

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov ของอำเภอสะเตา จังหวัดสงขลา

Prediction of future land use and land cover with the CA-Markov model of Sadao District, Songkhla Province

ทัศนิกา นามปัญญา¹ วรภรณ์ ทนงศักดิ์² และจำรูญ ศรีชัยชนะ³

Thatsika Nampanya ¹, Waraporn Thanongsak ² and Jamroon Srichaichana ³

¹ นิสิตสาขาวิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ Email: Thatsika9940@gmail.com

² อาจารย์ประจำสาขาวิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ Email: waraphorn@tsu.ac.th

³ ผู้รับผิดชอบบทความ และอาจารย์ประจำสาขาวิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ Email: jamroon@tsu.ac.th

บทคัดย่อ

อำเภอสะเตาเป็นอำเภอชายแดนประเทศไทยติดกับประเทศมาเลเซีย และเป็นที่ตั้งของด่านศุลกากรชายแดนที่มีมูลค่าการนำเข้าส่งออกสินค้าสูง จึงส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินอย่างมาก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจำแนกข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน และคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov โดยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM และ LANDSAT 8 OLI โดยจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วยวิธี Random Forest จำแนกออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ ป่าดิบชื้น สวนปาล์ม สวนยางพารา นาข้าว เมืองสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ในปี พ.ศ. 2553 ถึงปี พ.ศ. 2563 พบว่า พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นจากเดิมในปี พ.ศ. 2553 โดยมีพื้นที่เท่ากับ 9.83 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นเป็น 28.18 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2563 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.77 ของพื้นที่ทั้งหมด และมีสวนยางพาราเพิ่มขึ้น 28.95 ตารางกิโลเมตรหรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.80 โดยในปี พ.ศ. 2553 มีพื้นที่เท่ากับ 792.81 ตารางกิโลเมตร และในปี พ.ศ. 2563 มีพื้นที่เท่ากับ 821.76 ตารางกิโลเมตร การใช้แบบจำลอง CA-Markov คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินปี พ.ศ. 2573 พบว่า พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 45.50 ตารางกิโลเมตรหรือคิดเป็นร้อยละ 4.40 ในทางกลับกันพื้นที่ป่าดิบชื้นมีแนวโน้มลดลง เหลือพื้นที่เท่ากับ 101 ตารางกิโลเมตรหรือคิดเป็นร้อยละ 9.77 ผลจากการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นแนวทางการจัดการวางแผนการใช้ที่ดิน และการจัดการผังเมืองของพื้นที่เมือง พื้นที่ป่าดิบชื้น และพื้นที่เกษตรกรรมของพื้นที่ศึกษาได้อย่างดี

Abstract

The Sadao District is a district on the border between Thailand and Malaysia and that is the location of the border customhouse with high import and export value. This resulted in significant changes in land use and land cover (LULC). The objectives of this study are to classify land use and land cover and predict the future of land use with the CA-Markov model. Using the Random Forest classification method, it can be classified into 7 types, namely, evergreen forest, palm plantation, rubber plantation, paddy field, urban and built-up areas, water bodies, and miscellaneous land. Analysis of changes in land use and land cover found that in the year 2020, urban and build-up area have increased from the year 2010, with an area of 9.83 square kilometers, and increased to 28.18 square kilometers or increase 1.77% in 2020. Rubber plantations increased by 28.95 square kilometers or increase 2.80%, in 2010 the area was 792.81 square kilometers, and in 2020 the area was

increased to 821.76 square kilometers. Using the CA-Markov model to predict land use and land cover by 2030, urban and built-up areas will tend to increase by 45.50 square kilometers or increase 4.40%. On the other hand, the evergreen forest area will decrease to a remaining area of 101 square kilometers or decrease 9.77%. The results of this study are therefore guidelines for land use planning in urban areas, forest areas, and agricultural areas of the study area as well.

