปอย่างต่อเนื่อง ดังภาพ 19



ภาพ 19 การเปลี่ยนแปลงการใช้ ด้วยแบบจำลอง CLUMondo (ทุก 1 ปี 1 ช่วง)

2. การคาดการณ์แบบช่วงกลาง (ทุก 5 ปี 5 ช่วง)

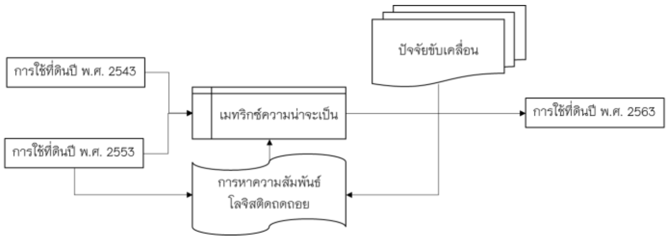
การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลแบบช่วงกลาง ราย 5 ปี จะใช้วิธีการแบบเดียวกันกับการคาดการณ์ราย 1 ปี แตกต่างกันที่พารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดการใช้ที่ดินในอนาคตเป็นราย 5 ปี เช่น หากต้องการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2553 ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2548 (เป็นปีฐาน) และปัจจัยขับเคลื่อน จากนั้นกำหนดพารามิเตอร์การใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2553 และการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2563 ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2558 (เป็นปีฐาน) และปัจจัยขับเคลื่อน จากนั้นกำหนดพารามิเตอร์การใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2563 ดังภาพ 20



ภาพ 20 การเปลี่ยนแปลงการใช้ ด้วยแบบจำลอง CLUMondo (ทุก 5 ปี 5 ช่วง)

3. การคาดการณ์แบบช่วงยาว (ทุก 10 ปี 10 ช่วง)

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลแบบช่วงยาว ราย 10 ปี จะใช้วิธีการแบบเดียวกันกับการคาดการณ์ราย 5 ปี แตกต่างกันที่พารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดการใช้ที่ดินในอนาคตเป็นราย 10 ปี ทำการคาดการณ์ปีถัดไปอย่างต่อเนื่อง เช่น หากต้องการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2563 ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2553 (เป็นปีฐาน) และปัจจัยขับเคลื่อน จากนั้นกำหนดพารามิเตอร์การใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2563 ดังภาพ 21



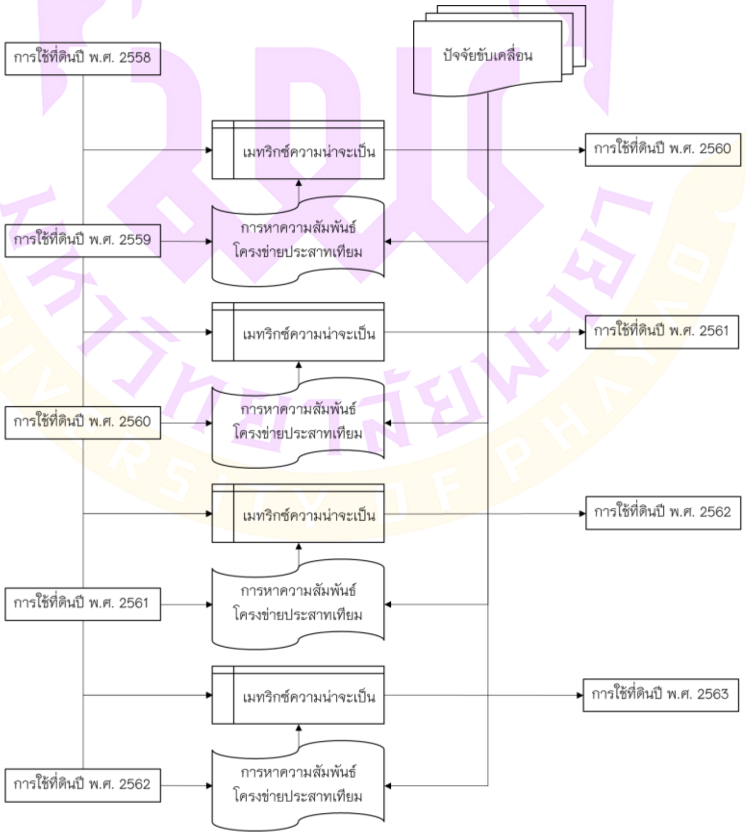
ภาพ 21 การเปลี่ยนแปลงการใช้ ด้วยแบบจำลอง CLUMondo (ทุก 10 ปี 10 ช่วง)

การคาดการณ์การใช้ที่ดินด้วยแบบจำลอง GeoSOS-FLUS

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยแบบจำลอง GeoSOS-FLUS จะมีวิธีการคล้ายกับแบบจำลอง CLUMondo แตกต่างกันที่ใช้การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และจะต้องทำการกำหนดการใช้ที่ดินในอนาคตให้กับแบบจำลองโดยสร้างจากแนวโน้มการใช้ที่ดินในอดีต ซึ่งอยู่ในโปรแกรม GeoSOS-FLUS มีกระบวนการศึกษาดังนี้

1. การคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น (ทุก 1 ปี 1 ช่วง)

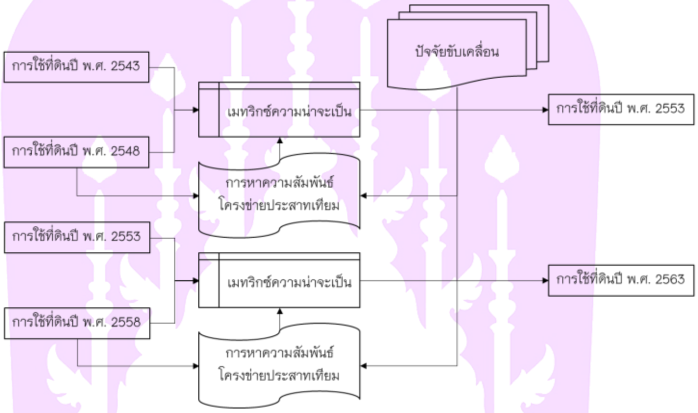
การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลแบบช่วงสั้น ราย 1 ปี จะใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินเพียง 1 ปี มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกับปัจจัยขับเคลื่อนด้วยโครงข่ายประสาทเทียม เช่น หากต้องการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2560 ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2559 (เป็นปีฐาน) และปัจจัยขับเคลื่อน จากนั้นกำหนดแนวโน้มการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2560 และใช้วิธีการเดียวกันทำการคาดการณ์ปีถัดไปอย่างต่อเนื่อง ดังภาพ 22



ภาพ 22 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง GeoSOS-FLUS (ทุก 1 ปี 1 ช่วง)

2. การคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง (ทุก 5 ปี 5 ช่วง)

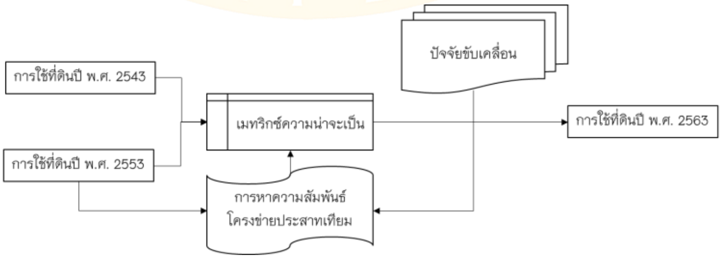
การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลแบบช่วงกลาง ราย 5 ปี จะใช้วิธีการแบบเดียวกันกับการคาดการณ์ราย 1 ปี แตกต่างกันที่การกำหนดการใช้ที่ดินในอนาคตเป็นราย 5 ปี เช่น หากต้องการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2553 ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2548 (เป็นปีฐาน) และปัจจัยขับเคลื่อน จากนั้นกำหนดแนวโน้มการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2553 และการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2563 ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2558 (เป็นปีฐาน) และปัจจัยขับเคลื่อน จากนั้นกำหนดแนวโน้มการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2563 ดังภาพ 23



ภาพ 23 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง GeoSOS-FLUS (ทุก 5 ปี 5 ช่วง)

3. การคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว (ทุก 10 ปี 10 ช่วง)

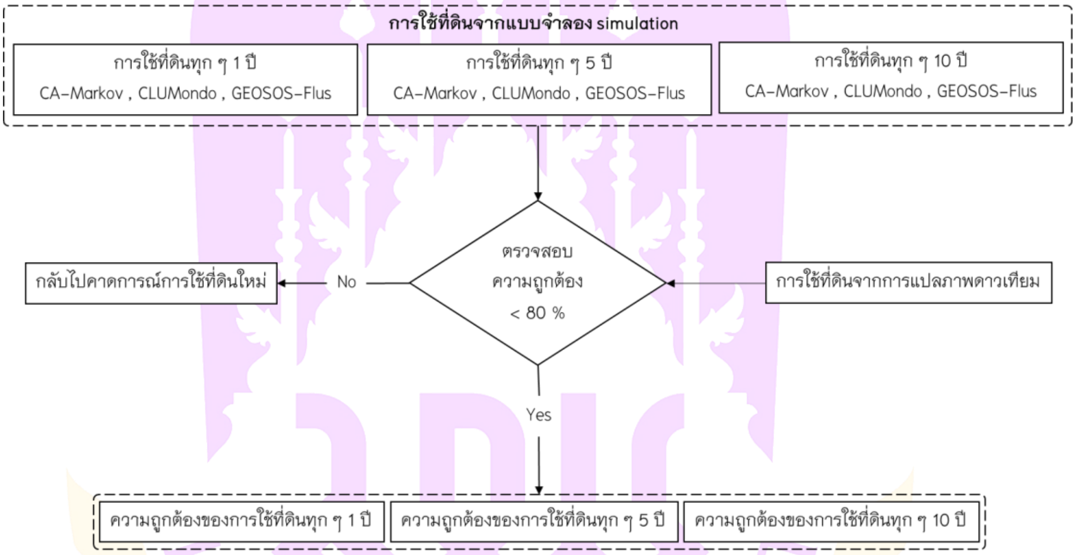
การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลแบบช่วงยาว ราย 10 ปี จะใช้วิธีการแบบเดียวกันกับการคาดการณ์ราย 5 ปี แตกต่างกันที่พารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดการใช้ที่ดินในอนาคตเป็นราย 10 ปี ทำการคาดการณ์ปีถัดไปอย่างต่อเนื่อง เช่น หากต้องการคาดการณ์ปี พ.ศ. 2563 ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2553 (เป็นปีฐาน) และปัจจัยขับเคลื่อน จากนั้นกำหนดแนวโน้มการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2563 ดังภาพ 24



ภาพ 24 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง GeoSOS-FLUS (ทุก 10 ปี 10 ช่วง)

การตรวจสอบความถูกต้องของผลการคาดการณ์

การตรวจความถูกต้องจะใช้จุดตรวจสอบ (Test Point) ทั้งหมด 256 จุด โดยจำนวนจุดที่ตรวจสอบได้จากการคำนวณจำนวนจุดภาพที่เหมาะสมในการกำหนดกลุ่มตัวอย่างตามทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทวินามของ (Fitzpatrick-Lins, 1981) ซึ่งการศึกษานี้ใช้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยรวมของงานที่ 80 และใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยจะทำการตรวจสอบผลของแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง กับข้อมูลการใช้ที่ดินที่ได้จากการแปลภาพดาวเทียม และนำผลจากการตรวจสอบมาเปรียบเทียบ เพื่อพิจารณาผลลัพธ์แบบจำลองทั้ง 3 ที่นำมาใช้ แบบจำลองใดที่ให้ความถูกต้องสูงที่สุด ดังภาพ 25



ภาพ 25 การตรวจสอบความถูกต้อง

การแบ่งกลุ่มพื้นที่ศึกษาเป็น 3 กลุ่ม

การแบ่งลำดับกลุ่มของพื้นที่ศึกษา จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามแผนพัฒนาจังหวัดเชียงราย พ.ศ. 2561 – พ.ศ. 2564 โดยจะแบ่งในระดับอำเภอ กลุ่มแรกคือ กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว เป็นกลุ่มที่มีการขยายตัวของเมืองที่มาก และเป็นแหล่งการขยายตัวด้านเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม โดยมีอยู่ 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองเชียงราย อำเภอแม่สาย อำเภอเชียงของ และอำเภอเชียงแสน ส่วนกลุ่มที่สองคือ กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง เป็นกลุ่มที่พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านเกษตรกรรม โดยมีอยู่ 7 อำเภอ ได้แก่ อำเภอพาน อำเภอแม่สรวย อำเภอแม่จัน อำเภอเวียงชัย อำเภอแม่ฟ้าหลวง อำเภอเวียงป่าเป้า และอำเภอเทิง และกลุ่มที่สามคือ กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า เป็นกลุ่มที่มีลักษณะเป็นภูเขาสูง หรือ มีการขยายตัวแบบอื่นที่ไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มทั้งสองที่ได้กล่าวไปก่อนหน้า โดยมีอยู่ 7 อำเภอ ได้แก่ อำเภอแม่ลาว อำเภอขุนตาล อำเภอพญาเม็งราย อำเภอดอยหลวง อำเภอป่าแดด อำเภอเวียงเชียงรุ้ง และอำเภอเวียงแก่น ทั้งนี้การแบ่งกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม เพื่อศึกษาดูว่าในแต่ละกลุ่มนั้นมีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยอย่างไรบ้าง

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การศึกษางานวิจัยเรื่อง แบบจำลองการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในจังหวัดเชียงราย ในครั้งนี้เป็นการศึกษาการเปรียบเทียบแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2563 โดยได้แบ่งรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

1.การจำแนกการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563

การจำแนกการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 ที่ได้จากการแปลภาพดาวเทียม และตรวจสอบความถูกต้อง ตาราง 9 ภาพ 26-34 มีรายละเอียด ดังนี้

พื้นที่นาข้าว ในปี พ.ศ. 2543 มีเนื้อที่ 3,096,729 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 43.053 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2548 มีเนื้อที่ 3,342,915 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 46.476 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2553 มีเนื้อที่ 3,016,539 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 41.938 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2558 มีเนื้อที่ 2,669,301 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 37.111 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2559 มีเนื้อที่ 2,608,110 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 36.260 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2560 มีเนื้อที่ 2,448,405 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 34.040 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2561 มีเนื้อที่ 2,526,309 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 35.123 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2562 มีเนื้อที่ 2,439,072 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 33.910 ของพื้นที่ทั้งหมด และ พ.ศ. 2563 มีเนื้อที่ 2,207,988 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 30.697 ของพื้นที่ทั้งหมด

พื้นที่ทุ่งหญ้า ประกอบด้วย ทุ่งหญ้า และพืชไร่ ในปี พ.ศ. 2543 มีเนื้อที่ 174,366 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.424 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2548 มีเนื้อที่ 86,004 คิดเป็นร้อยละ 1.196 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2553 มีเนื้อที่ 415,305 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.774 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2558 มีเนื้อที่ 398,925 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.546 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2559 มีเนื้อที่ 214,074 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.976 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2560 มีเนื้อที่ 144,423 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.008 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2561 มีเนื้อที่ 211,428 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.939 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2562 มีเนื้อที่ 273,114 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.797 ของพื้นที่ทั้งหมด และ พ.ศ. 2563 มีเนื้อที่ 635,364 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 8.833 ของพื้นที่ทั้งหมด

พื้นที่ไม้ยืนต้น ประกอบด้วย พืชสวน และไม้ผล โดยไม้ยืนต้นที่สำคัญ ได้แก่ ลำไย ลิ้นจี่ ชา กาแฟ และสับปะรด เป็นต้น ในปี พ.ศ. 2543 มีเนื้อที่ 32,247 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.448 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2548 มีเนื้อที่ 34,605 คิดเป็นร้อยละ 0.481 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2553 มีเนื้อที่ 201,249 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.798 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2558 มีเนื้อที่ 571,977 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 7.952 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2559 มีเนื้อที่ 794,070 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 11.040 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2560 มีเนื้อที่ 1,138,932 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 15.834 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2561 มีเนื้อที่ 1,357,137 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 18.868 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2562 มีเนื้อที่ 1,522,584 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 21.168 ของพื้นที่ทั้งหมด และ พ.ศ. 2563 มีเนื้อที่ 1,740,312 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 24.195 ของพื้นที่ทั้งหมด

พื้นที่ป่าไม้ ในปี พ.ศ. 2543 มีเนื้อที่ 3,784,059 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 52.609 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2548 มีเนื้อที่ 3,618,837 คิดเป็นร้อยละ 50.312 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2553 มีเนื้อที่ 3,360,465 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 46.720 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2558 มีเนื้อที่ 3,278,142 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 45.575 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2559 มีเนื้อที่ 3,262,995 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 45.365 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2560 มีเนื้อที่ 3,046,653 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 42.357 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2561 มีเนื้อที่ 2,677,329 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 37.222 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2562 มีเนื้อที่ 2,529,855 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 35.172 ของพื้นที่ทั้งหมด และ พ.ศ. 2563 มีเนื้อที่ 2,148,786 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 29.874 ของพื้นที่ทั้งหมด

พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ ประกอบด้วย เหมืองแร่ สันทราย และที่โล่งเตียนปราศจากสิ่งปกคลุมดิน เป็นต้น ในปี พ.ศ. 2543 มีเนื้อที่ 1,674 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.023 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2548 มีเนื้อที่ 1,647 คิดเป็นร้อยละ 0.023 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2553 มีเนื้อที่ 1,584 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.022 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2558 มีเนื้อที่ 1,557 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.022 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2559 มีเนื้อที่ 1,233 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.017 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2560 มีเนื้อที่ 990 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.014 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2561 มีเนื้อที่ 774 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.011 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2562 มีเนื้อที่ 306 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.004 ของพื้นที่ทั้งหมด และ พ.ศ. 2563 มีเนื้อที่ 279 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.004 ของพื้นที่ทั้งหมด

พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง เช่น แหล่งชุมชน ที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของอำเภอต่างๆ แหล่งการค้าชายแดน และกระจายตัวไปตามเส้นทางคมนาคมสายหลัก ในปี พ.ศ. 2543 มีเนื้อที่ 85,779 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.193 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2548 มีเนื้อที่ 88,821 คิดเป็นร้อยละ 1.235 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2553 มีเนื้อที่ 171,243 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.381

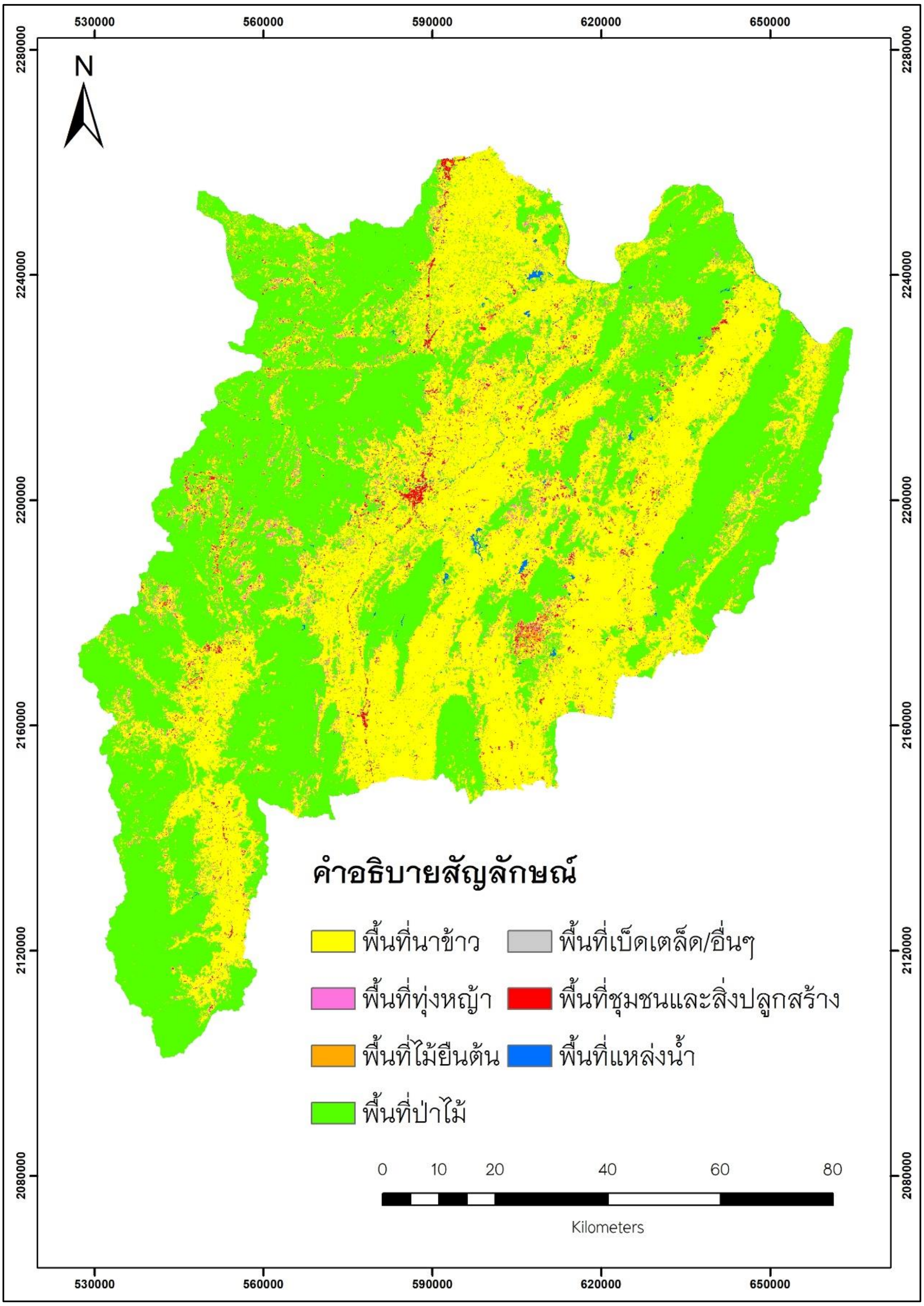
ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2558 มีเนื้อที่ 235,179 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.270 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2559 มีเนื้อที่ 268,632 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.735 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2560 มีเนื้อที่ 362,781 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.044 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2561 มีเนื้อที่ 368,028 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.117 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2562 มีเนื้อที่ 375,408 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.219 ของพื้นที่ทั้งหมด และ พ.ศ. 2563 มีเนื้อที่ 406,791 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.656 ของพื้นที่ทั้งหมด

พื้นที่แหล่งน้ำ ประกอบด้วย แหล่งน้ำตามธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น เช่น แม่น้ำลำธาร หนอง คลอง บึง เป็นต้น โดยแหล่งน้ำที่สำคัญ ได้แก่ แม่น้ำโขง แม่น้ำสาย แม่น้ำรวก น้ำแม่ลาว น้ำแม่จัน และน้ำแม่คำ เป็นต้น ในปี พ.ศ. 2543 มีเนื้อที่ 17,937 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.249 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2548 มีเนื้อที่ 19,962 คิดเป็นร้อยละ 0.278 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2553 มีเนื้อที่ 26,406 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.367 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2558 มีเนื้อที่ 37,710 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.524 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2559 มีเนื้อที่ 43,677 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.607 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2560 มีเนื้อที่ 50,607 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.704 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2561 มีเนื้อที่ 51,786 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.720 ของพื้นที่ทั้งหมด พ.ศ. 2562 มีเนื้อที่ 52,452 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.729 ของพื้นที่ทั้งหมด และ พ.ศ. 2563 มีเนื้อที่ 53,271 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.741 ของพื้นที่ทั้งหมด

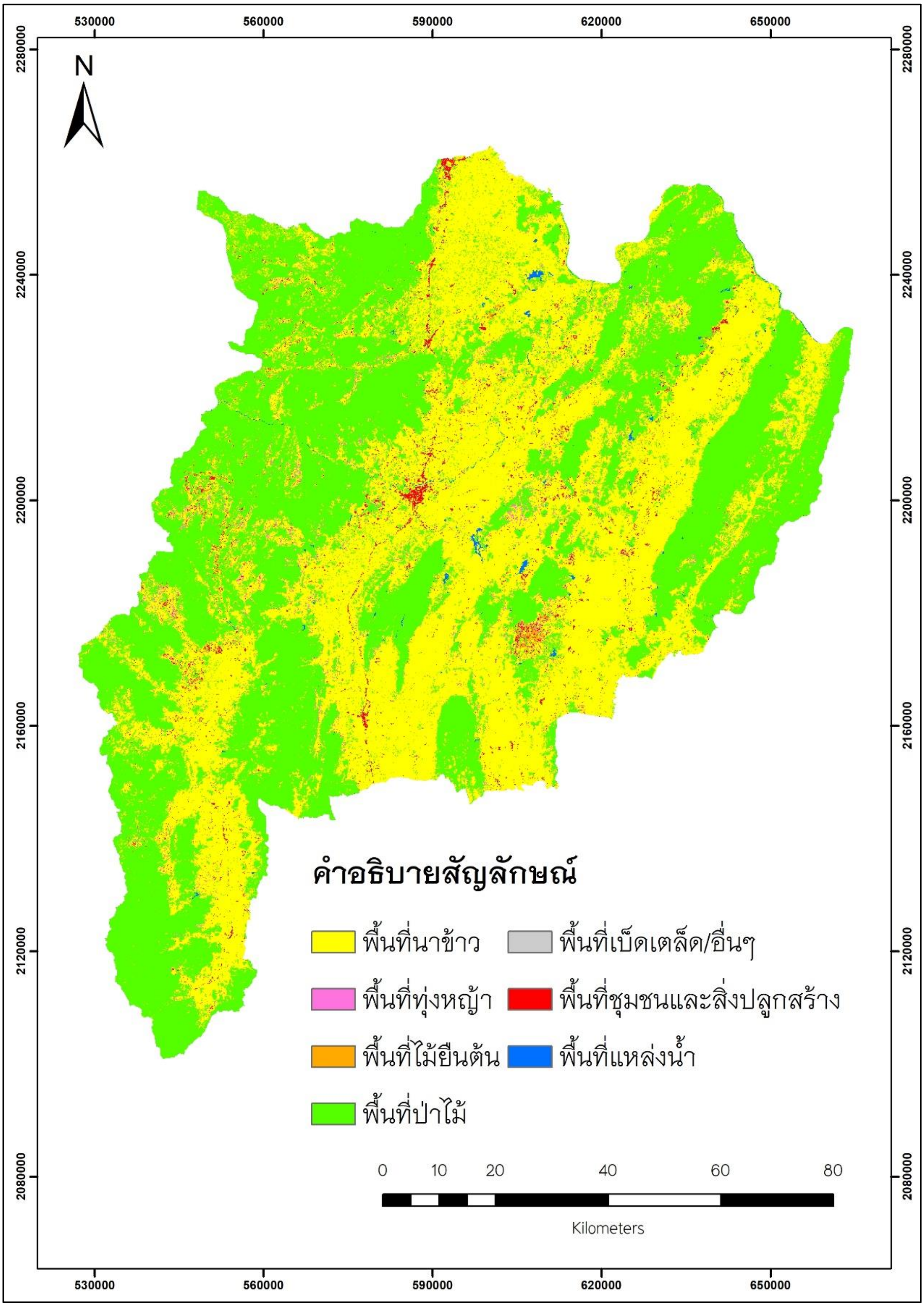
การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนก กับข้อมูลการใช้ที่ดินที่ได้จากกรมพัฒนาที่ดินมาทำการสุ่มจุด จำนวน 256 จุด ตรวจสอบโดยใช้ ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa Coefficient) พบว่า พ.ศ. 2543 มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 84.38 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 76.48 พ.ศ. 2548 มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 80.47 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 70.53 พ.ศ. 2553 มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 81.64 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 72.32 พ.ศ. 2558 มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 83.20 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 75.96 พ.ศ. 2559 มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 83.59 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 76.91 พ.ศ. 2560 มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 80.86 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 74.02 พ.ศ. 2561 มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 81.25 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 75.32 พ.ศ. 2562 มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 81.25 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 74.95 และ พ.ศ. 2563 มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 83.59 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 78.62

ตาราง 9 การจำแนกการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563

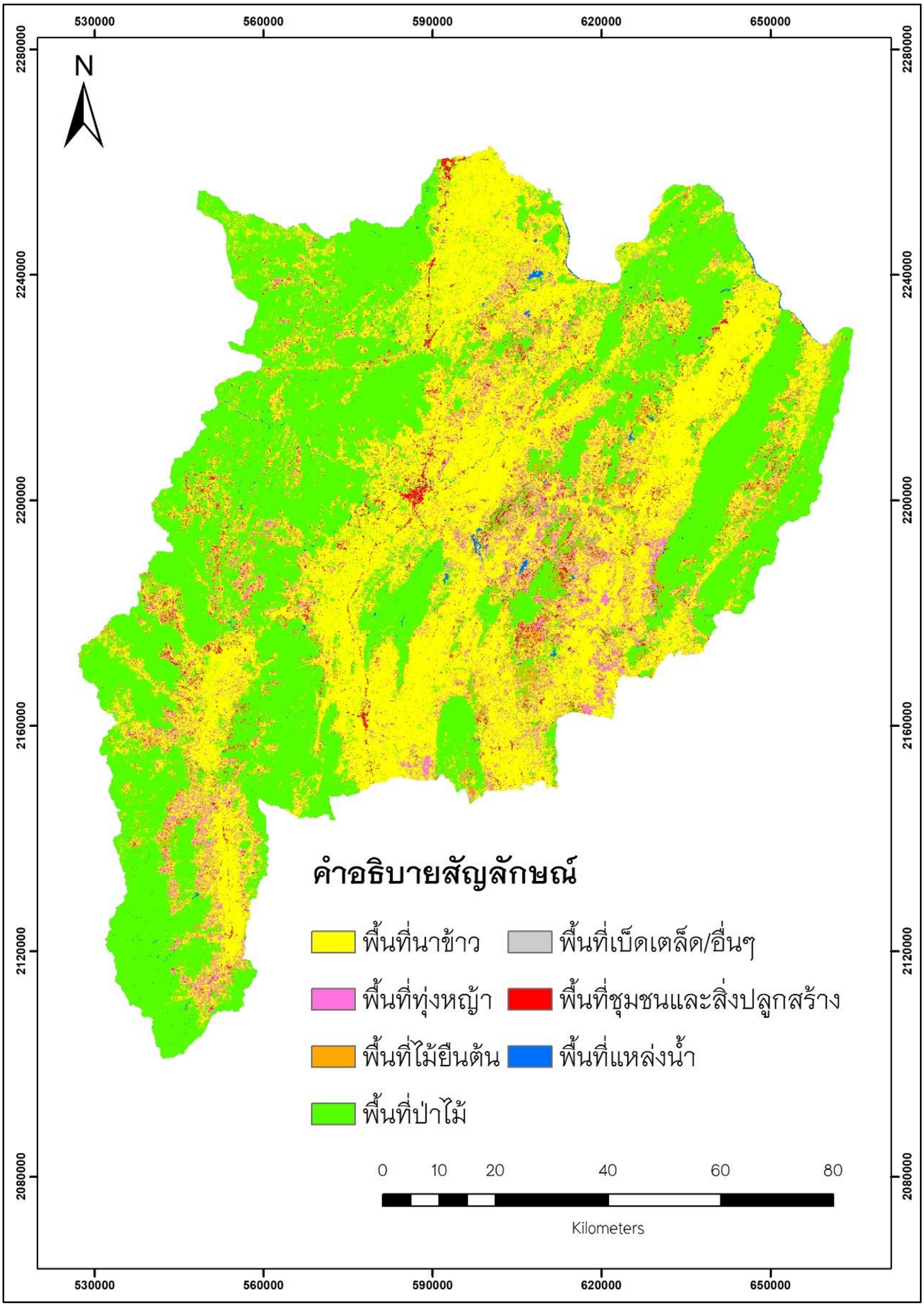
ปี พ.ศ.	ประเภทการใช้ที่ดิน														รวม		Overall Accuracy	Kappa Coefficient
	พื้นที่นาข้าว		พื้นที่ทุ่งหญ้า		พื้นที่ไม้ยืนต้น		พื้นที่ป่าไม้		พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ		พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง		พื้นที่แหล่งน้ำ					
	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ		
2543	3,096,729	43.053	174,366	2.424	32,247	0.448	3,784,059	52.609	1,674	0.023	85,779	1.193	17,937	0.249	7,192,791	100	84.38	76.48
2548	3,342,915	46.476	86,004	1.196	34,605	0.481	3,618,837	50.312	1,647	0.023	88,821	1.235	19,962	0.278	7,192,791	100	80.47	70.53
2553	3,016,539	41.938	415,305	5.774	201,249	2.798	3,360,465	46.720	1,584	0.022	171,243	2.381	26,406	0.367	7,192,791	100	81.64	72.32
2558	2,669,301	37.111	398,925	5.546	571,977	7.952	3,278,142	45.575	1,557	0.022	235,179	3.270	37,710	0.524	7,192,791	100	83.20	75.96
2559	2,608,110	36.260	214,074	2.976	794,070	11.040	3,262,995	45.365	1,233	0.017	268,632	3.735	43,677	0.607	7,192,791	100	83.59	76.91
2560	2,448,405	34.040	144,423	2.008	1,138,932	15.834	3,046,653	42.357	990	0.014	362,781	5.044	50,607	0.704	7,192,791	100	80.86	74.02
2561	2,526,309	35.123	211,428	2.939	1,357,137	18.868	2,677,329	37.222	774	0.011	368,028	5.117	51,786	0.720	7,192,791	100	81.25	75.32
2562	2,439,072	33.910	273,114	3.797	1,522,584	21.168	2,529,855	35.172	306	0.004	375,408	5.219	52,452	0.729	7,192,791	100	81.25	74.95
2563	2,207,988	30.697	635,364	8.833	1,740,312	24.195	2,148,786	29.874	279	0.004	406,791	5.656	53,271	0.741	7,192,791	100	83.59	78.62



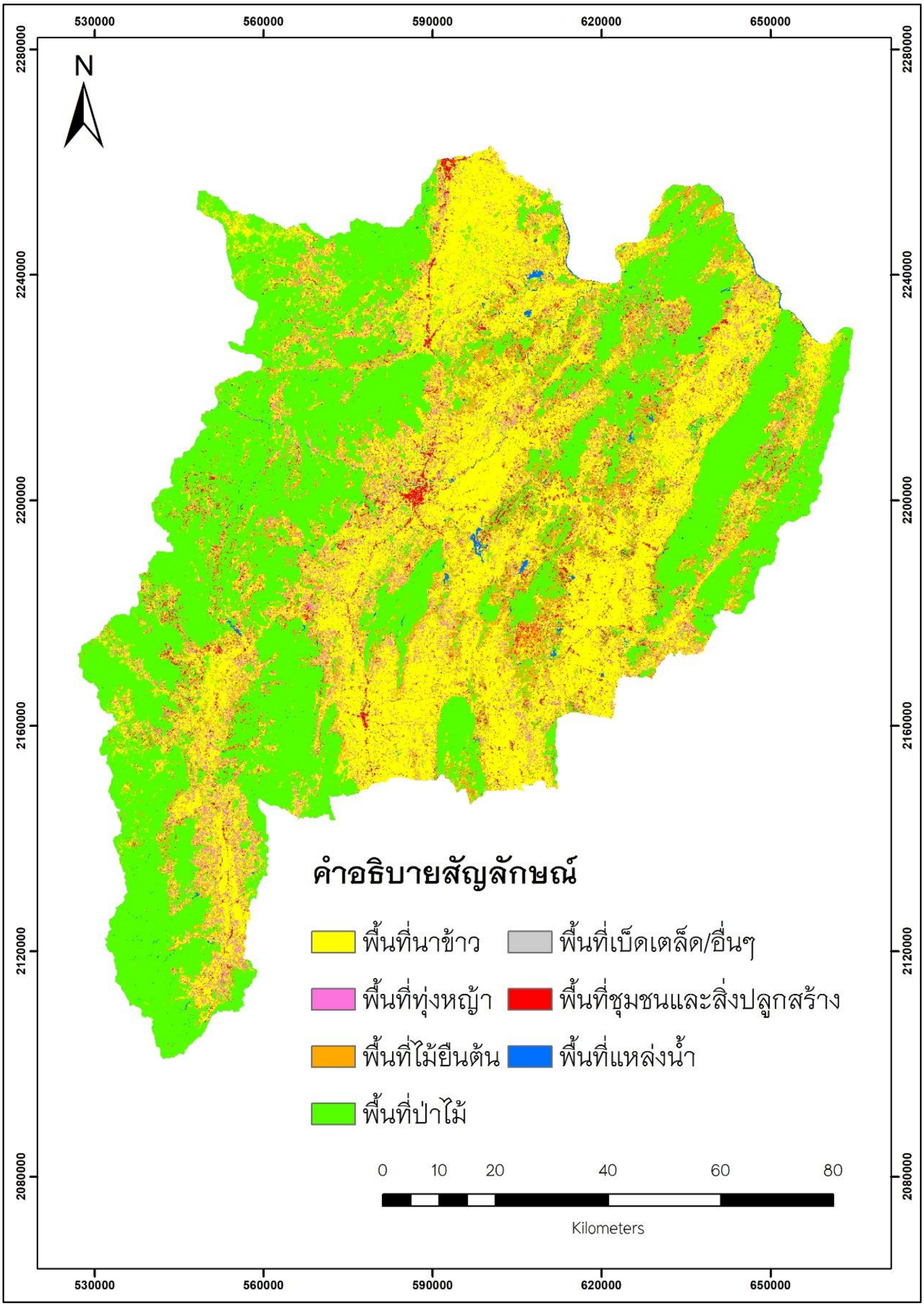
ภาพ 26 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2543



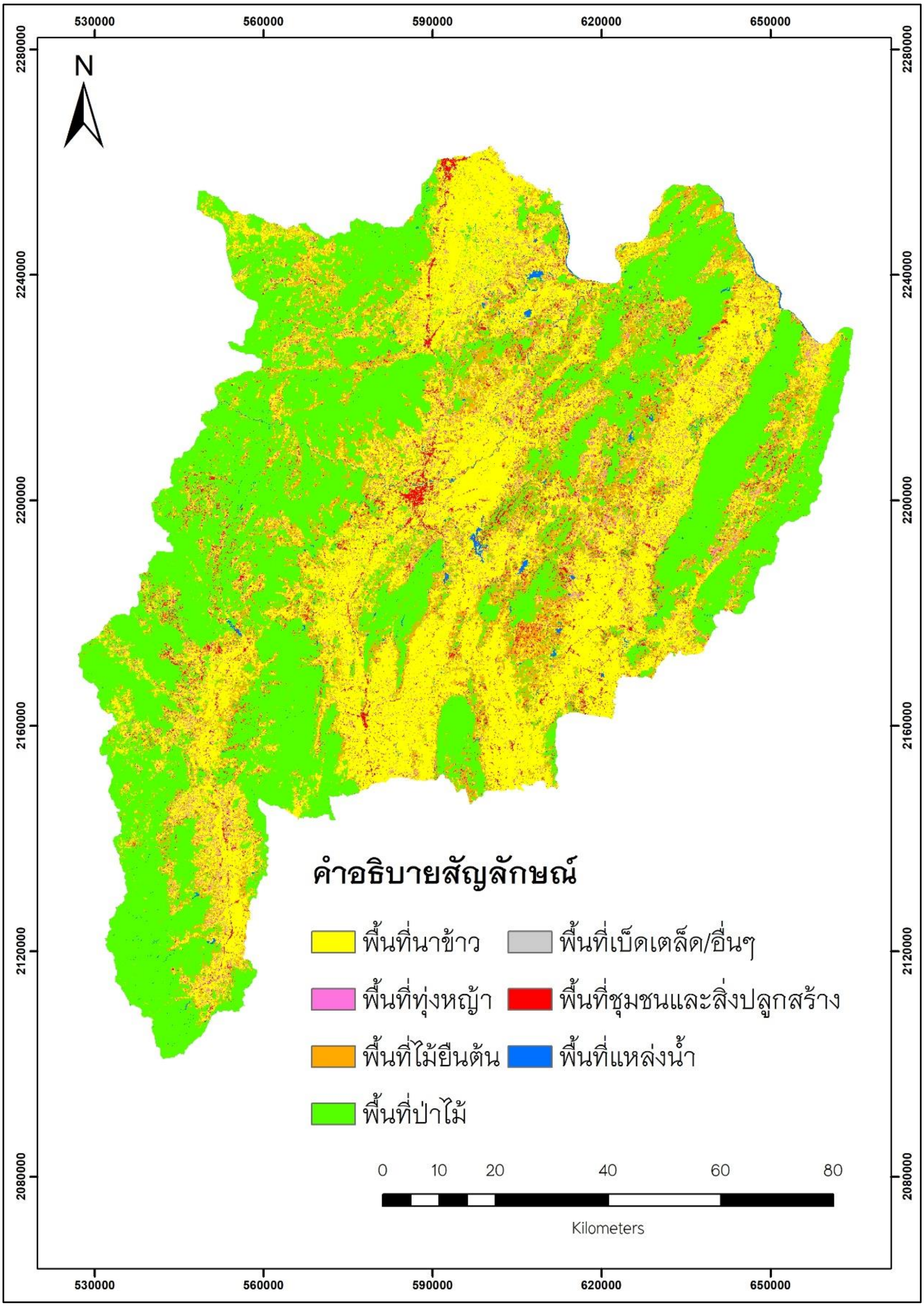
ภาพ 27 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2548



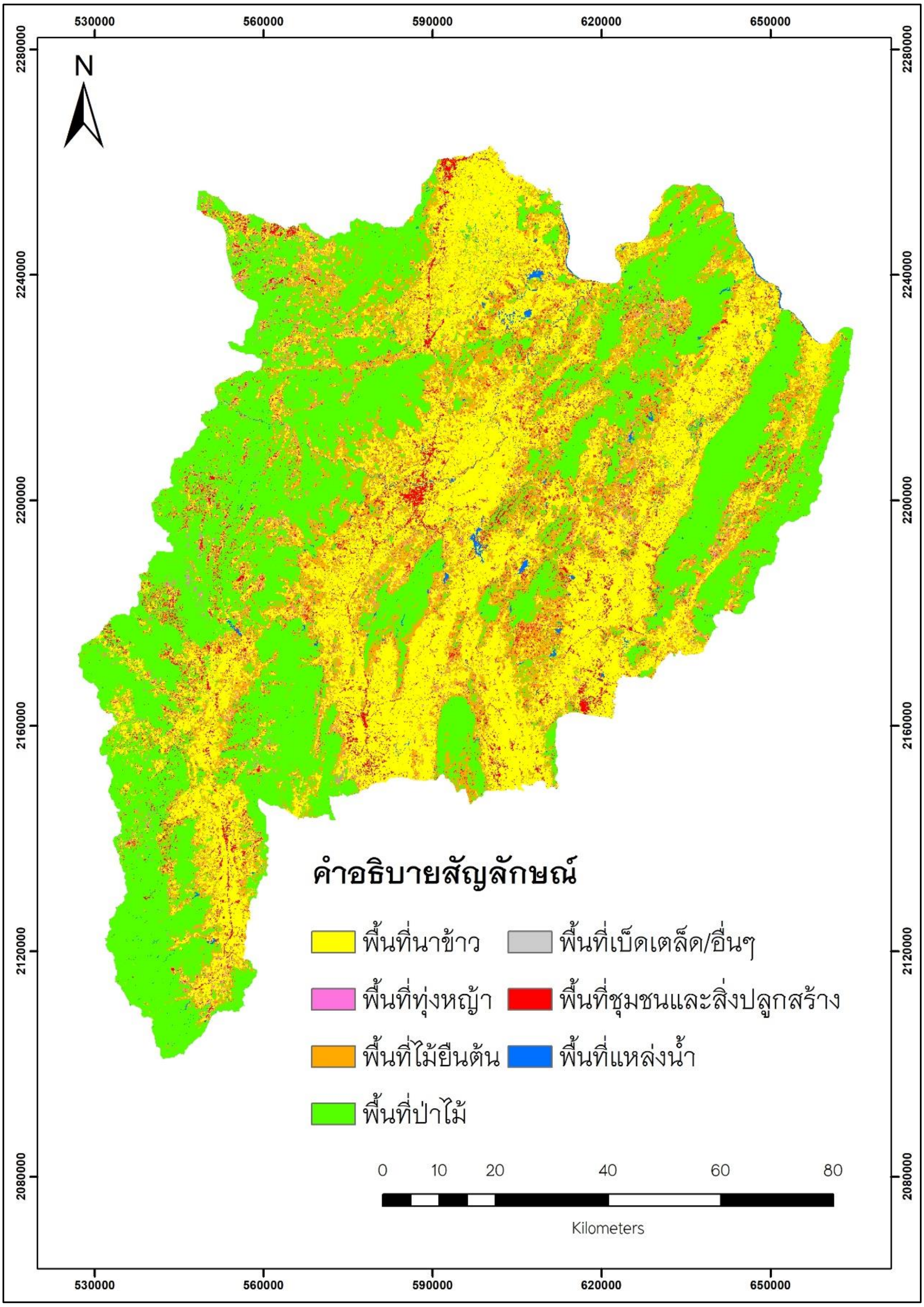
ภาพ 28 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2553