คำสำคัญ Land use and land cover prediction, Random Forest, CA-Markov model

บทนำ

การใช้ที่ดินของมนุษย์เพื่อทำกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ตามความต้องการของมนุษย์โดยมีขอบเขตขนาดของที่ดินในการใช้ประโยชน์ต่างๆ ทำให้สภาพพื้นที่เดิมมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น การเกษตร พานิชยกรรม อุตสาหกรรม บ้านเรือนที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำ และพื้นที่ป่าไม้ เป็นต้น (บุญเกียรติ แสงวันฉน์, 2535) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงอย่างเป็นพลวัตโดยเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ การพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมเป็นปัจจัยขับเคลื่อนที่ช่วยเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของเมือง การเจริญเติบโตทางภาคอุตสาหกรรม และความต้องการอาหาร สินค้า การเกษตรที่มากขึ้น สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญและคณะ, 2556) สรุระ พัฒนเกียรติ และปรีช กองสมบัติ (2556) ได้ศึกษาการประเมินการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าและการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ระบบนิเวศภูเขาจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-5 TM และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยแบบจำลอง CA-Markov พื้นที่ป่าไม้และการใช้ที่ดิน ในระบบนิเวศภูเขาจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2543 และ พ.ศ. 2554 พบว่าพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ไตแก ปาเต้งรัง ปาพนฟู พงหญ้า ปาติบเขา พื้นที่เกษตรกรรม เมืองและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่อื่น ๆ และแหล่งน้ำ ในขณะที่พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงลดลง ไตแก ปาเบญจพรรณ พื้นที่เกษตรกรรมไม่ยืนต้น และ ปากังอัลไหล โดยการวิเคราะห์ค่าดัชนีแคปปา (kappa index) โดยผลในการจำแนกมีความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 80.55 และ ค่าดัชนีแคปปาเท่ากับ 0.90 ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญและคณะ (2556) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน บริเวณลุ่มน้ำคลองกุ่ม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-5 ระบบ TM และ Landsat-7 ระบบ ETM+ แบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินออกเป็น 7 ประเภท คือ ที่อยู่อาศัยและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พงหญ้าและไม้ละเมาะ พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำ คือ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรม และพงหญ้าและไม้ละเมาะ ตามลำดับ และจากการแปลความหมายด้วยภาพถ่ายดาวเทียม พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) เท่ากับร้อยละ 85 และค่า Kappa Index of Agreement (KIA) เท่ากับ 0.56

การจำแนกแบบป่าสุ่ม (Random Forest : RF) เป็นการรวมต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree) จำนวนหลายต้นไว้ด้วยกัน มีลักษณะคล้ายป่า และทำการลงคะแนนเพื่อเลือกค่าฐานนิยม (mode) ของผลลัพธ์จากต้นไม้ทั้งหมด ข้อได้เปรียบของ Random Forest คือ ในการทำงานไม่จำเป็นต้องทราบฟังก์ชันการแจกแจง (distribution function) ทำให้การทำงานมีความยืดหยุ่นสูง และผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกมีความถูกต้องสูงมาก Random Forest ยังสามารถกำหนดความสำคัญให้กับตัวแปรรวมถึงสามารถทำนายค่าที่เป็นข้อมูลสูญหายได้ (ทรงพร แก้ววิชิตและคณะ, 2563) Random forest เป็นเทคนิคและวิธีการสุ่มตัวแปร แล้วนำผลที่ได้มาจำแนกข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องและผลการพยากรณ์แม่นยำและลดการซ้ำซ้อนของข้อมูลทำให้สร้างตัวทำนายที่เหมาะสม (ชุตติธรรฐ์ อุตะมะสิริเสน, 2561) Srirachana และคณะ (2562) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินต่อ

การบริการระบบนิเวศการกักเก็บน้ำและตะกอนดินที่เหมาะสมในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา โดยการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในปีพ.ศ. 2553 และพ.ศ.2560 โดยใช้เทคนิควิธีแบบป่าสุ่ม (Random forest) มีค่าความถูกต้องโดยรวม 91.36 เปอร์เซ็นต์ และ 84 เปอร์เซ็นต์ มีค่า Kappa Hat 94.32 เปอร์เซ็นต์ และ 87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่เพิ่มขึ้นที่สำคัญของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ในช่วงปี 2553-2560 ได้แก่ สวนยางพารา เมืองและสิ่งปลูกสร้าง ในขณะที่พื้นที่ที่ลดลงมากที่สุดของการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน คือ ป่าดิบชื้นและพื้นที่อื่นๆ ทรงพร แก้ววิชิตและคณะ (2563) ได้ศึกษาการให้บริการทางระบบนิเวศต่อการกักเก็บตะกอนตามการเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่ป่าในพื้นที่อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา เพื่อศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดินและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่ป่าไม้ในอนาคตของ พ.ศ. 2573 จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM และภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 OLI ในปี พ.ศ. 2542 และ พ.ศ. 2558 โดยใช้วิธี Random Forest มีค่าความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 92.22 และ 94.44 และมีค่า Kappa Hat ร้อยละ 91.25 และ 93.75 ตามลำดับ

แบบจำลอง CA-Markov เป็นแบบจำลองที่นำการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และเวลา มาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงในอดีตตามแนวคิดของแบบจำลอง Markov ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่โดยรอบตามแนวคิดของแบบจำลอง CA (cellular automata: CA) (สุธี อนันสุขสมศรีและคณะ, 2560) วิเคราะห์คาดการณ์แนวโน้มรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov และสามารถใช้ในการวางแผนจัดการการใช้ประโยชน์ที่ดินในระยะยาวได้อย่างเป็นระบบ (สุวิมล ต้นศิริและคณะ, 2561) ได้มีผู้ศึกษาการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov อย่างแพร่หลาย อีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาส (2557) ได้ศึกษาการคาดการณ์การใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำตะคอง พ.ศ. 2567 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov และใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat เพื่อช่วยในการติดตามความเปลี่ยนแปลงและจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในอดีตถึงปัจจุบัน และคาดการณ์ในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov ของลุ่มน้ำลำตะคองในปี 2567 พบว่ามีการใช้ที่ดินที่อยู่อาศัยและพื้นที่ป่าไม้เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.71 และ 24.99 ตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ มีแนวโน้มลดลงร้อยละ 60.90, 2.27 และ 2.12 ตามลำดับ โดยความถูกต้องของแบบจำลอง CA-Markov เท่ากับร้อยละ 70 ตินณัฏ์ อธิกุลโตมรและคณะ (2563) ได้ศึกษาการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน โดยใช้แบบจำลอง CA-Markov เพื่อจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2A และติดตามการเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในอนาคต พบว่า การทดสอบแบบจำลองที่ใช้ในการคาดการณ์มีค่าความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 80.46 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาร้อยละ 76.72 ผลการตรวจสอบเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในปี 2563 มีพื้นที่เกษตรกรรม ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ดเพิ่มขึ้น เท่ากับ 33.93, 9.31, 9.14 และ 4.70 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ป่าไม้มีพื้นที่ลดลง เท่ากับ 57.07 ตารางกิโลเมตร การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

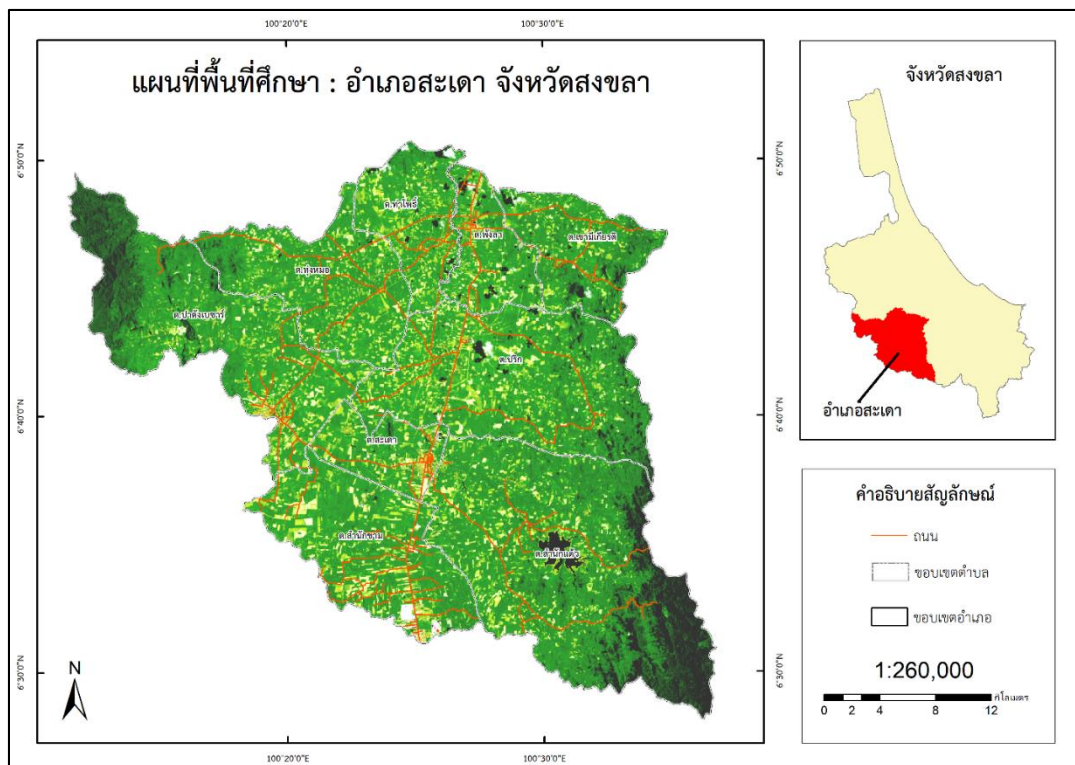
พื้นที่อำเภอสะเดา มีด้านสู่ผลการสะเดาเป็นด้านสู่การขยายแดนที่มีมูลค่าการนำเข้าส่งออกสินค้าสูงที่สุดในประเทศไทยแต่ละปีเฉลี่ยกว่า 3 แสนล้านบาท เป็นประตูเชื่อมการค้ากับประเทศเพื่อนบ้านที่สำคัญของไทย (โพสดีทุญย์, 2562) และลักษณะภูมิประเทศทางทิศเหนือเป็นที่ราบ ทางทิศใต้ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตกเป็นเทือกเขา ทำให้มีลักษณะภูมิประเทศแบบแอ่งกระทะ โดยอำเภอสะเดามีที่ราบ ร้อยละ 45 ของพื้นที่ภูเขาร้อยละ 45 ของพื้นที่ แหล่งน้ำร้อยละ 5 ของพื้นที่ และอื่นๆ ร้อยละ 5 ของพื้นที่ (ที่ว่าการอำเภอสะเดา, 2562) การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอสะเดา แบ่งออกเป็นพื้นที่ชุมชน พื้นที่ชนบท และเกษตรกรรม และพื้นที่อนุรักษ์ป่าไม้ พื้นที่ทางทิศเหนือส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ชนบทและเกษตรกรรม ทิศใต้เป็นพื้นที่ชุมชน