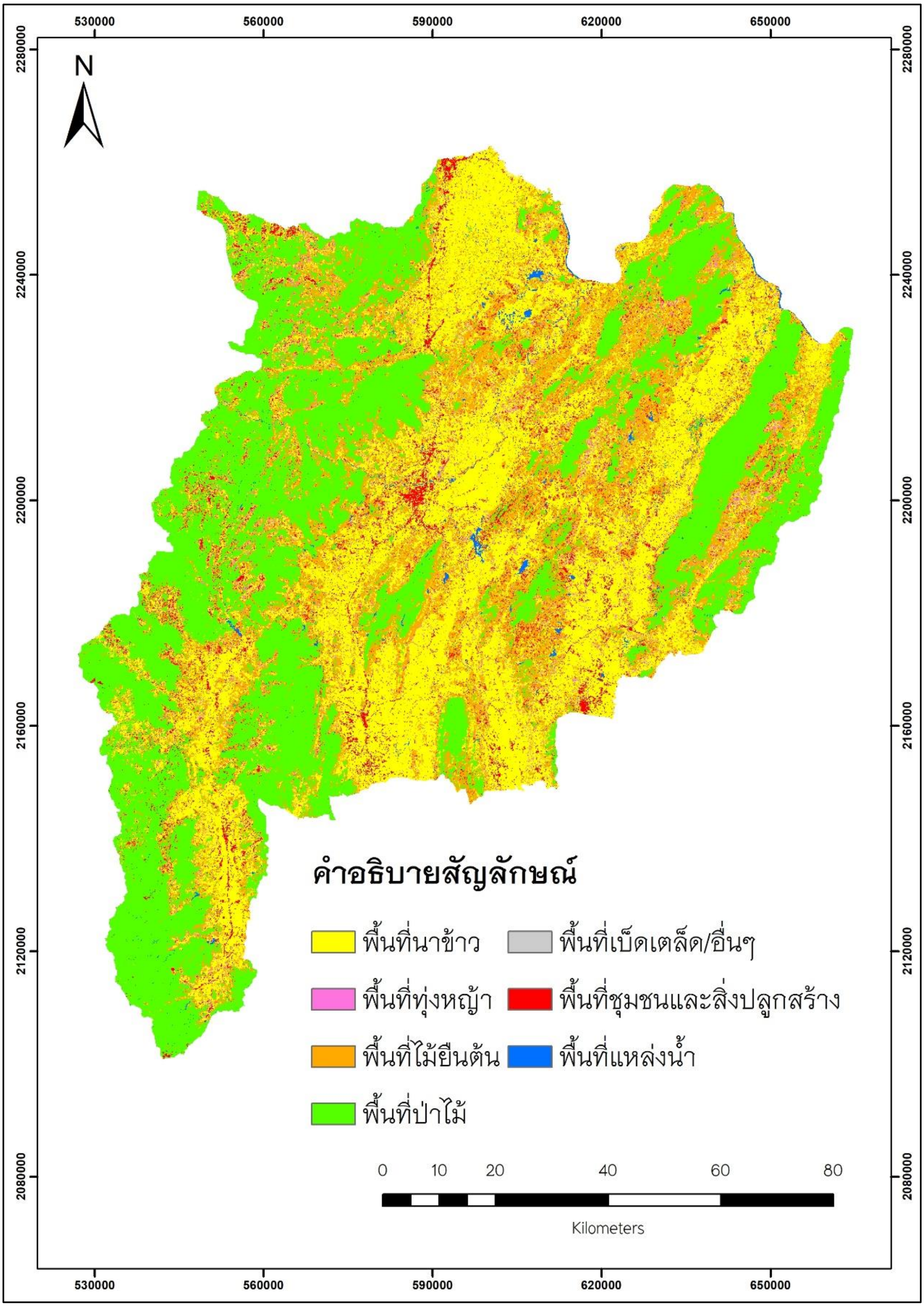
ภาพ 29 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2558



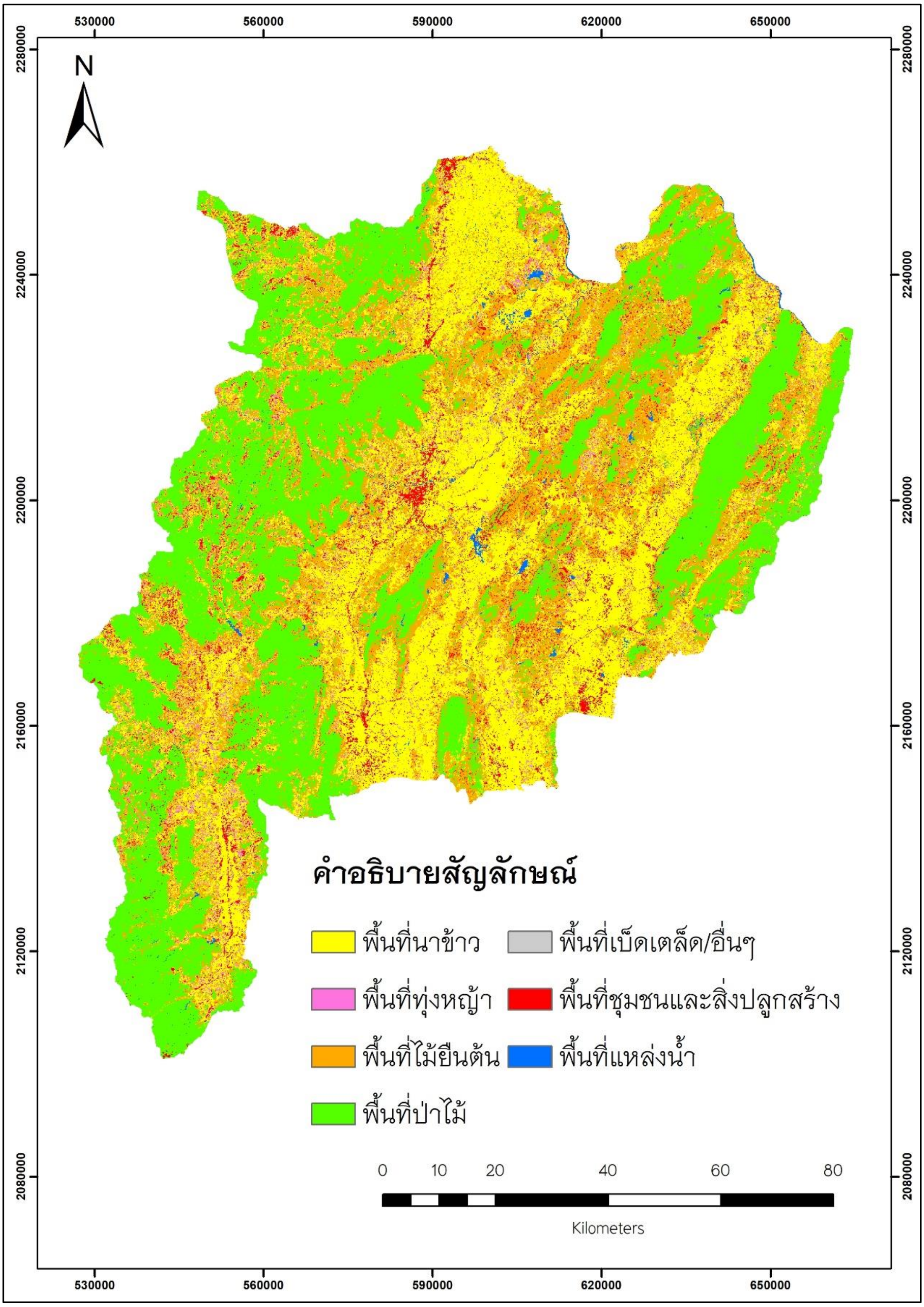
ภาพ 30 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2559



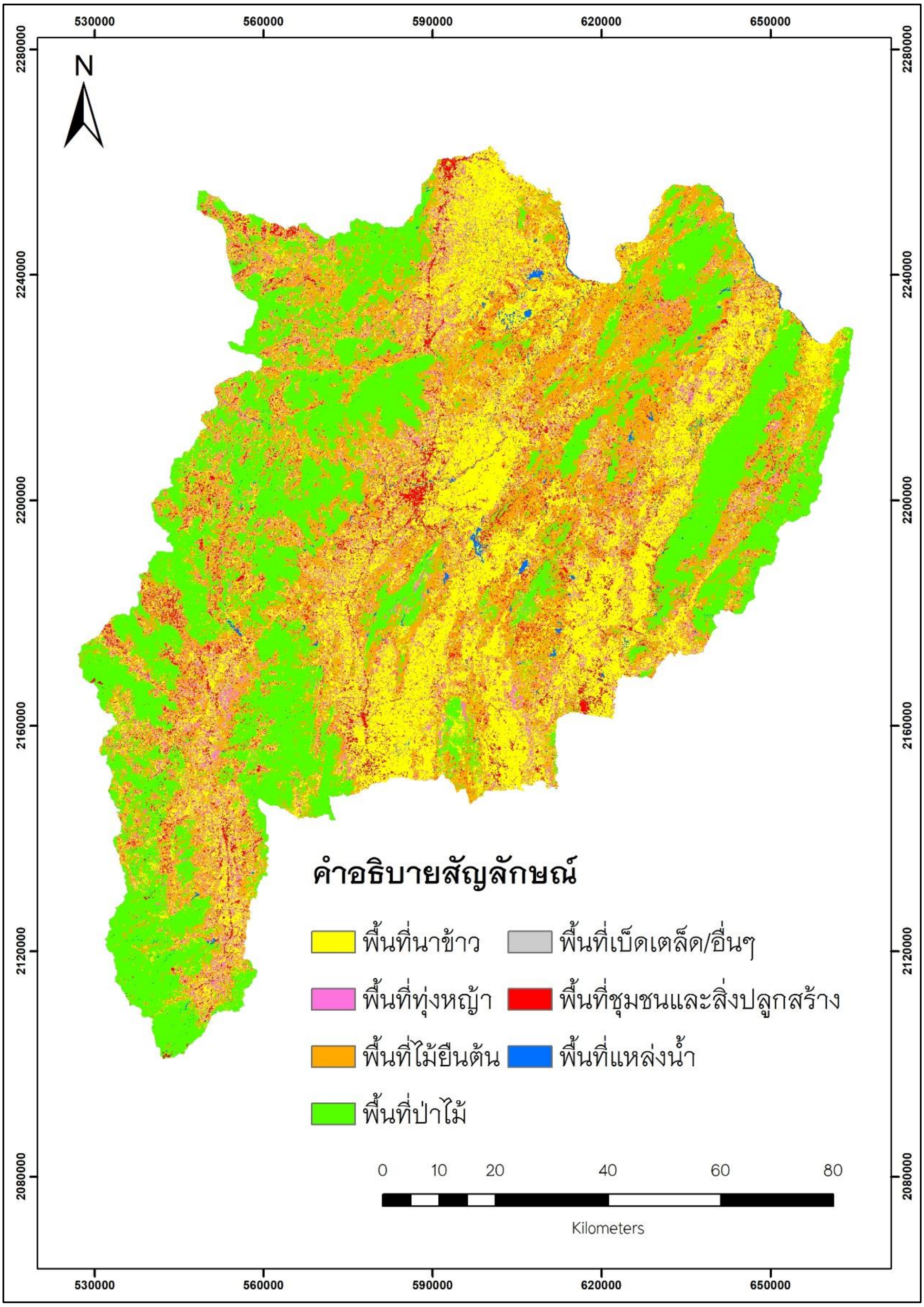
ภาพ 31 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2560



ภาพ 32 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2561



ภาพ 33 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2562



ภาพ 34 การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ปี พ.ศ. 2563

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจังหวัดเชียงรายปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 ได้ผลดังตาราง 10 – ตาราง 21 และภาพ 35 – ภาพ 46 มีรายละเอียด ดังนี้

พื้นที่นาข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2548 และพ.ศ. 2561 มีอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.4227 และ 1.0831 ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงในปี พ.ศ. 2553 พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2559 พ.ศ. 2560 พ.ศ. 2562 และพ.ศ. 2563 โดยมีอัตราการลดลงร้อยละ 4.5375, 4.8276, 0.8507, 2.2203, 1.2128 และ 3.2127

พื้นที่ทุ่งหญ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2553 พ.ศ. 2561 พ.ศ. 2562 และพ.ศ. 2563 มีอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.5782, 0.9316, 0.8576 และ 5.0363 ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงในปี พ.ศ. 2548 พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560 โดยมีอัตราการลดลงร้อยละ 1.2285, 0.2277, 2.5699 และ 0.9683

พื้นที่ไม้ยืนต้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยปี พ.ศ. 2548 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0328 พ.ศ. 2553 เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.3168 พ.ศ. 2558 เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.1542 พ.ศ. 2559 เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.0877 พ.ศ. 2560 เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.7946 พ.ศ. 2561 เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.0337 พ.ศ. 2562 เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.3002 และพ.ศ. 2563 เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.0270

พื้นที่ป่าไม้มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยปี พ.ศ. 2548 ลดลงร้อยละ 2.2970 พ.ศ. 2553 ลดลงร้อยละ 3.5921 พ.ศ. 2558 ลดลงร้อยละ 1.1445 พ.ศ. 2559 ลดลงร้อยละ 0.2106 พ.ศ. 2560 ลดลงร้อยละ 3.0078 พ.ศ. 2561 ลดลงร้อยละ 5.1346 พ.ศ. 2562 ลดลงร้อยละ 2.0503 และพ.ศ. 2563 ลดลงร้อยละ 5.2979

พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยปี พ.ศ. 2548 พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2563 มีอัตราการลดลงร้อยละ 0.0004 เท่ากันทุกปี และในปี พ.ศ. 2553 พ.ศ. 2559 พ.ศ. 2560 พ.ศ. 2561 พ.ศ. 2562 ลดลงร้อยละ 0.0009, 0.0045, 0.0034, 0.0030 และ 0.0065

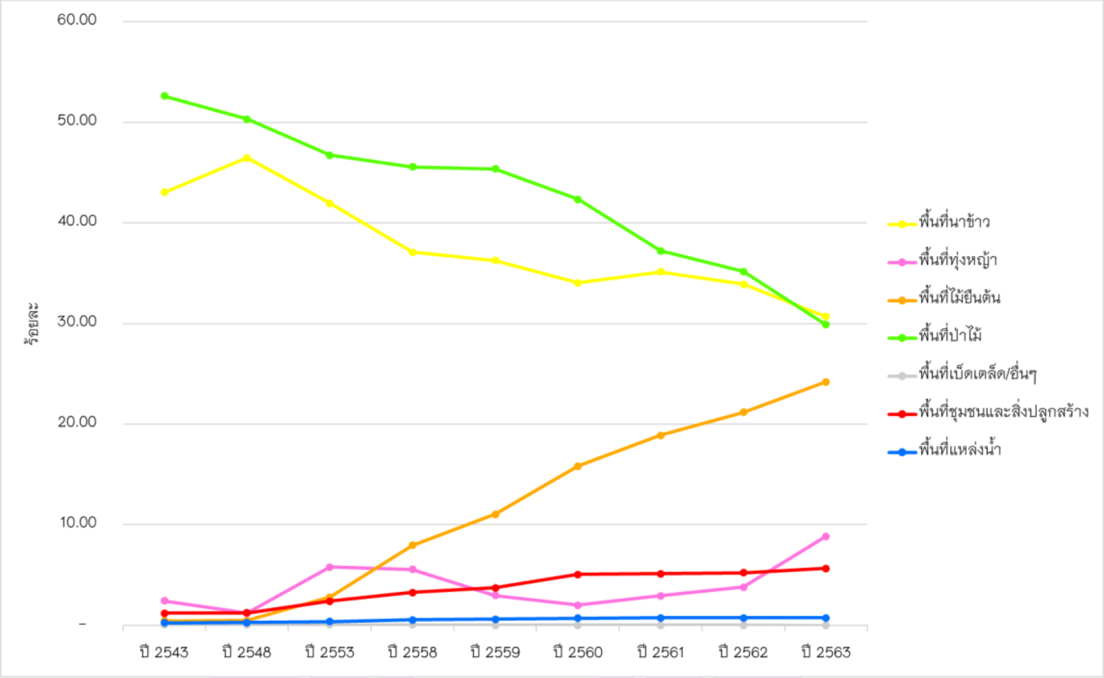
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยปี พ.ศ. 2548 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0423 พ.ศ. 2553 เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.1459 พ.ศ. 2558 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.8889 พ.ศ. 2559 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.4651 พ.ศ. 2560 เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.3089 พ.ศ. 2561 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0729 พ.ศ. 2562 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1026 และพ.ศ. 2563 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.4363

พื้นที่แหล่งน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยปี พ.ศ. 2548 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0282 พ.ศ. 2553 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0896 พ.ศ. 2558 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1572 พ.ศ. 2559 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0830 พ.ศ. 2560 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0963 พ.ศ. 2561 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0164 พ.ศ. 2562 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0093 และพ.ศ. 2563 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0114

ตาราง 10 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม (หน่วย: ร้อยละ)

ปี พ.ศ.	ประเภทการใช้ที่ดิน													
	พื้นที่นาข้าว		พื้นที่ทุ่งหญ้า		พื้นที่ไม้ยืนต้น		พื้นที่ป่าไม้		พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ		พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง		พื้นที่แหล่งน้ำ	
	ไร่	(+/–)	ไร่	(+/–)	ไร่	(+/–)	ไร่	(+/–)	ไร่	(+/–)	ไร่	(+/–)	ไร่	(+/–)
2543	43.0532		2.4242		0.4483		52.6090		0.0233		1.1926		0.2494	
2548	46.4759	3.4227	1.1957	–1.2285	0.4811	0.0328	50.3120	–2.2970	0.0229	–0.0004	1.2349	0.0423	0.2775	0.0282
2553	41.9384	–4.5375	5.7739	4.5782	2.7979	2.3168	46.7199	–3.5921	0.0220	–0.0009	2.3808	1.1459	0.3671	0.0896
2558	37.1108	–4.8276	5.5462	–0.2277	7.9521	5.1542	45.5754	–1.1445	0.0216	–0.0004	3.2696	0.8889	0.5243	0.1572
2559	36.2601	–0.8507	2.9762	–2.5699	11.0398	3.0877	45.3648	–0.2106	0.0171	–0.0045	3.7347	0.4651	0.6072	0.0830
2560	34.0397	–2.2203	2.0079	–0.9683	15.8344	4.7946	42.3570	–3.0078	0.0138	–0.0034	5.0437	1.3089	0.7036	0.0963
2561	35.1228	1.0831	2.9394	0.9316	18.8680	3.0337	37.2224	–5.1346	0.0108	–0.0030	5.1166	0.0729	0.7200	0.0164
2562	33.9100	–1.2128	3.7971	0.8576	21.1682	2.3002	35.1721	–2.0503	0.0043	–0.0065	5.2192	0.1026	0.7292	0.0093
2563	30.6972	–3.2127	8.8333	5.0363	24.1952	3.0270	29.8742	–5.2979	0.0039	–0.0004	5.6555	0.4363	0.7406	0.0114

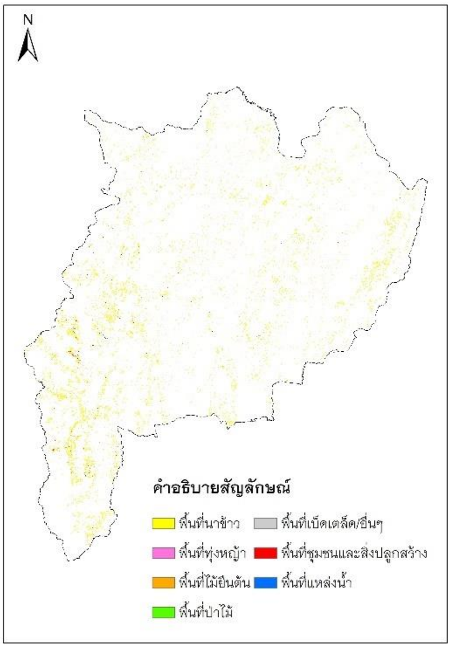
หมายเหตุ (+/–) คือ การเพิ่มขึ้นลดลง หรืออัตราของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในแต่ละปี



ภาพ 35 กราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563

ตาราง 11 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2543-2548

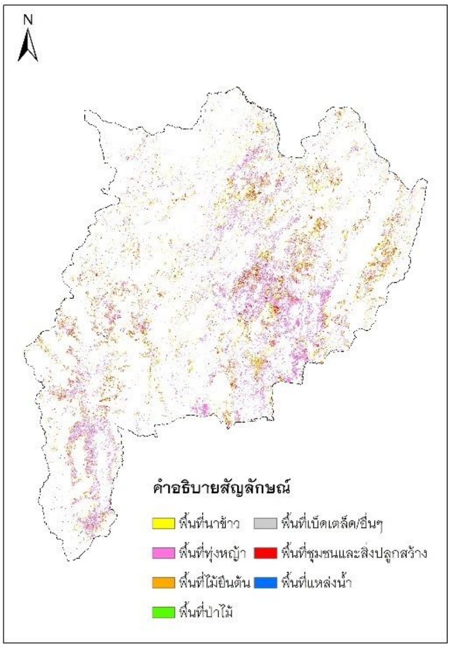
ปี พ.ศ.	การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2548								
	ประเภท	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ	รวม
การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2543	พื้นที่นาข้าว	3,096,684	45	-	-	-	-	-	3,096,729
	พื้นที่ทุ่งหญ้า	88,740	84,879	747	-	-	-	-	174,366
	พื้นที่ไม้ยืนต้น	-	-	32,175	-	-	72	-	32,247
	พื้นที่ป่าไม้	157,473	1,071	1,683	3,618,837	-	2,970	2,025	3,784,059
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	18	9	-	-	1,647	-	-	1,674
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	-	85,779	-	85,779
	พื้นที่แหล่งน้ำ	-	-	-	-	-	-	17,937	17,937
	รวม	3,342,915	86,004	34,605	3,618,837	1,647	88,821	19,962	7,192,791



ภาพ 36 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2543-2548

ตาราง 12 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2548-2553

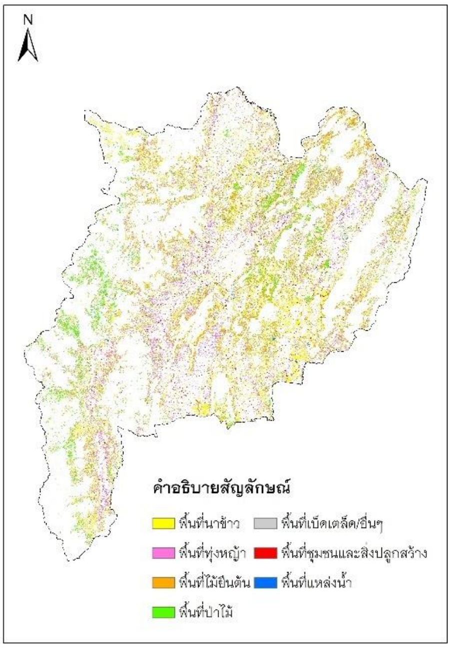
ปี พ.ศ.	ประเภท	การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2553							
		พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ	รวม
การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2548	พื้นที่นาข้าว	2,907,189	372,186	41,940	9	-	21,348	243	3,342,915
	พื้นที่ทุ่งหญ้า	31,077	21,105	23,022	18	-	10,728	54	86,004
	พื้นที่ไม้ยืนต้น	-	-	34,461	-	-	144	-	34,605
	พื้นที่ป่าไม้	78,219	22,014	101,826	3,360,438	-	50,193	6,147	3,618,837
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	54	-	-	-	1,584	9	-	1,647
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	-	88,821	-	88,821
	พื้นที่แหล่งน้ำ	-	-	-	-	-	-	19,962	19,962
	รวม	3,016,539	415,305	201,249	3,360,465	1,584	171,243	26,406	7,192,791



ภาพ 37 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2548-2553

ตาราง 13 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553-2558

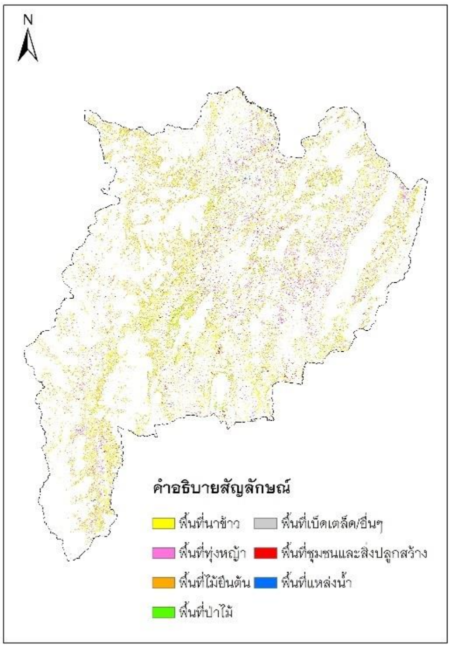
ปี พ.ศ.	ประเภท	การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2558 พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ	รวม
การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2553	พื้นที่นาข้าว	2,253,384	313,614	185,904	209,547	-	45,396	8,694	3,016,539
	พื้นที่ทุ่งหญ้า	252,378	57,924	57,780	39,618	-	7,083	522	415,305
	พื้นที่ไม้ยืนต้น	-	-	197,784	-	-	3,339	126	201,249
	พื้นที่ป่าไม้	163,539	27,387	130,491	3,028,977	-	8,109	1,962	3,360,465
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	-	-	18	-	1,557	9	-	1,584
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	-	171,243	-	171,243
	พื้นที่แหล่งน้ำ	-	-	-	-	-	-	26,406	26,406
	รวม	2,669,301	398,925	571,977	3,278,142	1,557	235,179	37,710	7,192,791



ภาพ 38 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553-2558

ตาราง 14 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2558-2559

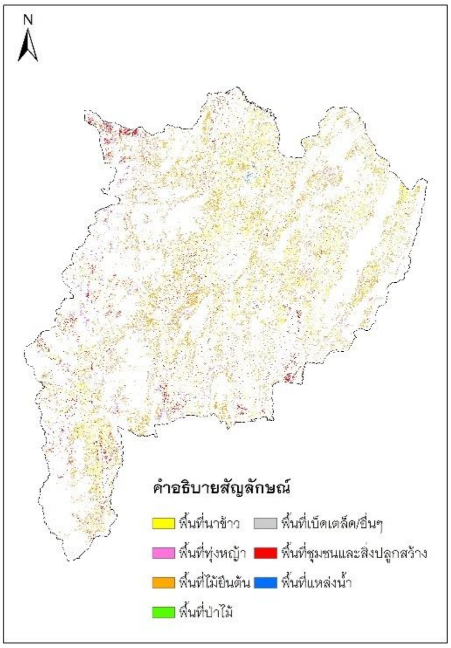
ปี พ.ศ.	ประเภท	การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2559							
		พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ	รวม
การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2558	พื้นที่นาข้าว	2,252,475	167,679	127,638	94,644	-	22,527	4,338	2,669,301
	พื้นที่ทุ่งหญ้า	307,782	42,993	32,274	12,159	-	3,663	54	398,925
	พื้นที่ไม้ยืนต้น	-	-	565,578	-	-	5,895	504	571,977
	พื้นที่ป่าไม้	47,826	3,384	68,562	3,156,192	-	1,107	1,071	3,278,142
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	27	18	18	-	1,233	261	-	1,557
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	-	235,179	-	235,179
	พื้นที่แหล่งน้ำ	-	-	-	-	-	-	37,710	37,710
	รวม	2,608,110	214,074	794,070	3,262,995	1,233	268,632	43,677	7,192,791



ภาพ 39 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2558-2559

ตาราง 15 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2559-2560

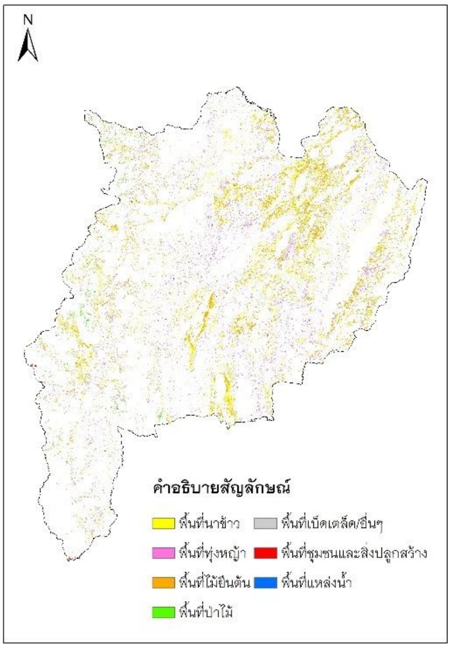
ปี พ.ศ.	ประเภท	การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2560							
		พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ	รวม
การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2559	พื้นที่นาข้าว	2,274,201	98,514	165,321	-	90	65,511	4,473	2,608,110
	พื้นที่ทุ่งหญ้า	174,204	17,631	16,398	-	36	5,742	63	214,074
	พื้นที่ไม้ยืนต้น	-	-	776,088	-	-	17,100	882	794,070
	พื้นที่ป่าไม้	-	28,188	180,585	3,046,653	594	5,472	1,503	3,262,995
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	-	90	540	-	270	324	9	1,233
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	-	268,632	-	268,632
	พื้นที่แหล่งน้ำ	-	-	-	-	-	-	43,677	43,677
	รวม	2,448,405	144,423	1,138,932	3,046,653	990	362,781	50,607	7,192,791



ภาพ 40 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2559-2560

ตาราง 16 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2560–2561

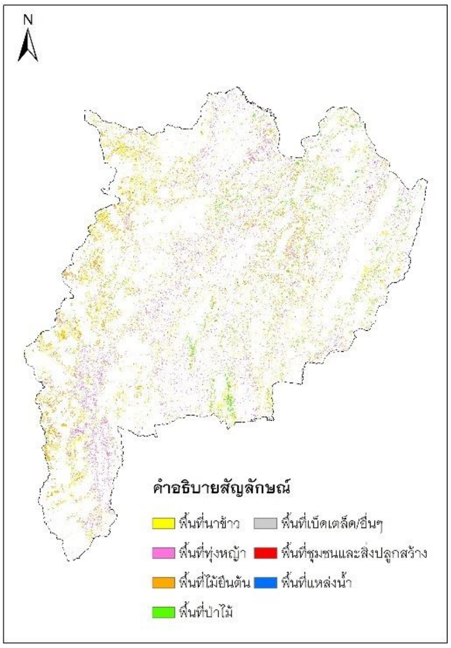
ปี พ.ศ.	การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2561								
	ประเภท	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ	รวม
การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2560	พื้นที่นาข้าว	2,280,231	166,158	234	504	-	1,242	36	2,448,405
	พื้นที่ทุ่งหญ้า	72,378	30,996	14,940	25,317	18	747	27	144,423
	พื้นที่ไม้ยืนต้น	-	-	1,137,411	-	-	1,170	351	1,138,932
	พื้นที่ป่าไม้	173,610	14,265	204,552	2,651,499	36	1,926	765	3,046,653
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	90	9	-	9	720	162	-	990
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	-	362,781	-	362,781
	พื้นที่แหล่งน้ำ	-	-	-	-	-	-	50,607	50,607
	รวม	2,526,309	211,428	1,357,137	2,677,329	774	368,028	51,786	7,192,791



ภาพ 41 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2560–2561

ตาราง 17 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2561-2562

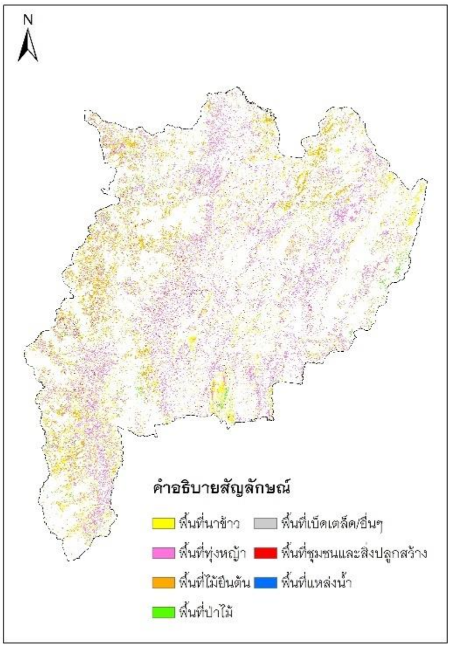
ปี พ.ศ.	การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2562								
	ประเภท	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ	รวม
การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2561	พื้นที่นาข้าว	2,187,837	213,579	55,485	66,276	9	2,889	234	2,526,309
	พื้นที่ทุ่งหญ้า	151,812	43,200	10,260	5,670	9	477	-	211,428
	พื้นที่ไม้ยืนต้น	-	-	1,353,294	-	-	3,735	108	1,357,137
	พื้นที่ป่าไม้	99,117	16,317	103,428	2,457,882	-	261	324	2,677,329
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	306	18	117	27	288	18	-	774
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	-	368,028	-	368,028
	พื้นที่แหล่งน้ำ	-	-	-	-	-	-	51,786	51,786
	รวม	2,439,072	273,114	1,522,584	2,529,855	306	375,408	52,452	7,192,791



ภาพ 42 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2561-2562

ตาราง 18 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2562-2563

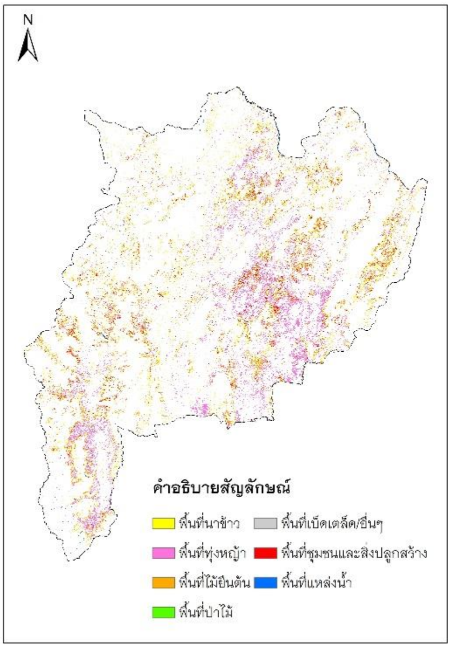
ปี พ.ศ.	ประเภท	การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2563							
		พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ	รวม
การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2562	พื้นที่นาข้าว	1,866,555	494,253	30,213	38,826	-	9,099	126	2,439,072
	พื้นที่ทุ่งหญ้า	162,603	97,218	4,671	6,795	-	1,818	9	273,114
	พื้นที่ไม้ยืนต้น	-	-	1,502,190	-	-	20,232	162	1,522,584
	พื้นที่ป่าไม้	178,830	43,884	203,229	2,103,165	-	225	522	2,529,855
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	-	9	9	-	279	9	-	306
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	-	375,408	-	375,408
	พื้นที่แหล่งน้ำ	-	-	-	-	-	-	52,452	52,452
	รวม	2,207,988	635,364	1,740,312	2,148,786	279	406,791	53,271	7,192,791



ภาพ 43 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2562-2563

ตาราง 19 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2543-2553

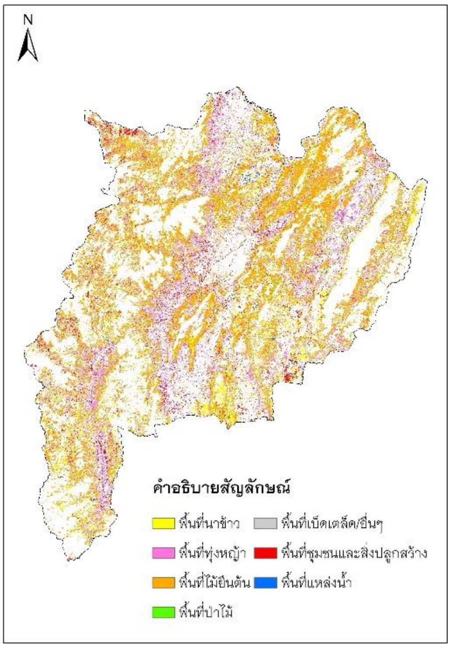
ปี พ.ศ.	การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2553								
	ประเภท	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ	รวม
การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2543	พื้นที่นาข้าว	2,768,436	328,293	-	-	-	-	-	3,096,729
	พื้นที่ทุ่งหญ้า	92,808	46,989	23,769	18	-	10,728	54	174,366
	พื้นที่ไม้ยืนต้น	-	-	32,031	-	-	216	-	32,247
	พื้นที่ป่าไม้	155,223	40,014	145,449	3,360,447	-	74,511	8,415	3,784,059
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	72	9	-	-	1,584	9	-	1,674
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	-	85,779	-	85,779
	พื้นที่แหล่งน้ำ	-	-	-	-	-	-	17,937	17,937
	รวม	3,016,539	415,305	201,249	3,360,465	1,584	171,243	26,406	7,192,791



ภาพ 44 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2543-2553

ตาราง 20 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553-2563

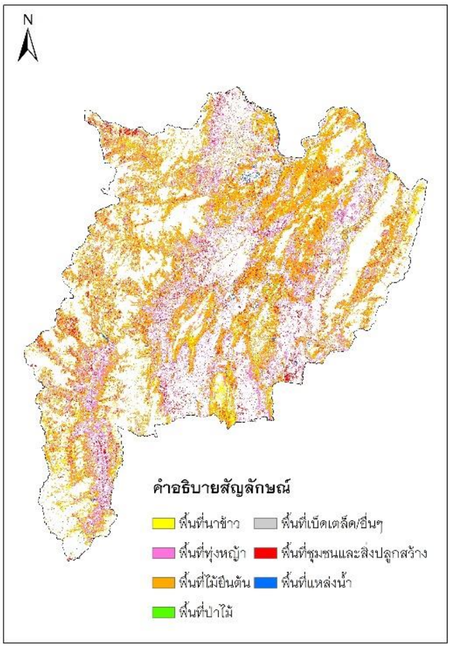
ปี พ.ศ.	ประเภท	การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2563							
		พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ	รวม
การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2553	พื้นที่นาข้าว	1,804,095	497,619	521,658	30,078	216	145,197	17,676	3,016,539
	พื้นที่ทุ่งหญ้า	183,816	68,256	131,526	3,330	27	27,162	1,188	415,305
	พื้นที่ไม้ยืนต้น	-	-	188,028	-	-	12,690	531	201,249
	พื้นที่ป่าไม้	219,996	69,462	898,542	2,115,378	36	49,599	7,452	3,360,465
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	81	27	558	-	-	900	18	1,584
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	-	171,243	-	171,243
	พื้นที่แหล่งน้ำ	-	-	-	-	-	-	26,406	26,406
	รวม	2,207,988	635,364	1,740,312	2,148,786	279	406,791	53,271	7,192,791



ภาพ 45 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2563

ตาราง 21 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2543-2563

ปี พ.ศ.		การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2563							
	ประเภท	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ	รวม
การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2543	พื้นที่นาข้าว	1,922,049	530,325	467,631	13,725	207	148,176	14,616	3,096,729
	พื้นที่ทุ่งหญ้า	51,840	27,027	71,631	1,305	9	22,293	261	174,366
	พื้นที่ไม้ยืนต้น	-	-	27,063	-	-	5,148	36	32,247
	พื้นที่ป่าไม้	234,000	77,985	1,173,411	2,133,756	63	144,441	20,403	3,784,059
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	99	27	576	-	-	954	18	1,674
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	-	85,779	-	85,779
	พื้นที่แหล่งน้ำ	-	-	-	-	-	-	17,937	17,937
	รวม	2,207,988	635,364	1,740,312	2,148,786	279	406,791	53,271	7,192,791



ภาพ 46 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2543-2563

2.การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ดิน โดยมีปัจจัยด้านภูมิศาสตร์ทั้งหมด 14 ปัจจัย ได้แก่ ดินร่วน ดินทราย ดินทรายแป้ง เส้นทางคมนาคม ดินเหนียว บ่อน้ำ ประชากร ปริมาณน้ำฝน เส้นทางน้ำ แหล่งการค้าชายแดน พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน ความสูงเชิงเลข ความลาดชัน หมู่บ้าน ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติกส์ มีค่าความสัมพันธ์เป็นบวก (แปรผันตรง) และลบ (แปรผกผัน) ในปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 เพื่อใช้ในการคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต มีรายละเอียดตามตาราง 22– ตาราง 30 และสมการความสัมพันธ์อธิบายได้ดังนี้

พื้นที่นาข้าวปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 พบว่าการใช้ที่ดินประเภทนาข้าวมีความสัมพันธ์กับปัจจัยขับเคลื่อนทุกปัจจัย โดยส่วนใหญ่มีค่าความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีค่าความสัมพันธ์ในทิศทางบวกเหมือนกัน ได้แก่ ดินร่วน ดินทราย ดินทรายแป้ง ระยะห่างจากบ่อน้ำ ความหนาแน่นของประชากร ปริมาณน้ำฝน และระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน ส่วนค่าความสัมพันธ์ในทิศทางลบ ได้แก่ ดินเหนียว พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน ความสูงเชิงเลข ความลาดชัน และระยะห่างจากหมู่บ้าน

พื้นที่ทุ่งหญ้าปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 พบว่าการใช้ที่ดินประเภททุ่งหญ้ามีความสัมพันธ์กับปัจจัยขับเคลื่อนแทบทั้งหมด มีเพียงปัจจัยปริมาณน้ำฝนปี พ.ศ. 2559 ที่ไม่สัมพันธ์กับการใช้ที่ดินประเภททุ่งหญ้า โดยปัจจัยที่มีค่าความสัมพันธ์ในทิศทางบวกเหมือนกันทุกปี ได้แก่ ความหนาแน่นของประชากร ส่วนค่าความสัมพันธ์ในทิศทางลบทุกปี ได้แก่ ระยะห่างจากถนน และระยะห่างจากหมู่บ้าน

พื้นที่ไม้ยืนต้นปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 พบว่าการใช้ที่ดินประเภทไม้ยืนต้นมีความสัมพันธ์กับปัจจัยขับเคลื่อนทุกปัจจัย โดยส่วนใหญ่มีค่าความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีค่าความสัมพันธ์ในทิศทางบวกเหมือนกันทุกปี ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ส่วนค่าความสัมพันธ์ในทิศทางลบทุกปี ได้แก่ ดินทรายแป้ง ระยะห่างจากถนน ความสูงเชิงเลข และความลาดชัน

พื้นที่ป่าไม้ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 พบว่าการใช้ที่ดินประเภทป่าไม้มีความสัมพันธ์กับปัจจัยขับเคลื่อนทุกปัจจัย โดยส่วนใหญ่มีค่าความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีค่าความสัมพันธ์ในทิศทางบวกเหมือนกันทุกปี ได้แก่ ระยะห่างจากถนน ปริมาณน้ำฝน พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน ความสูงเชิงเลข ความลาดชัน ระยะห่างจากหมู่บ้าน ส่วนค่าความสัมพันธ์ในทิศทางลบทุกปี ได้แก่ ดินทราย

ดินทรายแป้ง ระยะห่างจากบ่อน้ำ ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ และระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน

พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 พบว่ามีเพียงปัจจัยปริมาณน้ำฝน ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน ความสูงเชิงเลข และระยะห่างจากหมู่บ้าน ที่สัมพันธ์กับการใช้ที่ดินประเภทเบ็ดเตล็ด/อื่นๆทุกปี โดยมีปัจจัย ปริมาณน้ำฝน และเส้นทางน้ำเท่านั้นที่มีค่าความสัมพันธ์ในทิศทางบวกเหมือนกันทุกปี

พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 พบว่าการใช้ที่ดินประเภทชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีความสัมพันธ์กับปัจจัยขับเคลื่อนทุกปัจจัย โดยส่วนใหญ่มีค่าความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีค่าความสัมพันธ์ในทิศทางบวกเหมือนกันทุกปี ได้แก่ ดินทราย ดินเหนียว ระยะห่างจากบ่อน้ำ ความหนาแน่นประชากร และระยะห่างจากเส้นทางน้ำ ส่วนค่าความสัมพันธ์ในทิศทางลบทุกปี ได้แก่ ดินร่วน ระยะห่างจากถนน ปริมาณน้ำฝน และความลาดชัน

พื้นที่แหล่งน้ำปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 พบว่าการใช้ที่ดินประเภทแหล่งน้ำมีความสัมพันธ์กับปัจจัยขับเคลื่อนทุกปัจจัย โดยส่วนใหญ่มีค่าความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีเพียงปัจจัยเส้นทางคมนาคมปี พ.ศ. 2543 เพียงเท่านั้นที่มีค่าความสัมพันธ์เป็นลบ ต่างจากปีอื่นๆที่มีค่าความสัมพันธ์ปัจจัยเส้นทางคมนาคมเป็นบวก โดยค่าความสัมพันธ์ในทิศทางบวกเหมือนกันทุกปี ได้แก่ ดินร่วน ดินทราย ดินเหนียว ความลาดชัน และระยะห่างจากหมู่บ้าน ส่วนค่าความสัมพันธ์ในทิศทางลบทุกปี ได้แก่ ดินทรายแป้ง ระยะห่างจากบ่อน้ำ ความหนาแน่นของประชากร ปริมาณน้ำฝน ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน และความสูงเชิงเลข

ตาราง 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2543

ปัจจัยขับเคลื่อน	การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2543						
	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ
ดินร่วน	0.11279	−0.95362	−1.24255	0.00104	1.18553	−0.52459	0.43990
ดินทราย	0.32172	0.01267	−0.16789	−0.49300	0.31029	0.36131	0.50418
ดินทรายแป้ง	1.05362	−1.47780	−1.80100	−1.16088	1.33212	0.01544	−0.35678
ระยะห่างจากถนน	−0.11854	−0.13570	−0.49071	0.14423	−0.52308	−0.40842	−0.12337
ดินเหนียว	−0.26940	0.31795	0.83819	−0.01391	0.75044	1.04124	0.60995
ระยะห่างจากบ่อน้ำ	0.19502	0.20278	0.44930	−0.25298	−0.55186	0.39174	−0.44137
ความหนาแน่นของประชากร	0.00284	0.02935	−0.08732	−0.02777	0.26061	0.22427	−0.43830
ปริมาณน้ำฝน	0.00017	−0.00003	0.01408	0.00019	0.18656	−0.00031	−0.00025
ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	0.06759	0.11202	0.16091	−0.13028	0.40207	0.13788	−0.59421
ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน	0.20261	−0.12656	−0.02270	−0.17940	−0.48015	−0.10801	−0.27315
พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	−1.79530	−0.06510	−1.21235	1.88581	1.09841	−1.14100	−2.31192
ความสูงเชิงเลข	−0.76974	−0.18097	−0.02837	0.83805	−0.60623	0.12754	−0.98374
ความลาดชัน	−0.54542	−0.00602	−0.37129	0.50236	−0.91835	−0.44988	0.60015
ระยะห่างจากหมู่บ้าน	−0.28632	−0.21474	0.30686	0.28533	0.44639	0.00912	0.52581
constan	2.61651	−2.69982	−4.81791	−2.92972	−7.11768	−4.05886	−3.06808
ROC	0.93952	0.66730	0.76610	0.95163	0.78294	0.77081	0.81951