ทิศตะวันออกและทิศตะวันตกเป็นพื้นที่อนุรักษ์ป่าไม้ (ระบบตรวจสอบการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสงขลา, 2559) มีจำนวนประชากร ปี พ.ศ. 2553 และ 2563 จำนวน 109,861 และ 110,726 คน ตามลำดับ (กรมการปกครอง, 2553 และ 2563) ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเทคโนโลยีทางด้านภูมิสารสนเทศมาใช้ในการศึกษา คือ เทคโนโลยีสำรวจจากระยะไกล (remote sensing) เพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ใช้วิธีการจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียม ด้วยเทคนิค Random forest การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov

วิธีการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาดังภาพที่ 1 เป็นพื้นที่อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไป มีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบทางทิศเหนือ มีเทือกเขาทางด้านทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ทำให้มีลักษณะภูมิประเทศแบบแอ่งกระทะ มีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 1,033.97 ตารางกิโลเมตร หรือ 646,233 ไร่ โดยครอบคลุม เป็น 9 ตำบล 64 หมู่บ้าน (ที่ว่าการอำเภอสะเดา, 2562)



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 OLI

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย เครื่องมือระบุพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS) โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล ภูมิสารสนเทศ ArcGIS 10.7.1 โปรแกรมวิเคราะห์ การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน TerrSet โปรแกรม ERDAS IMAGINE 9.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ และสมาร์ทโฟน

3. เตรียมข้อมูล

ดาวนโหลดภาพถ่ายดาวเทียมและนำข้อมูลและภาพถ่ายดาวเทียมจากเว็บไซต์ที่น่าเชื่อถือ คือ <https://earthexplorer.usgs.gov/> ของสำนักงานสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (The United States Geological Survey : USGS) การศึกษาในครั้งนี้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ระดับ 1 (7 พฤษภาคม 2553, Path: 128 Row: 55) และภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 OLI ระดับ 1 (31 มีนาคม 2563, Path: 128 Row: 55) และข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (digital elevation model: DEM) ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร การสำรวจภาคสนามเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลตามสภาพความเป็นจริง หลังจากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมและทำการสำรวจภาคสนามเพื่อดูความถูกต้อง ณ วันที่สำรวจภาคสนาม

4. การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วยเทคนิค Random forest