หมายเหตุ : constan คือ ค่าคงที่, ROC คือพื้นที่ใต้เส้นโค้ง

สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ.2543

พื้นที่นาข้าว

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = 2.61651 + 0.11279(x_1) + 0.32172(x_2) + 1.05362(x_3) - 0.11854(x_4) - 0.26940(x_5) + 0.19502(x_6) + 0.00284(x_7) + 0.00017(x_8) + 0.06759(x_9) + 0.20261(x_{10}) - 1.79530(x_{11}) - 0.76974(x_{12}) - 0.54542(x_{13}) - 0.28632(x_{14})$$

พื้นที่ทุ่งหญ้า

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.69982 - 0.95362(x_1) + 0.01267(x_2) - 1.47780(x_3) - 0.13570(x_4) + 0.31795(x_5) + 0.20278(x_6) + 0.02935(x_7) - 0.00003(x_8) + 0.11202(x_9) - 0.12656(x_{10}) - 0.06510(x_{11}) - 0.18097(x_{12}) - 0.00602(x_{13}) - 0.21474(x_{14})$$

พื้นที่ไม้ยืนต้น

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -4.81791 - 1.24255(x_1) - 0.16789(x_2) - 1.80100(x_3) - 0.49071(x_4) + 0.83819(x_5) + 0.44930(x_6) - 0.08732(x_7) + 0.01408(x_8) + 0.16091(x_9) - 0.02270(x_{10}) - 1.21235(x_{11}) - 0.02837(x_{12}) - 0.37129(x_{13}) + 0.30686(x_{14})$$

พื้นที่ป่าไม้

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.92972 + 0.00104(x_1) - 0.49300(x_2) - 1.16088(x_3) + 0.14423(x_4) - 0.01391(x_5) - 0.25298(x_6) - 0.02777(x_7) + 0.00019(x_8) - 0.13028(x_9) - 0.17940(x_{10}) + 1.88581(x_{11}) + 0.83805(x_{12}) + 0.50236(x_{13}) + 0.28533(x_{14})$$

พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -7.11768 + 1.18553(x_1) + 0.31029(x_2) + 1.33212(x_3) - 0.52308(x_4) + 0.75044(x_5) - 0.55186(x_6) + 0.26061(x_7) + 0.18656(x_8) + 0.40207(x_9) - 0.48015(x_{10}) + 1.09841(x_{11}) - 0.60623(x_{12}) - 0.91835(x_{13}) + 0.44639(x_{14})$$

พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -4.05886 - 0.52459(x_1) + 0.36131(x_2) + 0.01544(x_3) - 0.40842(x_4) + 1.04124(x_5) + 0.39174(x_6) + 0.22427(x_7) - 0.00031(x_8) + 0.13788(x_9) - 0.10801(x_{10}) - 1.14100(x_{11}) + 0.12754(x_{12}) - 0.44988(x_{13}) + 0.00912(x_{14})$$

พื้นที่แหล่งน้ำ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -3.06808 + 0.43990(x_1) + 0.50418(x_2) - 0.35678(x_3) - 0.12337(x_4) + 0.60995(x_5) - 0.44137(x_6) - 0.43830(x_7) - 0.00025(x_8) - 0.59421(x_9) - 0.27315(x_{10}) - 2.31192(x_{11}) - 0.98374(x_{12}) + 0.60015(x_{13}) + 0.52581(x_{14})$$

x_1	ดินร่วน	x_8	ปริมาณน้ำฝน
x_2	ดินทราย	x_9	ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ
x_3	ดินทรายแป้ง	x_{10}	ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน
x_4	ระยะห่างจากถนน	x_{11}	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน
x_5	ดินเหนียว	x_{12}	ความสูงเชิงเลข
x_6	ระยะห่างจากบ่อน้ำ	x_{13}	ความลาดชัน
x_7	ความหนาแน่นของประชากร	x_{14}	ระยะห่างจากหมู่บ้าน

ตาราง 23 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2548

ปัจจัยขับเคลื่อน	การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2548						
	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ
ดินร่วน	0.00280	–1.22367	–1.05662	0.03590	1.18553	–0.47544	0.50343
ดินทราย	0.30855	0.11149	0.03081	–0.50495	0.31029	0.43191	0.55117
ดินทรายแป้ง	0.98102	–1.97444	–1.59358	–1.14251	1.33212	0.06867	–0.42890
ระยะห่างจากถนน	–0.08079	–0.28337	–0.41599	0.11560	–0.52308	–0.34066	0.05838
ดินเหนียว	–0.26948	0.49527	1.05811	–0.04911	0.75044	1.11202	0.60293
ระยะห่างจากบ่อน้ำ	0.20824	0.19994	0.41769	–0.25391	–0.55186	0.40708	–0.30370
ความหนาแน่นของประชากร	0.00498	0.07654	–0.08809	–0.02961	0.26061	0.20727	–0.39274
ปริมาณน้ำฝน	0.00018	–0.00005	0.00046	0.00020	0.18656	–0.00031	–0.00024
ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	0.05890	0.11088	0.16432	–0.10227	0.40207	0.13962	–0.61922
ระยะห่างจาก แหล่งการค้าชายแดน	0.23232	–0.12473	–0.00400	–0.22663	–0.48015	–0.08595	–0.22635
พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	–1.75797	0.41547	–0.92748	1.79720	1.09841	–0.91817	–2.14802
ความสูงเชิงเลข	–0.81415	–0.18264	–0.03309	0.87923	–0.60623	0.08796	–0.98612
ความลาดชัน	–0.46927	0.03154	–0.37206	0.46046	–0.91835	–0.46817	0.56371
ระยะห่างจากหมู่บ้าน	–0.28545	–0.18920	0.31223	0.27785	0.44639	–0.00716	0.44167
constan	2.69540	–3.68308	–5.01841	–2.91264	–7.11768	–4.13065	–3.27596
ROC	0.93617	0.68196	0.75958	0.94427	0.78294	0.75818	0.80455

หมายเหตุ : constan คือ ค่าคงที่, ROC คือพื้นที่ใต้เส้นโค้ง

สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ.2548

พื้นที่นาข้าว

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = 2.69540 + 0.00280(x_1) + 0.30855(x_2) + 0.98102(x_3) - 0.08079(x_4) - 0.26948(x_5) + 0.20824(x_6) + 0.00498(x_7) + 0.00018(x_8) + 0.05890(x_9) + 0.23232(x_{10}) - 1.75797(x_{11}) - 0.81415(x_{12}) - 0.46927(x_{13}) - 0.28545(x_{14})$$

พื้นที่ทุ่งหญ้า

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -3.68308 - 1.22367(x_1) + 0.11149(x_2) - 1.97444(x_3) - 0.28337(x_4) + 0.49527(x_5) + 0.19994(x_6) + 0.07654(x_7) - 0.00005(x_8) + 0.11088(x_9) - 0.12473(x_{10}) + 0.41547(x_{11}) - 0.18264(x_{12}) + 0.03154(x_{13}) - 0.18920(x_{14})$$

พื้นที่ไม้ยืนต้น

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -5.01841 - 1.05662(x_1) + 0.03081(x_2) - 1.59358(x_3) - 0.41599(x_4) + 1.05811(x_5) + 0.41769(x_6) - 0.08809(x_7) + 0.00046(x_8) + 0.16432(x_9) - 0.00400(x_{10}) - 0.92748(x_{11}) - 0.03309(x_{12}) - 0.37206(x_{13}) + 0.31223(x_{14})$$

พื้นที่ป่าไม้

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.91264 + 0.03590(x_1) - 0.50495(x_2) - 1.14251(x_3) + 0.11560(x_4) - 0.04911(x_5) - 0.25391(x_6) - 0.02961(x_7) + 0.00020(x_8) - 0.10227(x_9) - 0.22663(x_{10}) + 1.79720(x_{11}) + 0.87923(x_{12}) + 0.46046(x_{13}) + 0.27785(x_{14})$$

พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -7.11768 + 1.18553(x_1) + 0.31029(x_2) + 1.33212(x_3) - 0.52308(x_4) + 0.75044(x_5) - 0.55186(x_6) + 0.26061(x_7) + 0.18656(x_8) + 0.40207(x_9) - 0.48015(x_{10}) + 1.09841(x_{11}) - 0.60623(x_{12}) - 0.91835(x_{13}) + 0.44639(x_{14})$$

พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -4.13065 - 0.47544(x_1) + 0.43191(x_2) + 0.06867(x_3) - 0.34066(x_4) + 1.11202(x_5) + 0.40708(x_6) + 0.20727(x_7) - 0.00031(x_8) + 0.13962(x_9) - 0.08595(x_{10}) - 0.91817(x_{11}) + 0.08796(x_{12}) - 0.46817(x_{13}) - 0.00716(x_{14})$$

พื้นที่แหล่งน้ำ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -3.27596 + 0.50343(x_1) + 0.55117(x_2) - 0.42890(x_3) + 0.05838(x_4) + 0.60293(x_5) - 0.30370(x_6) - 0.39274(x_7) - 0.00024(x_8) - 0.61922(x_9) - 0.22635(x_{10}) - 2.14802(x_{11}) - 0.98612(x_{12}) + 0.56371(x_{13}) + 0.44167(x_{14})$$

x_1 ดินร่วน
x_2 ดินทราย
x_3 ดินทรายแป้ง
x_4 ระยะห่างจากถนน
x_5 ดินเหนียว
x_6 ระยะห่างจากบ่อน้ำ
x_7 ความหนาแน่นของประชากร
x_8 ปริมาณน้ำฝน
x_9 ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ
x_{10} ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน
x_{11} พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน
x_{12} ความสูงเชิงเลข
x_{13} ความลาดชัน
x_{14} ระยะห่างจากหมู่บ้าน

ตาราง 24 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2553

ปัจจัยขับเคลื่อน	การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2553						
	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ
ดินร่วน	0.27204	−0.80123	−0.69609	0.04262	1.18553	−0.65641	0.46714
ดินทราย	0.24447	0.03111	−0.30389	−0.47690	0.31029	0.30663	0.46519
ดินทรายแป้ง	0.90353	−0.84096	−2.01741	−1.14614	1.33212	−0.31459	−0.40599
ระยะห่างจากถนน	−0.10978	−0.11162	−0.14401	0.14729	−0.52308	−0.36791	0.13439
ดินเหนียว	−0.32004	0.32140	0.31370	−0.09542	0.75044	0.94279	0.69969
ระยะห่างจากบ่อน้ำ	0.24216	−0.13588	−0.11223	−0.18917	−0.55186	0.08621	−0.16939
ความหนาแน่นของประชากร	0.00455	0.00293	−0.04400	−0.00677	0.26061	0.11002	−0.35808
ปริมาณน้ำฝน	0.00014	0.00011	0.00034	0.00016	0.18656	−0.00028	−0.00025
ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	−0.04853	0.20527	0.14312	−0.16407	0.40207	0.08293	−0.50709
ระยะห่างจาก แหล่งการค้าชายแดน	0.05480	0.29105	0.14393	−0.23635	−0.48015	−0.02994	−0.06911
พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	−1.53371	−0.38567	0.64079	1.69670	1.09841	0.46593	−2.25547
ความสูงเชิงเลข	−0.61973	−0.51135	−0.43078	1.04206	−0.60623	−0.28049	−0.71791
ความลาดชัน	−0.41967	−0.33708	−0.07181	0.42318	−0.91835	−0.23256	1.05729
ระยะห่างจากหมู่บ้าน	−0.27681	−0.04524	−0.06960	0.26605	0.44639	−0.04309	0.25923
constan	2.34519	−1.56503	−2.74827	−3.45043	−7.11768	−2.87133	−4.60104
ROC	0.91994	0.72296	0.69688	0.93983	0.78294	0.66225	0.76802

หมายเหตุ : constan คือ ค่าคงที่, ROC คือพื้นที่ใต้เส้นโค้ง

สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ.2553

พื้นที่นาข้าว

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = 2.34519 + 0.27204(x_1) + 0.24447(x_2) + 0.90353(x_3) - 0.10978(x_4) - 0.32004(x_5) + 0.24216(x_6) + 0.00455(x_7) + 0.00014(x_8) - 0.04853(x_9) + 0.05480(x_{10}) - 1.53371(x_{11}) - 0.61973(x_{12}) - 0.41967(x_{13}) - 0.27681(x_{14})$$

พื้นที่ทุ่งหญ้า

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -1.56503 - 0.80123(x_1) + 0.03111(x_2) - 0.84096(x_3) - 0.11162(x_4) + 0.32140(x_5) - 0.13588(x_6) + 0.00293(x_7) + 0.00011(x_8) + 0.20527(x_9) + 0.29105(x_{10}) - 0.38567(x_{11}) - 0.51135(x_{12}) - 0.33708(x_{13}) - 0.04524(x_{14})$$

พื้นที่ไม้ยืนต้น

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.74827 - 0.69609(x_1) - 0.30389(x_2) - 2.01741(x_3) - 0.14401(x_4) + 0.31370(x_5) - 0.11223(x_6) - 0.04400(x_7) + 0.00034(x_8) + 0.14312(x_9) + 0.14393(x_{10}) + 0.64079(x_{11}) - 0.43078(x_{12}) - 0.07181(x_{13}) - 0.06960(x_{14})$$

พื้นที่ป่าไม้

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -3.45043 + 0.04262(x_1) - 0.47690(x_2) - 1.14614(x_3) + 0.14729(x_4) - 0.09542(x_5) - 0.18917(x_6) - 0.00677(x_7) + 0.00016(x_8) - 0.16407(x_9) - 0.23635(x_{10}) + 1.69670(x_{11}) + 1.04206(x_{12}) + 0.42318(x_{13}) + 0.26605(x_{14})$$

พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -7.11768 + 1.18553(x_1) + 0.31029(x_2) + 1.33212(x_3) - 0.52308(x_4) + 0.75044(x_5) - 0.55186(x_6) + 0.26061(x_7) + 0.18656(x_8) + 0.40207(x_9) - 0.48015(x_{10}) + 1.09841(x_{11}) - 0.60623(x_{12}) - 0.91835(x_{13}) + 0.44639(x_{14})$$

พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.87133 - 0.65641(x_1) + 0.30663(x_2) - 0.31459(x_3) - 0.36791(x_4) + 0.94279(x_5) + 0.08621(x_6) + 0.11002(x_7) - 0.00028(x_8) + 0.08293(x_9) - 0.02994(x_{10}) + 0.46593(x_{11}) - 0.28049(x_{12}) - 0.23256(x_{13}) - 0.04309(x_{14})$$

พื้นที่แหล่งน้ำ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -4.60104 + 0.46714(x_1) + 0.46519(x_2) - 0.40599(x_3) + 0.13439(x_4) + 0.69969(x_5) - 0.16939(x_6) - 0.35808(x_7) - 0.00025(x_8) - 0.50709(x_9) - 0.06911(x_{10}) - 2.25547(x_{11}) - 0.71791(x_{12}) + 1.05729(x_{13}) + 0.25923(x_{14})$$

x_1 ดินร่วน

x_2 ดินทราย

x_3 ดินทรายแป้ง

x_4 ระยะห่างจากถนน

x_5 ดินเหนียว

x_6 ระยะห่างจากบ่อน้ำ

x_7 ความหนาแน่นของประชากร

x_8 ปริมาณน้ำฝน

x_9 ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ

x_{10} ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน

x_{11} พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน

x_{12} ความสูงเชิงเลข

x_{13} ความลาดชัน

x_{14} ระยะห่างจากหมู่บ้าน

ตาราง 25 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2558

ปัจจัยขับเคลื่อน	การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2558						
	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ
ดินร่วน	0.35671	−0.46140	−0.84231	−0.14737	1.18553	−0.55613	0.50228
ดินทราย	0.29838	0.02007	−0.61613	−0.34884	0.31029	0.20919	0.54553
ดินทรายแป้ง	1.05635	−0.81064	−2.14700	−0.94932	1.33212	−0.23976	−0.26064
ระยะห่างจากถนน	0.02179	−0.23382	−0.21541	0.12704	−0.52308	−0.32960	0.08961
ดินเหนียว	−0.30001	−0.20561	−0.02680	0.32345	0.75044	0.51649	0.62777
ระยะห่างจากบ่อน้ำ	0.18973	0.04220	−0.16875	−0.17814	−0.55186	0.02701	−0.14946
ความหนาแน่นของประชากร	0.00649	0.03289	−0.02758	−0.01348	0.26061	0.07883	−0.49593
ปริมาณน้ำฝน	0.00012	0.00001	0.07763	0.09520	0.18656	−0.00023	−0.00021
ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	−0.00313	−0.03123	0.06394	−0.11281	0.40207	0.07887	−0.59736
ระยะห่างจาก แหล่งการค้าชายแดน	0.05605	0.05481	0.03897	−0.07370	−0.48015	−0.00307	−0.10365
พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	−1.39415	−0.95555	−0.13310	2.05186	1.09841	−0.01948	−2.08795
ความสูงเชิงเลข	−0.60448	−0.04448	−0.43282	1.08306	−0.60623	−0.26029	−0.90238
ความลาดชัน	−0.39636	−0.36241	−0.14617	0.39063	−0.91835	−0.26950	0.92813
ระยะห่างจากหมู่บ้าน	−0.29513	−0.15881	−0.06681	0.29830	0.44639	−0.06936	0.32568
constan	1.70361	−1.13599	−0.65583	−4.81131	−7.11768	−2.15262	−3.56940
ROC	0.91244	0.69219	0.72024	0.94227	0.78294	0.66368	0.77428

หมายเหตุ : constan คือ ค่าคงที่, ROC คือพื้นที่ใต้เส้นโค้ง

สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2558

พื้นที่นาข้าว

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = 1.70361 + 0.35671(x_1) + 0.29838(x_2) + 1.05635(x_3) - 0.02179(x_4) - 0.30001(x_5) + 0.18973(x_6) + 0.00649(x_7) + 0.00012(x_8) - 0.00313(x_9) + 0.05605(x_{10}) - 1.39415(x_{11}) - 0.60448(x_{12}) - 0.39636(x_{13}) - 0.29513(x_{14})$$

พื้นที่ทุ่งหญ้า

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -1.13599 - 0.46140(x_1) + 0.02007(x_2) - 0.81064(x_3) - 0.23382(x_4) - 0.20561(x_5) + 0.04220(x_6) + 0.03289(x_7) + 0.00001(x_8) - 0.03123(x_9) + 0.05481(x_{10}) - 0.95555(x_{11}) - 0.04448(x_{12}) - 0.36241(x_{13}) - 0.15881(x_{14})$$

พื้นที่ไม้ยืนต้น

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -0.65583 - 0.84231(x_1) - 0.61613(x_2) - 2.14700(x_3) - 0.21541(x_4) - 0.02680(x_5) - 0.16875(x_6) - 0.02758(x_7) + 0.07763(x_8) + 0.06394(x_9) + 0.03897(x_{10}) - 0.13310(x_{11}) - 0.43282(x_{12}) - 0.14617(x_{13}) - 0.06681(x_{14})$$

พื้นที่ป่าไม้

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -4.81131 - 0.14737(x_1) - 0.34884(x_2) - 0.94932(x_3) + 0.12704(x_4) + 0.32345(x_5) - 0.17814(x_6) - 0.01348(x_7) + 0.09520(x_8) - 0.11281(x_9) - 0.07370(x_{10}) + 2.05186(x_{11}) + 1.08306(x_{12}) + 0.39063(x_{13}) + 0.29830(x_{14})$$

พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -7.11768 + 1.18553(x_1) + 0.31029(x_2) + 1.33212(x_3) - 0.52308(x_4) + 0.75044(x_5) - 0.55186(x_6) + 0.26061(x_7) + 0.18656(x_8) + 0.40207(x_9) - 0.48015(x_{10}) + 1.09841(x_{11}) - 0.60623(x_{12}) - 0.91835(x_{13}) + 0.44639(x_{14})$$

พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.15262 - 0.55613(x_1) + 0.20919(x_2) - 0.23976(x_3) - 0.32960(x_4) + 0.51649(x_5) + 0.02701(x_6) + 0.07883(x_7) - 0.00023(x_8) + 0.07887(x_9) - 0.00307(x_{10}) - 0.01948(x_{11}) - 0.26029(x_{12}) - 0.26950(x_{13}) - 0.06936(x_{14})$$

พื้นที่แหล่งน้ำ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -3.56940 + 0.50228(x_1) + 0.54553(x_2) - 0.26064(x_3) + 0.08961(x_4) + 0.62777(x_5) - 0.14946(x_6) - 0.49593(x_7) - 0.00021(x_8) - 0.59736(x_9) - 0.10365(x_{10}) - 2.08795(x_{11}) - 0.90238(x_{12}) + 0.92813(x_{13}) + 0.32568(x_{14})$$

x_1	ดินร่วน	x_8	ปริมาณน้ำฝน
x_2	ดินทราย	x_9	ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ
x_3	ดินทรายแป้ง	x_{10}	ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน
x_4	ระยะห่างจากถนน	x_{11}	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน
x_5	ดินเหนียว	x_{12}	ความสูงเชิงเลข
x_6	ระยะห่างจากบ่อน้ำ	x_{13}	ความลาดชัน
x_7	ความหนาแน่นของประชากร	x_{14}	ระยะห่างจากหมู่บ้าน

ตาราง 26 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2559

ปัจจัยขับเคลื่อน	การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2559						
	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ
ดินร่วน	0.28495	0.61153	-1.02985	-0.14618	1.04073	-0.52694	0.40042
ดินทราย	0.34643	0.75198	-0.77526	-0.28230	0.32702	0.11356	0.54514
ดินทรายแป้ง	1.07714	0.28088	-2.27181	-1.12460	0.96167	-0.24434	-0.09731
ระยะห่างจากถนน	0.02815	-0.10471	-0.17772	0.10770	-0.06706	-0.35982	0.06871
ดินเหนียว	-0.39710	0.60494	-0.20675	0.31923	0.70173	0.37110	0.62876
ระยะห่างจากบ่อน้ำ	0.24128	0.09923	-0.05032	-0.23302	-1.12735	0.00811	-0.15627
ความหนาแน่นของประชากร	0.01104	0.07781	-0.03071	-0.01187	0.24891	0.07139	-0.49911
ปริมาณน้ำฝน	0.00010	0.00000	0.08588	0.07650	0.31458	-0.00023	-0.00020
ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	-0.04258	0.09184	-0.03057	-0.03930	0.21408	0.11692	-0.64367
ระยะห่างจาก แหล่งการค้าชายแดน	0.07604	0.18713	0.00413	-0.09366	-0.35314	0.00735	-0.12499
พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	-1.60262	0.09795	-0.36913	1.96498	0.83796	-0.18269	-2.00335
ความสูงเชิงเลข	-0.50978	-0.41978	-0.39440	1.06653	-1.14065	-0.24437	-0.95169
ความลาดชัน	-0.40041	-0.33076	-0.18085	0.37449	-0.56050	-0.27398	0.88257
ระยะห่างจากหมู่บ้าน	-0.28779	-0.20935	-0.11776	0.29978	0.56255	-0.05572	0.34280
constan	1.46671	-2.85525	-0.06458	-4.52048	-7.32437	-1.95172	-3.25229
ROC	0.91235	0.69403	0.72353	0.93829	0.78659	0.67035	0.77862

หมายเหตุ : constan คือ ค่าคงที่, ROC คือพื้นที่ใต้เส้นโค้ง

สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2559

พื้นที่นาข้าว

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = 1.46671 + 0.28495(x_1) + 0.34643(x_2) + 1.07714(x_3) - 0.02815(x_4) - 0.39710(x_5) + 0.24128(x_6) + 0.01104(x_7) + 0.00010(x_8) - 0.04258(x_9) + 0.07604(x_{10}) - 1.60262(x_{11}) - 0.50978(x_{12}) - 0.40041(x_{13}) - 0.28779(x_{14})$$

พื้นที่ทุ่งหญ้า

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = -2.85525 + 0.61153(x_1) + 0.75198(x_2) + 0.28088(x_3) - 0.10471(x_4) + 0.60494(x_5) + 0.09923(x_6) + 0.07781(x_7) + 0.09184(x_9) + 0.18713(x_{10}) + 0.09795(x_{11}) - 0.41978(x_{12}) - 0.33076(x_{13}) - 0.20935(x_{14})$$

พื้นที่ไม้ยืนต้น

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = -0.06458 - 1.02985(x_1) - 0.77526(x_2) - 2.27181(x_3) - 0.17772(x_4) - 0.20675(x_5) - 0.05032(x_6) - 0.03071(x_7) + 0.08588(x_8) - 0.03057(x_9) + 0.00413(x_{10}) - 0.36913(x_{11}) - 0.39440(x_{12}) - 0.18085(x_{13}) - 0.11776(x_{14})$$

พื้นที่ป่าไม้

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = -4.52048 - 0.14618(x_1) - 0.28230(x_2) - 1.12460(x_3) + 0.10770(x_4) + 0.31923(x_5) - 0.23302(x_6) - 0.01187(x_7) + 0.07650(x_8) - 0.03930(x_9) - 0.09366(x_{10}) + 1.96498(x_{11}) + 1.06653(x_{12}) + 0.37449(x_{13}) + 0.29978(x_{14})$$

พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = -7.32437 + 1.04073(x_1) + 0.32702(x_2) + 0.96167(x_3) - 0.06706(x_4) + 0.70173(x_5) - 1.12735(x_6) + 0.24891(x_7) + 0.31458(x_8) + 0.21408(x_9) - 0.35314(x_{10}) + 0.83796(x_{11}) - 1.14065(x_{12}) - 0.56050(x_{13}) + 0.56255(x_{14})$$

พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = -1.95172 - 0.52694(x_1) + 0.11356(x_2) - 0.24434(x_3) - 0.35982(x_4) + 0.37110(x_5) + 0.00811(x_6) + 0.07139(x_7) - 0.00023(x_8) + 0.11692(x_9) + 0.00735(x_{10}) - 0.18269(x_{11}) - 0.24437(x_{12}) - 0.27398(x_{13}) - 0.05572(x_{14})$$

พื้นที่แหล่งน้ำ

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = -3.25229 + 0.40042(x_1) + 0.54514(x_2) - 0.09731(x_3) + 0.06871(x_4) + 0.62876(x_5) - 0.15627(x_6) - 0.49911(x_7) - 0.00020(x_8) - 0.64367(x_9) - 0.12499(x_{10}) - 2.00335(x_{11}) - 0.95169(x_{12}) + 0.88257(x_{13}) + 0.34280(x_{14})$$

x_1	ดินร่วน	x_8	ปริมาณน้ำฝน
x_2	ดินทราย	x_9	ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ
x_3	ดินทรายแป้ง	x_{10}	ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน
x_4	ระยะห่างจากถนน	x_{11}	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน
x_5	ดินเหนียว	x_{12}	ความสูงเชิงเลข
x_6	ระยะห่างจากบ่อน้ำ	x_{13}	ความลาดชัน
x_7	ความหนาแน่นของประชากร	x_{14}	ระยะห่างจากหมู่บ้าน

ตาราง 27 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2560

ปัจจัยขับเคลื่อน	การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2560						
	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ
ดินร่วน	0.45782	−1.26052	−0.78583	−0.16726	0.00000	−0.39340	0.47213
ดินทราย	0.57270	−0.40277	−0.74553	−0.36220	0.00000	0.27103	0.51316
ดินทรายแป้ง	1.25107	−1.24459	−2.03945	−1.08935	0.00000	0.03530	−0.03064
ระยะห่างจากถนน	0.08016	−0.16730	−0.20861	0.10127	−1.20834	−0.16689	0.09732
ดินเหนียว	−0.21903	−0.17345	−0.09631	0.31487	0.00000	0.31377	0.65845
ระยะห่างจากบ่อน้ำ	0.17753	0.26722	−0.04588	−0.24564	0.13848	0.25603	−0.18013
ความหนาแน่นของประชากร	0.02459	0.02744	0.00271	−0.02321	0.00000	0.04035	−0.56257
ปริมาณน้ำฝน	0.00010	0.05531	0.00025	0.08338	0.00031	−0.00022	−0.00019
ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	−0.02452	−0.00786	0.01627	−0.10667	0.39961	0.11278	−0.62242
ระยะห่างจาก แหล่งการค้าชายแดน	0.10624	0.09513	−0.08777	−0.04822	0.23838	0.04373	−0.15812
พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	−1.46524	−0.66599	−0.28577	2.25014	0.00000	−0.43544	−1.94927
ความสูงเชิงเลข	−0.55073	−0.02734	−0.42805	1.08537	0.53608	−0.16510	−0.97490
ความลาดชัน	−0.43207	−0.22069	−0.18009	0.36701	−0.57920	−0.23237	0.81929
ระยะห่างจากหมู่บ้าน	−0.33849	−0.08817	−0.10669	0.30540	−0.57044	−0.09641	0.37470
constan	1.25786	−3.35952	0.82549	−5.04974	−8.07804	−2.42465	−2.95669
ROC	0.91708	0.62784	0.73532	0.93704	0.88116	0.58145	0.78413

หมายเหตุ : constan คือ ค่าคงที่, ROC คือพื้นที่ใต้เส้นโค้ง

สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2560

พื้นที่นาข้าว

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = 1.25786 + 0.45782(x_1) + 0.57270(x_2) + 1.25107(x_3) - 0.08016(x_4) - 0.21903(x_5) + 0.17753(x_6) + 0.02459(x_7) + 0.00010(x_8) - 0.02452(x_9) + 0.10624(x_{10}) - 1.46524(x_{11}) - 0.55073(x_{12}) - 0.43207(x_{13}) - 0.33849(x_{14})$$

พื้นที่ทุ่งหญ้า

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -3.35952 - 1.26052(x_1) - 0.40277(x_2) - 1.24459(x_3) - 0.16730(x_4) - 0.17345(x_5) + 0.26722(x_6) + 0.02744(x_7) + 0.05531(x_8) - 0.00786(x_9) + 0.09513(x_{10}) - 0.66599(x_{11}) - 0.02734(x_{12}) - 0.22069(x_{13}) - 0.08817(x_{14})$$

พื้นที่ไม้ยืนต้น

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = 0.82549 - 0.78583(x_1) - 0.74553(x_2) - 2.03945(x_3) - 0.20861(x_4) - 0.09631(x_5) - 0.04588(x_6) + 0.00271(x_7) + 0.00025(x_8) + 0.01627(x_9) - 0.08777(x_{10}) - 0.28577(x_{11}) - 0.42805(x_{12}) - 0.18009(x_{13}) - 0.10669(x_{14})$$

พื้นที่ป่าไม้

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -5.04974 - 0.16726(x_1) - 0.36220(x_2) - 1.08935(x_3) + 0.10127(x_4) + 0.31487(x_5) - 0.24564(x_6) - 0.02321(x_7) + 0.08338(x_8) - 0.10667(x_9) - 0.04822(x_{10}) + 2.25014(x_{11}) + 1.08537(x_{12}) + 0.36701(x_{13}) + 0.30540(x_{14})$$

พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -8.07804 - 1.20834(x_4) + 0.13848(x_6) + 0.00031(x_8) + 0.39961(x_9) + 0.23838(x_{10}) + 0.53608(x_{12}) - 0.57920(x_{13}) - 0.57044(x_{14})$$

พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.42465 - 0.39340(x_1) + 0.27103(x_2) + 0.03530(x_3) - 0.16689(x_4) + 0.31377(x_5) + 0.25603(x_6) + 0.04035(x_7) - 0.00022(x_8) + 0.11278(x_9) + 0.04373(x_{10}) - 0.43544(x_{11}) - 0.16510(x_{12}) - 0.23237(x_{13}) - 0.09641(x_{14})$$

พื้นที่แหล่งน้ำ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.95669 + 0.47213(x_1) + 0.51316(x_2) - 0.03064(x_3) + 0.09732(x_4) + 0.65845(x_5) - 0.18013(x_6) - 0.56257(x_7) - 0.00019(x_8) - 0.62242(x_9) - 0.15812(x_{10}) - 1.94927(x_{11}) - 0.97490(x_{12}) + 0.81929(x_{13}) + 0.37470(x_{14})$$

x_1	ดินร่วน	x_8	ปริมาณน้ำฝน
x_2	ดินทราย	x_9	ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ
x_3	ดินทรายแป้ง	x_{10}	ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน
x_4	ระยะห่างจากถนน	x_{11}	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน
x_5	ดินเหนียว	x_{12}	ความสูงเชิงเลข
x_6	ระยะห่างจากบ่อน้ำ	x_{13}	ความลาดชัน
x_7	ความหนาแน่นของประชากร	x_{14}	ระยะห่างจากหมู่บ้าน

ตาราง 28 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2561

ปัจจัยขับเคลื่อน	การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2561						
	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ
ดินร่วน	0.48377	−0.75368	−0.82812	−0.62159	0.00000	−0.34007	0.45109
ดินทราย	0.58474	−0.46037	−0.68716	−0.64228	0.00000	0.27442	0.49165
ดินทรายแป้ง	1.27227	−1.27664	−2.08663	−1.97714	0.00000	0.04509	−0.04054
ระยะห่างจากถนน	0.00582	−0.15527	−0.21567	0.11197	−1.22140	−0.14325	0.08245
ดินเหนียว	−0.12071	−0.23891	0.00759	−0.14552	0.00000	0.31064	0.67599
ระยะห่างจากบ่อน้ำ	0.15625	0.10699	−0.08735	−0.18950	0.17109	0.25715	−0.18421
ความหนาแน่นของประชากร	0.01287	0.01101	−0.02014	0.02122	0.00000	0.03866	−0.53412
ปริมาณน้ำฝน	0.00010	0.00007	0.00028	0.00022	0.00027	−0.00022	−0.00019
ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	−0.03172	0.04108	0.02293	−0.18513	0.24494	0.11229	−0.62658
ระยะห่างจาก แหล่งการค้าชายแดน	0.09067	0.04931	−0.07540	−0.11403	0.29577	0.04245	−0.16361
พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	−1.17233	−0.76253	0.04402	2.47612	0.00000	−0.46506	−1.88926
ความสูงเชิงเลข	−0.54785	−0.38568	−0.51477	1.39279	0.54267	−0.15175	−0.96157
ความลาดชัน	−0.45416	−0.11369	−0.18280	0.41902	−0.47740	−0.22023	0.78338
ระยะห่างจากหมู่บ้าน	−0.28533	−0.20552	−0.09223	0.30368	−0.48132	−0.08799	0.38247
constan	1.32560	−1.63983	1.04071	−5.98655	−8.55230	−2.48297	−2.91342
ROC	0.91075	0.64710	0.75263	0.93997	0.66874	0.65639	0.78215

หมายเหตุ : constan คือ ค่าคงที่, ROC คือพื้นที่ใต้เส้นโค้ง

สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2561

พื้นที่นาข้าว

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = 1.32560 + 0.48377(x_1) + 0.58474(x_2) + 1.27227(x_3) + 0.00582(x_4) - 0.12071(x_5) + 0.15625(x_6) + 0.01287(x_7) + 0.00010(x_8) - 0.03172(x_9) + 0.09067(x_{10}) - 1.17233(x_{11}) - 0.54785(x_{12}) - 0.45416(x_{13}) - 0.28533(x_{14})$$

พื้นที่ทุ่งหญ้า

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = -1.63983 - 0.75368(x_1) - 0.46037(x_2) - 1.27664(x_3) - 0.15527(x_4) - 0.23891(x_5) + 0.10699(x_6) + 0.01101(x_7) + 0.00007(x_8) + 0.04108(x_9) + 0.04931(x_{10}) - 0.76253(x_{11}) - 0.38568(x_{12}) - 0.11369(x_{13}) - 0.20552(x_{14})$$

พื้นที่ไม้ยืนต้น

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = 1.04071 - 0.82812(x_1) - 0.68716(x_2) - 2.08663(x_3) - 0.21567(x_4) + 0.00759(x_5) - 0.08735(x_6) - 0.02014(x_7) + 0.00028(x_8) + 0.02293(x_9) - 0.07540(x_{10}) + 0.04402(x_{11}) - 0.51477(x_{12}) - 0.18280(x_{13}) - 0.09223(x_{14})$$

พื้นที่ป่าไม้

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = -5.98655 - 0.62159(x_1) - 0.64228(x_2) - 1.97714(x_3) + 0.11197(x_4) - 0.14552(x_5) - 0.18950(x_6) + 0.02122(x_7) + 0.00022(x_8) - 0.18513(x_9) - 0.11403(x_{10}) + 2.47612(x_{11}) + 1.39279(x_{12}) + 0.41902(x_{13}) + 0.30368(x_{14})$$

พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = -8.55230 - 1.22140(x_4) + 0.17109(x_6) + 0.00027(x_8) + 0.24494(x_9) + 0.29577(x_{10}) + 0.54267(x_{12}) - 0.47740(x_{13}) - 0.48132(x_{14})$$

พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = -2.48297 - 0.34007(x_1) + 0.27442(x_2) + 0.04509(x_3) - 0.14325(x_4) + 0.31064(x_5) + 0.25715(x_6) + 0.03866(x_7) - 0.00022(x_8) + 0.11229(x_9) + 0.04245(x_{10}) - 0.46506(x_{11}) - 0.15175(x_{12}) - 0.22023(x_{13}) - 0.08799(x_{14})$$

พื้นที่แหล่งน้ำ

$$\text{Log}\left(\frac{P_I}{1-P_I}\right) = -2.91342 + 0.45109(x_1) + 0.49165(x_2) - 0.04054(x_3) + 0.08245(x_4) + 0.67599(x_5) - 0.18421(x_6) - 0.53412(x_7) - 0.00019(x_8) - 0.62658(x_9) - 0.16361(x_{10}) - 1.88926(x_{11}) - 0.96157(x_{12}) + 0.78338(x_{13}) + 0.38247(x_{14})$$

x_1	ดินร่วน	x_8	ปริมาณน้ำฝน
x_2	ดินทราย	x_9	ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ
x_3	ดินทรายแป้ง	x_{10}	ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน
x_4	ระยะห่างจากถนน	x_{11}	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน
x_5	ดินเหนียว	x_{12}	ความสูงเชิงเลข
x_6	ระยะห่างจากบ่อน้ำ	x_{13}	ความลาดชัน
x_7	ความหนาแน่นของประชากร	x_{14}	ระยะห่างจากหมู่บ้าน

ตาราง 29 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2562

ปัจจัยขับเคลื่อน	การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2562						
	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ
ดินร่วน	0.40473	−0.29415	−0.81227	−0.43601	0.00000	−0.29126	0.45014
ดินทราย	0.36805	0.33540	−0.66963	−0.62659	0.00000	0.28209	0.48817
ดินทรายแป้ง	1.21904	−0.64945	−2.10870	−1.51936	0.00000	0.05292	−0.03940
ระยะห่างจากถนน	0.00196	−0.07924	−0.15765	0.10280	0.00000	−0.14797	0.04091
ดินเหนียว	−0.32018	0.12574	0.07231	0.27856	0.00000	0.31299	0.67388
ระยะห่างจากบ่อน้ำ	0.27090	0.23640	−0.03251	−0.29308	0.00000	0.25687	−0.16067
ความหนาแน่นของประชากร	0.00839	0.02975	−0.00919	0.00676	0.00000	0.05343	−0.53783
ปริมาณน้ำฝน	0.00010	−0.00001	0.00028	0.00832	0.06106	−0.00021	−0.00019
ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	−0.02280	−0.02311	0.03391	−0.16312	0.75039	0.11164	−0.62944
ระยะห่างจาก แหล่งการค้าชายแดน	0.10745	0.12408	−0.05670	−0.15322	−0.49612	0.03753	−0.15879
พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	−1.35727	−0.82954	0.06981	2.72155	0.00000	−0.46645	−1.86481
ความสูงเชิงเลข	−0.51969	−0.14758	−0.49222	1.26224	−1.60527	−0.15317	−0.95353
ความลาดชัน	−0.34138	−0.32114	−0.16259	0.36601	0.00000	−0.21511	0.78818
ระยะห่างจากหมู่บ้าน	−0.26545	−0.22127	−0.08931	0.29524	−0.08434	−0.08161	0.38989
constan	0.93286	−2.20541	0.85317	−5.69135	−7.58446	−2.47844	−2.92230
ROC	0.90063	0.68440	0.75738	0.92862	0.67850	0.65705	0.77949

หมายเหตุ : constan คือ ค่าคงที่, ROC คือพื้นที่ใต้เส้นโค้ง

สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2562

พื้นที่นาข้าว

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = 0.93286 + 0.40473(x_1) + 0.36805(x_2) + 1.21904(x_3) + 0.00196(x_4) - 0.32018(x_5) + 0.27090(x_6) + 0.00839(x_7) + 0.00010(x_8) - 0.02280(x_9) + 0.10745(x_{10}) - 1.35727(x_{11}) - 0.51969(x_{12}) - 0.34138(x_{13}) - 0.26545(x_{14})$$

พื้นที่ทุ่งหญ้า

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.20541 - 0.29415(x_1) + 0.33540(x_2) - 0.64945(x_3) - 0.07924(x_4) + 0.12574(x_5) + 0.23640(x_6) + 0.02975(x_7) - 0.00001(x_8) - 0.02311(x_9) + 0.12408(x_{10}) - 0.82954(x_{11}) - 0.14758(x_{12}) - 0.32114(x_{13}) - 0.22127(x_{14})$$

พื้นที่ไม้ยืนต้น

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = 0.85317 - 0.81227(x_1) - 0.66963(x_2) - 2.10870(x_3) - 0.15765(x_4) + 0.07231(x_5) - 0.03251(x_6) - 0.00919(x_7) + 0.00028(x_8) + 0.03391(x_9) - 0.05670(x_{10}) + 0.06981(x_{11}) - 0.49222(x_{12}) - 0.16259(x_{13}) - 0.08931(x_{14})$$

พื้นที่ป่าไม้

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -5.69135 - 0.43601(x_1) - 0.62659(x_2) - 1.51936(x_3) + 0.10280(x_4) + 0.27856(x_5) - 0.29308(x_6) + 0.00676(x_7) + 0.00832(x_8) - 0.16312(x_9) - 0.15322(x_{10}) + 2.72155(x_{11}) + 1.26224(x_{12}) + 0.36601(x_{13}) + 0.29524(x_{14})$$

พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -7.58446 + 0.06106(x_8) + 0.75039(x_9) - 0.49612(x_{10}) - 1.60527(x_{12}) - 0.08434(x_{14})$$

พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.47844 - 0.29126(x_1) + 0.28209(x_2) + 0.05292(x_3) - 0.14797(x_4) + 0.31299(x_5) + 0.25687(x_6) + 0.05343(x_7) - 0.00021(x_8) + 0.11164(x_9) + 0.03753(x_{10}) - 0.46645(x_{11}) - 0.15317(x_{12}) - 0.21511(x_{13}) - 0.08161(x_{14})$$

พื้นที่แหล่งน้ำ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.92230 + 0.45014(x_1) + 0.48817(x_2) - 0.03940(x_3) + 0.04091(x_4) + 0.67388(x_5) - 0.16067(x_6) - 0.53783(x_7) - 0.00019(x_8) - 0.62944(x_9) - 0.15879(x_{10}) - 1.86481(x_{11}) - 0.95353(x_{12}) + 0.78818(x_{13}) + 0.38989(x_{14})$$

x_1	ดินร่วน	x_8	ปริมาณน้ำฝน
x_2	ดินทราย	x_9	ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ
x_3	ดินทรายแป้ง	x_{10}	ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน
x_4	ระยะห่างจากถนน	x_{11}	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน
x_5	ดินเหนียว	x_{12}	ความสูงเชิงเลข
x_6	ระยะห่างจากบ่อน้ำ	x_{13}	ความลาดชัน
x_7	ความหนาแน่นของประชากร	x_{14}	ระยะห่างจากหมู่บ้าน

ตาราง 30 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563

ปัจจัยขับเคลื่อน	การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563						
	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ
ดินร่วน	0.32168	−0.09316	−0.86343	−0.51536	0.00000	−0.16568	0.47379
ดินทราย	0.36320	0.14341	−0.68471	−0.34162	0.00000	0.28187	0.48286
ดินทรายแป้ง	1.04792	−0.25791	−2.12632	−1.61432	0.00000	0.04942	−0.05255
ระยะห่างจากถนน	0.06253	−0.07686	−0.18268	0.12481	0.00000	−0.12736	0.01182
ดินเหนียว	−0.27431	−0.11797	0.08801	0.46109	0.00000	0.29093	0.68311
ระยะห่างจากบ่อน้ำ	0.22964	0.28522	0.06549	−0.44290	0.00000	0.28154	−0.14779
ความหนาแน่นของประชากร	0.00014	0.06159	−0.00362	−0.02252	0.00000	0.05102	−0.52792
ปริมาณน้ำฝน	0.00007	0.00007	0.00028	0.04077	0.06106	−0.00020	−0.00019
ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	−0.05828	0.07172	0.04854	−0.24758	0.75039	0.10405	−0.64143
ระยะห่างจาก แหล่งการค้าชายแดน	0.03769	0.11787	−0.04510	−0.11875	−0.49612	0.02652	−0.15861
พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	−1.04704	−1.00642	0.20087	3.05650	0.00000	−0.48826	−1.79146
ความสูงเชิงเลข	−0.62001	0.01086	−0.50790	1.39201	−1.60527	−0.17168	−0.97529
ความลาดชัน	−0.22457	−0.32729	−0.11785	0.31608	0.00000	−0.20635	0.79355
ระยะห่างจากหมู่บ้าน	−0.16321	−0.24593	−0.07414	0.27618	−0.08434	−0.08232	0.37530
constan	0.68554	−1.70336	0.70264	−6.42209	−7.58446	−2.38714	−2.85464
ROC	0.87091	0.69591	0.76584	0.91649	0.67850	0.65804	0.77757

หมายเหตุ : constan คือ ค่าคงที่, ROC คือพื้นที่ใต้เส้นโค้ง

สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563

พื้นที่นาข้าว

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = 0.68554 + 0.32168(x_1) + 0.36320(x_2) + 1.04792(x_3) + 0.06253(x_4) - 0.27431(x_5) + 0.22964(x_6) + 0.00014(x_7) + 0.00007(x_8) - 0.05828(x_9) + 0.03769(x_{10}) - 1.04704(x_{11}) - 0.62001(x_{12}) - 0.22457(x_{13}) - 0.16321(x_{14})$$

พื้นที่ทุ่งหญ้า

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -1.70336 - 0.09316(x_1) + 0.14341(x_2) - 0.25791(x_3) - 0.07686(x_4) - 0.11797(x_5) + 0.28522(x_6) + 0.06159(x_7) + 0.00007(x_8) + 0.07172(x_9) + 0.11787(x_{10}) - 1.00642(x_{11}) + 0.01086(x_{12}) - 0.32729(x_{13}) - 0.24593(x_{14})$$

พื้นที่ไม้ยืนต้น

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = 0.70264 - 0.86343(x_1) - 0.68471(x_2) - 2.12632(x_3) - 0.18268(x_4) + 0.08801(x_5) + 0.06549(x_6) - 0.00362(x_7) + 0.00028(x_8) + 0.04854(x_9) - 0.04510(x_{10}) + 0.20087(x_{11}) - 0.50790(x_{12}) - 0.11785(x_{13}) - 0.07414(x_{14})$$

พื้นที่ป่าไม้

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -6.42209 - 0.51536(x_1) - 0.34162(x_2) - 1.61432(x_3) + 0.12481(x_4) + 0.46109(x_5) - 0.44290(x_6) - 0.02252(x_7) + 0.04077(x_8) - 0.24758(x_9) - 0.11875(x_{10}) + 3.05650(x_{11}) + 1.39201(x_{12}) + 0.31608(x_{13}) + 0.27618(x_{14})$$

พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -7.58446 + 0.06106(x_8) + 0.75039(x_9) - 0.49612(x_{10}) - 1.60527(x_{12}) - 0.08434(x_{14})$$

พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.38714 - 0.16568(x_1) + 0.28187(x_2) + 0.04942(x_3) - 0.12736(x_4) + 0.29093(x_5) + 0.28154(x_6) + 0.05102(x_7) - 0.00020(x_8) + 0.10405(x_9) + 0.02652(x_{10}) - 0.48826(x_{11}) - 0.17168(x_{12}) - 0.20635(x_{13}) - 0.08232(x_{14})$$

พื้นที่แหล่งน้ำ

$$\mathrm{Log}\left(\frac{\mathrm{P_I}}{1-\mathrm{P_I}}\right) = -2.85464 + 0.47379(x_1) + 0.48286(x_2) - 0.05255(x_3) + 0.01182(x_4) + 0.68311(x_5) - 0.14779(x_6) - 0.52792(x_7) - 0.00019(x_8) - 0.64143(x_9) - 0.15861(x_{10}) - 1.79146(x_{11}) - 0.97529(x_{12}) + 0.79355(x_{13}) + 0.37530(x_{14})$$

x_1	ดินร่วน	x_8	ปริมาณน้ำฝน
x_2	ดินทราย	x_9	ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ
x_3	ดินทรายแป้ง	x_{10}	ระยะห่างจากแหล่งการค้าชายแดน
x_4	ระยะห่างจากถนน	x_{11}	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน
x_5	ดินเหนียว	x_{12}	ความสูงเชิงเลข
x_6	ระยะห่างจากบ่อน้ำ	x_{13}	ความลาดชัน
x_7	ความหนาแน่นของประชากร	x_{14}	ระยะห่างจากหมู่บ้าน

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ดิน เมื่อนำค่าพื้นที่ใต้เส้นโค้ง Receiver operating characteristic curve : ROC โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งผลการศึกษาค่าพื้นที่ใต้เส้นโค้ง ในปี พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2563 พบว่า มีค่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งในแต่ละประเภทใกล้เคียงกัน กล่าวคือ พื้นที่นาข้าว มีค่าอยู่ระหว่าง 0.87091 – 0.93952 พื้นที่ทุ่งหญ้า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.62784 – 0.72296 พื้นที่ไม้ยืนต้น มีค่าอยู่ระหว่าง 0.69688 – 0.76610 พื้นที่ป่าไม้ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.91649 – 0.95163 พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.66874 – 0.88116 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.58145 – 0.77081 และ พื้นที่แหล่งน้ำ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.77428 – 0.81951 มีรายละเอียดดังตาราง 31

ตาราง 31 ค่าพื้นที่ใต้เส้นโค้ง Receiver operating characteristic curve : ROC

Receiver operating characteristic curve : ROC							
ปี พ.ศ.	พื้นที่นาข้าว	พื้นที่ทุ่งหญ้า	พื้นที่ไม้ยืนต้น	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่แหล่งน้ำ
2543	0.93952	0.66730	0.76610	0.95163	0.78294	0.77081	0.81951
2548	0.93617	0.68196	0.75958	0.94427	0.78294	0.75818	0.80455
2553	0.91994	0.72296	0.69688	0.93983	0.78294	0.66225	0.76802
2558	0.91244	0.69219	0.72024	0.94227	0.78294	0.66368	0.77428
2559	0.91235	0.69403	0.72353	0.93829	0.78659	0.67035	0.77862
2560	0.91708	0.62784	0.73532	0.93704	0.88116	0.58145	0.78413
2561	0.91075	0.64710	0.75263	0.93997	0.66874	0.65639	0.78215
2562	0.90063	0.68440	0.75738	0.92862	0.67850	0.65705	0.77949
2563	0.87091	0.69591	0.76584	0.91649	0.67850	0.65804	0.77757

3.การคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

การคาดการณ์การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การคาดการณ์แบบแบ่งช่วงเวลา และการคาดการณ์แบบแบ่งกลุ่มพื้นที่ศึกษารายอำเภอ มีรายละเอียด ดังนี้

3.1.การคาดการณ์แบบแบ่งช่วงเวลา

การคาดการณ์การใช้ที่ดินจังหวัดเชียงราย คาดการณ์แบบแบ่งช่วงเวลา แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ลักษณะ คือ การคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น (ทุก 1 ปี 1 ช่วง) การคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง (ทุก 5 ปี 5 ช่วง) และการคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว (ทุก 10 ปี 10 ช่วง) ซึ่งจำแนกการใช้ที่ดิน 7 ประเภท ได้แก่ พื้นที่นาข้าว พื้นที่ทุ่งหญ้า พื้นที่ไม้ยืนต้น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ มีรายละเอียด ดังนี้

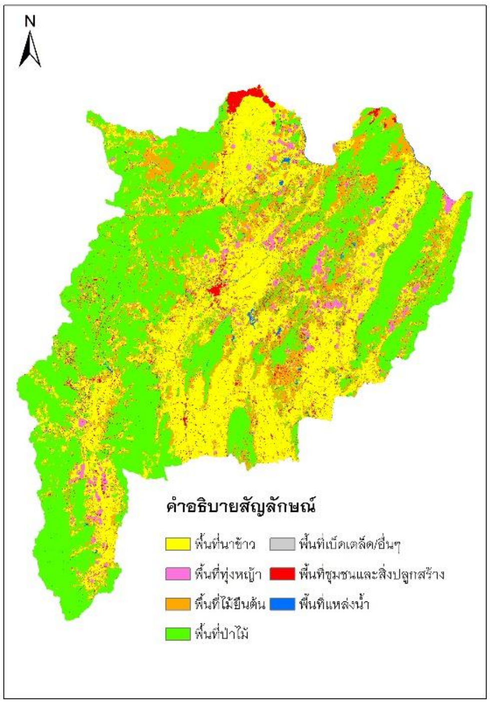
การคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น (ทุก 1 ปี 1 ช่วง)

การณ์ใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2560 (ราย 1 ปี) ของจังหวัดเชียงราย แสดงไว้ในตาราง 32 ภาพ 47 พบว่า พื้นที่นาข้าว จากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีพื้นที่ 2,417,760 , 2,448,405 , 2,451,141 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ทุ่งหญ้าจากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีพื้นที่ 190,314 , 145,557 , 154,089 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ไม้ยืนต้นจากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีพื้นที่ 996,120 , 1,138,941 , 1,121,589 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ป่าไม้จากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีพื้นที่ 3,242,268 , 3,046,644 , 3,046,869 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆจากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีพื้นที่ 1,053 , 990 , 1,071 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างจากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีพื้นที่ 301,599 , 362,781 , 372,276 ไร่ ตามลำดับ และพื้นที่แหล่งน้ำจากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีพื้นที่ 43,677 , 49,473 , 45,756 ไร่ ตามลำดับ

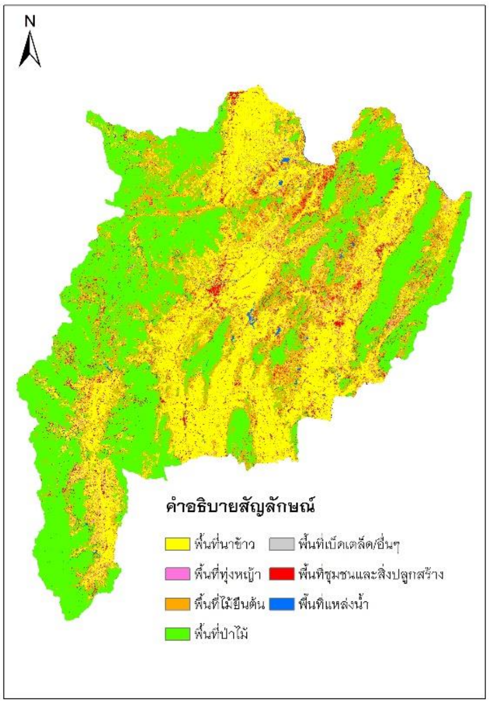
เมื่อนำผลจากการคาดการณ์การใช้ที่ดินทั้ง 3 แบบ มาตรวจสอบความถูกต้องกับการใช้ที่ดินจากการจำแนก พบว่า แบบจำลอง CA-Markov มีความถูกต้องร้อยละ 84.38 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 78.10 แบบจำลอง CLUMondo มีความถูกต้องร้อยละ 83.20 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 76.64 แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีความถูกต้องร้อยละ 82.03 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 74.82

ตาราง 32 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 (ราย 1 ปี)

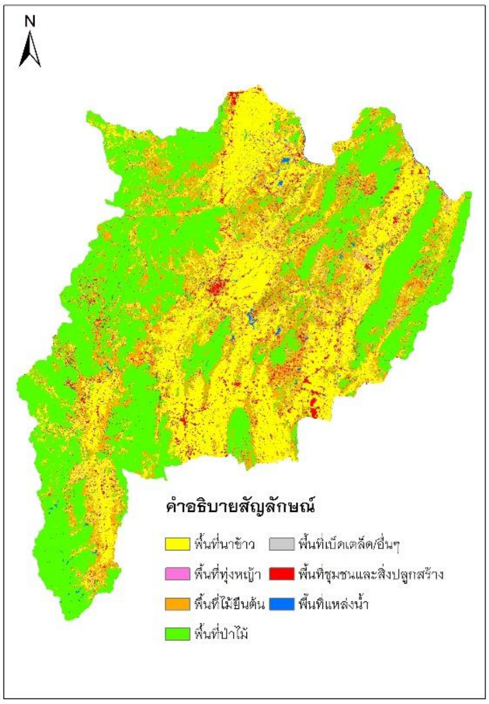
ประเภทการใช้ที่ดิน	การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2560		
	CA-Markov	CLUMondo	GeoSOS-FLUS
พื้นที่นาข้าว	2,417,760	2,451,141	2,448,405
พื้นที่ทุ่งหญ้า	190,314	154,089	145,557
พื้นที่ไม้ยืนต้น	996,120	1,121,589	1,138,941
พื้นที่ป่าไม้	3,242,268	3,046,869	3,046,644
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	1,053	1,071	990
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	301,599	372,276	362,781
พื้นที่แหล่งน้ำ	43,677	45,756	49,473
รวม	7,192,791	7,192,791	7,192,791
Overall Accuracy	84.38	83.20	82.03
Kappa Coefficient	78.10	76.64	74.82



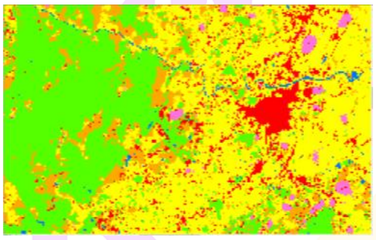
แบบจำลอง CA–Markov



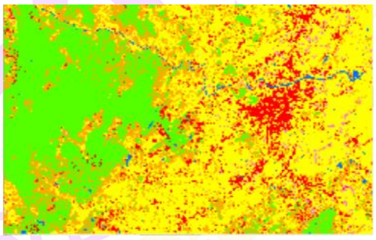
แบบจำลอง CLUMondo



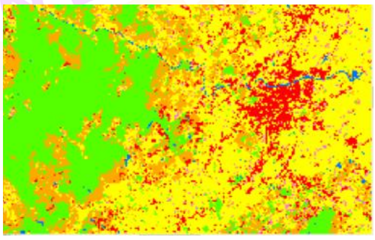
แบบจำลอง GeoSOS–FLUS



CA–Markov



CLUMondo



GeoSOS–FLUS

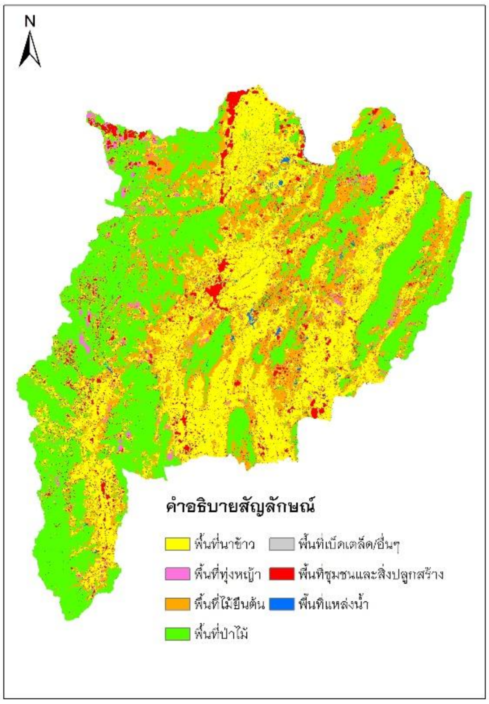
ภาพ 47 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 (ราย 1 ปี)

การณ์ใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2561 (ราย 1 ปี) ของจังหวัดเชียงราย จากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS แสดงไว้ในตาราง 33 ภาพ 48 พบว่า พื้นที่นาข้าว มีพื้นที่ 2,256,795 , 2,526,309 , 2,565,414 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ทุ่งหญ้า มีพื้นที่ 130,833 , 211,140 , 127,737 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ไม้ยืนต้น มีพื้นที่ 1,449,792 , 1,357,146 , 1,037,736 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ป่าไม้ มีพื้นที่ 1,037,736 , 2,677,608 , 3,047,832 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ มีพื้นที่ 180 , 774 , 684 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีพื้นที่ 452,871 , 368,028 , 362,7816 ไร่ ตามลำดับ และพื้นที่แหล่งน้ำ มีพื้นที่ 50,607 , 51,786 , 50,607 ไร่ ตามลำดับ

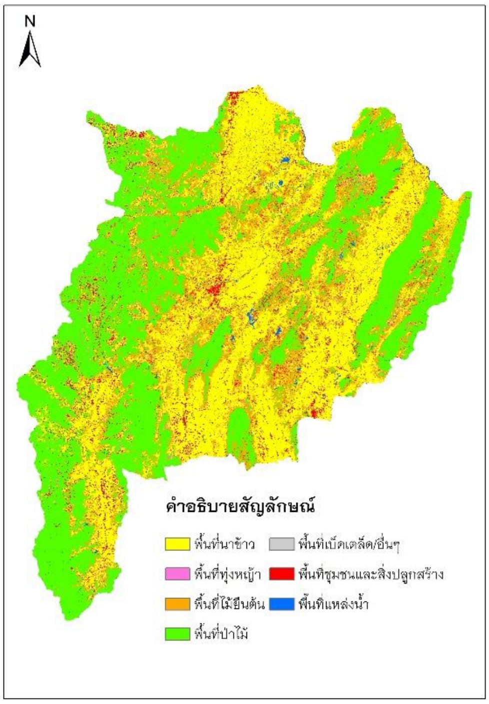
เมื่อนำผลจากการคาดการณ์การใช้ที่ดินทั้ง 3 แบบ มาตรวจสอบความถูกต้องกับการใช้ที่ดินจากการจำแนก พบว่า แบบจำลอง CA-Markov มีความถูกต้องร้อยละ 86.33 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 81.49 แบบจำลอง CLUMondo มีความถูกต้องร้อยละ 90.23 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 86.59 แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีความถูกต้องร้อยละ 87.11 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 82.51

ตาราง 33 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 (ราย 1 ปี)

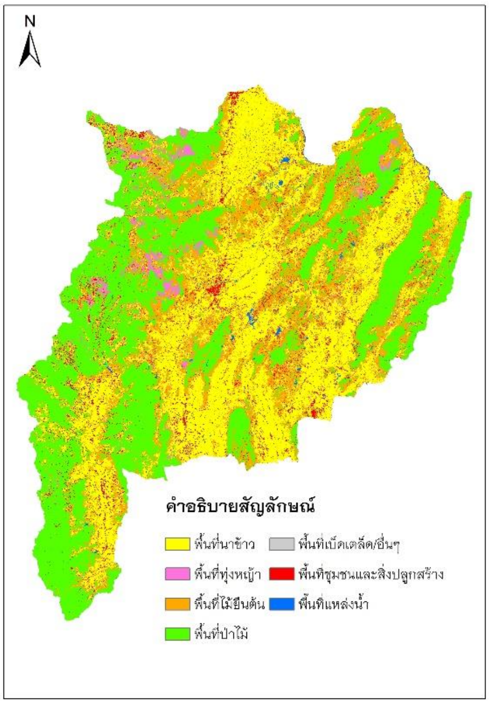
ประเภทการใช้ที่ดิน	การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2561		
	CA-Markov	CLUMondo	GeoSOS-FLUS
พื้นที่นาข้าว	2,256,795	2,565,414	2,526,309
พื้นที่ทุ่งหญ้า	130,833	127,737	211,140
พื้นที่ไม้ยืนต้น	1,449,792	1,037,736	1,357,146
พื้นที่ป่าไม้	1,037,736	3,047,832	2,677,608
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	180	684	774
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	452,871	362,781	368,028
พื้นที่แหล่งน้ำ	50,607	50,607	51,786
รวม	7,192,791	7,192,791	7,192,791
Overall Accuracy	86.33	90.23	87.11
Kappa Coefficient	81.49	86.59	82.51



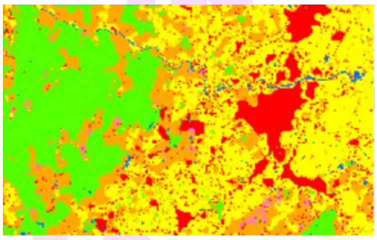
แบบจำลอง CA–Markov



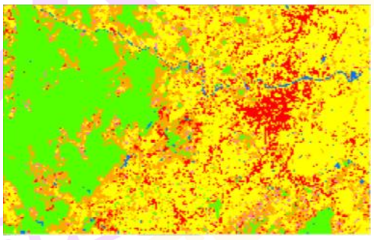
แบบจำลอง CLUMondo



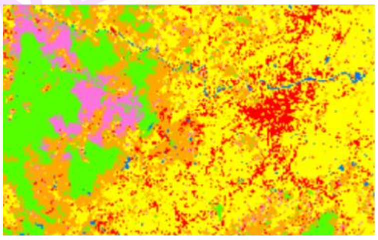
แบบจำลอง GeoSOS–FLUS



CA–Markov



CLUMondo



GeoSOS–FLUS

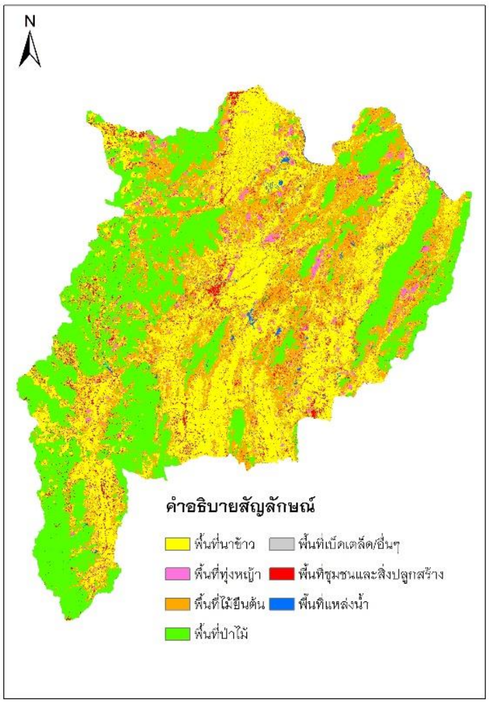
ภาพ 48 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 (ราย 1 ปี)

การณ์ใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2562 (ราย 1 ปี) ของจังหวัดเชียงราย จากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS แสดงไว้ในตาราง 34 ภาพ 49 พบว่า พื้นที่นาข้าว มีพื้นที่ 2,612,592 , 2,439,072 , 2,448,198 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ทุ่งหญ้า มีพื้นที่ 229,428 , 224,172 , 344,124 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ไม้ยืนต้น มีพื้นที่ 1,558,980 , 1,522,584 , 1,494,126 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ป่าไม้ มีพื้นที่ 2,369,988 , 2,578,617 , 2,485,899 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ มีพื้นที่ 594 , 486 , 630 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีพื้นที่ 369,423 , 375,408 , 368,028 ไร่ ตามลำดับ และพื้นที่แหล่งน้ำ มีพื้นที่ 51,786 , 52,452 , 51,786 ไร่ ตามลำดับ

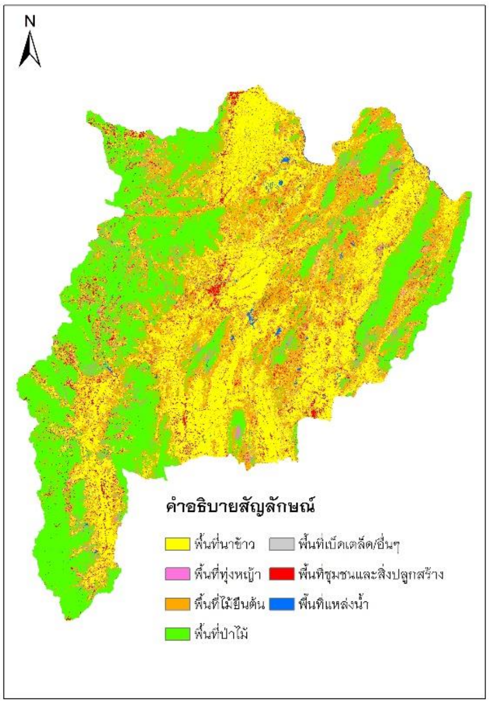
เมื่อนำผลจากการคาดการณ์การใช้ที่ดินทั้ง 3 แบบ มาตรวจสอบความถูกต้องกับการใช้ที่ดินจากการจำแนก พบว่า แบบจำลอง CA-Markov มีความถูกต้องร้อยละ 82.81 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 77.16 แบบจำลอง CLUMondo มีความถูกต้องร้อยละ 83.98 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 78.65 แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีความถูกต้องร้อยละ 85.94 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 81.23

ตาราง 34 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 (ราย 1 ปี)

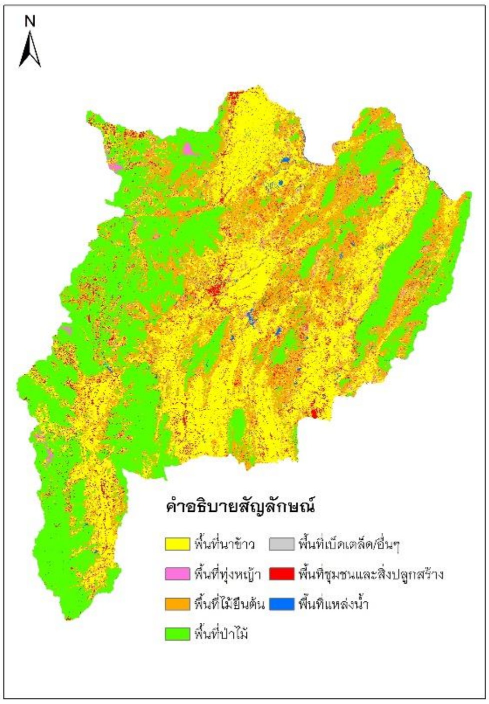
ประเภทการใช้ที่ดิน	การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2562		
	CA-Markov	CLUMondo	GeoSOS-FLUS
พื้นที่นาข้าว	2,612,592	2,448,198	2,439,072
พื้นที่ทุ่งหญ้า	229,428	344,124	224,172
พื้นที่ไม้ยืนต้น	1,558,980	1,494,126	1,522,584
พื้นที่ป่าไม้	2,369,988	2,485,899	2,578,617
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	594	630	486
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	369,423	368,028	375,408
พื้นที่แหล่งน้ำ	51,786	51,786	52,452
รวม	7,192,791	7,192,791	7,192,791
Overall Accuracy	82.81	83.98	85.94
Kappa Coefficient	77.16	78.65	81.23



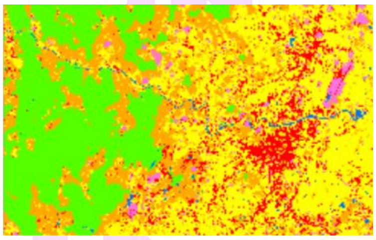
แบบจำลอง CA-Markov



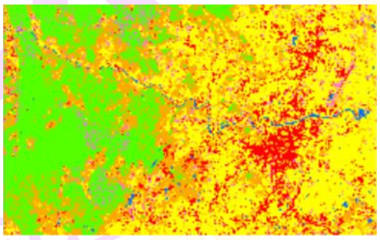
แบบจำลอง CLUMondo



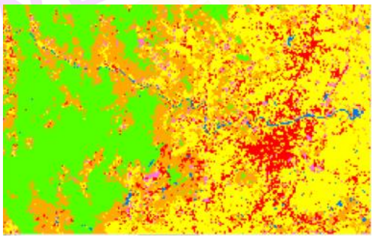
แบบจำลอง GeoSOS-FLUS



CA-Markov



CLUMondo



GeoSOS-FLUS

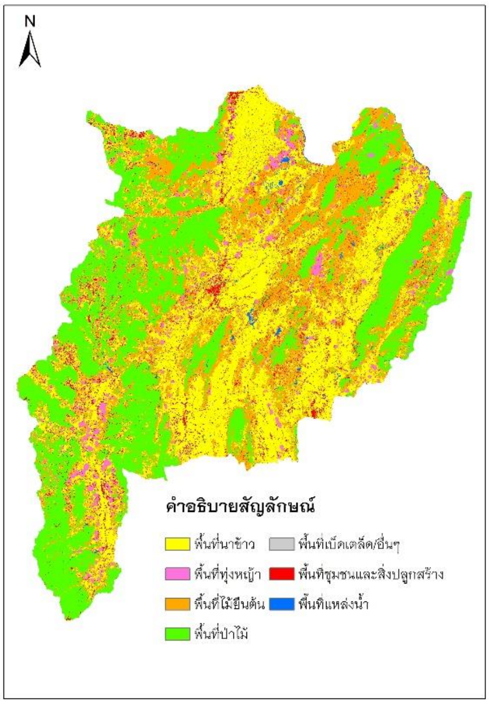
ภาพ 49 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 (ราย 1 ปี)

การณ์ใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563 (ราย 1 ปี) ของจังหวัดเชียงราย จากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS แสดงไว้ในตาราง 35 ภาพ 50 พบว่า พื้นที่นาข้าว มีพื้นที่ 2,405,196 , 2,207,997 , 2,281,914 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ทุ่งหญ้า มีพื้นที่ 278,064 , 408,789 , 617,616 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ไม้ยืนต้น มีพื้นที่ 1,686,771 , 1,740,312 , 1,700,433 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ป่าไม้ มีพื้นที่ 2,394,315 , 2,375,352 , 2,164,716 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ มีพื้นที่ 216 , 279 , 252 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีพื้นที่ 375,777 , 406,791 , 375,408 ไร่ ตามลำดับ และพื้นที่แหล่งน้ำ มีพื้นที่ 52,452 , 53,271 , 52,452 ไร่ ตามลำดับ

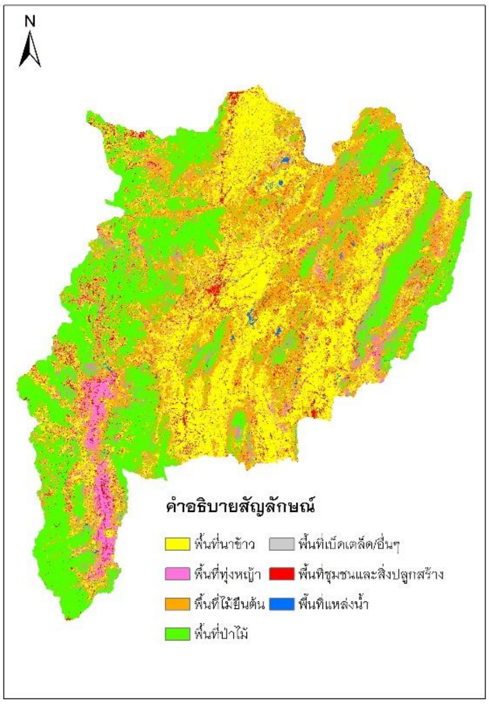
เมื่อนำผลจากการคาดการณ์การใช้ที่ดินทั้ง 3 แบบ มาตรวจสอบความถูกต้องกับการใช้ที่ดินจากการจำแนก พบว่า แบบจำลอง CA-Markov มีความถูกต้องร้อยละ 83.59 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 78.58 แบบจำลอง CLUMondo มีความถูกต้องร้อยละ 82.42 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 77.28 แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีความถูกต้องร้อยละ 80.47 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 74.74

ตาราง 35 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 (ราย 1 ปี)

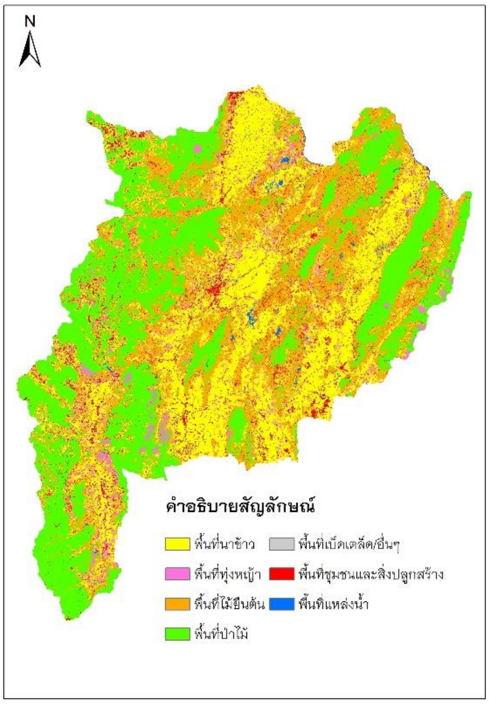
ประเภทการใช้ที่ดิน	การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563		
	CA-Markov	CLUMondo	GeoSOS-FLUS
พื้นที่นาข้าว	2,405,196	2,281,914	2,207,997
พื้นที่ทุ่งหญ้า	278,064	617,616	408,789
พื้นที่ไม้ยืนต้น	1,686,771	1,700,433	1,740,312
พื้นที่ป่าไม้	2,394,315	2,164,716	2,375,352
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	216	252	279
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	375,777	375,408	406,791
พื้นที่แหล่งน้ำ	52,452	52,452	53,271
รวม	7,192,791	7,192,791	7,192,791
Overall Accuracy	83.59	82.42	80.47
Kappa Coefficient	78.58	77.28	74.74



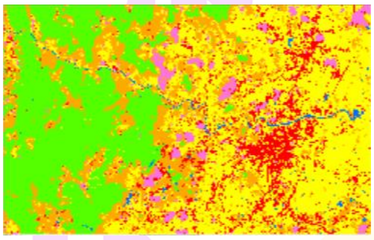
แบบจำลอง CA-Markov



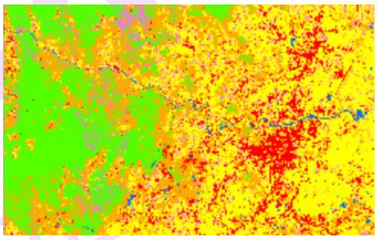
แบบจำลอง CLUMondo



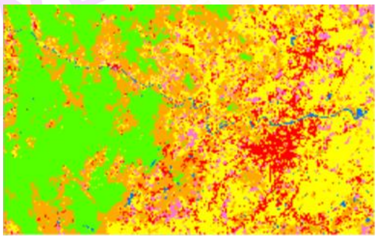
แบบจำลอง GeoSOS-FLUS



CA-Markov



CLUMondo



GeoSOS-FLUS

ภาพ 50 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 (ราย 1 ปี)

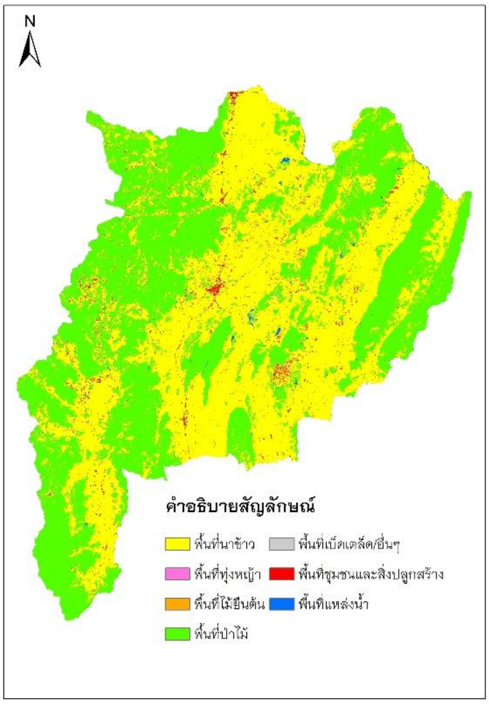
การคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง (ทุก 5 ปี 5 ช่วง)

การณ์ใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2553 (ราย 5 ปี) ของจังหวัดเชียงราย จากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS แสดงไว้ในตาราง 36 ภาพ 51 พบว่า พื้นที่นาข้าว มีพื้นที่ 3,537,225 , 3,033,828 , 3,133,350 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ทุ่งหญ้า มีพื้นที่ 41,904 , 154,278 , 354,879 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ไม้ยืนต้น มีพื้นที่ 34,956 , 201,249 , 43,425 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ป่าไม้ มีพื้นที่ 3,468,267 , 3,604,203 , 3,414,402 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ มีพื้นที่ 1,647 , 1,584 , 1,611 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีพื้นที่ 88,830 , 171,243 , 225,162 ไร่ ตามลำดับ และพื้นที่แหล่งน้ำ มีพื้นที่ 19,962 , 26,406 , 19,962 ไร่ ตามลำดับ

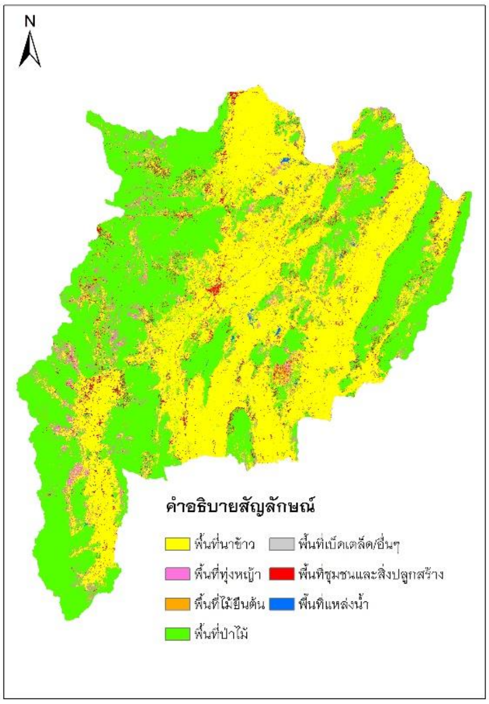
เมื่อนำผลจากการคาดการณ์การใช้ที่ดินทั้ง 3 แบบ มาตรวจสอบความถูกต้องกับการใช้ที่ดินจากการจำแนก พบว่า แบบจำลอง CA-Markov มีความถูกต้องร้อยละ 87.50 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 80.57 แบบจำลอง CLUMondo มีความถูกต้องร้อยละ 88.28 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 82.09 แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีความถูกต้องร้อยละ 84.38 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 75.84

ตาราง 36 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 (ราย 5 ปี)

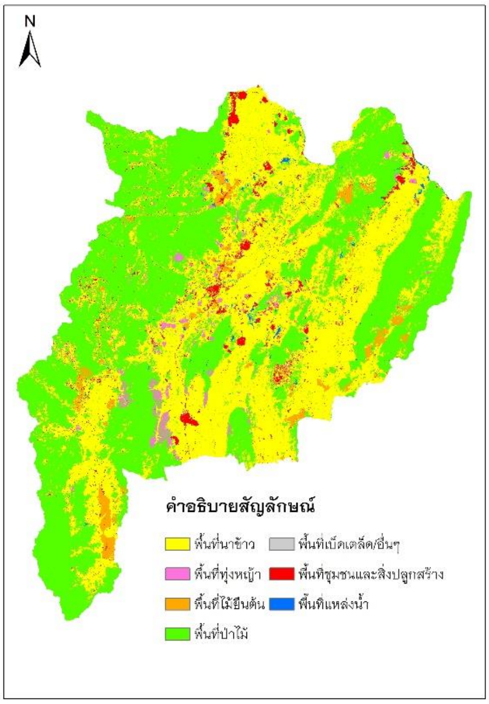
ประเภทการใช้ที่ดิน	การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2553		
	CA-Markov	CLUMondo	GeoSOS-FLUS
พื้นที่นาข้าว	3,537,225	3,133,350	3,033,828
พื้นที่ทุ่งหญ้า	41,904	354,879	154,278
พื้นที่ไม้ยืนต้น	34,956	43,425	201,249
พื้นที่ป่าไม้	3,468,267	3,414,402	3,604,203
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	1,647	1,611	1,584
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	88,830	225,162	171,243
พื้นที่แหล่งน้ำ	19,962	19,962	26,406
รวม	7,192,791	7,192,791	7,192,791
Overall Accuracy	87.50	88.28	84.38
Kappa Coefficient	80.57	82.09	75.84



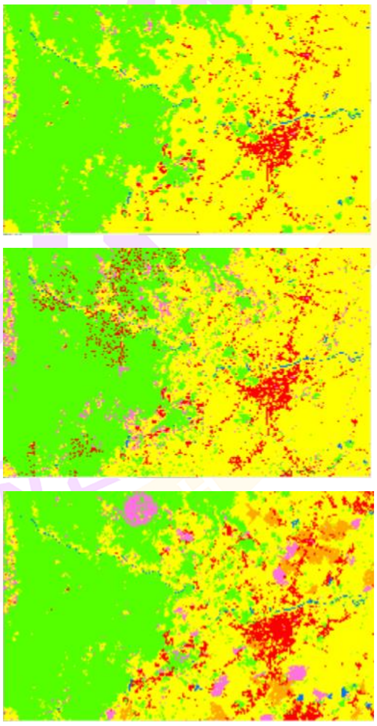
แบบจำลอง CA–Markov



แบบจำลอง CLUMondo



แบบจำลอง GeoSOS–FLUS



CA–Markov

CLUMondo

GeoSOS–FLUS

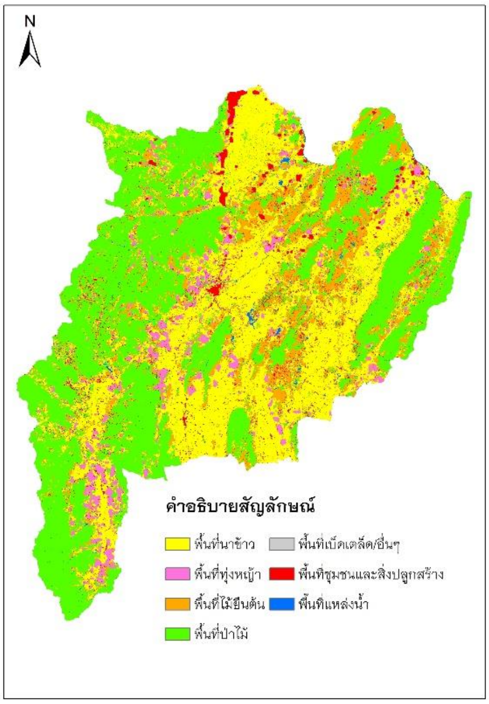
ภาพ 51 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 (ราย 5 ปี)

การณ์ใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563 (ราย 5 ปี) ของจังหวัดเชียงราย จากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS แสดงไว้ในตาราง 37 ภาพ 52 พบว่า พื้นที่นาข้าว มีพื้นที่ 2,403,450 , 2,207,997 , 2,211,885 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ทุ่งหญ้า มีพื้นที่ 360,315 , 626,166 , 532,179 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ไม้ยืนต้น มีพื้นที่ 909,837 , 1,431,720 , 1,695,132 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ป่าไม้ มีพื้นที่ 3,181,104 , 2,466,126 , 2,248,047 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ มีพื้นที่ 1,557 , 720 , 558 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีพื้นที่ 298,557 , 406,791 , 467,280 ไร่ ตามลำดับ และพื้นที่แหล่งน้ำ มีพื้นที่ 37,971 , 53,271 , 37,710 ไร่ ตามลำดับ

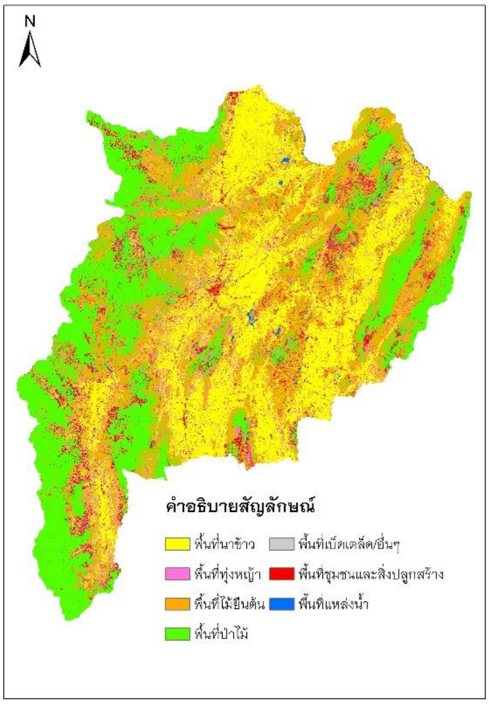
เมื่อนำผลจากการคาดการณ์การใช้ที่ดินทั้ง 3 แบบ มาตรวจสอบความถูกต้องกับการใช้ที่ดินจากการจำแนก พบว่า แบบจำลอง CA-Markov มีความถูกต้องร้อยละ 83.59 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 78.57 แบบจำลอง CLUMondo มีความถูกต้องร้อยละ 88.28 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 84.84 แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีความถูกต้องร้อยละ 82.03 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 76.99

ตาราง 37 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 (ราย 5 ปี)

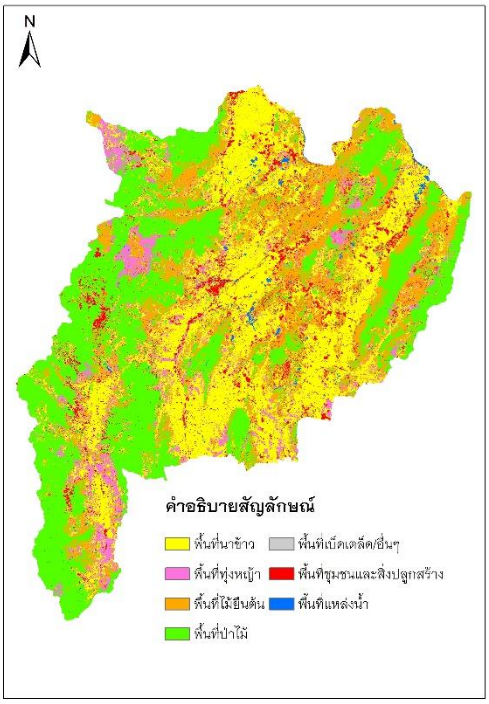
ประเภทการใช้ที่ดิน	การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563		
	CA-Markov	CLUMondo	GeoSOS-FLUS
พื้นที่นาข้าว	2,403,450	2,211,885	2,207,997
พื้นที่ทุ่งหญ้า	360,315	532,179	626,166
พื้นที่ไม้ยืนต้น	909,837	1,695,132	1,431,720
พื้นที่ป่าไม้	3,181,104	2,248,047	2,466,126
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	1,557	558	720
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	298,557	467,280	406,791
พื้นที่แหล่งน้ำ	37,971	37,710	53,271
รวม	7,192,791	7,192,791	7,192,791
Overall Accuracy	83.59	88.28	82.03
Kappa Coefficient	78.57	84.84	76.99



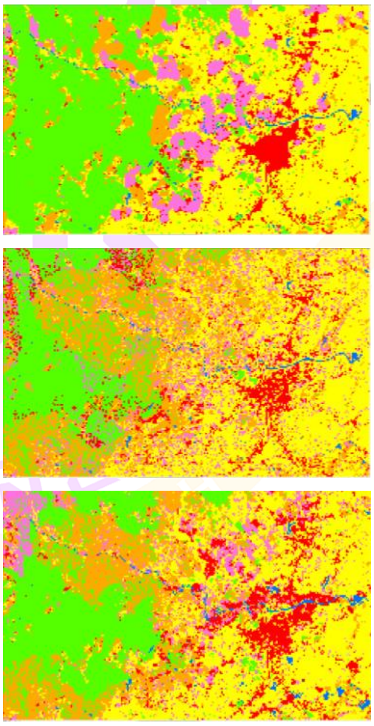
แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo



แบบจำลอง GeoSOS-FLUS



CA-Markov

CLUMondo

GeoSOS-FLUS

ภาพ 52 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 (ราย 5 ปี)