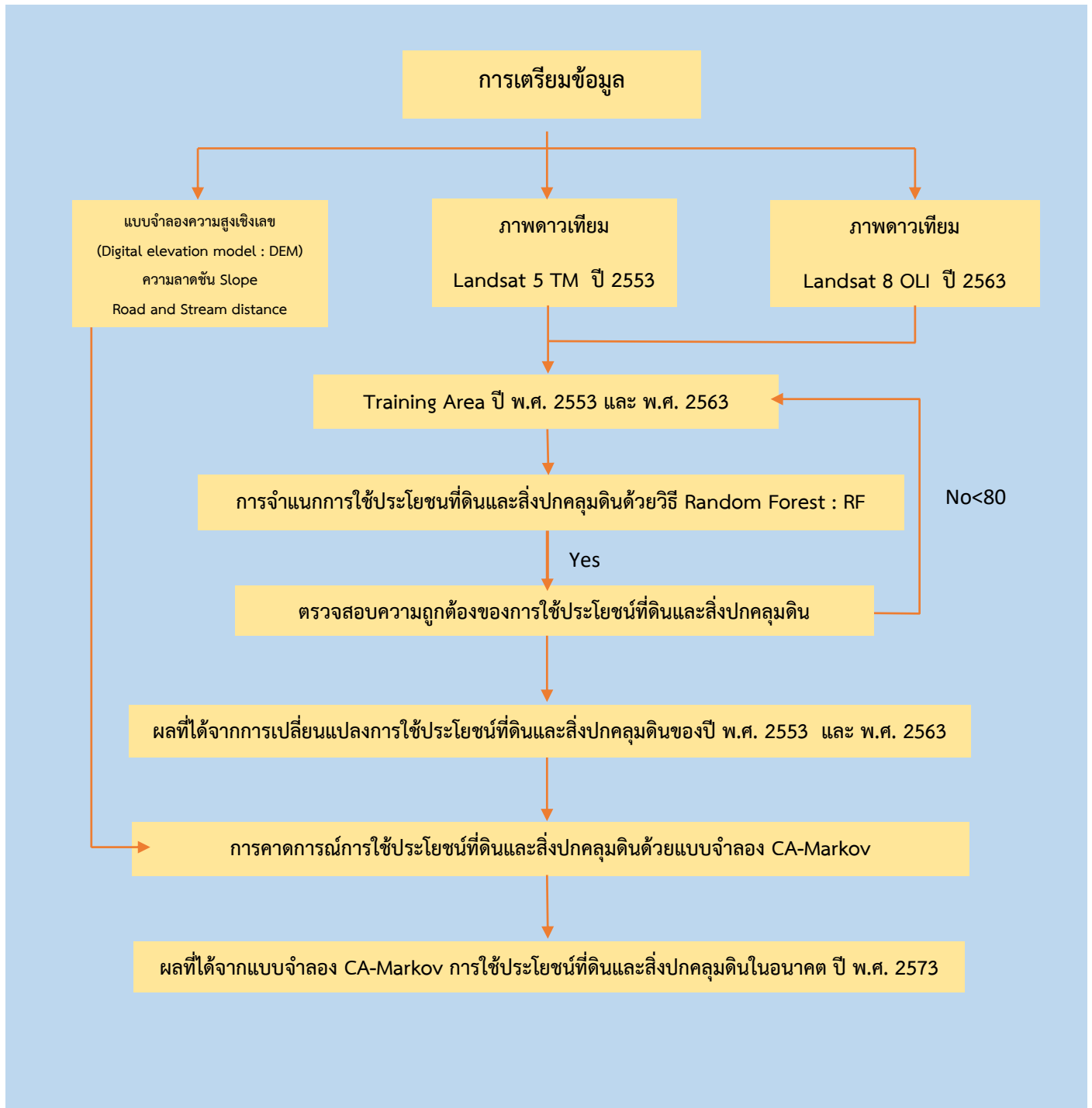
การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วยเทคนิค Random forest คือ การนำภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ปี พ.ศ. 2553 และภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 OLI ปี พ.ศ. 2563 โดยการสร้างพื้นที่ฝึกหัด (Training area) เพื่อจำแนกประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน 7 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ป่า (Evergreen forest: EF) สวนปาล์ม (Oil palm plantation: OP) สวนยางพารา (Rubber plantation: RP) พื้นที่นาข้าว (Paddy field: PD) เมืองและสิ่งปลูกสร้าง (Urban and build up: UR) แหล่งน้ำ (Water body: WB) และพื้นที่อื่น ๆ (Miscellaneous area: ML) และทำการตรวจสอบความถูกต้องค่า overall accuracy และ Kappa Hat จะต้องมีความสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ถึงจะยอมรับผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในครั้งนี้ ตรงกับงานของ Srichaichana และคณะ (2562) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินต่อการบริการระบบนิเวศการกักเก็บน้ำและตะกอนดินที่เหมาะสมในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา โดยการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในปีพ.ศ. 2553 และ พ.ศ.2560 โดยใช้เทคนิควิธีแบบป่าสุ่ม (Random forest) มีความถูกต้องโดยรวม 91.36 เปอร์เซ็นต์ และ 84 เปอร์เซ็นต์ มีค่า Kappa Hat 94.32 เปอร์เซ็นต์ และ 87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5. การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินของปี พ.ศ. 2553 และพ.ศ.2563 เพื่อนำมาคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินใน ปี พ.ศ. 2573 จะใช้ค่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Transition area) และความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินของแต่ละประเภท (Transition probability) ที่ได้มาจากแบบจำลอง Markov และนำค่าดังกล่าวไปวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ในโปรแกรม TerrSet เพื่อการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ของปี พ.ศ. 2573 และทำการวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค Crosstab เพื่อหาสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง และนำมาเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบและแก้ไขความถูกต้อง