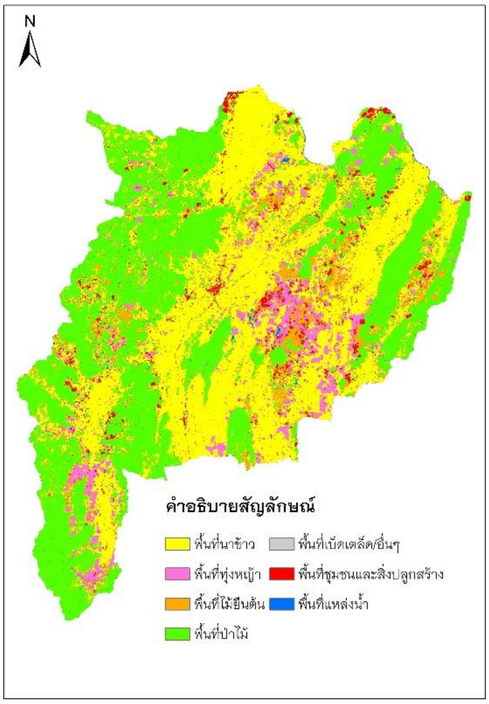
การคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว (ทุก 10 ปี 10 ช่วง)

การณ์ใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563 (ราย 10 ปี) ของจังหวัดเชียงราย จากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS แสดงไว้ในตาราง 38 ภาพ 53 พบว่า พื้นที่นาข้าว มีพื้นที่ 3,055,779 , 2,452,365 , 2,206,656 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ทุ่งหญ้า มีพื้นที่ 467,415 , 635,364 , 618,147 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ไม้ยืนต้น มีพื้นที่ 385,659 , 538,173 , 1,804,590 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ป่าไม้ มีพื้นที่ 2,991,735 , 3,106,080 , 2,078,181 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ มีพื้นที่ 1,494 , 747 , 441 ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีพื้นที่ 264,303 , 406,782 , 450,792 ไร่ ตามลำดับ และพื้นที่แหล่งน้ำ มีพื้นที่ 26,406 , 53,280 , 33,984 ไร่ ตามลำดับ

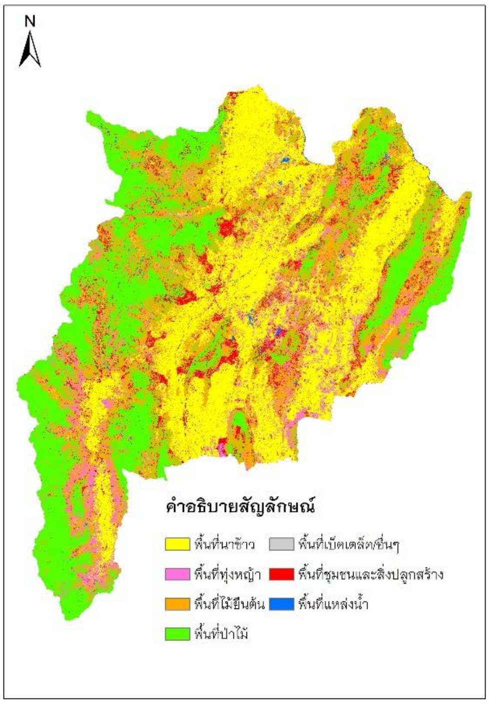
เมื่อนำผลจากการคาดการณ์การใช้ที่ดินทั้ง 3 แบบ มาตรวจสอบความถูกต้องกับการใช้ที่ดินจากการจำแนก พบว่า แบบจำลอง CA-Markov มีความถูกต้องร้อยละ 82.81 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 77.77 แบบจำลอง CLUMondo มีความถูกต้องร้อยละ 81.64 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 76.44 แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีความถูกต้องร้อยละ 83.20 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 78.21

ตาราง 38 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 (ราย 10 ปี)

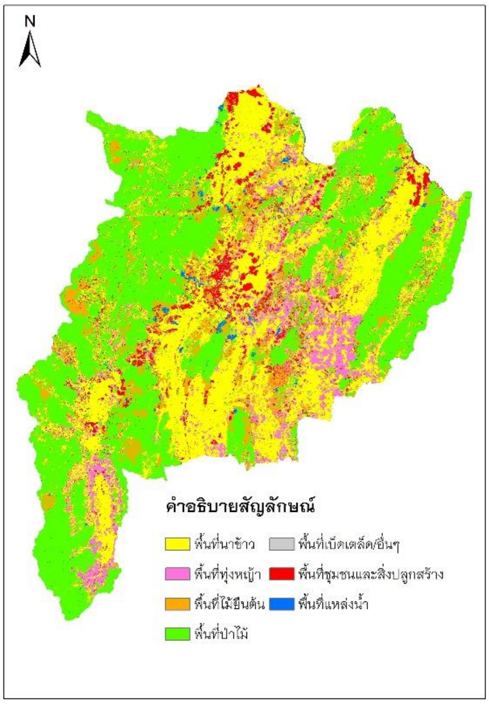
ประเภทการใช้ที่ดิน	การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563		
	CA-Markov	CLUMondo	GeoSOS-FLUS
พื้นที่นาข้าว	3,055,779	2,206,656	2,452,365
พื้นที่ทุ่งหญ้า	467,415	618,147	635,364
พื้นที่ไม้ยืนต้น	385,659	1,804,590	538,173
พื้นที่ป่าไม้	2,991,735	2,078,181	3,106,080
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	1,494	441	747
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	264,303	450,792	406,782
พื้นที่แหล่งน้ำ	26,406	33,984	53,280
รวม	7,192,791	7,192,791	7,192,791
Overall Accuracy	82.81	81.64	83.20
Kappa Coefficient	77.77	76.44	78.21



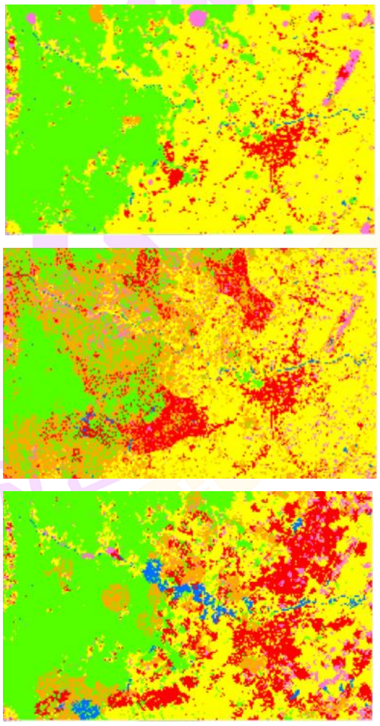
แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo



แบบจำลอง GeoSOS-FLUS



CA-Markov

CLUMondo

GeoSOS-FLUS

ภาพ 53 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 (ราย 10 ปี)

3.2.การคาดการณ์แบบแบ่งกลุ่มพื้นที่ศึกษาเป็น 3 กลุ่ม

กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว เป็นกลุ่มที่มีการขยายตัวของเมืองที่มาก และเป็นแหล่งการขยายตัวด้านเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม ได้แก่ อำเภอเมืองเชียงราย อำเภอแม่สาย อำเภอเชียงของ และอำเภอเชียงแสน มีรายละเอียดดังนี้

การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2560-2563 (ราย 1 ปี) จากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS พบว่าการขยายตัวของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ในอำเภอเมืองเชียงราย จะพบการขยายตัวหนาแน่นบริเวณทางตอนกลางของอำเภอ ใกล้พื้นที่ชุมชนเดิม และมีการขยายตัวตามเส้นทางคมนาคมหลักไปทางทิศเหนือและทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีลักษณะการขยายตัวแบบทฤษฎีรูปพาย (Sector theory) กล่าวคือ มีการขยายตัวจากศูนย์กลางเป็นวง ไปตามเส้นคมนาคม สำหรับอำเภอแม่สายจะพบการขยายตัวหนาแน่นทางตอนเหนือของอำเภอบริเวณแหล่งการค้าชายแดน และมีการขยายตัวตามเส้นทางคมนาคมหลักไปทางทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนอำเภอเชียงของจะพบกระจายตัวบริเวณทางตอนกลางอำเภอและทิศตะวันออก ตามเส้นทางคมนาคมเป็นส่วนใหญ่ และอำเภอเชียงแสนจะพบกระจายตัวบริเวณทางตอนเหนือตามแนวเขตชายแดน ตาราง 39- 42 ภาพ 54-57

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์จากทั้ง 3 แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2560 อำเภอเมืองเชียงราย อำเภอเชียงของ และอำเภอเชียงแสน พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา คือ แบบจำลอง CA-Markov มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ที่ 0.93, 0.94, 0.92 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.88, 0.87, 0.86 ตามลำดับ ส่วนอำเภอแม่สาย พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุด คือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ที่ 0.85 ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.78

ส่วนปี พ.ศ. 2561 พบว่า อำเภอเมืองเชียงราย อำเภอแม่สาย อำเภอเชียงของ และอำเภอเชียงแสน แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.95, 0.97, 0.93, 0.91 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.92, 0.95, 0.87, 0.86 ตามลำดับ

สำหรับปี พ.ศ. 2562 อำเภอเมืองเชียงราย และอำเภอเชียงแสน คือ แบบจำลอง CA-Markov มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.95, 0.93 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.92, 0.89 ตามลำดับ ส่วนอำเภอเชียงของ

คือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.95 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.91 และอำเภอแม่สาย คือ แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.94 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.92

และปี พ.ศ. 2563 พบว่า อำเภอเมืองเชียงราย อำเภอแม่สาย อำเภอเชียงของ และอำเภอเชียงแสน แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.89, 0.99, 0.87, 0.86 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.84, 0.98, 0.80, 0.78 ตามลำดับ

การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2553-2563 (ราย 5 ปี) อำเภอเมืองเชียงราย จะพบการขยายตัวบริเวณทางตอนกลางและทางทิศตะวันตกของอำเภอ และมีการขยายตัวตามเส้นทางคมนาคมหลัก สำหรับอำเภอแม่สายจะพบการขยายตัวหนาแน่นทางตอนเหนือของอำเภอ และมีการขยายตัวตามเส้นทางคมนาคมหลักไปทางทิศใต้ ส่วนอำเภอเชียงของจะพบกระจายตัวบริเวณทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของอำเภอ ตามเส้นทางคมนาคม และอำเภอเชียงแสนจะพบกระจายตัวบริเวณทางตอนเหนือตามแนวเขตชายแดน และพบกระจ่ายตัวทางตอนใต้ของอำเภอ ตาราง 43- 44 ภาพ 58-59

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์จากทั้ง 3 แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2553 อำเภอเมืองเชียงราย อำเภอแม่สาย และอำเภอเชียงแสน พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา คือ แบบจำลอง CA-Markov ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.98, 0.98, 0.99 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.93, 0.90, 0.93 ตามลำดับ ส่วนอำเภอเชียงของ พบว่า แบบจำลอง GeoSOS-FLUS ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.95 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.70 ตามลำดับ

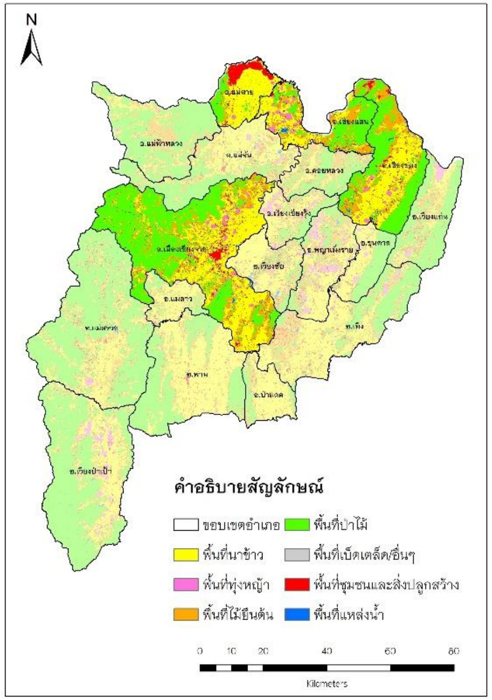
และปี พ.ศ. 2563 อำเภอเมืองเชียงราย อำเภอแม่สาย และอำเภอเชียงของ แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา คือ แบบจำลอง CA-Markov ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.79, 0.85, 0.85 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.67, 0.79, 0.76 ตามลำดับ และอำเภอเชียงแสน คือ แบบจำลอง CLUMondo ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.77 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.65 ตามลำดับ

การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563 (ราย 10 ปี) อำเภอเมืองเชียงราย พบกระจายตัวอยู่เป็นกลุ่มทั่วทั้งพื้นที่ของอำเภอ สำหรับอำเภอแม่สาย พบกระจายบริเวณทางตอนเหนือตามเส้นทางคมนาคมเป็นหลัก ส่วนอำเภอเชียงของ พบกระจายตัวทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกเป็นส่วนใหญ่ และอำเภอเชียงแสน พบบริเวณทางตอนเหนือ และทางตอนใต้เป็นส่วนใหญ่ ตาราง 45 ภาพ 60

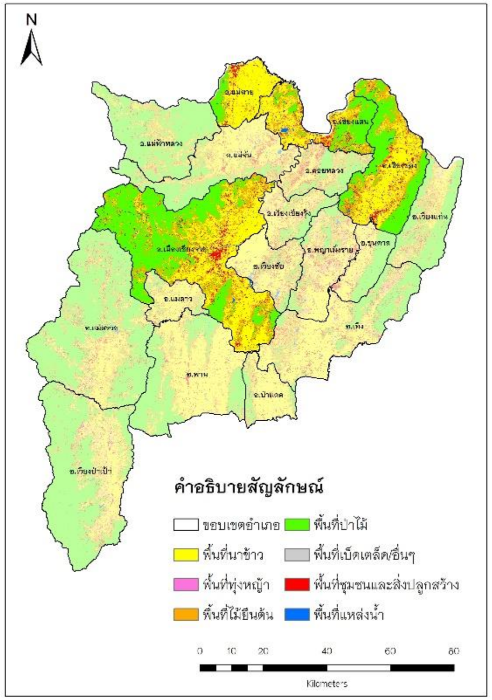
เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์จากทั้ง 3 แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2563 อำเภอเมืองเชียงราย พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา คือ แบบจำลอง CA-Markov ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.77 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.67 และ อำเภอแม่สาย อำเภอเชียงของ และอำเภอเชียงแสน พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุด คือ แบบจำลอง CLUMondo ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.83, 0.72, 0.71 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.78, 0.59, 0.56 ตามลำดับ

ตาราง 39 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี)

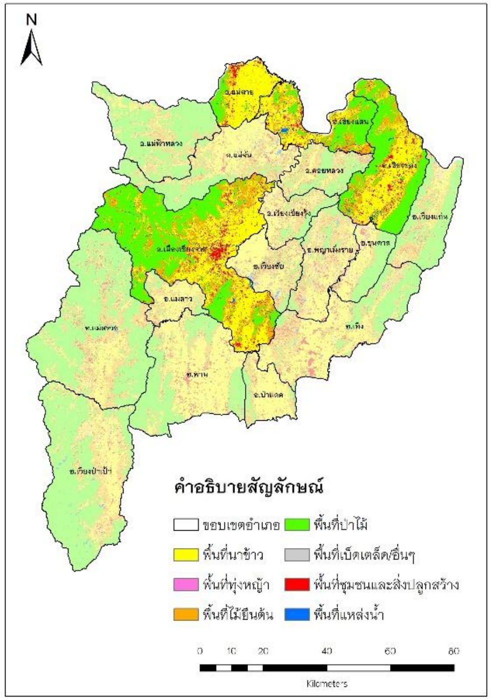
2560 (ราย 1 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)			
		เมืองเชียงราย	แม่สาย	เชียงของ	เชียงแสน
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	340,434	108,459	161,343	89,685
	CLUMondo	344,349	129,375	170,991	105,129
	GeoSOS-FLUS	344,799	127,188	168,237	103,131
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	21,546	1,989	9,090	14,508
	CLUMondo	11,898	2,718	12,951	9,081
	GeoSOS-FLUS	19,008	2,304	11,322	8,064
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	152,379	10,170	78,561	54,342
	CLUMondo	182,394	15,093	75,384	50,796
	GeoSOS-FLUS	175,545	13,464	63,216	45,729
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	460,656	29,025	198,630	98,748
	CLUMondo	428,805	24,993	183,096	85,644
	GeoSOS-FLUS	425,601	27,153	199,908	95,994
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	207	9	27	72
	CLUMondo	261	27	27	72
	GeoSOS-FLUS	207	18	27	63
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	45,810	30,807	19,215	11,790
	CLUMondo	52,875	8,253	24,408	18,414
	GeoSOS-FLUS	55,629	10,134	23,328	15,516
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	8,163	1,080	5,688	5,310
	CLUMondo	8,613	1,080	5,697	5,319
	GeoSOS-FLUS	8,406	1,278	6,516	5,958
Overall Accuracy	CA-Markov	0.93	0.84	0.94	0.92
	CLUMondo	0.90	0.82	0.91	0.86
	GeoSOS-FLUS	0.89	0.85	0.91	0.89
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.88	0.75	0.87	0.86
	CLUMondo	0.82	0.72	0.82	0.77
	GeoSOS-FLUS	0.78	0.78	0.83	0.81



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

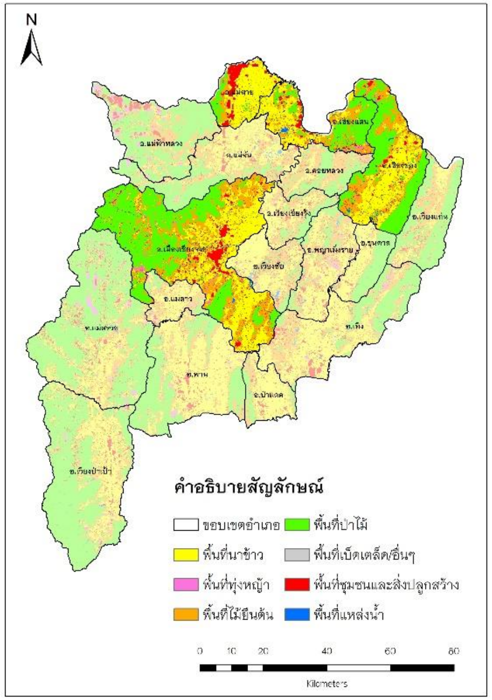


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

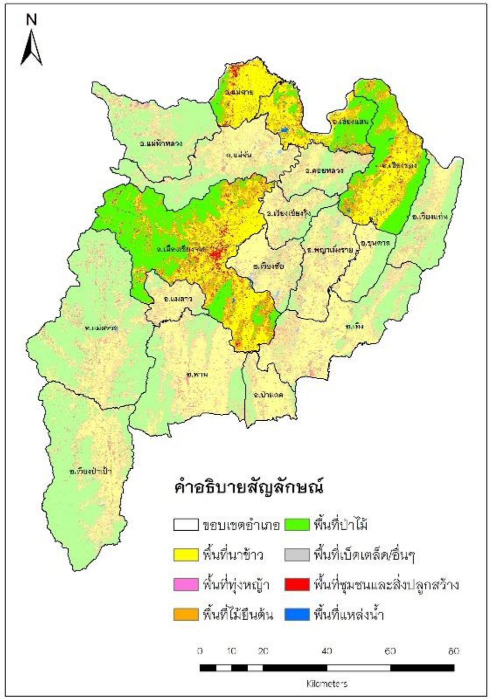
ภาพ 54 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี)

ตาราง 40 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี)

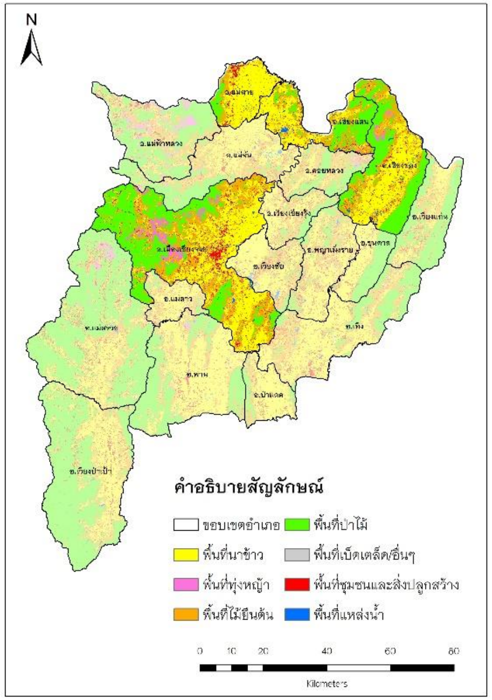
2561 (ราย 1 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)			
		เมืองเชียงราย	แม่สาย	เชียงของ	เชียงแสน
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	308,079	107,271	151,650	89,190
	CLUMondo	341,811	128,205	184,734	114,471
	GeoSOS-FLUS	346,824	129,861	173,340	106,605
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	14,022	45	2,853	4,068
	CLUMondo	19,656	792	4,131	4,230
	GeoSOS-FLUS	53,307	567	10,125	4,167
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	236,907	21,789	103,797	63,486
	CLUMondo	179,289	17,568	68,175	43,479
	GeoSOS-FLUS	233,235	21,141	94,833	64,017
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	394,245	20,934	186,210	93,969
	CLUMondo	424,827	22,212	192,600	95,157
	GeoSOS-FLUS	330,759	17,172	170,730	82,116
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	45	-	9	-
	CLUMondo	198	-	36	9
	GeoSOS-FLUS	189	-	27	18
พื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	66,996	30,078	21,672	17,919
	CLUMondo	54,513	11,340	16,515	11,286
	GeoSOS-FLUS	55,656	11,376	16,803	11,601
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	8,901	1,422	6,363	5,823
	CLUMondo	8,901	1,422	6,363	5,823
	GeoSOS-FLUS	9,225	1,422	6,696	5,931
Overall Accuracy	CA-Markov	0.94	0.84	0.93	0.87
	CLUMondo	0.95	0.97	0.93	0.91
	GeoSOS-FLUS	0.85	0.92	0.88	0.86
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.90	0.77	0.86	0.80
	CLUMondo	0.92	0.95	0.87	0.86
	GeoSOS-FLUS	0.76	0.88	0.80	0.78



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

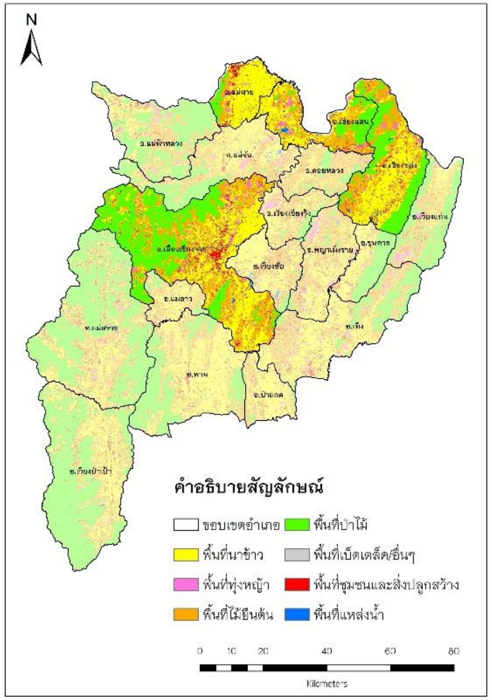


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

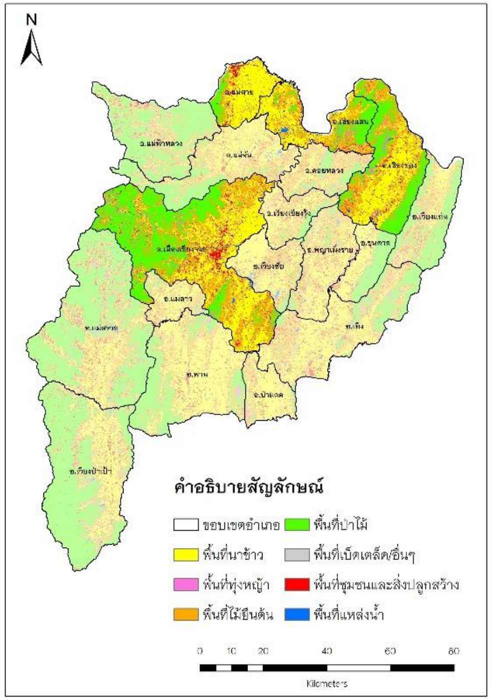
ภาพ 55 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี)

ตาราง 41 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี)

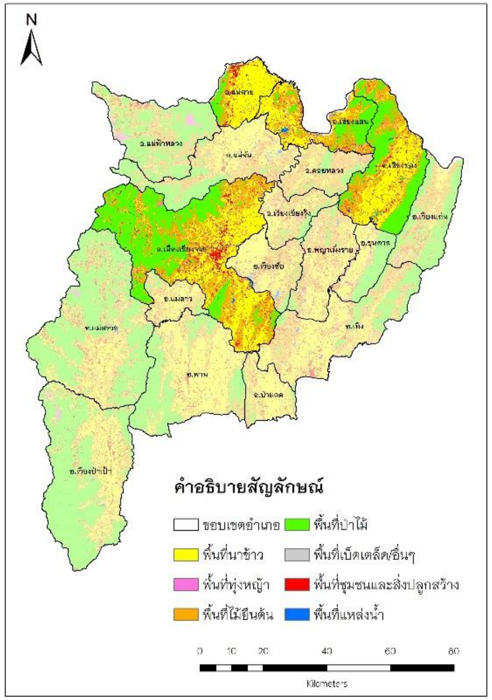
2562 (ราย 1 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)			
		เมืองเชียงราย	แม่สาย	เชียงของ	เชียงแสน
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	350,028	124,209	175,392	108,585
	CLUMondo	337,095	124,623	170,325	108,297
	GeoSOS-FLUS	326,322	125,613	168,345	99,414
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	35,397	4,887	14,067	14,076
	CLUMondo	51,237	3,807	22,482	13,302
	GeoSOS-FLUS	33,048	3,861	11,970	11,934
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	240,759	23,319	118,368	78,921
	CLUMondo	234,180	21,015	113,211	76,401
	GeoSOS-FLUS	238,626	19,944	106,119	78,462
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	338,400	15,957	141,462	55,359
	CLUMondo	342,099	19,170	143,352	59,049
	GeoSOS-FLUS	364,221	19,044	162,702	67,167
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	144	-	9	9
	CLUMondo	135	-	9	9
	GeoSOS-FLUS	117	-	36	9
พื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	55,404	11,736	16,695	11,610
	CLUMondo	55,386	11,493	16,614	11,502
	GeoSOS-FLUS	57,555	11,601	16,794	11,565
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	9,063	1,431	6,561	5,895
	CLUMondo	9,063	1,431	6,561	5,895
	GeoSOS-FLUS	9,306	1,476	6,588	5,904
Overall Accuracy	CA-Markov	0.95	0.89	0.94	0.93
	CLUMondo	0.93	0.94	0.90	0.91
	GeoSOS-FLUS	0.93	0.94	0.95	0.91
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.92	0.86	0.89	0.89
	CLUMondo	0.89	0.92	0.83	0.86
	GeoSOS-FLUS	0.89	0.91	0.91	0.87



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

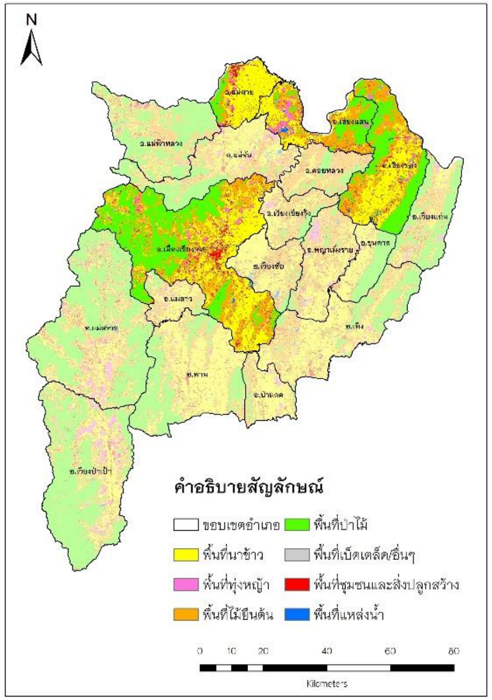


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

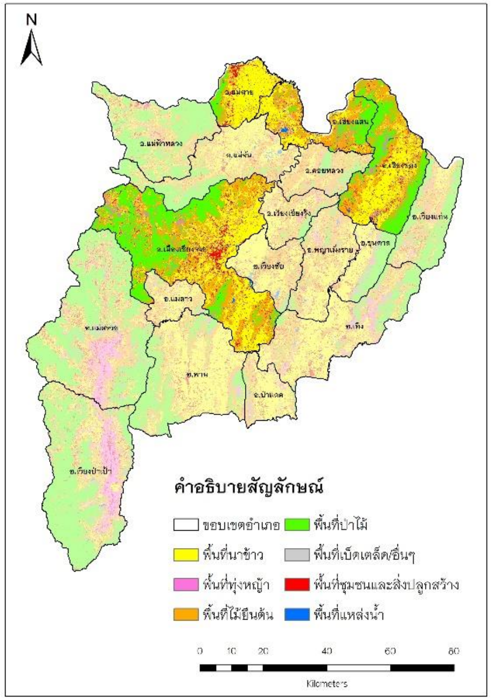
ภาพ 56 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี)

ตาราง 42 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี)

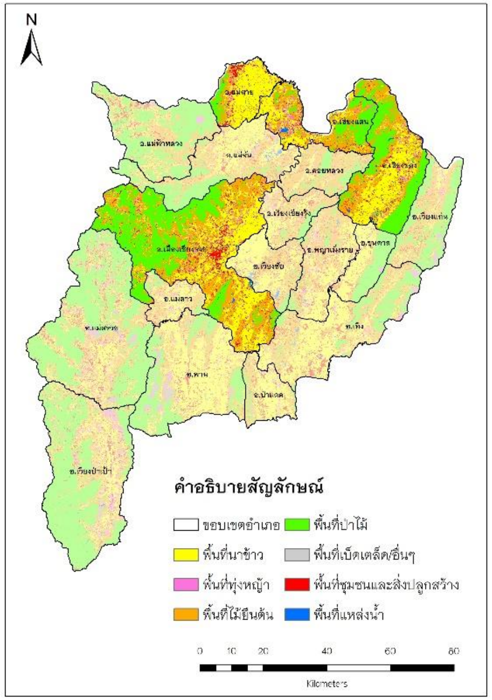
2563 (ราย 1 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)			
		เมืองเชียงราย	แม่สาย	เชียงของ	เชียงแสน
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	342,963	121,176	154,944	78,201
	CLUMondo	334,314	121,896	160,587	94,698
	GeoSOS-FLUS	298,197	114,552	152,154	80,244
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	33,345	6,111	14,130	22,518
	CLUMondo	63,882	7,209	29,358	21,195
	GeoSOS-FLUS	46,656	11,313	20,718	23,454
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	248,382	22,941	123,435	93,078
	CLUMondo	258,291	21,942	125,604	86,904
	GeoSOS-FLUS	276,984	23,499	116,082	87,129
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	338,670	18,198	155,565	62,694
	CLUMondo	306,945	17,388	132,606	53,694
	GeoSOS-FLUS	340,407	18,333	157,725	65,412
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	18	-	36	9
	CLUMondo	18	-	18	9
	GeoSOS-FLUS	36	-	54	9
พื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	56,691	11,619	17,847	12,024
	CLUMondo	56,619	11,610	17,784	12,024
	GeoSOS-FLUS	57,708	12,267	19,053	12,213
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	9,126	1,494	6,597	5,931
	CLUMondo	9,126	1,494	6,597	5,931
	GeoSOS-FLUS	9,207	1,575	6,768	5,994
Overall Accuracy	CA-Markov	0.77	0.74	0.85	0.71
	CLUMondo	0.89	0.99	0.87	0.86
	GeoSOS-FLUS	0.70	0.64	0.72	0.65
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.77	0.65	0.75	0.58
	CLUMondo	0.84	0.98	0.80	0.78
	GeoSOS-FLUS	0.55	0.53	0.55	0.50



แบบจำลอง CA–Markov



แบบจำลอง CLUMondo

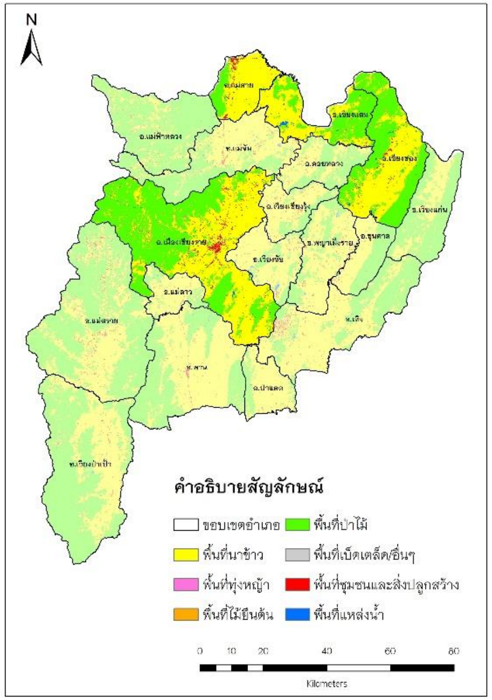


แบบจำลอง GeoSOS–FLUS

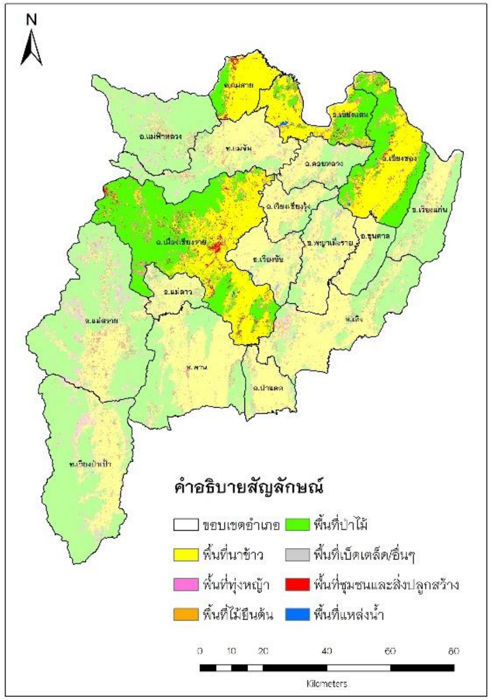
ภาพ 57 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 1 ปี)

ตาราง 43 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 5 ปี)

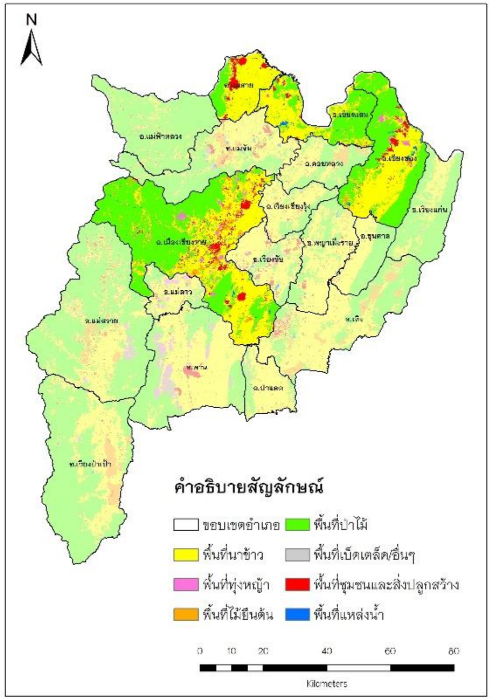
2553 (ราย 5 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)			
		เมืองเชียงราย	แม่สาย	เชียงของ	เชียงแสน
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	485,784	141,777	222,318	146,574
	CLUMondo	425,457	140,589	229,239	148,392
	GeoSOS-FLUS	398,781	125,766	199,314	134,649
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	7,722	126	1,440	1,305
	CLUMondo	46,962	2,205	22,770	18,846
	GeoSOS-FLUS	28,107	324	7,128	2,430
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	6,057	378	1,566	567
	CLUMondo	6,417	387	1,575	567
	GeoSOS-FLUS	26,343	639	4,482	1,296
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	505,530	33,849	240,111	121,599
	CLUMondo	506,907	31,347	206,118	95,337
	GeoSOS-FLUS	528,120	37,116	242,640	128,466
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	369	45	54	81
	CLUMondo	369	45	54	72
	GeoSOS-FLUS	378	36	45	45
พื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	19,386	5,238	4,644	1,242
	CLUMondo	38,736	6,840	10,377	8,154
	GeoSOS-FLUS	42,147	17,532	13,914	4,482
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	4,347	126	2,421	3,087
	CLUMondo	4,347	126	2,421	3,087
	GeoSOS-FLUS	5,319	126	5,031	3,087
Overall Accuracy	CA-Markov	0.98	0.98	0.93	0.99
	CLUMondo	0.92	0.94	0.90	0.82
	GeoSOS-FLUS	0.95	0.96	0.95	0.94
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.93	0.90	0.66	0.93
	CLUMondo	0.72	0.85	0.63	0.53
	GeoSOS-FLUS	0.81	0.82	0.70	0.85



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

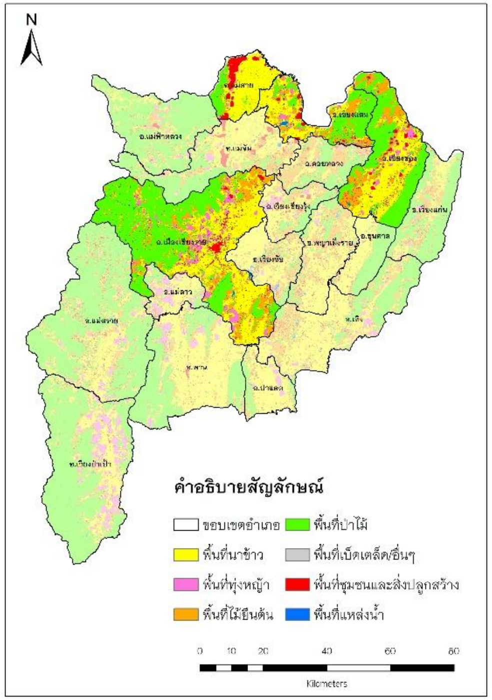


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

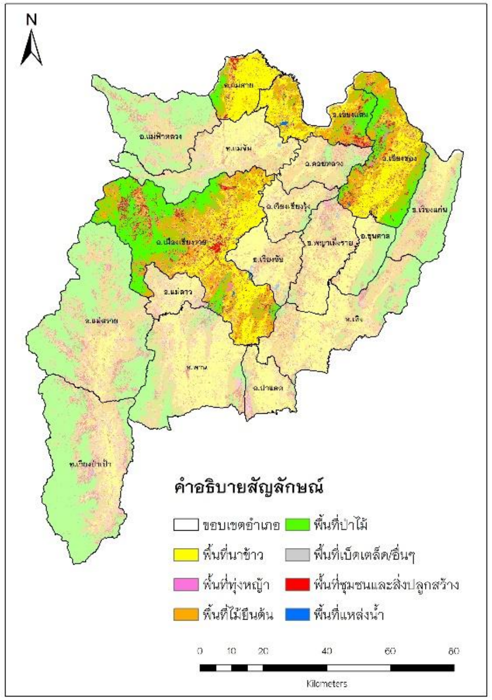
ภาพ 58 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 5 ปี)

ตาราง 44 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 5 ปี)

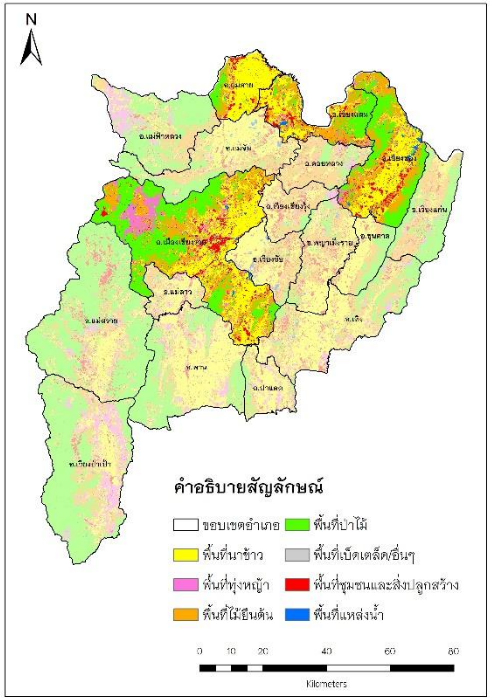
2563 (ราย 5 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)			
		เมืองเชียงราย	แม่สาย	เชียงของ	เชียงแสน
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	325,782	115,002	150,138	93,888
	CLUMondo	310,644	125,064	167,463	103,779
	GeoSOS-FLUS	315,864	120,222	144,765	81,387
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	63,684	3,357	17,766	12,564
	CLUMondo	92,700	9,531	32,751	20,079
	GeoSOS-FLUS	111,096	6,570	25,209	17,748
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	141,831	6,786	81,594	49,842
	CLUMondo	240,156	20,340	126,360	83,133
	GeoSOS-FLUS	200,277	21,168	125,658	85,869
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	448,119	30,645	196,749	99,909
	CLUMondo	311,337	18,765	114,741	47,601
	GeoSOS-FLUS	330,291	20,619	135,477	63,378
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	315	45	54	81
	CLUMondo	162	-	9	18
	GeoSOS-FLUS	153	36	-	27
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	41,877	25,137	21,429	13,356
	CLUMondo	66,717	7,272	26,406	15,039
	GeoSOS-FLUS	61,074	12,267	31,320	20,511
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	7,587	567	4,824	4,815
	CLUMondo	7,479	567	4,824	4,806
	GeoSOS-FLUS	10,440	657	10,125	5,535
Overall Accuracy	CA-Markov	0.79	0.85	0.85	0.73
	CLUMondo	0.72	0.79	0.76	0.77
	GeoSOS-FLUS	0.69	0.75	0.71	0.63
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.67	0.79	0.76	0.62
	CLUMondo	0.59	0.71	0.64	0.65
	GeoSOS-FLUS	0.53	0.66	0.55	0.47



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

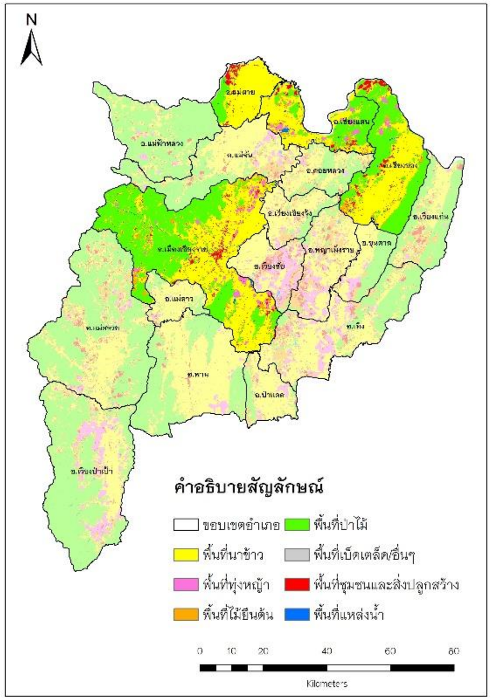


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

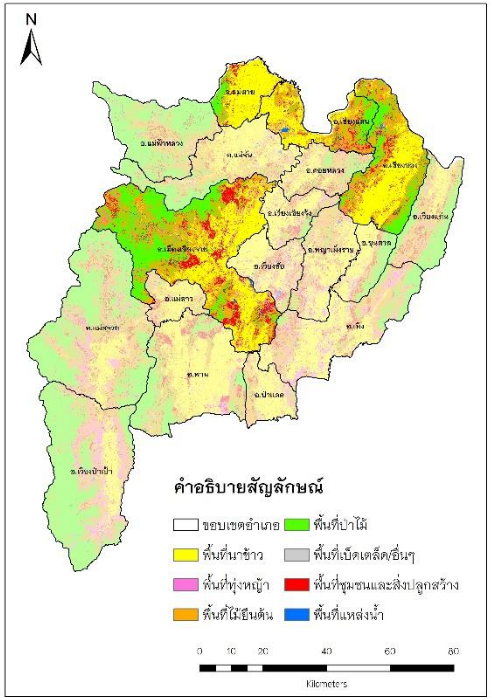
ภาพ 59 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 5 ปี)

ตาราง 45 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 10 ปี)

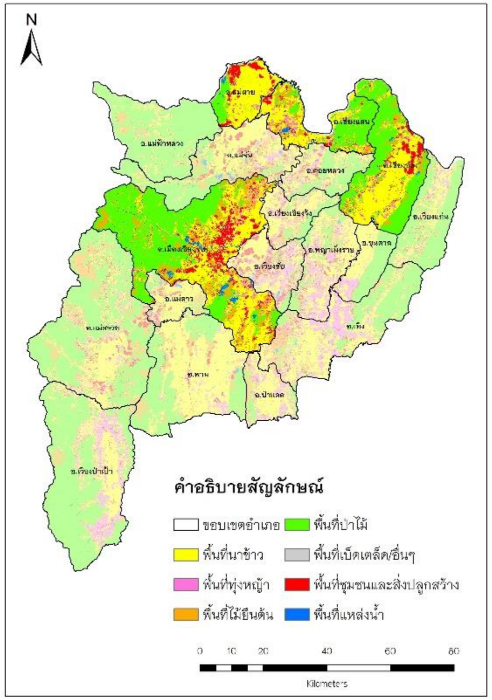
2563 (ราย 10 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)			
		เมืองเชียงราย	แม่สาย	เชียงของ	เชียงแสน
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	453,744	142,884	222,480	136,683
	CLUMondo	302,841	129,609	193,950	108,000
	GeoSOS-FLUS	320,967	116,982	182,169	105,687
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	42,498	288	8,559	16,380
	CLUMondo	57,915	2,889	14,562	17,253
	GeoSOS-FLUS	48,348	3,951	16,668	21,609
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	34,830	378	14,445	9,873
	CLUMondo	269,469	21,096	131,049	84,960
	GeoSOS-FLUS	107,694	1,791	23,499	22,104
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	460,206	26,730	203,355	96,732
	CLUMondo	285,624	20,475	100,962	41,877
	GeoSOS-FLUS	445,734	32,841	215,100	106,218
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	333	-	54	54
	CLUMondo	171	-	-	9
	GeoSOS-FLUS	135	18	18	45
พื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	32,418	10,809	20,178	10,647
	CLUMondo	105,705	7,020	26,739	18,099
	GeoSOS-FLUS	89,928	24,120	30,159	13,518
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	5,166	450	3,483	4,086
	CLUMondo	7,470	450	5,292	4,257
	GeoSOS-FLUS	16,389	1,836	4,941	5,274
Overall Accuracy	CA-Markov	0.77	0.80	0.70	0.69
	CLUMondo	0.69	0.83	0.72	0.71
	GeoSOS-FLUS	0.70	0.76	0.71	0.66
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.67	0.74	0.54	0.57
	CLUMondo	0.55	0.78	0.59	0.56
	GeoSOS-FLUS	0.55	0.69	0.53	0.49



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo



แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

ภาพ 60 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว(ราย 10 ปี)

กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง เป็นกลุ่มที่พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านเกษตรกรรม ได้แก่ อำเภอพาน อำเภอแม่สรวย อำเภอแม่จัน อำเภอเวียงชัย อำเภอแม่ฟ้าหลวง อำเภอเวียงป่าเป้า และอำเภอเทิง มีรายละเอียดดังนี้

การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2560-2563 (ราย 1 ปี) จากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS พบว่า อำเภอพาน อำเภอแม่จัน อำเภอเวียงชัย และอำเภอแม่ฟ้าหลวง จะพบการขยายตัวของพื้นที่นาข้าวทางตอนกลางของพื้นที่ ส่วนอำเภอแม่สรวย และอำเภอเทิง จะพบการขยายตัวของพื้นที่นาข้าวทางตอนใต้ของพื้นที่ และอำเภอเวียงป่าเป้า จะพบการขยายตัวของพื้นที่นาข้าวทางทิศตะวันออกของพื้นที่ สำหรับพื้นที่ทุ่งหญ้า และพื้นที่ไม้ยืนต้น จะพบบริเวณรอบๆ พื้นที่นาข้าวเป็นส่วนใหญ่ ตาราง 46- 49 ภาพ 61-64

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์จากทั้ง 3 แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2560 อำเภอพาน อำเภอแม่สรวย อำเภอแม่จัน อำเภอแม่ฟ้าหลวง อำเภอเวียงป่าเป้า และอำเภอเทิง พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา คือ แบบจำลอง CA-Markov มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ที่ 0.92, 0.96, 0.91, 0.92, 0.96, 0.97 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.83, 0.88, 0.84, 0.80, 0.85, 0.95 ตามลำดับ ส่วนอำเภอเวียงชัย พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมและค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุด คือ แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ที่ 0.93 ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.90

ส่วนปี พ.ศ. 2561 พบว่า อำเภอเวียงชัย และอำเภอเวียงป่าเป้า แบบจำลอง CA-Markov มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.93, 0.97 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.91, 0.93 ตามลำดับ ส่วนอำเภอพาน อำเภอแม่สรวย อำเภอแม่จัน อำเภอแม่ฟ้าหลวง และอำเภอเทิง แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.96, 0.94, 0.95, 0.93, 0.91 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.92, 0.85, 0.92, 0.82, 0.87 ตามลำดับ

สำหรับปี พ.ศ. 2562 อำเภอพาน และอำเภอแม่สรวย คือ แบบจำลอง CA-Markov มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.98, 0.97 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.96, 0.94 ตามลำดับ อำเภอแม่จัน และอำเภอเวียงป่าเป้า คือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.96, 0.95 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.94, 0.90 ตามลำดับ และอำเภอเวียงชัย อำเภอแม่ฟ้าหลวง และอำเภอเทิง คือ แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความถูกต้องโดยรวมมาก

ที่สุดอยู่ที่ 0.93, 0.92, 0.94 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.89, 0.85, 0.91 ตามลำดับ

และปี พ.ศ. 2563 พบว่า อำเภอพาน อำเภอแม่สรวย อำเภอแม่จัน อำเภอเวียงชัย อำเภอแม่ฟ้าหลวง อำเภอเวียงป่าเป้า และอำเภอเทิง แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.86, 0.87, 0.90, 0.93, 0.89, 0.89, 0.93 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.80, 0.78, 0.86, 0.88, 0.81, 0.81, 0.89 ตามลำดับ

การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2553-2563 (ราย 5 ปี) พบว่า อำเภอพาน อำเภอแม่จัน อำเภอเวียงชัย และอำเภอแม่ฟ้าหลวง จะพบการขยายตัวของพื้นที่นาข้าวทางตอนกลางของพื้นที่ ส่วนอำเภอแม่สรวย จะพบการขยายตัวของพื้นที่นาข้าวทางตอนใต้ของพื้นที่ และอำเภอเวียงป่าเป้า จะพบการขยายตัวของพื้นที่นาข้าวทางทิศตะวันออกของพื้นที่ สำหรับพื้นที่ทุ่งหญ้า และพื้นที่ไม้ยืนต้น อำเภอแม่จัน อำเภอเวียงชัย อำเภอแม่สรวย อำเภอเทิง และอำเภอเวียงป่าเป้า จะพบบริเวณรอบๆพื้นที่นาข้าวเป็นส่วนใหญ่ อำเภอพาน และอำเภอแม่ฟ้าหลวง จะพบบริเวณทางทิศเหนือ และทิศตะวันตกเป็นส่วนใหญ่ ตาราง 50-51 ภาพ 65-66

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์จากทั้ง 3 แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2553 อำเภอแม่สรวย และอำเภอเวียงป่าเป้า พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา คือ แบบจำลอง CA-Markov ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.96, 0.98 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.88, 0.91 ส่วนอำเภอแม่ฟ้าหลวง คือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.99 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.73 และอำเภพาน อำเภอแม่จัน อำเภอเวียงชัย และอำเภอทิง พบว่า แบบจำลอง CLUMondo ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.98, 0.92, 0.84, 0.90 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.90, 0.77, 0.75, 0.80 ตามลำดับ

และปี พ.ศ. 2563 อำเภอพาน อำเภอแม่ฟ้าหลวง และอำเภอเทิง แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา คือ แบบจำลอง CA-Markov ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.80, 0.69, 0.83 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.69, 0.42, 0.75 ตามลำดับ ส่วนอำเภอแม่สรวย และอำเภอเวียงป่าเป้า มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.75, 0.80 ตามลำดับ

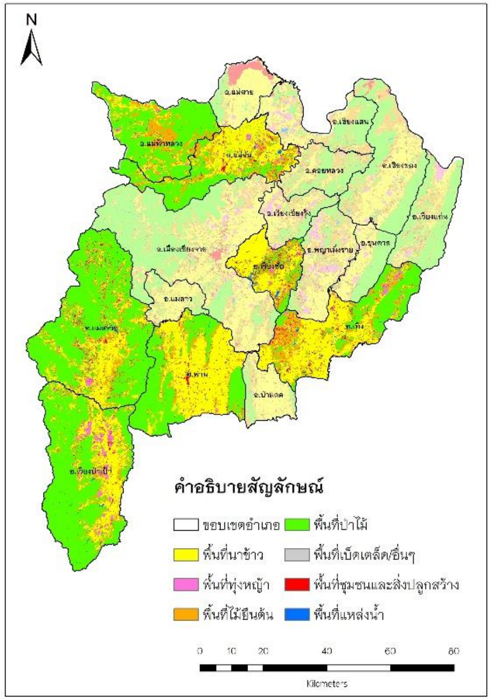
และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.58, 0.63 ตามลำดับ และอำเภอแม่จัน และอำเภอเวียงชัย คือ แบบจำลอง CLUMondo ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.82, 0.86 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.74, 0.76 ตามลำดับ

การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563 (ราย 10 ปี) พบว่า อำเภอพาน อำเภอแม่จัน อำเภอเวียงชัย และอำเภอแม่ฟ้าหลวง จะพบการขยายตัวของพื้นที่นาข้าวทางตอนกลางของพื้นที่ ส่วนอำเภอแม่สรวย และอำเภอเทิง จะพบการขยายตัวของพื้นที่นาข้าวทางตอนใต้ของพองพื้นที่ และอำเภอเวียงป่าเป้า จะพบการขยายตัวของพื้นที่นาข้าวทางทิศตะวันออกของพื้นที่ สำหรับพื้นที่ทุ่งหญ้า และพื้นที่ไม้ยืนต้น จะพบบริเวณรอบๆพื้นที่นาข้าวเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอำเภอแม่สรวย และอำเภอเวียงป่าเป้า พบพื้นที่ทั้งหญ้าเป็นกลุ่มรอบพื้นที่นาข้าวอย่างเห็นได้ชัด ตาราง 52 ภาพ 67

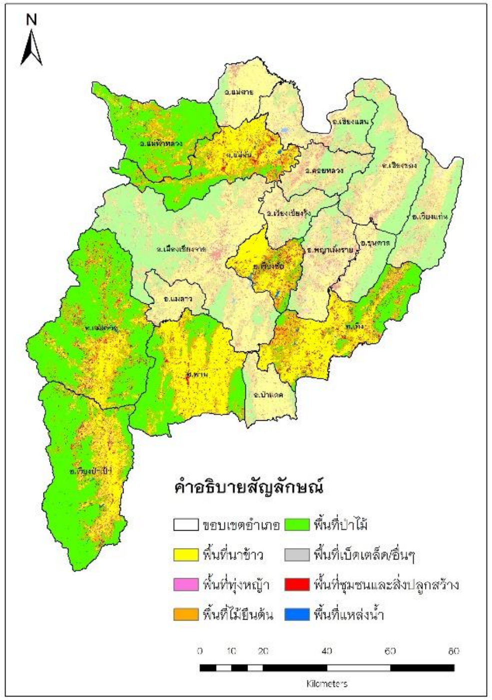
เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์จากทั้ง 3 แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2563 อำเภอพาน อำเภอแม่สรวย อำเภอแม่จัน อำเภอเวียงป่าเป้า และอำเภอเทิง พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา คือ แบบจำลอง CA-Markov ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.77, 0.81, 0.76, 0.83, 0.80 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.65, 0.68, 0.66, 0.67, 0.71 ตามลำดับ อำเภอแม่ฟ้าหลวง พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุด คือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.67 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.33 และอำเภอเวียงชัย พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุด คือ แบบจำลอง CLUMondo ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.63 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.48

ตาราง 46 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี)

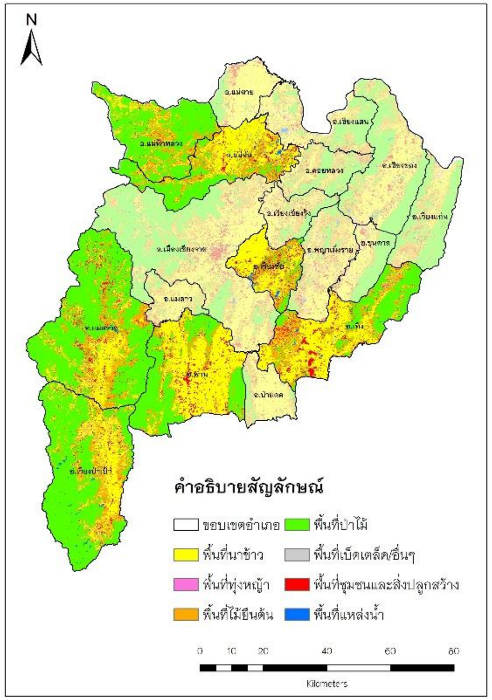
2560 (ราย 1 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		พาน	แม่สรวย	แม่จัน	เวียงชัย	แม่ฟ้าหลวง	เวียงป่าเป้า	เทิง
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	297,567	158,688	165,663	116,937	47,574	176,526	240,309
	CLUMondo	293,121	133,614	166,887	118,008	32,517	163,296	246,375
	GeoSOS-FLUS	289,692	146,115	168,777	116,127	54,180	171,342	229,662
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	2,241	11,502	7,560	4,869	4,023	31,797	11,178
	CLUMondo	4,194	12,519	6,939	5,346	2,052	25,425	13,599
	GeoSOS-FLUS	5,697	11,592	8,541	5,418	4,860	17,910	9,261
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	52,083	79,866	67,464	37,962	77,724	59,634	91,719
	CLUMondo	73,098	108,828	86,004	44,631	67,347	67,752	86,058
	GeoSOS-FLUS	60,489	126,351	78,237	44,802	68,715	87,444	97,047
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	240,516	590,238	158,859	38,439	265,194	486,180	159,291
	CLUMondo	220,149	575,289	134,613	27,666	288,531	486,837	144,801
	GeoSOS-FLUS	221,013	550,548	139,518	28,197	266,634	472,158	150,804
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	108	81	108	153	18	9	63
	CLUMondo	108	99	99	99	18	9	45
	GeoSOS-FLUS	126	117	63	135	9	9	36
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	16,155	30,843	16,164	15,147	5,490	14,382	26,946
	CLUMondo	18,000	40,590	21,276	17,757	9,054	24,399	38,628
	GeoSOS-FLUS	31,635	36,441	20,088	18,693	5,607	17,469	42,651
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	1,521	2,025	4,437	4,293	288	2,205	2,700
	CLUMondo	1,521	2,304	4,437	4,293	792	3,015	2,700
	GeoSOS-FLUS	1,539	2,079	5,031	4,428	306	4,401	2,745
Overall Accuracy	CA-Markov	0.92	0.96	0.91	0.93	0.92	0.96	0.97
	CLUMondo	0.90	0.94	0.85	0.93	0.90	0.92	0.94
	GeoSOS-FLUS	0.88	0.91	0.87	0.86	0.90	0.92	0.93
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.83	0.88	0.84	0.89	0.80	0.85	0.95
	CLUMondo	0.80	0.84	0.74	0.90	0.72	0.78	0.91
	GeoSOS-FLUS	0.77	0.75	0.77	0.79	0.72	0.77	0.89



แบบจำลอง CA–Markov



แบบจำลอง CLUMondo

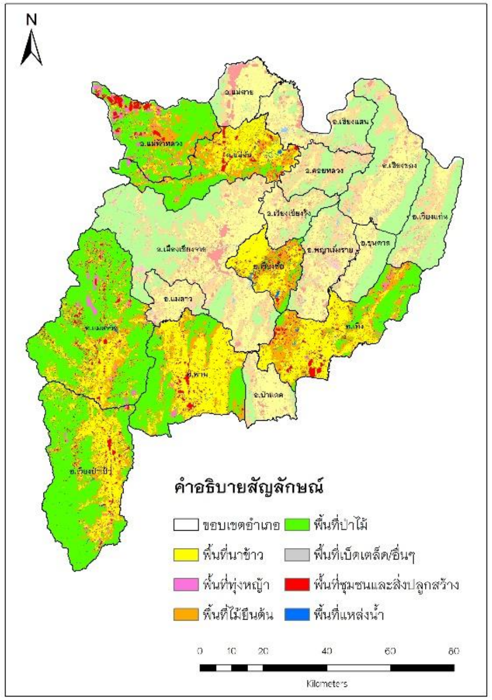


แบบจำลอง GeoSOS–FLUS

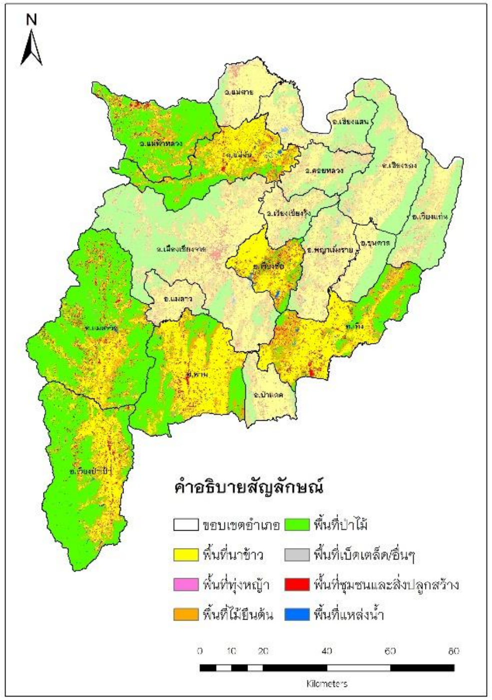
ภาพ 61 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี)

ตาราง 47 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี)

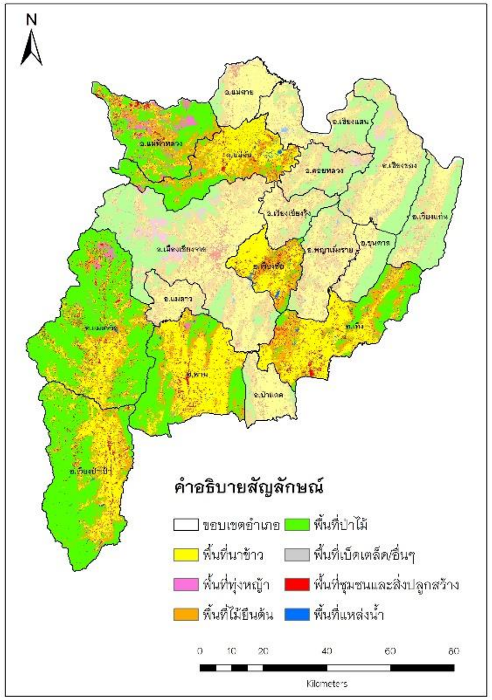
2561 (ราย 1 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		พาน	แม่สรวย	แม่จัน	เวียงชัย	แม่ฟ้าหลวง	เวียงป่าเป้า	เทิง
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	279,594	143,028	140,238	111,780	26,253	182,430	228,879
	CLUMondo	283,401	149,364	163,233	119,763	46,719	183,555	252,468
	GeoSOS-FLUS	290,160	153,270	168,336	121,032	44,991	188,703	245,340
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	7,281	27,720	5,652	1,053	27,189	10,404	9,027
	CLUMondo	11,376	17,667	6,921	2,619	13,221	11,412	11,232
	GeoSOS-FLUS	11,610	25,875	9,126	2,403	45,306	9,522	10,737
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	91,692	106,605	107,973	56,736	84,591	83,826	119,259
	CLUMondo	76,635	84,438	79,560	43,650	52,614	63,567	87,435
	GeoSOS-FLUS	83,421	95,049	103,491	55,404	84,051	84,852	113,895
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	200,556	543,015	135,081	25,155	231,498	457,002	133,623
	CLUMondo	211,059	573,588	145,404	30,528	270,702	478,098	145,053
	GeoSOS-FLUS	197,082	550,674	113,472	17,568	207,207	453,564	126,198
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	9	45	-	9	-	9	9
	CLUMondo	45	306	9	9	18	18	-
	GeoSOS-FLUS	45	279	9	72	18	9	18
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	28,998	50,679	25,074	18,288	30,339	34,677	38,331
	CLUMondo	25,614	45,729	18,891	16,452	16,596	31,698	32,940
	GeoSOS-FLUS	25,614	45,945	19,503	16,524	18,297	31,698	32,940
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	2,061	2,151	6,237	4,779	441	2,385	3,078
	CLUMondo	2,061	2,151	6,237	4,779	441	2,385	3,078
	GeoSOS-FLUS	2,259	2,151	6,318	4,797	441	2,385	3,078
Overall Accuracy	CA-Markov	0.95	0.93	0.91	0.93	0.89	0.97	0.90
	CLUMondo	0.96	0.94	0.95	0.92	0.93	0.95	0.91
	GeoSOS-FLUS	0.94	0.92	0.86	0.89	0.80	0.94	0.90
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.91	0.84	0.86	0.91	0.78	0.93	0.85
	CLUMondo	0.92	0.85	0.92	0.87	0.82	0.87	0.87
	GeoSOS-FLUS	0.88	0.83	0.77	0.82	0.64	0.84	0.84



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

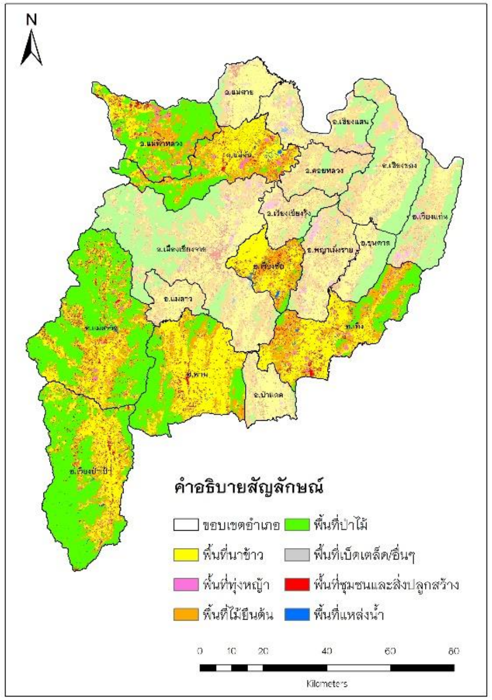


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

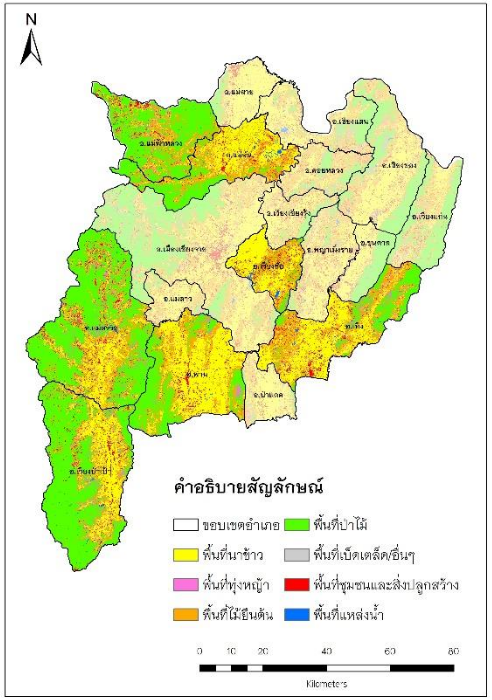
ภาพ 62 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี)

ตาราง 48 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี)

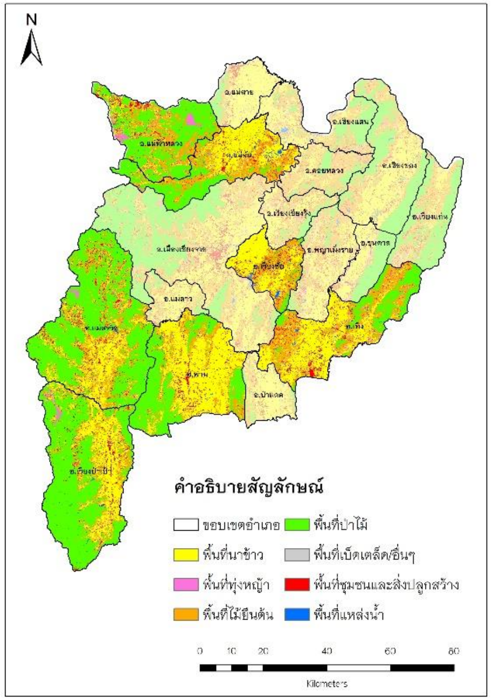
2562 (ราย 1 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		พาน	แม่สรวย	แม่จัน	เวียงชัย	แม่ฟ้าหลวง	เวียงป่าเป้า	เทิง
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	295,794	189,747	168,453	120,915	77,913	200,691	234,603
	CLUMondo	286,758	142,560	162,612	120,447	29,628	164,439	237,069
	GeoSOS-FLUS	295,569	163,044	158,931	115,191	40,059	182,817	229,365
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	10,386	16,119	14,175	5,202	13,275	9,729	27,306
	CLUMondo	20,196	48,564	12,375	6,669	19,260	33,561	35,595
	GeoSOS-FLUS	8,622	19,116	10,989	6,300	23,553	14,949	24,363
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	97,623	127,215	109,161	57,510	97,344	86,940	130,977
	CLUMondo	110,592	129,735	107,046	54,351	81,891	80,613	119,565
	GeoSOS-FLUS	84,249	125,388	108,891	58,779	90,054	75,717	134,712
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	178,425	490,455	102,816	12,708	193,716	438,219	102,969
	CLUMondo	164,691	502,767	112,698	14,877	252,063	456,984	103,626
	GeoSOS-FLUS	193,464	515,151	115,470	15,651	227,916	462,042	106,506
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	18	288	18	9	9	9	-
	CLUMondo	9	306	18	18	18	9	-
	GeoSOS-FLUS	9	216	18	27	9	-	-
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	25,821	47,052	19,305	16,641	17,586	32,706	33,210
	CLUMondo	25,821	46,944	19,179	16,623	16,983	32,688	33,210
	GeoSOS-FLUS	26,064	47,961	19,467	17,001	18,252	32,769	34,101
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	2,124	2,367	6,327	4,815	468	2,439	3,141
	CLUMondo	2,124	2,367	6,327	4,815	468	2,439	3,141
	GeoSOS-FLUS	2,214	2,367	6,489	4,851	468	2,439	3,159
Overall Accuracy	CA-Markov	0.98	0.97	0.95	0.91	0.91	0.94	0.92
	CLUMondo	0.92	0.91	0.92	0.93	0.92	0.93	0.94
	GeoSOS-FLUS	0.97	0.93	0.96	0.90	0.84	0.95	0.93
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.96	0.94	0.92	0.84	0.83	0.87	0.87
	CLUMondo	0.86	0.81	0.88	0.89	0.85	0.83	0.91
	GeoSOS-FLUS	0.94	0.87	0.94	0.85	0.68	0.90	0.89



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

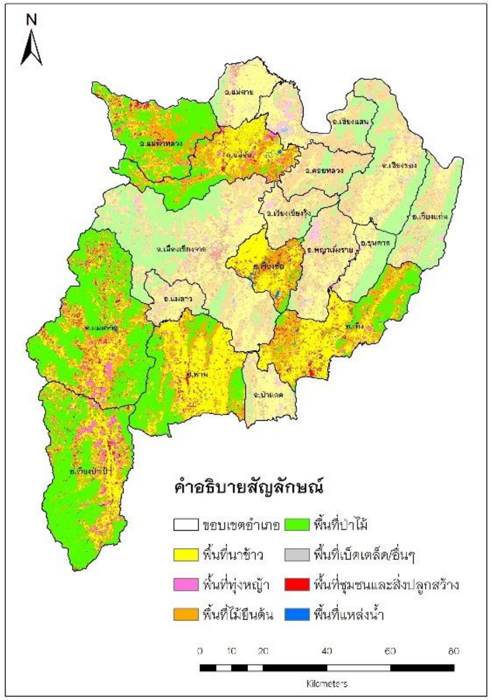


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

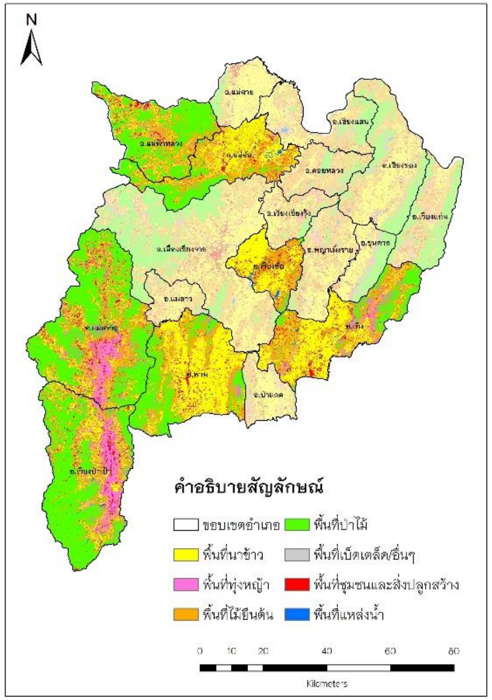
ภาพ 63 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี)

ตาราง 49 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี)

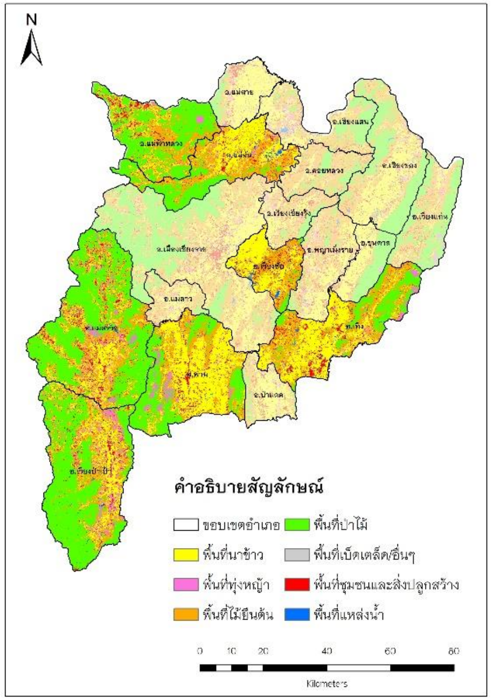
2563 (ราย 1 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		พาน	แม่สรวย	แม่จัน	เวียงชัย	แม่ฟ้าหลวง	เวียงป่าเป้า	เทิง
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	290,673	171,216	150,084	118,503	57,069	165,429	242,865
	CLUMondo	279,567	116,865	157,869	116,217	58,725	110,853	224,199
	GeoSOS-FLUS	270,972	156,060	143,802	109,701	54,297	149,724	223,839
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	8,496	41,292	17,001	2,565	10,188	50,085	12,834
	CLUMondo	29,835	117,495	19,125	7,335	20,367	124,056	56,250
	GeoSOS-FLUS	38,106	54,594	19,764	7,722	12,789	61,389	26,838
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	97,920	149,274	119,484	58,482	109,746	108,477	129,069
	CLUMondo	119,304	165,609	116,865	61,218	95,688	108,369	125,694
	GeoSOS-FLUS	102,681	144,657	121,419	63,918	96,255	115,533	135,855
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	184,716	461,016	107,667	16,155	205,650	411,282	110,700
	CLUMondo	153,099	422,901	100,377	10,998	207,909	392,013	89,325
	GeoSOS-FLUS	165,744	463,113	108,846	14,211	215,289	407,844	102,258
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	27	45	9	18	-	-	-
	CLUMondo	27	54	18	18	-	-	-
	GeoSOS-FLUS	27	54	18	9	-	-	-
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	26,199	47,907	19,620	17,244	17,145	32,967	33,579
	CLUMondo	26,199	47,826	19,611	17,181	17,109	32,949	33,579
	GeoSOS-FLUS	30,501	52,272	19,665	17,343	21,168	33,750	40,257
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	2,160	2,493	6,390	4,833	513	2,493	3,159
	CLUMondo	2,160	2,493	6,390	4,833	513	2,493	3,159
	GeoSOS-FLUS	2,160	2,493	6,741	4,896	513	2,493	3,159
Overall Accuracy	CA-Markov	0.81	0.77	0.82	0.78	0.78	0.79	0.85
	CLUMondo	0.86	0.87	0.90	0.93	0.89	0.89	0.93
	GeoSOS-FLUS	0.73	0.72	0.67	0.68	0.64	0.79	0.71
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.70	0.59	0.73	0.67	0.57	0.60	0.79
	CLUMondo	0.80	0.78	0.86	0.88	0.81	0.81	0.89
	GeoSOS-FLUS	0.58	0.53	0.53	0.57	0.32	0.63	0.60



แบบจำลอง CA–Markov



แบบจำลอง CLUMondo

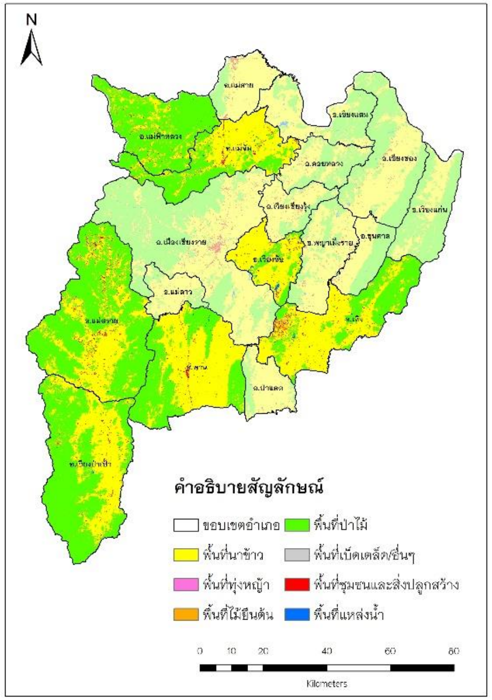


แบบจำลอง GeoSOS–FLUS

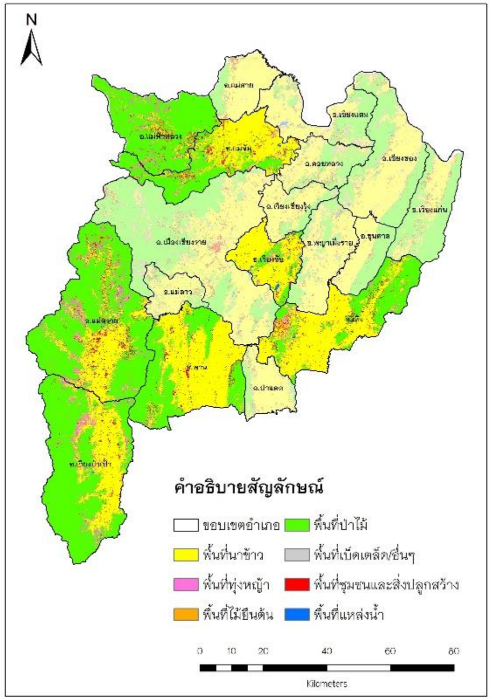
ภาพ 64 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 1 ปี)

ตาราง 50 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 5 ปี)

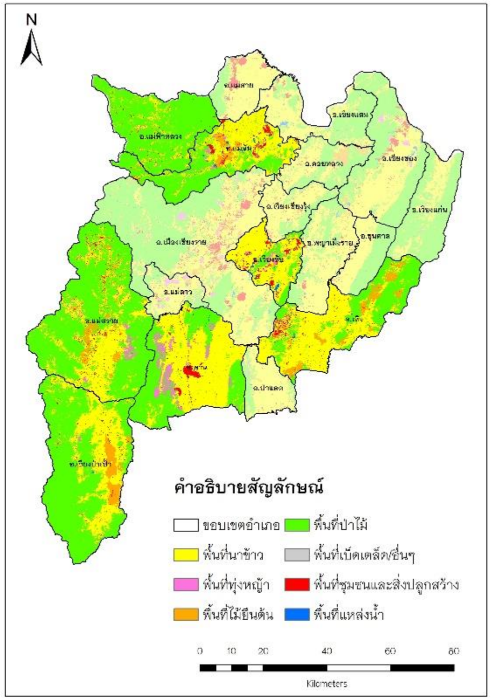
2553 (ราย 5 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		พาน	แม่สรวย	แม่จัน	เวียงชัย	แม่ฟ้าหลวง	เวียงป่าเป้า	เทิง
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	351,549	295,992	227,799	168,714	69,111	283,734	318,609
	CLUMondo	330,957	182,295	207,927	161,748	23,373	208,287	300,222
	GeoSOS-FLUS	327,951	226,377	180,063	148,221	44,793	217,431	280,998
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	3,024	8,298	3,051	2,115	2,034	2,979	3,204
	CLUMondo	13,509	72,999	17,181	10,638	22,860	45,819	20,619
	GeoSOS-FLUS	40,239	22,563	7,461	8,541	2,646	5,634	4,797
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	936	7,101	1,854	495	756	1,782	6,822
	CLUMondo	1,260	8,937	2,097	495	2,412	2,952	6,534
	GeoSOS-FLUS	513	33,057	19,737	1,881	918	41,184	46,017
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	248,913	549,666	179,973	39,609	325,395	476,973	193,977
	CLUMondo	247,653	579,303	173,745	35,163	339,102	503,739	183,519
	GeoSOS-FLUS	226,260	579,060	195,183	42,381	348,696	501,084	188,784
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	189	135	135	216	27	27	81
	CLUMondo	189	126	135	207	27	27	72
	GeoSOS-FLUS	189	135	126	216	27	18	81
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	4,797	11,385	6,093	3,672	2,898	4,842	8,541
	CLUMondo	15,840	28,917	17,820	6,570	12,447	9,513	20,268
	GeoSOS-FLUS	14,256	11,385	14,967	12,627	3,141	4,986	10,557
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	783	666	1,350	2,979	90	396	972
	CLUMondo	783	666	1,350	2,979	90	396	972
	GeoSOS-FLUS	783	666	2,718	3,933	90	396	972
Overall Accuracy	CA-Markov	0.97	0.96	0.89	0.83	0.98	0.98	0.88
	CLUMondo	0.98	0.90	0.92	0.84	0.96	0.94	0.90
	GeoSOS-FLUS	0.90	0.95	0.89	0.83	0.99	0.97	0.87
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.87	0.88	0.70	0.75	0.72	0.91	0.78
	CLUMondo	0.90	0.68	0.77	0.75	0.66	0.79	0.80
	GeoSOS-FLUS	0.62	0.79	0.66	0.76	0.73	0.89	0.74



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

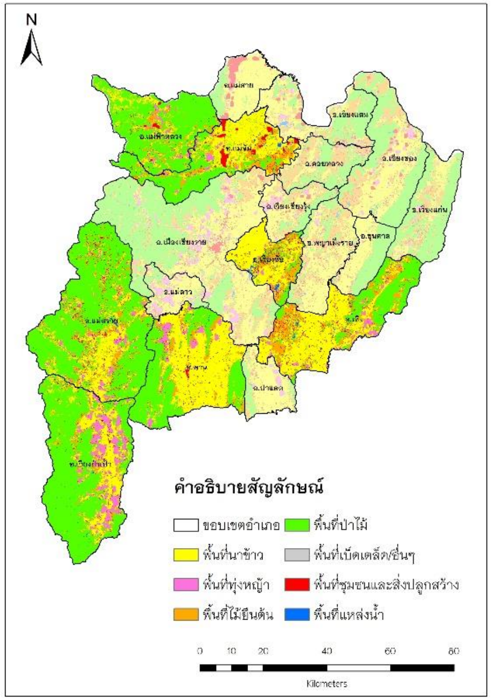


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

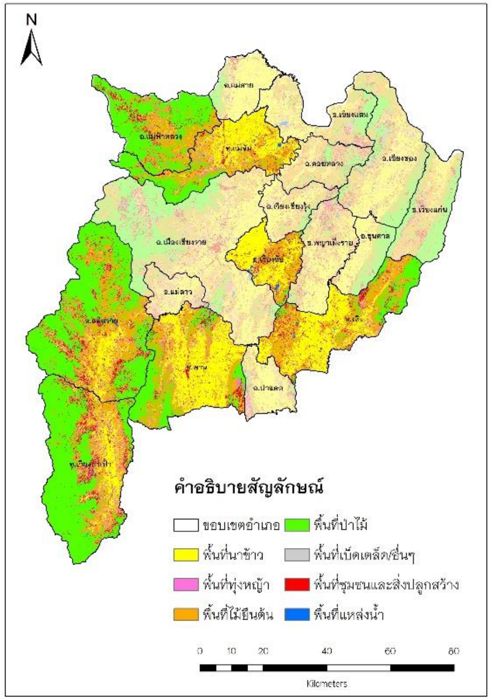
ภาพ 65 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 5 ปี)

ตาราง 51 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 5 ปี)

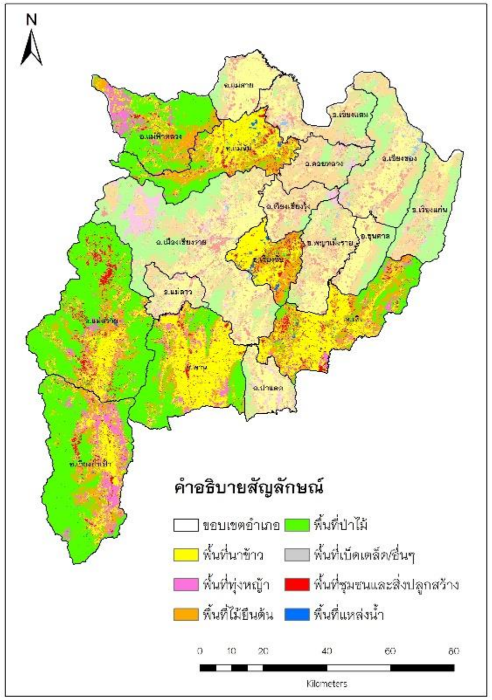
2563 (ราย 5 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		พาน	แม่สรวย	แม่จัน	เวียงชัย	แม่ฟ้าหลวง	เวียงป่าเป้า	เทิง
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	292,599	153,819	161,037	124,974	57,204	141,363	247,158
	CLUMondo	269,478	87,318	163,800	122,859	10,791	104,562	222,021
	GeoSOS-FLUS	271,548	133,911	165,213	110,061	49,635	124,137	231,192
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	29,862	31,833	12,402	4,275	13,239	83,097	20,286
	CLUMondo	51,939	54,612	32,040	10,809	17,730	66,474	36,828
	GeoSOS-FLUS	53,685	52,965	19,044	7,245	61,047	113,922	44,586
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	42,966	67,176	61,974	41,022	27,027	43,011	89,595
	CLUMondo	126,882	190,116	107,550	55,953	93,429	105,696	145,521
	GeoSOS-FLUS	54,189	92,250	93,060	59,094	74,754	90,756	115,515
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	229,446	588,483	153,900	29,583	293,895	488,673	148,770
	CLUMondo	131,265	473,121	96,669	9,045	252,009	439,470	88,182
	GeoSOS-FLUS	211,086	540,522	112,149	14,877	205,956	420,111	103,068
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	189	135	135	216	27	27	72
	CLUMondo	126	36	54	36	18	-	-
	GeoSOS-FLUS	81	54	27	144	18	9	36
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	13,779	29,790	27,603	13,716	8,649	12,591	24,003
	CLUMondo	29,151	66,051	17,001	15,147	26,064	52,560	37,332
	GeoSOS-FLUS	18,225	51,552	24,129	20,304	8,631	19,827	35,460
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	1,350	2,007	3,204	4,014	270	1,971	2,322
	CLUMondo	1,350	1,989	3,141	3,951	270	1,971	2,322
	GeoSOS-FLUS	1,377	1,989	6,633	6,075	270	1,971	2,349
Overall Accuracy	CA-Markov	0.80	0.74	0.78	0.82	0.69	0.79	0.83
	CLUMondo	0.72	0.72	0.82	0.86	0.68	0.76	0.81
	GeoSOS-FLUS	0.75	0.75	0.69	0.63	0.63	0.80	0.72
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.69	0.53	0.69	0.73	0.42	0.60	0.75
	CLUMondo	0.59	0.53	0.74	0.76	0.41	0.59	0.72
	GeoSOS-FLUS	0.60	0.58	0.55	0.52	0.30	0.63	0.62



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

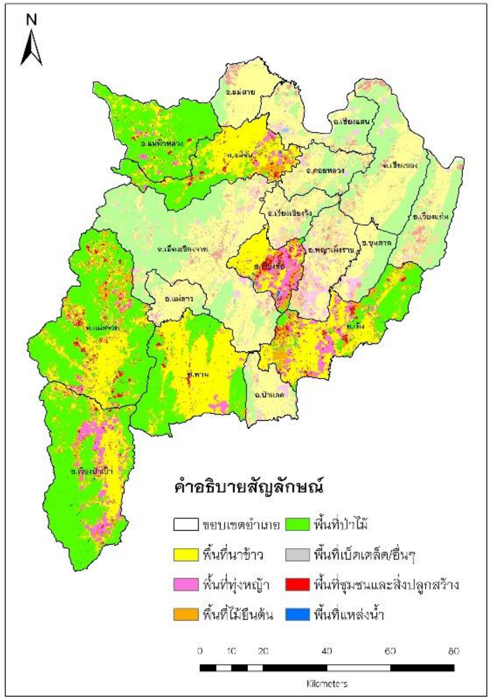


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

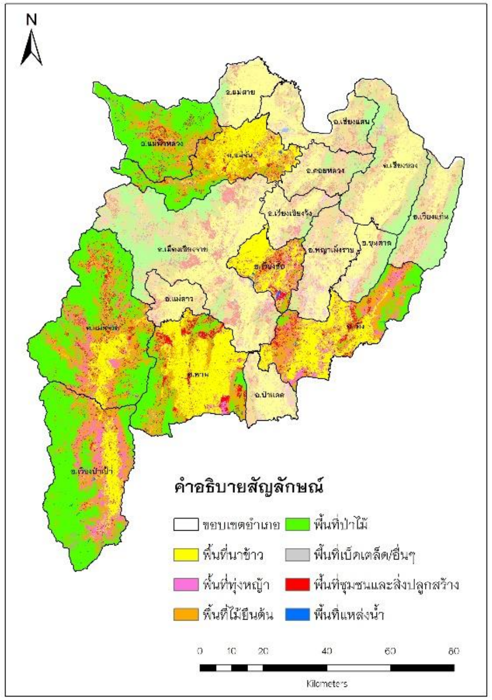
ภาพ 66 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 5 ปี)

ตาราง 52 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 10 ปี)