6. การดำเนินการศึกษา

ขั้นตอนศึกษาเริ่มต้นจากจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ของพื้นที่อำเภอสะเตา จังหวัดสงขลา ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ปี พ.ศ.2553 และปี พ.ศ.2563 ด้วยวิธีการ Random Forest ตรวจสอบค่าความถูกต้องการแปลในสนาม และ Google Earth ยอมรับค่า Kappa Hat ที่มากกว่า 0.80 จากนั้น คำนวณหาค่า ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (LULC) แต่ละประเภท (Transition probability) ด้วย Markov chain คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมในอนาคตด้วย CA-Markov สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ผลการศึกษา

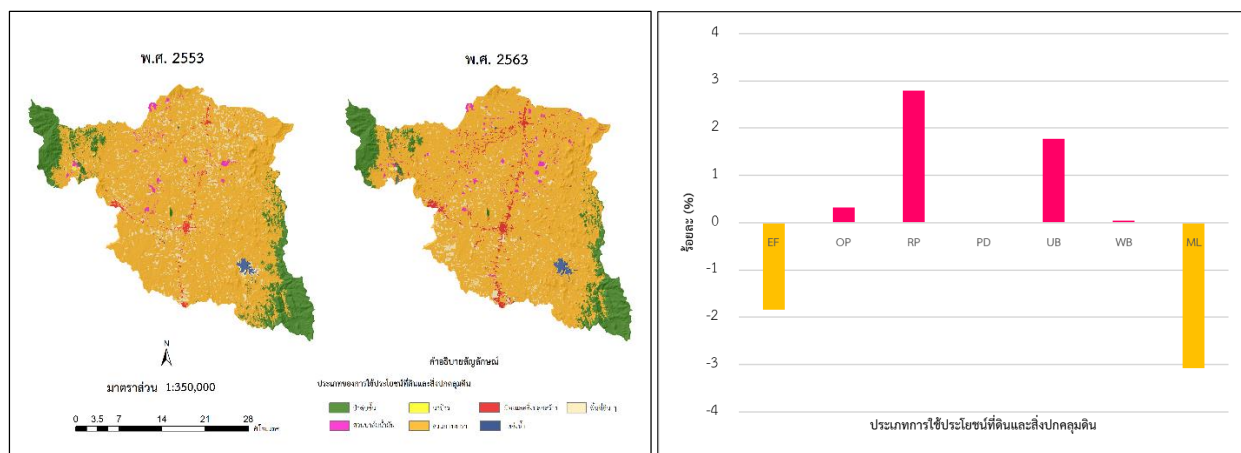
1. การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากอดีตและปัจจุบัน

การจำแนกข้อมูลภาพจากดาวเทียม Landsat ด้วยเทคนิค Random Forest พบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในปี พ.ศ.2553 มีความถูกต้องโดยรวม (overall accuracy) เท่ากับร้อยละ 94.29 ค่า Kappa hat coefficient เท่ากับร้อยละ 93.33 ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (user's accuracy) เท่ากับร้อยละ 94.29 และค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (producer's accuracy) เท่ากับร้อยละ 95.13 และในปี พ.ศ.2563 มีความถูกต้องโดยรวม (overall accuracy) เท่ากับร้อยละ 92.86 ค่า Kappa hat coefficient เท่ากับร้อยละ 91.67 ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (user's accuracy) เท่ากับร้อยละ 92.86 และค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (producer's accuracy) เท่ากับร้อยละ 95.24

ผลจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553 และ พ.ศ. 2563 ด้วยการวิเคราะห์ด้วย Transition Matrix Changed ในตารางที่ 1 พบว่า พื้นที่สวนยางพารามีพื้นที่มากที่สุด โดยในปี พ.ศ. 2553 เท่ากับ 792.81 ตารางกิโลเมตร และมีพื้นที่เพิ่มเป็น 821.76 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2563 โดยเพิ่มขึ้นจากพื้นที่ป่าดิบชื้น 18.66 ตารางกิโลเมตร สวนปาล์ม 4.61 ตารางกิโลเมตร นาข้าว 0.06 ตารางกิโลเมตร แหล่งน้ำ 0.48 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่อื่นๆ 73.53 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่อื่น ๆ ลดลงมากที่สุดจาก 80.53 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2553 เป็น 48.68 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2563 มีการเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่สวนปาล์ม 0.32 ตารางกิโลเมตร สวนยางพารา 73.53 ตารางกิโลเมตร นาข้าว 0.04 ตารางกิโลเมตร เมืองและสิ่งปลูกสร้าง 4.05 ตารางกิโลเมตร และแหล่งน้ำ 0.38 ตารางกิโลเมตร (ตารางที่ 1 และภาพที่ 3)

ตารางที่ 1 การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินระหว่างปี พ.ศ. 2553 และพ.ศ. 2563

การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ.2553 (ตารางกิโลเมตร)	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ.2563 (ตารางกิโลเมตร)								ร้อยละ
		ป่าดิบชื้น	สวนปาล์ม	สวนยางพารา	นาข้าว	เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	แหล่งน้ำ	พื้นที่อื่น ๆ	รวม	
	ป่าดิบชื้น	117.42	0.31	18.66	-	0.04	0.03	0.06	136.53	
	สวนปาล์ม	-	4.00	4.61	-	0.15	0.00	0.42	9.18	
	สวนยางพารา	-	7.83	724.41	-	14.03	0.57	45.97	792.81	
	นาข้าว	-	0.01	0.06	0.31	0.01	-	0.01	0.40	
	เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	9.83	-	-	9.83	
	แหล่งน้ำ	-	-	0.48	0.01	0.07	4.13	0.01	4.69	
	พื้นที่อื่น ๆ	-	0.32	73.53	0.04	4.05	0.38	2.21	80.53	
	รวม	117.42	12.47	821.76	0.36	28.18	5.11	48.68	1,033.97	
	ร้อยละ	11.36	1.21	79.48	0.03	2.73	0.49	4.71		100.00



ภาพที่ 3 การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในปี พ.ศ. 2553 และปี พ.ศ. 2563

2. การคาดการณ์การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov

ผลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากอดีต ในปี พ.ศ. 2553 และปีปัจจุบันในปี พ.ศ. 2563 ต่อแนวโน้มในอนาคตปี พ.ศ. 2573 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ในปี พ.ศ. 2573 พบว่า พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 2) พบว่าในปี พ.ศ. 2553 2563 และ 2573 มีพื้นที่เพิ่มขึ้นตามลำดับคือ 9.83 28.18 และ 45.50 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 0.95 2.73 และ 4.40 ตามลำดับ และพื้นที่ที่มีแนวโน้มลดลงคือ พื้นที่ป่าดิบชื้น มีพื้นที่ 136.53 117.42 และ 101 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 13.20 11.36 และ 9.77 ตามลำดับ และประเด็นที่น่าสนใจ คือ พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจาก ร้อยละ 0.95 ในปี พ.ศ. 2553 เพิ่มเป็นร้อยละ 4.40 ในปี พ.ศ. 2573 คิดอัตราการเพิ่มขึ้น 4.63 เท่าของพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างและสิ่งปลูกสร้างเดิมในปี พ.ศ. 2553 ในระยะเวลา 20 ปี และในทางกลับกันพื้นที่ป่าไม้ดิบชื้นมีการลดลงมากที่สุด คือ ลดลงจาก ร้อยละ 13.20 ในปี พ.ศ. 2553 เหลือร้อยละ 9.77 ในปี พ.ศ. 2573

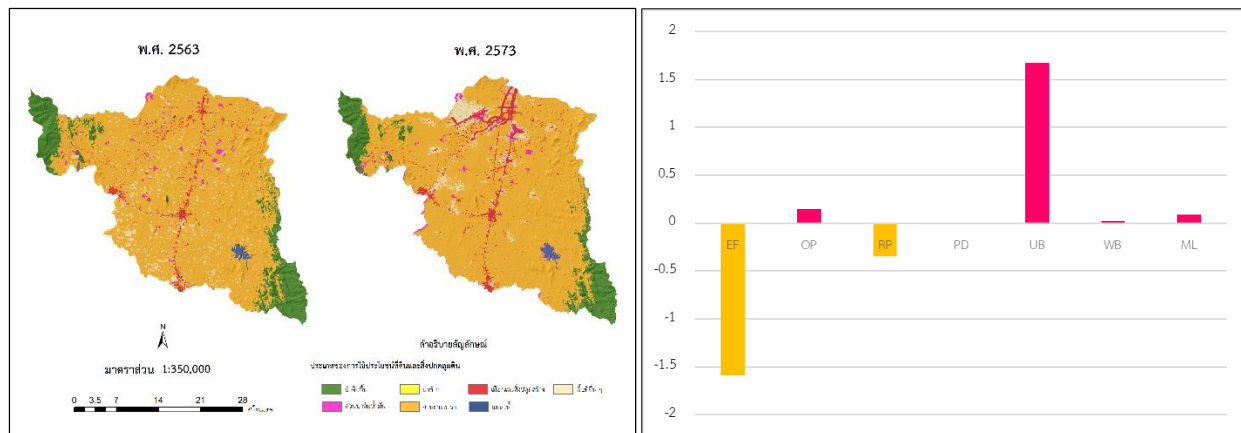
ตารางที่ 2 ผลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน พ.ศ. 2573 จากอดีต ปัจจุบันและอนาคต