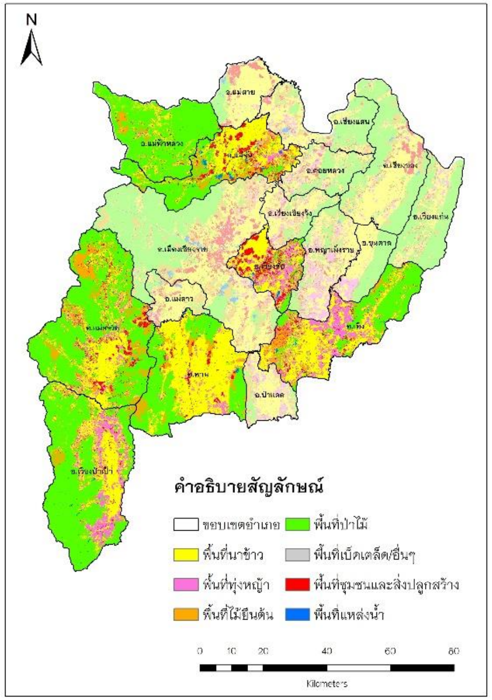
2563 (ราย 10 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		พาน	แม่สรวย	แม่จัน	เวียงชัย	แม่ฟ้าหลวง	เวียงป่าเป้า	เทิง
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	336,231	245,457	214,506	107,487	67,365	176,310	249,804
	CLUMondo	270,072	84,807	166,905	118,233	4,626	86,868	196,884
	GeoSOS-FLUS	307,233	189,837	163,134	93,069	45,936	165,897	196,065
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	15,903	27,891	20,061	61,011	10,044	83,673	67,086
	CLUMondo	25,839	72,261	22,617	39,924	12,420	113,733	93,285
	GeoSOS-FLUS	24,849	41,904	23,193	53,046	5,382	100,305	103,932
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	10,323	57,375	25,425	20,682	2,808	33,786	42,570
	CLUMondo	139,194	239,904	113,589	31,239	103,932	149,697	137,520
	GeoSOS-FLUS	45,018	108,369	44,100	8,982	15,030	26,829	42,750
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	237,645	505,350	142,767	5,229	312,588	463,032	145,413
	CLUMondo	127,305	427,806	95,400	7,263	259,299	403,452	72,198
	GeoSOS-FLUS	214,398	486,954	144,603	21,969	328,257	464,697	167,238
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	189	135	117	216	27	27	81
	CLUMondo	153	-	27	36	9	-	-
	GeoSOS-FLUS	90	54	54	117	18	27	27
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	8,955	35,676	15,804	20,169	7,236	12,186	26,091
	CLUMondo	46,215	46,557	20,070	17,955	18,342	14,832	31,158
	GeoSOS-FLUS	16,137	44,208	37,728	37,422	5,346	11,250	20,646
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	945	1,359	1,575	3,006	243	1,719	1,161
	CLUMondo	1,413	1,908	1,647	3,150	1,683	2,151	1,161
	GeoSOS-FLUS	2,466	1,917	7,443	3,195	342	1,728	1,548
Overall Accuracy	CA-Markov	0.77	0.81	0.76	0.51	0.66	0.83	0.80
	CLUMondo	0.68	0.70	0.73	0.63	0.60	0.73	0.70
	GeoSOS-FLUS	0.73	0.72	0.73	0.58	0.67	0.76	0.75
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.65	0.68	0.66	0.35	0.30	0.67	0.71
	CLUMondo	0.55	0.52	0.61	0.48	0.28	0.53	0.58
	GeoSOS-FLUS	0.58	0.54	0.61	0.46	0.33	0.56	0.65



แบบจำลอง CA–Markov



แบบจำลอง CLUMondo



แบบจำลอง GeoSOS–FLUS

ภาพ 67 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง (ราย 10 ปี)

กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า เป็นกลุ่มที่มีลักษณะเป็นภูเขาสูง หรือ มีการขยายตัวแบบอื่นที่ไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มทั้งสองที่ได้กล่าวไปก่อนหน้า ได้แก่ อำเภอแม่ลาว อำเภอขุนตาล อำเภอพญาเม็งราย อำเภอดอยหลวง อำเภอป่าแดด อำเภอเวียงเชียงรุ้ง และอำเภอเวียงแก่น มีรายละเอียดดังนี้

การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2560 - พ.ศ. 2563 (ราย 1 ปี) จากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS พบว่า อำเภอแม่ลาว อำเภอป่าแดด อำเภอเวียงแก่น จะพบพื้นที่ป่าไม้ทางทิศตะวันออก และทิศตะวันตกของพื้นที่ ส่วนอำเภอดอยหลวง และอำเภอเวียงเชียงรุ้ง จะพบพื้นที่ป่าไม้ทางตอนกลางและทิศตะวันออกของพื้นที่ อำเภอพญาเม็งราย จะพบพื้นที่ป่าไม้ทางตอนกลางของพื้นที่ และอำเภอขุนตาล จะพบพื้นที่ป่าไม้ทางทิศตะวันออกของพื้นที่ สำหรับพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ และพื้นที่แหล่งน้ำ จะพบกระจายอยู่ทั่วทั้งอำเภอใกล้กับพื้นที่ป่าไม้ที่เป็นภูเขา ตาราง 53-56 ภาพ 68-71

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์จากทั้ง 3 แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2560 อำเภอขุนตาล และอำเภอดอยหลวง พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุด คือ แบบจำลอง CA-Markov มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ที่ 0.94, 0.92 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.85, 0.86 ตามลำดับ ส่วนอำเภอเวียงเชียงรุ้ง และอำเภอเวียงแก่น พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุด คือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ที่ 0.91, 0.95 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.85, 0.88 ตามลำดับ และอำเภอแม่ลาว อำเภอพญาเม็งราย และอำเภอป่าแดด พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา คือ แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ที่ 0.88, 0.92, 0.93 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.80, 0.88, 0.90 ตามลำดับ

ส่วนปี พ.ศ. 2561 พบว่า อำเภอพญาเม็งราย และอำเภอเวียงเชียงรุ้ง แบบจำลอง CA-Markov มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.92, 0.95 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.88, 0.92 ตามลำดับ ส่วนอำเภอดอยหลวง แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.87 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.79 และอำเภอแม่ลาว อำเภอขุนตาล อำเภอป่าแดด และอำเภอเวียงแก่น แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.99, 0.98, 0.94, 0.96 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.98, 0.96, 0.91, 0.92 ตามลำดับ

สำหรับปี พ.ศ. 2562 อำเภอแม่ลาว อำเภอขุนตาล อำเภอเวียงเชียงรุ้ง และอำเภอเวียงแก่น คือ แบบจำลอง CA-Markov มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.97, 0.99, 0.96, 0.97 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.96, 0.97, 0.94, 0.94 ตามลำดับ ส่วนอำเภอป่าแดด คือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.96 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.93 ตามลำดับ และอำเภอพญาเม็งราย และอำเภอดอยหลวง คือ แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.96, 0.95 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.93, 0.92 ตามลำดับ

และปี พ.ศ. 2563 อำเภอขุนตาล แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.93 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.85 และอำเภอแม่ลาว อำเภอพญาเม็งราย อำเภอดอยหลวง อำเภอป่าแดด อำเภอเวียงเชียงรุ้ง และอำเภอเวียงแก่น แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.89, 0.94, 0.87, 0.91, 0.93, 0.88 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.84, 0.92, 0.78, 0.85, 0.89, 0.81 ตามลำดับ

การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2553-2563 (ราย 5 ปี) พบว่า อำเภอแม่ลาว อำเภอป่าแดด อำเภอเวียงแก่น จะพบพื้นที่ป่าไม้ทางทิศตะวันออก และทิศตะวันตกของพื้นที่ ส่วนอำเภอดอยหลวง และอำเภอเวียงเชียงรุ้ง จะพบพื้นที่ป่าไม้ทางตอนกลางเล็กน้อย และทิศตะวันออกของพื้นที่ อำเภอพญาเม็งราย จะพบพื้นที่ป่าไม้ทางตอนกลาง และทิศตะวันตกของพื้นที่ และอำเภอขุนตาล จะพบพื้นที่ป่าไม้ทางทิศตะวันออกของพื้นที่ สำหรับพื้นที่เบ็ดเตล็ด และพื้นที่แหล่งน้ำ จะพบกระจายอยู่ทั่วทั้งอำเภอ ตาราง 57-58 ภาพ 72-73

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์จากทั้ง 3 แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2553 อำเภอดอยหลวง พบว่า แบบจำลอง CA-Markov ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.95 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.89 ส่วนอำเภอแม่ลาว และอำเภอขุนตาล พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา คือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.96, 0.97 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.91, 0.87 ตามลำดับ และอำเภอพญาเม็งราย อำเภอป่าแดด อำเภอเวียงเชียงรุ้ง และเวียงแก่น พบว่า แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความ

ถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.77, 0.89, 0.95, 0.93 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.65, 0.82, 0.90, 0.64 ตามลำดับ

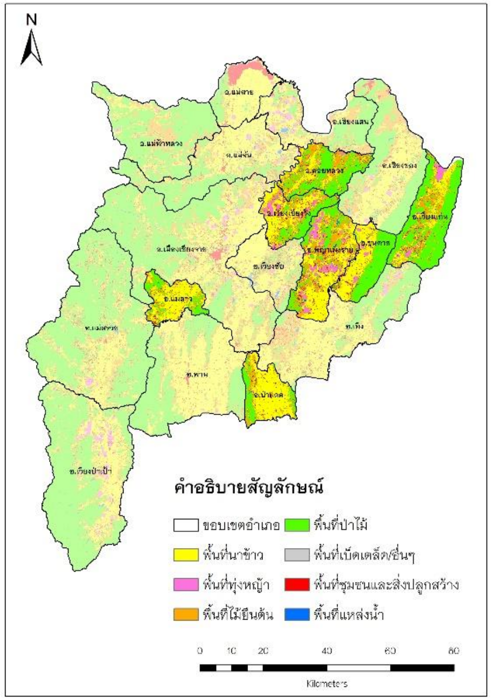
และปี พ.ศ. 2563 อำเภอแม่ลาว อำเภอขุนตาล อำเภอพญาเม็งราย และอำเภอเวียงแก่น แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา คือ แบบจำลอง CA-Markov ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.87, 0.96, 0.84, 0.85 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.82, 0.93, 0.77, 0.72 ตามลำดับ และอำเภอดอยหลวง อำเภอป่าแดด และอำเภอเวียงเชียงรุ้ง แบบจำลอง CLUMondo มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.73, 0.82, 0.83 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.53, 0.73, 0.74, ตามลำดับ

การคาดการณ์การใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2563 (ราย 10 ปี) พบว่า อำเภอแม่ลาว อำเภอป่าแดด อำเภอเวียงแก่น จะพบพื้นที่ป่าไม้ทางทิศตะวันออก และทิศตะวันตกของพื้นที่ ส่วนอำเภอดอยหลวง และอำเภอเวียงเชียงรุ้ง จะพบพื้นที่ป่าไม้ทางตอนกลาง และทิศตะวันออกของพื้นที่ อำเภอพญาเม็งราย จะพบพื้นที่ป่าไม้ทางตอนกลาง และทิศตะวันตกของพื้นที่ และอำเภอขุนตาล จะพบพื้นที่ป่าไม้ทางทิศตะวันออกของพื้นที่ สำหรับพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ และพื้นที่แหล่งน้ำ จะพบกระจายอยู่ทั่วทั้งอำเภอ ตาราง 59 ภาพ 74

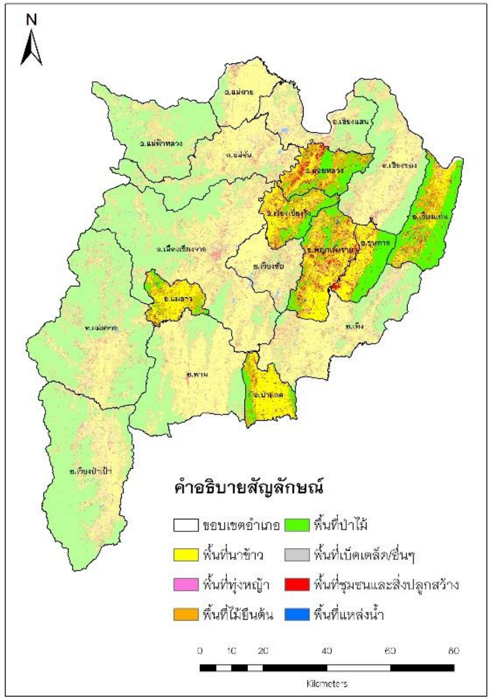
เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์จากทั้ง 3 แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2563 อำเภอเวียงเชียงรุ้ง และอำเภอเวียงแก่น พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมและค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุด คือ แบบจำลอง CA-Markov ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.83, 0.78 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.76, 0.60 ตามลำดับ ส่วนอำเภอขุนตาล พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมและค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุด คือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.94 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.86 และอำเภอแม่ลาว อำเภอพญาเม็งราย อำเภอดอยหลวง และอำเภอป่าแดด พบว่า แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์แคปปามีค่ามากที่สุด คือ แบบจำลอง CLUMondo ค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดอยู่ที่ 0.84, 0.74, 0.76, 0.86 ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์แคปปามากที่สุดอยู่ที่ 0.76, 0.61, 0.61, 0.80 ตามลำดับ

ตาราง 53 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี)

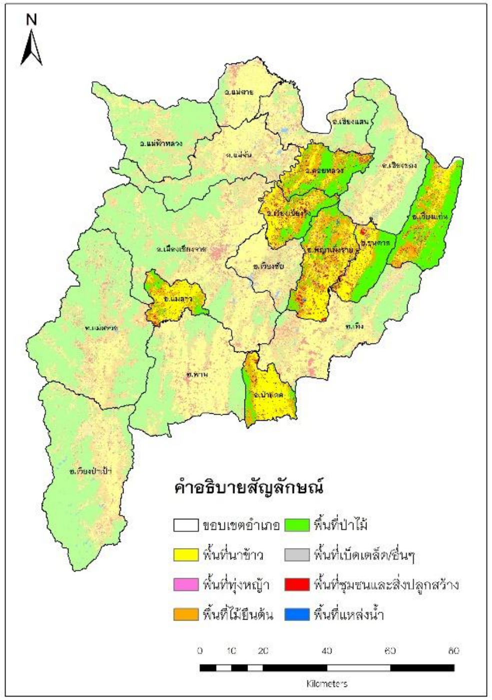
2560 (ราย 1 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		แม่ลาว	ขุนตาล	พญาเม็งราย	ดอยหลวง	ป่าแดด	เวียงเชียงรุ้ง	เวียงแก่น
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	73,638	68,040	115,218	39,438	101,592	68,967	46,737
	CLUMondo	72,396	67,815	133,047	44,208	100,377	77,067	51,840
	GeoSOS-FLUS	70,911	65,691	123,993	42,597	99,711	74,385	50,868
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	279	5,769	32,580	3,069	792	16,065	11,493
	CLUMondo	504	6,471	19,251	3,096	2,304	9,567	6,075
	GeoSOS-FLUS	1,485	7,182	15,813	2,961	1,170	7,506	5,337
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	20,241	9,045	62,856	51,084	19,431	26,658	44,622
	CLUMondo	32,715	10,053	60,318	55,935	21,249	30,447	53,091
	GeoSOS-FLUS	31,131	11,817	72,999	51,381	26,541	30,150	53,523
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	32,760	75,762	60,993	93,357	31,590	47,331	170,199
	CLUMondo	20,772	69,534	50,373	72,693	28,512	40,509	159,768
	GeoSOS-FLUS	22,842	71,055	53,244	87,057	24,633	43,074	163,008
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	27	-	45	54	18	45	9
	CLUMondo	27	-	54	45	18	54	9
	GeoSOS-FLUS	9	-	36	36	36	54	9
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	6,066	5,391	20,583	9,432	6,660	10,764	10,062
	CLUMondo	6,597	10,134	29,232	20,457	7,623	12,177	12,339
	GeoSOS-FLUS	6,633	7,803	26,082	12,384	7,929	14,634	10,215
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	432	1,071	1,404	1,296	261	846	756
	CLUMondo	432	1,071	1,404	1,296	261	855	756
	GeoSOS-FLUS	432	1,530	1,512	1,314	324	873	918
Overall Accuracy	CA-Markov	0.76	0.94	0.90	0.92	0.89	0.87	0.94
	CLUMondo	0.88	0.92	0.92	0.85	0.93	0.90	0.93
	GeoSOS-FLUS	0.79	0.93	0.82	0.90	0.86	0.91	0.95
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.63	0.85	0.85	0.86	0.81	0.78	0.87
	CLUMondo	0.80	0.82	0.88	0.74	0.90	0.84	0.85
	GeoSOS-FLUS	0.67	0.76	0.73	0.84	0.77	0.85	0.88



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

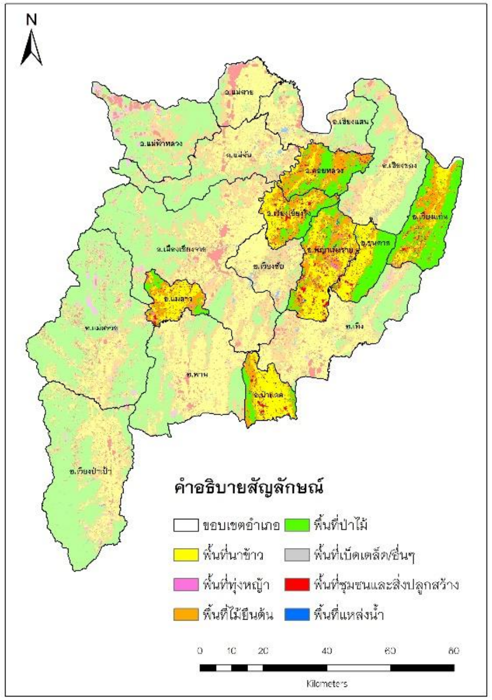


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

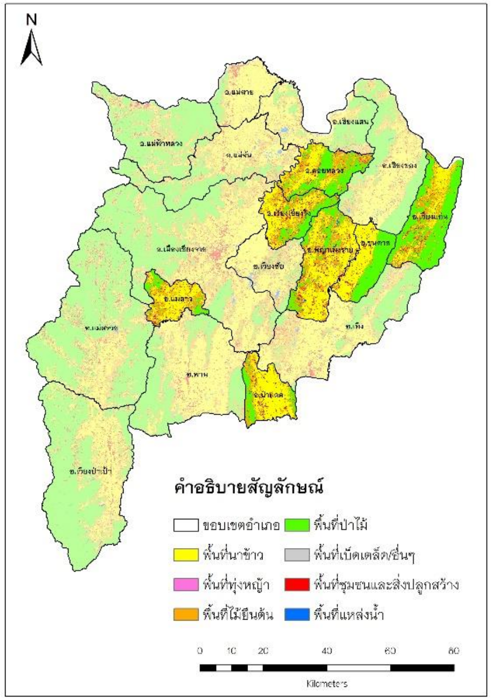
ภาพ 68 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี)

ตาราง 54 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี)

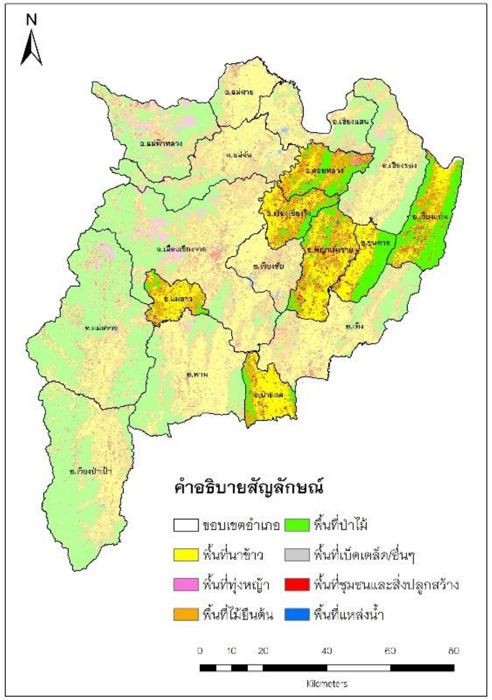
2561 (ราย 1 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		แม่ลาว	ขุนตาล	พญาเม็งราย	ดอยหลวง	ป่าแดด	เวียงเชียงรุ้ง	เวียงแก่น
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	62,595	68,868	124,425	28,026	93,852	69,480	40,122
	CLUMondo	68,292	81,342	157,041	59,184	97,677	77,202	55,782
	GeoSOS-FLUS	70,569	73,188	139,455	42,129	97,128	77,580	56,637
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	3,312	279	10,035	2,880	819	1,593	2,367
	CLUMondo	4,284	504	7,992	3,924	1,512	3,321	2,808
	GeoSOS-FLUS	3,672	1,044	9,459	7,083	1,476	2,898	2,700
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	39,681	15,318	86,337	81,756	29,241	46,926	73,512
	CLUMondo	31,104	4,860	52,353	45,279	22,221	33,768	51,453
	GeoSOS-FLUS	35,874	12,366	75,078	69,543	27,594	42,849	60,102
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	18,387	72,594	44,271	73,044	24,714	37,395	155,952
	CLUMondo	21,267	70,866	50,688	77,850	28,701	42,615	162,540
	GeoSOS-FLUS	14,832	70,875	43,983	67,374	23,913	33,012	152,982
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	9	-	9	-	-	-	27
	CLUMondo	9	-	-	9	-	-	18
	GeoSOS-FLUS	9	-	36	18	-	18	9
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	9,000	6,669	27,063	10,458	11,394	14,247	11,106
	CLUMondo	8,028	6,156	24,066	9,918	9,909	12,735	10,485
	GeoSOS-FLUS	8,028	6,237	24,111	9,999	9,909	13,266	10,611
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	459	1,350	1,539	1,566	324	1,035	792
	CLUMondo	459	1,350	1,539	1,566	324	1,035	792
	GeoSOS-FLUS	459	1,368	1,557	1,584	324	1,053	837
Overall Accuracy	CA-Markov	0.93	0.96	0.92	0.85	0.86	0.95	0.96
	CLUMondo	0.99	0.98	0.91	0.87	0.94	0.91	0.96
	GeoSOS-FLUS	0.93	0.95	0.88	0.87	0.75	0.94	0.92
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.89	0.91	0.88	0.74	0.79	0.92	0.91
	CLUMondo	0.98	0.96	0.86	0.78	0.91	0.86	0.92
	GeoSOS-FLUS	0.89	0.89	0.82	0.79	0.83	0.91	0.85



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

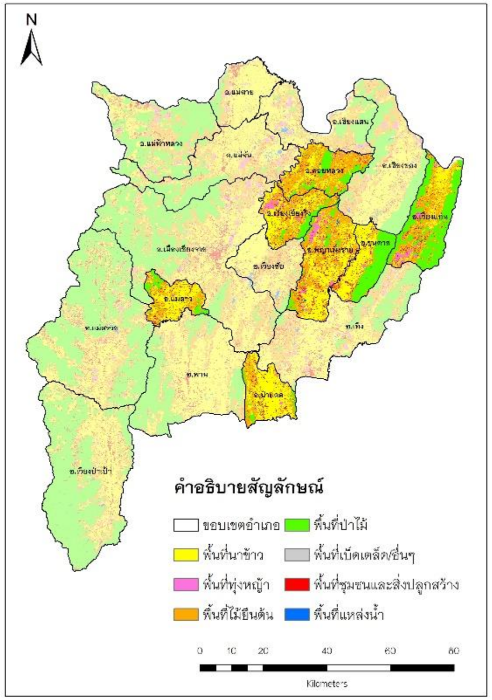


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

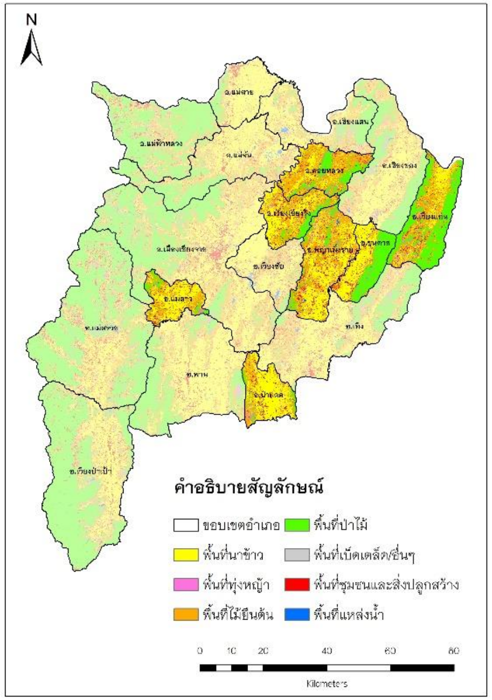
ภาพ 69 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2561 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี)

ตาราง 55 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี)

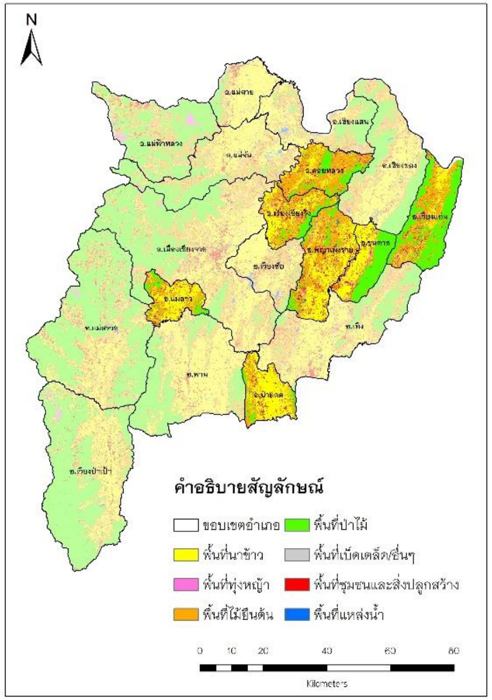
2562 (ราย 1 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		แม่ลาว	ขุนตาล	พญาเม็งราย	ดอยหลวง	ป่าแดด	เวียงเชียงรุ้ง	เวียงแก่น
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	69,030	68,040	134,154	56,889	103,491	78,084	55,260
	CLUMondo	68,625	68,157	139,239	52,416	100,899	80,532	53,514
	GeoSOS-FLUS	66,708	66,195	134,010	46,404	101,763	73,845	44,136
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	3,492	4,725	22,302	4,680	5,526	11,367	12,609
	CLUMondo	5,580	7,632	21,780	10,188	9,189	8,883	13,437
	GeoSOS-FLUS	3,168	7,740	16,893	6,579	4,005	7,965	9,081
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	36,018	15,597	91,143	90,990	32,157	48,546	75,897
	CLUMondo	37,449	14,544	82,242	82,170	30,447	45,324	72,972
	GeoSOS-FLUS	38,448	13,572	90,828	94,671	31,563	52,803	79,497
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	16,308	69,147	20,232	33,570	8,892	18,837	128,763
	CLUMondo	13,194	67,176	24,570	41,400	9,531	22,095	132,615
	GeoSOS-FLUS	16,443	69,885	25,920	38,511	12,573	22,104	139,815
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	-	-	27	18	-	9	27
	CLUMondo	-	-	54	9	-	18	18
	GeoSOS-FLUS	-	-	27	9	-	9	-
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	8,118	6,183	24,228	9,990	9,954	12,789	10,494
	CLUMondo	8,118	6,183	24,201	9,954	9,954	12,780	10,494
	GeoSOS-FLUS	8,172	6,300	24,399	9,963	10,116	12,906	10,521
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	477	1,386	1,593	1,593	324	1,044	828
	CLUMondo	477	1,386	1,593	1,593	324	1,044	828
	GeoSOS-FLUS	504	1,386	1,602	1,593	324	1,044	828
Overall Accuracy	CA-Markov	0.97	0.99	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97
	CLUMondo	0.88	0.92	0.96	0.95	0.94	0.94	0.93
	GeoSOS-FLUS	0.95	0.98	0.96	0.91	0.96	0.92	0.95
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.96	0.97	0.87	0.87	0.91	0.94	0.94
	CLUMondo	0.80	0.85	0.93	0.92	0.92	0.91	0.86
	GeoSOS-FLUS	0.92	0.94	0.93	0.83	0.93	0.87	0.91



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

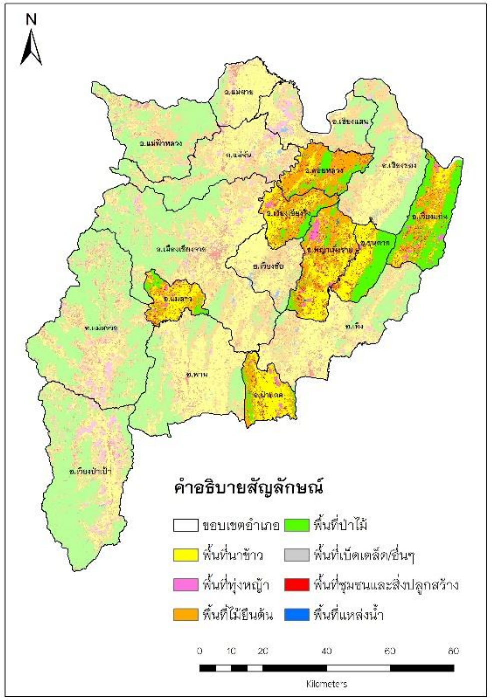


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

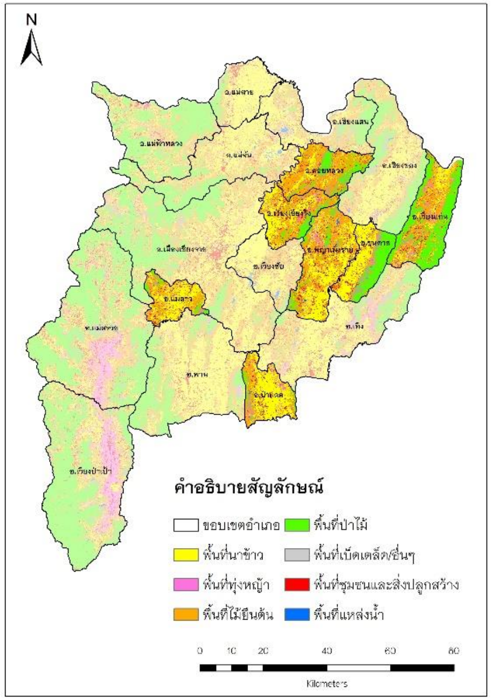
ภาพ 70 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี)

ตาราง 56 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี)

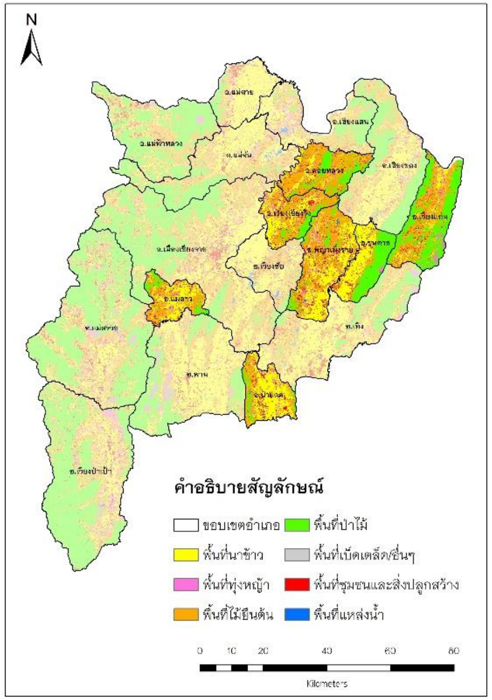
2563 (ราย 1 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		แม่ลาว	ขุนตาล	พญาเม็งราย	ดอยหลวง	ป่าแดด	เวียงเชียงรุ้ง	เวียงแก่น
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	64,215	69,984	124,677	33,579	96,174	71,595	50,535
	CLUMondo	63,882	67,374	127,449	38,403	91,845	68,940	47,034
	GeoSOS-FLUS	54,972	69,084	113,751	32,247	86,418	60,669	36,045
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	7,164	1,953	19,278	4,356	6,165	7,353	13,077
	CLUMondo	10,746	15,561	24,282	15,057	15,318	14,184	25,848
	GeoSOS-FLUS	9,882	4,023	21,726	8,460	9,954	14,058	17,154
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	36,351	15,318	99,495	109,053	33,831	56,475	75,555
	CLUMondo	40,104	16,227	93,861	95,895	34,128	56,511	77,805
	GeoSOS-FLUS	44,586	15,624	106,740	103,050	36,630	60,048	89,109
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	16,848	70,020	24,120	39,006	13,707	21,213	133,299
	CLUMondo	9,846	58,113	21,960	36,639	8,586	17,001	121,779
	GeoSOS-FLUS	14,886	67,725	23,580	42,246	13,230	20,880	129,951
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	-	-	27	18	-	9	-
	CLUMondo	-	-	54	18	-	18	-
	GeoSOS-FLUS	-	-	45	9	-	18	-
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	8,388	6,408	24,462	10,107	10,125	12,978	10,557
	CLUMondo	8,388	6,408	24,453	10,107	10,125	12,969	10,557
	GeoSOS-FLUS	8,640	7,227	26,217	10,107	13,770	13,941	10,764
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	477	1,395	1,620	1,611	342	1,053	855
	CLUMondo	477	1,395	1,620	1,611	342	1,053	855
	GeoSOS-FLUS	477	1,395	1,620	1,611	342	1,062	855
Overall Accuracy	CA-Markov	0.76	0.90	0.82	0.71	0.81	0.72	0.83
	CLUMondo	0.89	0.87	0.94	0.87	0.91	0.93	0.88
	GeoSOS-FLUS	0.71	0.93	0.73	0.56	0.69	0.79	0.84
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.67	0.81	0.73	0.54	0.73	0.60	0.69
	CLUMondo	0.84	0.76	0.92	0.78	0.85	0.89	0.81
	GeoSOS-FLUS	0.60	0.85	0.62	0.40	0.54	0.71	0.71



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

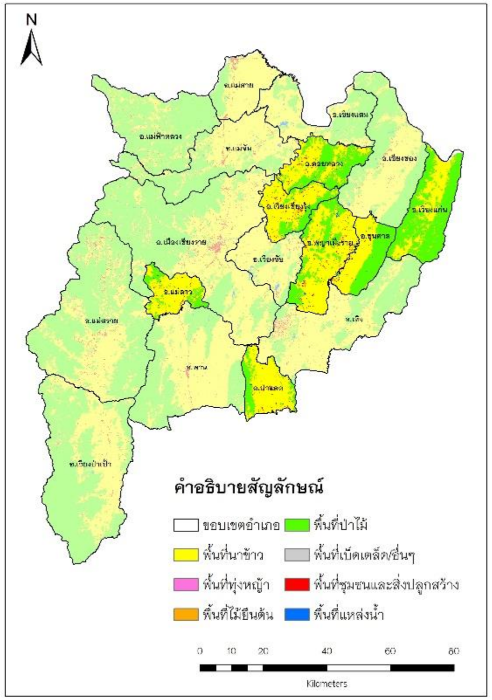


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

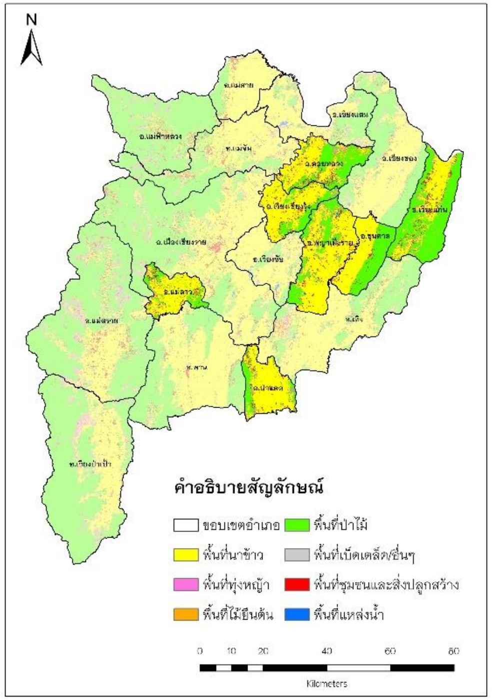
ภาพ 71 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 1 ปี)

ตาราง 57 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 5 ปี)

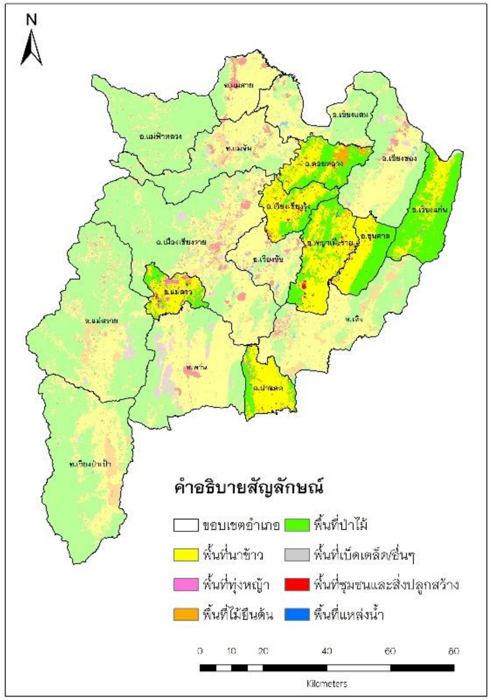
2553 (ราย 5 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		แม่ลาว	ขุนตาล	พญาเม็งราย	ดอยหลวง	ป่าแดด	เวียงเชียงรุ้ง	เวียงแก่น
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	98,631	87,021	204,579	99,585	123,012	113,805	89,919
	CLUMondo	88,227	88,155	195,120	92,664	116,163	116,559	76,851
	GeoSOS-FLUS	79,677	85,347	191,565	86,013	118,197	121,194	73,881
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	1,125	117	1,359	1,548	954	1,458	630
	CLUMondo	6,417	1,548	15,912	12,204	6,948	4,347	12,978
	GeoSOS-FLUS	12,132	315	3,141	2,367	2,889	855	1,989
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	621	99	2,061	1,035	540	3,231	144
	CLUMondo	621	99	2,052	4,176	540	2,268	180
	GeoSOS-FLUS	2,250	54	3,150	14,499	1,989	2,268	126
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	31,230	76,104	79,605	92,637	33,849	46,719	192,546
	CLUMondo	31,365	71,415	70,686	79,686	31,410	39,924	183,357
	GeoSOS-FLUS	35,838	77,625	87,966	91,314	35,271	42,138	206,919
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	36	-	72	72	36	63	9
	CLUMondo	36	-	72	72	36	63	9
	GeoSOS-FLUS	36	-	72	72	36	63	9
พื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	1,539	1,386	5,121	2,313	1,800	4,941	180
	CLUMondo	6,516	3,510	8,955	8,388	5,094	7,164	10,053
	GeoSOS-FLUS	2,826	1,386	6,885	2,925	1,809	3,807	504
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	261	351	882	540	153	459	450
	CLUMondo	261	351	882	540	153	351	450
	GeoSOS-FLUS	684	351	900	540	153	351	450
Overall Accuracy	CA-Markov	0.94	0.96	0.76	0.95	0.78	0.92	0.90
	CLUMondo	0.84	0.94	0.77	0.85	0.89	0.95	0.93
	GeoSOS-FLUS	0.96	0.97	0.75	0.90	0.86	0.92	0.91
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.89	0.84	0.64	0.89	0.60	0.84	0.49
	CLUMondo	0.62	0.83	0.65	0.59	0.82	0.90	0.64
	GeoSOS-FLUS	0.91	0.87	0.61	0.71	0.73	0.85	0.46



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

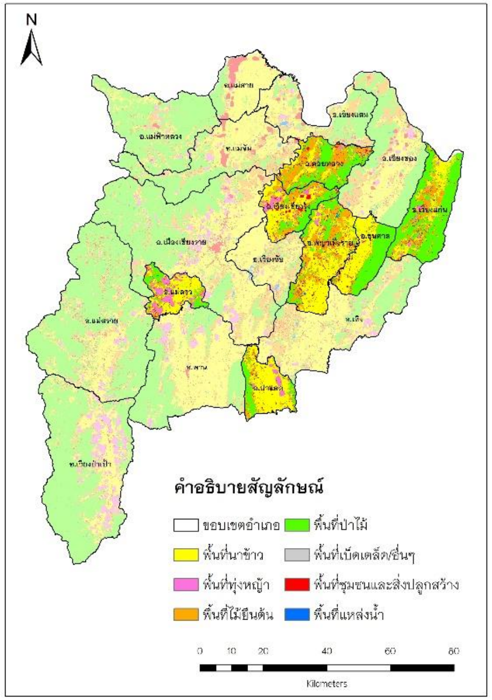


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

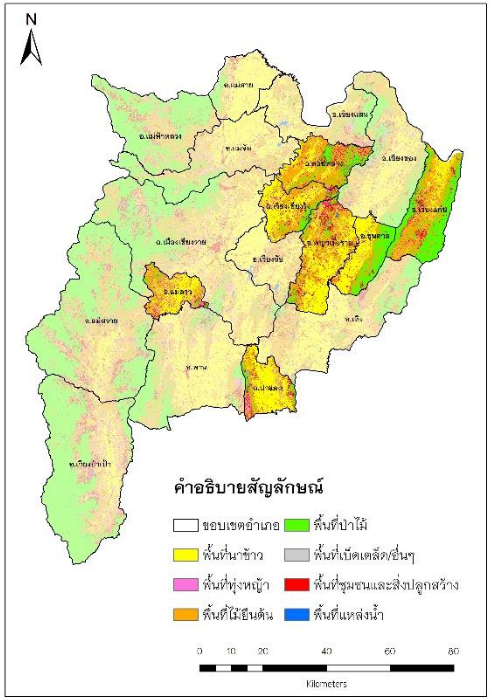
ภาพ 72 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 5 ปี)

ตาราง 58 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 5 ปี)

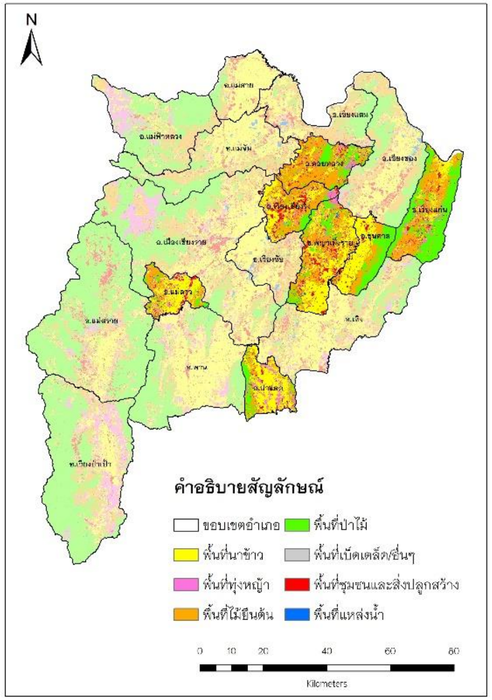
2563 (ราย 5 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		แม่ลาว	ขุนตาล	พญาเม็งราย	ดอยหลวง	ป่าแดด	เวียงเชียงรุ้ง	เวียงแก่น
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	61,794	75,105	144,963	35,244	101,133	69,831	51,426
	CLUMondo	62,541	72,261	136,665	41,094	92,169	81,099	38,979
	GeoSOS-FLUS	64,899	70,785	118,791	28,008	84,420	57,195	35,127
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	26,748	549	6,003	5,859	8,109	12,906	7,551
	CLUMondo	17,856	5,058	20,673	13,941	15,264	14,013	14,868
	GeoSOS-FLUS	17,109	2,160	18,639	17,352	22,122	16,461	18,630
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	13,194	8,676	73,503	66,132	15,480	35,370	44,712
	CLUMondo	34,839	26,829	81,846	84,843	29,061	45,882	95,202
	GeoSOS-FLUS	28,521	33,687	86,013	98,586	23,094	59,472	89,514
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	25,740	75,177	48,816	78,867	29,439	40,185	170,325
	CLUMondo	12,258	53,919	20,385	37,629	11,691	16,398	115,830
	GeoSOS-FLUS	12,411	49,887	37,971	39,042	22,302	14,598	128,403
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	36	-	54	63	36	63	9
	CLUMondo	36	-	36	9	9	18	-
	GeoSOS-FLUS	18	-	27	36	18	36	-
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	5,508	4,725	19,044	10,449	5,931	11,763	9,189
	CLUMondo	5,490	6,165	32,778	19,098	11,934	12,708	18,333
	GeoSOS-FLUS	10,044	7,695	30,933	13,311	8,172	21,843	11,520
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	423	846	1,296	1,116	216	558	666
	CLUMondo	423	846	1,296	1,116	216	558	666
	GeoSOS-FLUS	441	864	1,305	1,395	216	1,071	684
Overall Accuracy	CA-Markov	0.87	0.96	0.84	0.67	0.74	0.81	0.85
	CLUMondo	0.78	0.85	0.80	0.73	0.82	0.83	0.75
	GeoSOS-FLUS	0.78	0.92	0.63	0.58	0.77	0.74	0.84
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.82	0.93	0.77	0.48	0.65	0.73	0.72
	CLUMondo	0.68	0.76	0.70	0.53	0.73	0.74	0.57
	GeoSOS-FLUS	0.71	0.81	0.50	0.42	0.67	0.65	0.69



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo

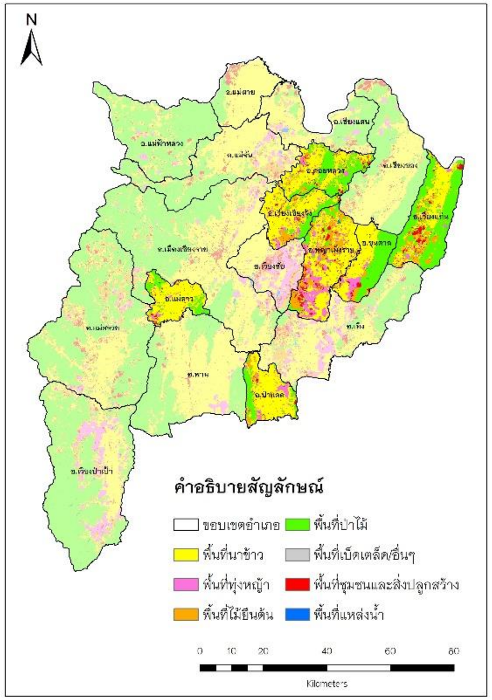


แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

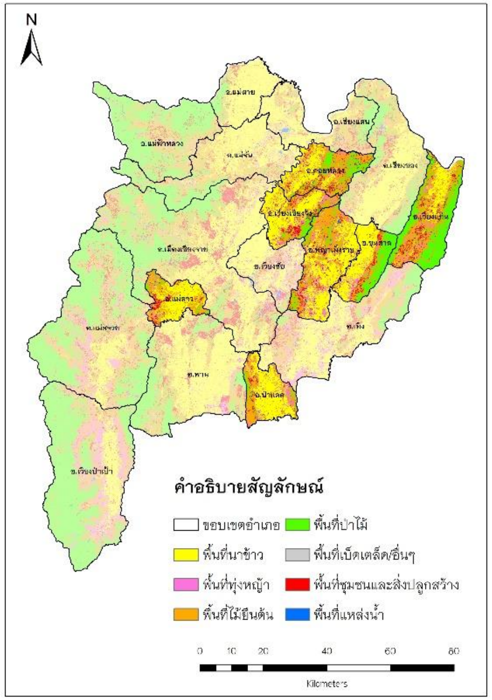
ภาพ 73 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 5 ปี)

ตาราง 59 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 10 ปี)

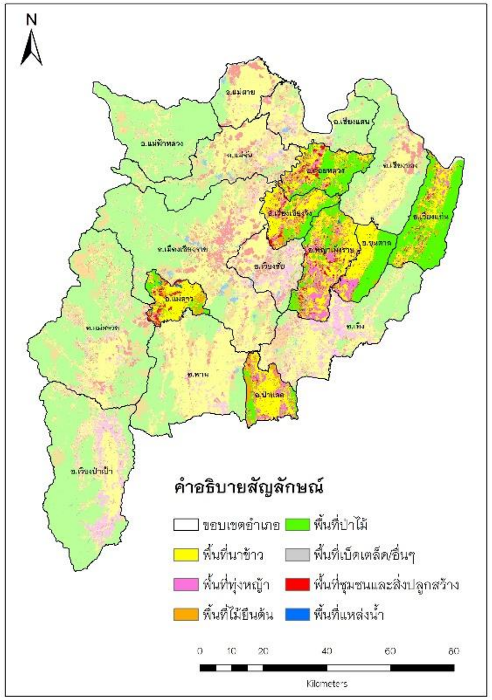
2563 (ราย 10 ปี)	แบบจำลอง	อำเภอ (ไร่)						
		แม่ลาว	ขุนตาล	พญาเม็งราย	ดอยหลวง	ป่าแดด	เวียงเชียงรุ้ง	เวียงแก่น
พื้นที่นาข้าว	CA-Markov	93,933	72,630	145,224	94,698	105,345	106,155	83,304
	CLUMondo	66,096	73,161	129,303	58,878	86,904	87,246	41,427
	GeoSOS-FLUS	73,647	68,463	124,803	64,782	81,648	84,393	65,835
พื้นที่ทุ่งหญ้า	CA-Markov	4,482	13,941	51,930	8,757	13,779	13,059	8,118
	CLUMondo	7,020	13,815	47,016	16,515	21,213	20,610	19,260
	GeoSOS-FLUS	5,679	18,414	72,756	21,492	34,011	23,922	16,128
พื้นที่ไม้ยืนต้น	CA-Markov	3,591	7,569	53,874	11,367	10,089	16,155	30,204
	CLUMondo	43,380	25,281	80,838	68,670	36,783	33,867	92,844
	GeoSOS-FLUS	15,498	2,358	20,916	8,100	19,494	12,312	13,158
พื้นที่ป่าไม้	CA-Markov	26,622	66,015	20,124	72,819	26,631	28,179	148,329
	CLUMondo	6,579	43,011	17,640	33,885	8,334	13,896	109,746
	GeoSOS-FLUS	22,338	73,152	55,224	84,627	20,736	37,971	179,955
พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ	CA-Markov	36	-	54	63	36	63	9
	CLUMondo	36	-	-	-	-	-	-
	GeoSOS-FLUS	27	-	36	36	9	36	-
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	CA-Markov	4,500	4,482	21,591	9,450	4,293	6,696	13,329
	CLUMondo	10,053	9,369	18,000	19,188	6,930	14,670	19,854
	GeoSOS-FLUS	14,256	2,250	19,017	17,325	4,275	11,367	8,154
พื้นที่แหล่งน้ำ	CA-Markov	279	441	882	576	171	369	585
	CLUMondo	279	441	882	594	180	387	747
	GeoSOS-FLUS	1,998	441	927	1,368	171	675	648
Overall Accuracy	CA-Markov	0.77	0.88	0.73	0.67	0.77	0.83	0.78
	CLUMondo	0.84	0.74	0.74	0.76	0.86	0.70	0.72
	GeoSOS-FLUS	0.71	0.94	0.71	0.64	0.69	0.75	0.76
Kappa Coefficient	CA-Markov	0.69	0.75	0.61	0.53	0.68	0.76	0.60
	CLUMondo	0.76	0.57	0.61	0.61	0.80	0.61	0.54
	GeoSOS-FLUS	0.63	0.86	0.60	0.50	0.54	0.66	0.54



แบบจำลอง CA-Markov



แบบจำลอง CLUMondo



แบบจำลอง GeoSOS-FLUS

ภาพ 74 การคาดการณ์การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า (ราย 10 ปี)

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

การคาดการณ์การใช้ที่ดิน โดยใช้แบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo แบบจำลอง GeoSOS-FLUS บริเวณพื้นที่จังหวัดเชียงราย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านภูมิศาสตร์ที่มีผลต่อการใช้ที่ดิน และเปรียบเทียบแบบจำลองในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1.การจำแนกการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 - พ.ศ. 2563 ที่ได้จากการแปลภาพดาวเทียม โดยจำแนกรูปแบบการใช้ที่ดินออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ พื้นที่นาข้าว พื้นที่ทุ่งหญ้า พื้นที่ไม้ยืนต้น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ รวมมีพื้นที่ทั้งหมด 7,192,791 ไร่ มีค่าความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกอยู่ระหว่าง 80.47-84.38 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ระหว่าง 70.53-78.62 และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งพื้นที่ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ได้แก่ พื้นที่ไม้ยืนต้น มีค่าเพิ่มขึ้นระหว่างร้อยละ 0.0328-5.1542 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ค่าเพิ่มขึ้นระหว่างร้อยละ 0.0423-1.3089 และพื้นที่แหล่งน้ำ ค่าเพิ่มขึ้นระหว่างร้อยละ 0.0114-0.1572 ส่วนพื้นที่ที่มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องทุกปี ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ ค่าลดลงระหว่างร้อยละ 0.2106-5.1346 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ ค่าลดลงระหว่างร้อยละ 0.0004-0.0065 ส่วนพื้นที่นาข้าว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2548 และพ.ศ. 2561 ระหว่างร้อยละ 1.0831-3.4227 และมีแนวโน้มลดลงในปี พ.ศ. 2553 พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2559 พ.ศ. 2560 พ.ศ. 2562 และพ.ศ. 2563 ระหว่างร้อยละ 0.8507-4.8276 และพื้นที่ทุ่งหญ้า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2553 พ.ศ. 2561 พ.ศ. 2562 และพ.ศ. 2563 ระหว่างร้อยละ 0.8576-5.0363 และมีแนวโน้มลดลงในปี พ.ศ. 2548 พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560 ระหว่างร้อยละ 0.2277-2.5699

2.การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนกับการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 - พ.ศ. 2563 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติกส์ โดยใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินกับปัจจัยทั้ง 14 ปัจจัย พบว่า พื้นที่นาข้าว

พื้นที่ไม้ยืนต้น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ มีความสัมพันธ์กับปัจจัยขับเคลื่อนทุกปัจจัย ในทุกๆปี ส่วนพื้นที่ทุ่งหญ้า มีความสัมพันธ์กับปัจจัยขับเคลื่อนแทบทั้งหมด มีเพียงปัจจัยปริมาณน้ำฝนปี พ.ศ. 2559 ที่ไม่สัมพันธ์กับการใช้ที่ดินประเภททุ่งหญ้า และพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ มีเพียงปัจจัยปริมาณน้ำฝน เส้นทางน้ำ แหล่งการค้าชายแดน ความสูงเชิงเลข และหมู่บ้าน ที่สัมพันธ์กับการใช้ที่ดินประเภทเบ็ดเตล็ด/อื่นๆ ทุกปี

3.การคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1) การคาดการณ์แบบแบ่งช่วงเวลา พบว่า การคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น (ทุก 1 ปี 1 ช่วง) ปี พ.ศ. 2560-พ.ศ. 2563 มีค่าความถูกต้องโดยรวม ตั้งแต่ 80.47-90.23 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 74.74-86.59 ส่วนการคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง (ทุก 5 ปี 5 ช่วง) ปี พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2563 ค่าความถูกต้องโดยรวม ตั้งแต่ 82.03- 88.28 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 75.84-84.84 และการคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว (ทุก 10 ปี 10 ช่วง) ปี พ.ศ. 2563 ค่าความถูกต้องโดยรวม ตั้งแต่ 81.64-83.20 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 76.44-78.21 ซึ่งถึงแม้ว่าค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาของทั้ง 3 แบบจำลอง ในแต่ละช่วงเวลานั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา จากทั้ง 3 แบบจำลอง ของการคาดการณ์แบบแบ่งช่วงเวลามาทำการนับจำนวนความถูกต้อง พบว่า การคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น (ทุก 1 ปี 1 ช่วง) ปี พ.ศ. 2560-พ.ศ. 2563 แบบจำลอง CA-Markov มีจำนวนความถูกต้องของการคาดการณ์ในแต่ละปีมากที่สุด ส่วนการคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง (ทุก 5 ปี 5 ช่วง) ปี พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2563 แบบจำลอง CLUMondo มีความถูกต้องของการคาดการณ์ในแต่ละปีมากที่สุดและการคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว (ทุก 10 ปี 10 ช่วง) ปี พ.ศ. 2563 แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีความถูกต้องของการคาดการณ์มากที่สุด

2) การคาดการณ์แบบแบ่งกลุ่มพื้นที่ศึกษารายอำเภอ พบว่า กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว คือ กลุ่มที่มีการขยายตัวของเมืองที่มาก และเป็นแหล่งการขยายตัวด้านเศรษฐกิจอุตสาหกรรม มีทั้งหมด 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองเชียงราย อำเภอแม่สาย อำเภอเชียงของ และอำเภอเชียงแสน โดยแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 3 ช่วง คือ การคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น (ทุก 1 ปี 1 ช่วง) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 - พ.ศ. 2563 การคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง (ทุก 5 ปี 5 ช่วง) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 - พ.ศ. 2563 และการคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว (ทุก 10 ปี 10 ช่วง) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 พบว่า การคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น การคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง และการคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว แบบจำลอง CLUMondo

ให้ความถูกต้องของแต่ละอำเภอมากที่สุด รองลงมาคือ แบบจำลอง CA-Markov และอันดับสุดท้ายคือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS ส่วนกลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง คือ กลุ่มที่พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านเกษตรกรรม มีทั้งหมด 7 อำเภอ ได้แก่ อำเภอพาน อำเภอแม่สรวย อำเภอแม่จัน อำเภอเวียงชัย อำเภอแม่ฟ้าหลวง อำเภอเวียงป่าเป้า และอำเภอเทิง พบว่า การคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น และการคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง แบบจำลอง CLUMondo ให้ความถูกต้องของแต่ละอำเภอมากที่สุด รองลงมาคือ แบบจำลอง CA-Markov และอันดับสุดท้ายคือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS ส่วนการคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว แบบจำลอง CA-Markov ให้ความถูกต้องของแต่ละอำเภอมากที่สุด รองลงมาคือ แบบจำลอง CLUMondo และอันดับสุดท้ายคือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS และกลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า คือ กลุ่มที่มีลักษณะเป็นภูเขาสูง หรือ มีการขยายตัวแบบอื่นที่ไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มทั้งสองที่ได้กล่าวไปก่อนหน้า มีทั้งหมด 7 อำเภอ ได้แก่ อำเภอแม่ลาว อำเภอขุนตาล อำเภอพญาเม็งราย อำเภอดอยหลวง อำเภอป่าแดด อำเภอเวียงเชียงรุ้ง และอำเภอเวียงแก่น พบว่า การคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น และการคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว แบบจำลอง CLUMondo ให้ความถูกต้องของแต่ละอำเภอมากที่สุด รองลงมาคือ แบบจำลอง CA-Markov และอันดับสุดท้ายคือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS ส่วนการคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง แบบจำลอง CA-Markov ให้ความถูกต้องของแต่ละอำเภอมากที่สุด รองลงมาคือ แบบจำลอง CLUMondo และอันดับสุดท้ายคือ แบบจำลอง GeoSOS-FLUS ซึ่งเมื่อนำค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา จากทั้ง 3 แบบจำลองของการขยายตัวทั้ง 3 แบบ พบว่า ในแต่ละอำเภอมีค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา ของแต่ละแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำค่าความถูกต้องของทั้ง 3 แบบจำลอง มาเปรียบเทียบค่าความถูกต้องสูงสุดของแต่ละอำเภอ พบว่า แบบจำลอง CLUMondo ให้ความถูกต้องของแต่ละอำเภอมากที่สุด

อภิปรายผลการศึกษา

1.การจำแนกการใช้ที่ดิน บริเวณจังหวัดเชียงราย ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 รวมทั้งหมด 9 ปี ซึ่งทำการจำแนกออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ พื้นที่นาข้าว พื้นที่ทุ่งหญ้า พื้นที่ไม้ยืนต้น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ ด้วยเทคนิควิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM) ซึ่งผลของจำแนกการใช้ที่ดินนั้นแบ่งตามเกณฑ์ของ Congalton (2001) พบว่ามีค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา อยู่ในเกณฑ์ที่มี

ความมเชื่อมั่นสูง โดยผลการศึกษาให้ค่าความถูกต้องโดยรวมเกินกว่าร้อยละ 80 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเกินกว่าร้อยละ 70 ซึ่งผลของการจำแนกใกล้เคียงกับการศึกษาของ ทรัน วัน นินห์ และชาติชาย ไวยสุระสิงห์ (2560) ที่ศึกษาการเปรียบเทียบผลการจำแนกด้วยวิธีแบบความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Classifier : MLC) กับวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM) ของจังหวัดขอนแก่น พบว่าวิธี SVM มีค่าความถูกต้องเกินกว่าร้อยละ 90 ส่วนวิธีการ MLC มีค่าความถูกต้องอยู่ระหว่าง 40-80 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของวิธี SVM นั้นเหนือกว่าวิธี MLC ในการจำแนกการใช้ที่ดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ดังนั้นผลจากการศึกษาด้วยวิธี SVM นั้นเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ไม่เพียงเท่านั้นยังให้ค่าความแม่นยำสูงกว่าวิธีอื่น

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2543, พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 รวมทั้งหมด 9 ปี พบว่า พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องทุกปี ซึ่งส่วนใหญ่จะเปลี่ยนเป็นพื้นที่ไม้ยืนต้นมากที่สุด รองลงมาคือพื้นที่นาข้าว พื้นที่ทุ่งหญ้า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ ตามลำดับ โดยรูปแบบการเปลี่ยนแปลงต่างกับการศึกษาของ นิติ เอี่ยมชื่น และวันณัชชา เทพวงศ์ (2563) และ Verburg และคณะ (2015) ที่กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ทุ่งหญ้า ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นพื้นที่ป่าไม้ได้ในเวลา 1 ปี ซึ่งผลการศึกษานั้นพบว่าพื้นที่ทุ่งหญ้าสามารถเปลี่ยนเป็นพื้นที่ป่าไม้ได้ สาเหตุที่ทำให้ต่างกันอาจเกิดจากการนำข้อมูลการใช้ที่ดินที่ได้จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมมาทำการปรับแก้ขนาดของความละเอียดของภาพ 120 พิกเซล จึงทำให้ข้อมูลมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อน สำหรับพื้นที่นาข้าว และพื้นที่ทุ่งหญ้า มีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นในบางปี ส่วนพื้นที่ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี คือ พื้นที่ไม้ยืนต้น พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ ซึ่งแนวโน้มการเพิ่มขึ้นนั้นมาจากการลดลงของพื้นที่นาข้าว พื้นที่ทุ่งหญ้า พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด โดยผลจากการเปลี่ยนแปลงเกิดจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรทำให้ต้องการที่อยู่อาศัยมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่เป็นผลมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์มากกว่าการเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

2.การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนทั้ง 14 ปัจจัย กับการใช้ที่ดินทั้ง 7 ประเภท บริเวณจังหวัดเชียงราย ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติกส์ ในปี พ.ศ. 2543,พ.ศ. 2548, พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2558 – พ.ศ. 2563 สามารถอธิบายได้ว่า

การใช้ที่ดินทั้ง 7 ประเภท มีค่าความสัมพันธ์เป็นทั้งทิศทางบวก (แปรผันตรง) และทิศทางลบ (แปรผกผัน) กับปัจจัยขับเคลื่อนทั้ง 14 ปัจจัย เนื่องจากพื้นที่นาข้าว พื้นที่ทุ่งหญ้า พื้นที่ไม้ยืนต้นส่วนมากจะพบในบริเวณพื้นที่ราบไม่ชัน อยู่ใกล้กับหมู่บ้าน และเส้นทางคมนาคม ซึ่งจำเป็นจะต้องมาการดูแล เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดี สะดวกต่อการดูแล และนำไปยังแหล่งจำหน่าย ขณะที่พื้นที่ป่าไม้ จะพบในบริเวณที่มีระดับความสูงภูมิประเทศและระดับความลาดชันที่เพิ่มขึ้นจึงมีความชื้นมากทำให้มีฝนตกเป็นจำนวนมาก ซึ่งอยู่ห่างไกลจากเส้นทางคมนาคม และอยู่ไกลหมู่บ้าน เนื่องจากพื้นที่จังหวัดเชียงรายเป็นพื้นที่สูงชั้นปกคลุมด้วยป่าไม้อยู่มาก ค่าความสัมพันธ์ความสูงเชิงเลขและความลาดชันจึงเป็นไปในทิศทางบวกเหมือนกันทุกปี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ชุติพงศ์ ร่มสนธิ์ (2551) ที่กล่าวว่าความสัมพันธ์ของพื้นที่ป่าไม้มีค่าสูงขึ้น (มีค่าเป็นบวก) ในบริเวณที่มีระดับความสูงภูมิประเทศและความชันที่เพิ่มขึ้น ค่าความสัมพันธ์จึงไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆ จะพบไกลจากเส้นทางน้ำ เนื่องจากพื้นที่เบ็ดเตล็ด/อื่นๆอาจเป็นได้หลายแบบ เช่น เหมืองแร่ สันทรายที่โล่งเตียนปราศจากสิ่งปกคลุม ซึ่งการใช้พื้นที่เหล่านั้นอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จึงมีป้องกัน และแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม สำหรับพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง จะพบในพื้นที่ไม่ชัน อยู่ใกล้กับเส้นทางคมนาคม มีประชากรอยู่ปริมาณมาก เนื่องจากพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง เป็นทั้งที่อยู่อาศัย พาณิชยกรรม และโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นแหล่งมีการประกอบอาชีพหลากหลาย จึงจำเป็นต้องมีสิ่งอำนวยความสะดวกเป็นจำนวนมาก เพื่อให้สะดวกต่อการเข้าถึงสถานที่ต่างๆ ซึ่งคล้ายคลึงกับผลการศึกษาของ นิติ เอี่ยมชื่น และวันณัชชา เทพวงศ์ (2563) และพื้นที่แหล่งน้ำ จะพบในบริเวณราบ อยู่ใกล้กับเส้นทางน้ำ บ่อน้ำ มีประชากรอยู่ปริมาณมาก และอยู่ใกล้กับแหล่งการค้า เนื่องจากพื้นที่แหล่งน้ำจำเป็นต่อการใช้อุปโภคและบริโภครวมถึงการใช้น้ำในภาคการเกษตร ไม่เพียงเท่านั้นพื้นที่จังหวัดเชียงรายตั้งอยู่เหนือสุดของประเทศจึงมีอาณาเขตน่านน้ำติดกับสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวจึงทำให้มีการไหลเวียนสินค้าเข้าออกเป็นจำนวนมาก

3.การคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1) การคาดการณ์แบบแบ่งช่วงเวลา พบว่า การคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น (ทุก 1 ปี 1 ช่วง) ปี พ.ศ. 2560-พ.ศ. 2563 แบบจำลอง CA-Markov มีจำนวนความถูกต้องของการคาดการณ์ในแต่ละปีมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ชุติพงศ์ ร่มสนธิ์ (2551)

กล่าวคือ ทำการเปรียบเทียบผลการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง CLUE-S พบว่าความถูกต้องเชิงพื้นที่ของการคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น (ทุก 1 ปี 1 ช่วง) ด้วยแบบจำลอง CA-Markov มีความถูกต้องเชิงพื้นที่มากกว่า ส่วนการคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง (ทุก 5 ปี 5 ช่วง) ปี พ.ศ. 2553, พ.ศ. 2563 แบบจำลอง CLUMondo มีความถูกต้องของการคาดการณ์ในแต่ละปีมากที่สุด ซึ่งคล้ายคลึงกับการศึกษาของ วีระภาส คุณรัตนสิริ (2563) กล่าวคือ ทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง CLUE-S โดยแบบจำลอง CLUE-S ใช้วิธีการคาดการณ์เช่นเดียวกับแบบจำลอง CLUMondo คือ ต้องอาศัยปัจจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประเภทการใช้ที่ดินกับปัจจัยในการคาดการณ์การใช้ที่ดิน พบว่าความถูกต้องเชิงพื้นที่ของการคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง (ทุก 5 ปี 5 ช่วง) ด้วยแบบจำลอง CLUE-S มีค่าความถูกต้องมากที่สุด และการคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว (ทุก 10 ปี 10 ช่วง) ปี พ.ศ. 2563 แบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีความถูกต้องของการคาดการณ์มากที่สุด เช่นเดียวกับการศึกษาของ Liu และคณะ (2017) กล่าวคือ ทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง FLUS แบบจำลอง CLUE-S แบบจำลอง CA-ANN และแบบจำลอง CA-Logistic พบว่าความถูกต้องเชิงพื้นที่ของการคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว (ทุก 10 ปี 10 ช่วง) ด้วยแบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีค่าความถูกต้องมากที่สุด โดยเมื่อพิจารณาค่าความถูกต้องโดยรวม ถือว่ามีความถูกต้องสูง (มีความถูกต้องโดยรวมมากกว่าร้อยละ 80) และเมื่อเปรียบเทียบเกณฑ์การสรุปผลของค่าสัมประสิทธิ์แคปปา อ้างอิงจาก Congalton (2001) ได้แบ่งค่าความถูกต้องไว้ว่า ถ้ามากกว่า 0.80 (>80%) แสดงถึงความถูกต้องสูง

2) การคาดการณ์แบบแบ่งกลุ่มพื้นที่ศึกษารายอำเภอ พบว่า กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว ได้แก่ อำเภอเมืองเชียงราย อำเภอแม่สาย อำเภอเชียงของ และอำเภอเชียงแสน มีการขยายตัวคล้ายกัน กล่าวคือ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีการขยายตัวไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งลักษณะการขยายตัวแบบทฤษฎีรูปพาย เช่นเดียวกับการศึกษาของ วิชชุดา วงษ์ปถัมภ์ (2564) ที่กล่าวว่าพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างส่วนมากมักขยายตัวบริเวณใกล้ชุมชนเดิม และขยายตัวไปตามเส้นทางคมนาคมสายหลัก ส่วนกลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง ได้แก่ อำเภอพาน อำเภอแม่สรวย อำเภอแม่จัน อำเภอเวียงชัย อำเภอแม่ฟ้าหลวง อำเภอเวียงป่าเป้า และอำเภอเทิง การขยายตัวคล้ายกัน กล่าวคือ จะพบพื้นที่ทุ่งหญ้า และพื้นที่ไม้ยืนต้น บริเวณรอบๆพื้นที่นาข้าวเป็นส่วนใหญ่ และกลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า ได้แก่ อำเภอแม่ลาว อำเภอขุนตาล อำเภอพญาเม็งราย อำเภอดอยหลวง

อำเภอป่าแดด อำเภอเวียงเชียงรุ้ง และอำเภอเวียงแก่น การขยายตัวคล้ายกัน กล่าวคือ จะพบพื้นที่เบ็ดเตล็ด และพื้นที่แหล่งน้ำ กระจายอยู่ทั่วทั้งอำเภอใกล้กับพื้นที่ป่าไม้ และเมื่อนำค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา จากทั้ง 3 แบบจำลอง ของการขยายตัวทั้ง 3 แบบ พบว่า ในแต่ละอำเภอมีค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา ของแต่ละแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำค่าความถูกต้องของทั้ง 3 แบบจำลอง มาเปรียบเทียบค่าความถูกต้องสูงสุด ในการคาดการณ์แบบช่วงระยะสั้น (ทุก 1 ปี 1 ช่วง) โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 – พ.ศ. 2563 ของแต่ละอำเภอ พบว่า แบบจำลอง CLUMondo ให้ความถูกต้องของแต่ละอำเภอมากที่สุด ส่วนในการคาดการณ์แบบช่วงระยะกลาง (ทุก 5 ปี 5 ช่วง) โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 – พ.ศ. 2563 ของแต่ละอำเภอ พบว่า แบบจำลอง CLUMondo ให้ความถูกต้องของแต่ละอำเภอมากที่สุด และในการคาดการณ์แบบช่วงระยะยาว (ทุก 10 ปี 10 ช่วง) โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มที่มีการขยายตัวแบบเร็ว กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบกลาง กลุ่มที่มีการขยายตัวแบบช้า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 ของแต่ละอำเภอ พบว่า แบบจำลอง CLUMondo ให้ความถูกต้องของแต่ละอำเภอมากที่สุด

จากการศึกษาแบบจำลองการใช้ที่ดินในครั้งนี้ มี 3 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS ซึ่งแบบจำลองทั้ง 3 นั้นสามารถใช้งานได้ปราศจากค่าใช้จ่าย ซึ่งมีทั้งจุดเด่น และจุดด้วย (ข้อจำกัด) ของแบบจำลอง ดังนี้

- ข้อมูลที่ใช้ในการคาดการณ์ พบว่า แบบจำลอง CA-Markov สามารถคาดการณ์การใช้ที่ดินจากข้อมูลการใช้ที่ดินของ 2 ปี ซึ่ง แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS จะต้องใช้ข้อมูลการใช้ที่ดิน 1 ปี และปัจจัยขับเคลื่อนในคาดการณ์
- ขนาดของพื้นที่ศึกษา พบว่า แบบจำลอง CA-Markov สามารถใช้ได้ทั้งพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก โดยไม่กำหนดจำนวนพิกเซล ส่วนแบบจำลอง CLUMondo ใช้ได้กับพื้นที่ที่มีขนาดเล็กไม่เกิน 1000 X 1000 พิกเซล และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS ใช้ได้กับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ระดับจังหวัด
- ระยะเวลาในการประมวลผล พบว่า แบบจำลอง CA-Markov หากพื้นที่ศึกษามีขนาดเล็กจะใช้เวลาประมวลผลประมาณ 2 ชั่วโมงในการคาดการณ์แต่ละครั้ง ซึ่งหากพื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่จะใช้เวลาประมวลผลอยู่ที่ 15 ชั่วโมงในการคาดการณ์แต่ละครั้ง

ส่วนแบบจำลอง GeoSOS-FLUS และแบบจำลอง CLUMondo จะใช้เวลาประมวลผลประมาณ 30 นาที ถึง 3 ชั่วโมงในการคาดการณ์แต่ละครั้ง

- การหาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินกับปัจจัยขับเคลื่อน พบว่า แบบจำลอง CA-Markov ใช้เพียงข้อมูลการใช้ที่ดิน 2 ปี ในการคาดการณ์ จึงไม่มีการหาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินกับปัจจัยขับเคลื่อน แบบจำลอง CLUMondo ใช้การหาความสัมพันธ์แบบการถดถอยโลจิสติค (Logistic Regression)และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS ใช้การหาความสัมพันธ์แบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks : ANN)

- การตรวจสอบความถูกต้อง พบว่า แบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS มีฟังก์ชั่นในการตรวจสอบความถูกต้องทั้ง ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa Coefficient) ของการคาดการณ์ ซึ่งแบบจำลอง CLUMondo ไม่มีฟังก์ชั่นในการตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งหากต้องการตรวจสอบจะต้องนำข้อมูลไปตรวจสอบบนโปรแกรมอื่น

การเพิ่มความสามารถของ แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง GeoSOS-FLUS ในการคาดการณ์การใช้ที่ดิน มีรายละเอียดดังนี้

- แบบจำลอง CLUMondo หากต้องการให้ผลของการคาดการณ์มีค่าความถูกต้องสูงขึ้น ให้ทำการเลือกใช้ปัจจัยที่คำนวนค่า ROC ตั้งแต่ 0.8 ขึ้นไป และปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบจำลองจะทำให้ผลของการคาดการณ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

- แบบจำลอง GeoSOS-FLUS หากต้องการให้ผลของการคาดการณ์มีค่าความถูกต้องสูงขึ้น ให้ทำการเลือกใช้การหาความสัมพันธ์ ANN แบบ “Double Accuracy” และปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบจำลองจะทำให้ผลของการคาดการณ์มีความแม่นยำมาขึ้น

จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในพื้นที่ และการเจริญเติบโตของจังหวัดเชียงราย ส่งผลให้มีพื้นที่สิ่งปลูกสร้างเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก หากไม่มีการวางแผนจะส่งผลให้การเจริญเติบโตของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างมีขยายตัวแบบไร้ทิศทางในอนาคต ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของทรัพยกร และเกิดมลพิษต่างๆ ต่อสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันมีเครื่องมือที่ช่วยในการบริหารจัดการเป็นจำนวนมาก หนึ่งในนั้นคือ การใช้แบบจำลองการใช้ที่ดินเพื่อคาดการณ์แนวโน้มเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต ซึ่งแบบจำลองการใช้ที่ดินนั้นมีหลายแบบทั้งที่เป็นแบบจำลองที่ไม่ได้คำนึงถึงแรงขับเคลื่อน และแบบจำลองที่คำนึงถึงแรงขับเคลื่อน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งหวังที่จะพิสูจน์ข้อดีข้อด้อยของแบบจำลองเพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อการเลือกแบบจำลองให้เหมาะสมกับงาน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำงานไปใช้ประโยชน์

1.จากผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ป่าไม้นั้นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องทุกปี ดังนั้นควรมีนโยบายหรือมาตรการในการป้องกันการลดลงของพื้นที่ป่าไม้จากการขยายตัวของพื้นที่ทำการเกษตร และพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง เช่น อาจมีการจัดตั้งหน่วยงานเข้าไปการดูแลในบริเวณที่คาดว่าจะมีการบุกรุก และควรมีการจัดตั้งโครงการต่างๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ป่าไม้ทั้งทางตรงและทางอ้อม หรือมีการจัดตั้งป่าชุมชนให้ผู้อาศัยในพื้นที่มีส่วนในการดูแลรักษาพื้นที่ป่าไม้

2.จากผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีแนวโน้มขยายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี เนื่องจากการแผนพัฒนาจังหวัด ที่มีนโยบายในการพัฒนาเศรษฐกิจสร้างสรรค์ด้านการค้า การลงทุน การบริการ และโลจิสติกส์ ดังนั้นควรมีการวางแผนการใช้ที่ดินให้รองรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากนโยบาย เพื่อให้เกิดการใช้ที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพ และป้องกันการเกิดจากสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไป

ข้อเสนอแนะจากผลการศึกษา

1.การศึกษาครั้งนี้ได้นำข้อมูลการใช้ที่ดินที่ได้จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมมาทำการปรับแก้ขนาดของความละเอียดของภาพ 120 Pixel เพื่อให้เหมาะสมกับแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาทำให้มีโอกาสในการเกิดความลาดเคลื่อนในการจำแนกประเภทพื้นที่ได้

2.การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการคัดเลือกปัจจัยด้านภูมิศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในบางปัจจัยไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับการใช้ที่ดินแต่ละประเภทได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไป ควรพิจารณาใช้ค่าสถิติที่ช่วยในการคัดกรองปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

3.การศึกษาครั้งนี้ใช้ปัจจัยในการคาดการณ์จากปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่เกิดขึ้นมาแล้วเพียงเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปอาจมีการพิจารณาปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคต ที่เกิดขึ้นจากนโยบายของการพัฒนาเมือง เช่น เส้นทางรถไฟ และสะพานมิตรภาพไทย-ลาว 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) ซึ่งมีนโยบายในการสร้างที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

4.การศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกปัจจัยที่ใช้ในการคาดการณ์จากการหาความสัมพันธ์ปัจจัยกับการใช้ที่ดินที่มีค่า ROC ที่ 0.5 ขึ้นไป ซึ่งค่าที่เลือกใช้นั้นอยู่ในระดับกลาง ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปอาจพิจารณาเลือกใช้ค่าที่ ROC ที่มากกว่านี้ เพื่อให้ผลของการคาดการณ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาแค่เพียงพื้นที่จังหวัดเชียงราย ซึ่งมีการขยายตัวในทางราบ ไม่ได้มีการเติบโตในแนวดิ่ง ซึ่งแบบจำลองทั้ง 3 ตัวนั้นเหมาะกับการคาดการณ์ในแนวราบ ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปสำหรับผู้ที่สนใจศึกษาต่อ หากพื้นที่ศึกษามีการขยายตัวในแนวดิ่งผู้ศึกษาอาจจะต้องพิจารณาเลือกแบบจำลองตัวอื่นที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ที่มีการรขยายตัวในแนวดิ่ง

6.การศึกษาในครั้งนี้ทำการคาดการณ์อนาคตจากแนวโน้มการใช้ที่ดินในอดีต จากการวิเคราะห์ของ Markov เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปอาจทำการคาดการณ์อนาคตจากข้อมูลยุทธศาสตร์ นโยบายกลุ่มจังหวัด และแผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติที่มีการปรับเปลี่ยนในพื้นที่ศึกษานั้นๆด้วย เพื่อให้ผลของการคาดการณ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

Administration, N. A. a. S. (2013). Landsat 8 Overview.

Agarwal, C., Green, G. M., Grove, J. M., Evans, T. P. และSchweik, C. M. (2002). **A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice** (pp. 1-61).

Altaweel, M. (Producer). (2020). Von Thünen Model of Agricultural Land Use.

Congalton, R. G. (2001). Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. **International Journal of Wildland Fire**, 10(4), 321-328.

Fitzpatrick-Lins, K. (1981). Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 47(3), 343-351.

Hamad, R., Balzter, H. และKolo, K. (2018). Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. **Sustainability**, 10(10), 3421.

Japan Association on Remote Sensing. (1993). Remote Sensing Note. Nihon Printing Co. Ltd. Tokyo.

Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W. และคณะ. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global environmental change**, 11(4), 261-269.

Li, Z., Cheng, X. และHan, H. (2020). Future Impacts of Land Use Change on Ecosystem Services under Different Scenarios in the Ecological Conservation Area, Beijing, China. **Forests**, 11(5). doi:10.3390/f11050584.

Liang, X., Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tian, H. และYao, Y. (2018). Delineating multi-scenario urban growth boundaries with a CA-based FLUS model and morphological method. **Landscape and Urban Planning**, 177, 47-63. doi:10.1016/j.landurbplan.2018.04.016.

Liu, X., Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y. และคณะ. (2017). A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. **Landscape and Urban Planning**, 168, 94-116.

doi:10.1016/j.landurbplan.2017.09.019.

Mutanga, O. และKumar, L. (2019). Google earth engine applications. **Remote Sensing**, 11(5), 591. doi:10.3390/rs11050591.

Ornetsmüller, C., Verburg, P. H. และHeinimann, A. (2016). Scenarios of land system change in the Lao PDR: Transitions in response to alternative demands on goods and services provided by the land. **Applied Geography**, 75, 1-11. doi:10.1016/j.apgeog.2016.07.010.

Silva, E. และWu, N. (2012). Surveying models in urban land studies. **Journal of Planning Literature**, 27(2), 139-152.

Soesbergen, A. v. (2016). **A review of land use change models** (pp. 1-76): April 2016.

Syed, D. A. และA, R. (2016). The Evolution and Core Concepts Of Deep Learning & Neural Networks. Analytics Vidhya.

TAATI, A., SARMADIAN, F., MOUSAVI, A., POUR, C. T. H. และSHAHIR, A. H. E. (2015). Land use classification using support vector machine and maximum likelihood algorithms by Landsat 5 TM images. **Walailak Journal of Science Technology**, 12(8), 681-687.

Van Asselen, S. และVerburg, P. H. (2013). Land cover change or land-use intensification: simulating land system change with a global-scale land change model. **Global change biology**, 19(12), 3648-3667.

Verburg, P., Vliet, J., Malek, Z. และOrnetsmuller, C. (2015). The CLUMondo land use change model: Manual and exercises. **Institute for Environmental Studies, University Amsterdam**.

Verburg, P. H. และOvermars, K. P. (2009). Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. **Landscape ecology**, 24(9), 1167-1181.

Yang, X., Chen, R. และZheng, X. Q. (2015). Simulating land use change by integrating ANN-CA model and landscape pattern indices. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, 7(3), 918-932. doi:10.1080/19475705.2014.1001797.

กรมการปกครอง. (2562). สถิติจำนวนประชากรและบ้าน. Retrieved from https://stat.bora.dopa.go.th/stat/statnew/statMenu/newStat/stat/

คณะกรรมการบริหารงานจังหวัดแบบบูรณาการจังหวัดเชียงราย. (2559). แผนพัฒนาจังหวัดเชียงราย พ.ศ. *2561 – 2564*. Retrieved from http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER0/DRAWER013/GENERAL/DATA0000/00000029.PDF

ชวลิต ขาวเขียว และทิวา ศุภจรรยา. (2005). ธรณีโบราณคดีที่ราบเจ้าพระยาตอนล่าง : การศึกษาเบื้องต้นจากข้อมูลโทรสัมผัส. วารสารดำรงวิชาการ, 4(2), 54-70.

ชุติพงศ์ ร่มสนธิ์. (2551). การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยใช้แบบจำลอง **CA-Markov** บริเวณลุ่มน้ำแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่. คณะวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

ชูเดช โลศิริ. (2016). แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินกับการคาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคต. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 19, 340-357.

ดรรชนี เอมพันธุ์. (2531). หลักการใช้ที่ดินเบื้องต้น. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา. คณะวนศาสตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทรัน วัน นินห์ และชาติชาย ไวยสุระสิงห์. (2560). การศึกษาเปรียบเทียบวิธีแบบความน่าจะเป็นได้ที่สูงกับวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพดาวเทียม Landsat เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเมืองขอนแก่น. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 17(4), 49-60.

ธณัชชัย วิยานนท์, ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์ และวิษุวัฒก์ แต้มสมบัติ (ผู้บรรยาย). การคาดการณ์การใช้ที่ดินในลุ่มน้ำสาขาย่อยห้วยผาก จังหวัดเพชรบุรีด้วยแบบจำลอง CA-Markov. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับนานาชาติ ครั้งที่ **13** และระดับชาติ ครั้งที่ **21** (หน้า 154-161).

ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2561). รายงานภาวะเศรษฐกิจไทย. Retrieved from https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/EconomicConditions/AnnualReport/Pages/default.aspx

นิติ เอี่ยมชื่น และวันณัชชา เทพวงศ์. (2563). การพยากรณ์การใช้ที่ดินด้วยแบบจำลอง CLUMondo กรณีศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่, 1(2), 1-13.

นิติ เอี่ยมชื่น และวันณัชชา เทพวงศ์. (2563). การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพกับการใช้ที่ดินเพื่อคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม การผังเมือง, 17(2), 79-92.

นิพันธ์ วิเชียรน้อย. (2552). การผังเมืองและการใช้ที่ดินในประเทศไทย. วารสารกรมโยธาธิการและผังเมือง,

29, 27-38.

พิณรัตน นุชโพธิ์ และศุภศิว สุวรรณเกสร. (2017). การวิเคราะหการถดถอยโลจิสติกของปจจัยดานคุณภาพหลักสูตรที่สงผลตอภาวะการมีงานทำ : กรณีศึกษา บัณฑิตสาขาวิชาคอมพิวเตอรธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. วารสารปาริชาต มหาวิทยาลัยทักษิณ, 30(3), 74-85.

มาตรฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน. (2556). ชั้นข้อมูลการใช้ที่ดิน. Retrieved from สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม:

วรรโณบล ควรอาจ และผกามาศ ถิ่นพังงา. (ม.ป.ป.). กระบวนการกลายเป็นเมืองในประเทศไทย. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (pp. 1-34).

วันณัชชา เทพวงศ์ และนครินทร์ ชัยแก้ว (ผู้บรรยาย). การประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงพื้นที่เพื่อคาดการณ์แนวโน้มการใช้ที่ดิน. ใน การประชุมวิชาการ ทรัพยากรธรรมชาติสารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ **4** (หน้า 455-461).

วิชชุดา วงษ์ปถัมภ์. (2564). การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจังหวัดฉะเชิงเทรา. คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์,

วีระภาส คุณรัตนสิริ. (2563). การศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง CLUE-S เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ จังหวัดน่าน. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์, 19(2), 87-100. doi:10.14416/j.appsci.2020.02.008.

วุฒิพงษ์ นิลจันทร์. (2560). การเปรียบเที่ยบการคาดการณ์การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยใช้แบบจำลอง **CA-Markov** และ แบบจำลอง **Land Change Modeler :** กรณีศึกษาจังหวัดอุตรดิตถ์. สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา,

ศิริวิไล ธีระโรจนารัตน์. (2558). โทรสัมผัสเบื้องต้น **Intro Remote Sens Introduction to Remote Sensing.** เอกสารประกอบการสอน รายวิชา 2205365. ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

สำนักงานเศรษฐกิจชายแดนและโลจิสติกส์. (2558). รายงานภาวะเศรษฐกิจเชียงราย *2558*. Retrieved from http://rs.mfu.ac.th/obels/?p=1576

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2558). ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2561). การประมวลผลภาพด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ Image Processing. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.

สุดารัตน์ อุทธารัตน์ และมานัส ศรีวณิช. (2562). การวางแผนการใช้ที่ดินของเมืองชายแดน : กรณีศึกษาเมืองชายแดนเชียงของ ภายใต้พื้นที่เทศบาลเวียง อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม การผังเมือง, 16(2), 93-111.

สุพรรณิการ์ เกตุศิริ. (2557). การสำรวจข้อมูลระยะไกลหรือการรับรู้ระยะไกล (**Remote sensing**). คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา,

สุรชัย รัตนเสริมพงศ์. (2536). การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

สุวิมล ต้นศิริ, วันชัย อรุณประภารัตน์ และวีระภาส คุณรัตน์. (2018). การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาวจังหวัดจันทบุรี. วารสารวนศาสตร์, 37(2), 138-150.

อำภา สาระศิริ. (2559). เทคนิคการเรียนรู้พื้นฐานโครงข่ายประสาทเทียม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร,

มหาวิทยาลัยพะเยา
UNIVERSITY OF PHAYAO

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	วันณัชชา เทพวงศ์
วัน เดือน ปี เกิด	23 มกราคม 2540
สถานที่เกิด	เชียงใหม่
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2562 วท.บ. (ภูมิสารสนเทศศาสตร์), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	17 หมู่ 17 ต.สันมะเค็ด อ.พาน จ.เชียงราย 57120
ผลงานตีพิมพ์	วันณัชชา เทพวงศ์ ธิดาภัทร อนุชาญ และ นิติ เอี่ยมชื่น. (2565). การเปรียบเทียบแบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง CA-Logistic ในการพยากรณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตเมือง กรณีศึกษาอำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 27(3): 1618-1634

Iamchuen, N., Soontornprasit, K., Kannika, K., Panprommin, D., Thepwong, W., Oonban, P. & Pinmongkhonkul, S. (2565). Integrated remote sensing and GIS approach for water quality analysis of Kwan Phayao Lake Thailand. Journal of Positive School Psychology. 6(5): 8485-8502

นิติ เอี่ยมชื่น ภูมิพัฒน์ อุ่นบ้าน วันณัชชา เทพวงศ์ และ ธิดาภัทร อนุชาญ. (2565). การใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดการพื้นที่อนุรักษ์นกยูงไทย ในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเวียงลอ จังหวัดพะเยา. วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่. 3(2): 1-17

ชัยวัฒน์ บุญตัน วันณัชชา เทพวงศ์ บุญศิริ สุขพร้อมสรรพ์ ธิดาภัทร อนุชาญ และ นิติ เอี่ยมชื่น. (2564). แบบจำลองพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่อำเภอเมืองเชียงใหม่และพื้นที่โดยรอบ. วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่. 2(2): 40-51

วิภพ แพงวังทอง และ วันณัชชา เทพวงศ์. (2564). ศักยภาพของดัชนี

ความแตกต่างความชื้นแบบนอร์แมลไลซ์จากดาวเทียมเซนติเนล 2 เพื่อการกำหนดความเสี่ยงไฟป่าด้านความชื้นในอุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อน. การประชุมทางวิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 5. 6-7 พฤษภาคม 2564. ณ ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 435-445.

นิติ เอี่ยมชื่น และวันณัชชา เทพวงศ์. (2563). การพยากรณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง Clumondo กรณีศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่. 1(2): 1-13

นิติ เอี่ยมชื่น และ วันณัชชา เทพวงศ์. (2563). การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพกับการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง. 17(2): 79-92.

วันณัชชา เทพวงศ์ และ นิติ เอี่ยมชื่น. (2562). การจำแนกพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทชีน. การประชุมทางวิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 4 (NATGEN 2019). 12-13 ธันวาคม 2562. ณ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา. 365-375.

วันณัชชา เทพวงศ์ และ นครินทร์ ชัยแก้ว. (2562). การประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงพื้นที่ เพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต. การประชุมทางวิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 4 (NATGEN 2019). 12-13 ธันวาคม 2562. ณ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา. 455-461.

รางวัลที่ได้รับ รางวัลชนะเลิศ การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย เรื่อง ศักยภาพของดัชนีความแตกต่างความชื้นแบบนอร์แมลไลซ์จากดาวเทียมเซน

ติเนล 2 เพื่อการกำหนดความเสี่ยงไฟป่าด้านความชื้นในอุทยาน
แห่งชาติแจ้ซ้อน

มหาวิทยาลัยพะเยา
UNIVERSITY OF PHAYAO