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	2553		2563		2573	
	พื้นที่	ร้อยละ	พื้นที่	ร้อยละ	พื้นที่	ร้อยละ
ป่าดิบชื้น	136.53	13.20	117.42	11.36	101.00	9.77
สวนป่า	9.18	0.89	12.47	1.21	14.04	1.36
สวนยางพารา	792.81	76.68	821.76	79.48	818.18	79.13
นาข้าว	0.40	0.04	0.36	0.03	0.31	0.03
เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	9.83	0.95	28.18	2.73	45.50	4.40
แหล่งน้ำ	4.69	0.45	5.11	0.49	5.32	0.51
พื้นที่อื่น ๆ	80.53	7.79	48.68	4.71	49.64	4.80
รวม	1033.97	100.00	1033.97	100.00	1033.97	100.00

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์และสิ่งปกคลุมดินในปี พ.ศ.2573 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov พบว่า พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นมากที่สุดจาก 28.18 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ.2563 เป็น 45.50 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ.2573 หรือคิดเป็นร้อยละ 1.67 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยเพิ่มขึ้นจากพื้นที่ป่าดิบชื้น 0.04 ตารางกิโลเมตร สวนปาล์ม 0.21 ตารางกิโลเมตร สวนยางพารา 14.55 ตารางกิโลเมตร นาข้าว 0.01 ตารางกิโลเมตร แหล่งน้ำ 0.08 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่อื่นๆ 2.44 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ป่าดิบชื้นลดลงมากที่สุดจาก 117.42 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ.2563 เป็น 101 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ.2573 หรือคิดเป็นร้อยละ 1.58 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยพื้นที่ที่ลดลงถูกเปลี่ยนไปเป็นสวนปาล์ม 0.27 ตารางกิโลเมตร สวนยางพารา 16.05 ตารางกิโลเมตร เมืองและสิ่งปลูกสร้าง 0.04 ตารางกิโลเมตร แหล่งน้ำ 0.02 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่อื่นๆ 0.05 ตารางกิโลเมตร (ตารางที่ 3 และภาพที่ 2)

ตารางที่ 3 การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินระหว่างปี พ.ศ. 2563 และพ.ศ. 2573

การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ.2563 (ตารางกิโลเมตร)	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ.2573 (ตารางกิโลเมตร)								
		ป่าดิบชื้น	สวนปาล์ม	สวนยางพารา	นาข้าว	เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	แหล่งน้ำ	พื้นที่อื่น ๆ	รวม	ร้อยละ
	ป่าดิบชื้น	101.00	0.27	16.05	-	0.04	0.02	0.05	117.42	11.36
	สวนปาล์ม	-	5.43	6.26	-	0.21	-	0.57	12.47	1.21
	สวนยางพารา	-	8.14	750.84	-	14.55	0.58	47.66	821.76	79.48
	นาข้าว	-	0.01	0.05	0.28	0.01	-	0.01	0.36	0.03
	เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	-	-	-	-	28.18	-	-	28.18	2.73
	แหล่งน้ำ	-	-	0.53	0.01	0.08	4.49	0.01	5.11	0.49
	พื้นที่อื่น ๆ	-	0.20	44.45	0.02	2.44	0.23	1.34	48.68	4.71
	รวม	101.00	14.04	818.18	0.31	45.50	5.32	49.64	1,033.97	
	9.77	1.36	79.13	0.03	4.40	0.51	4.80		100.00	



ภาพที่ 4 การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในปี พ.ศ. 2563 และปี พ.ศ. 2573

สรุปผลและอภิปรายผล

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของอำเภอเสเดา จังหวัดสงขลา ผลจากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วยเทคนิค Random Forest จะให้ค่า kappa hat ในเกณฑ์สูง และการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในอนาคตปี พ.ศ. 2573 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ผลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน จากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 5 TM และ ภาพดาวเทียม LANDSAT 8 OLI โดยแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ ป่าดิบชื้น สวนปาล์ม สวนยางพารา นาข้าว เมืองและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ พบว่าพื้นที่สวนยางพาราเพิ่มขึ้น จาก 792.81 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2553 และ เป็น 821.76 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2563 มีพื้นที่สวนยางพาราเพิ่มขึ้นจากพื้นที่ป่าดิบชื้น สวนปาล์ม นาข้าว แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ ซึ่งพื้นที่สวนยางพาราเพิ่มขึ้นจากปัจจัยสำคัญที่ผลักดันให้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์มีการกำหนดนโยบายขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพาราในประเทศ ก่อนปรับราคายางพาราสูงใจให้เกษตรกรผู้ปลูกยางพารามีการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพารามากขึ้น ในขณะเดียวกันเกษตรกรที่ปลูกพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นได้มีการปรับเปลี่ยนพื้นที่มาปลูกยางพาราเป็นจำนวนมาก (รสวันต์ อินทศิริสวัสดิ์, 2561) ในทางกลับกันพื้นที่อื่น ๆ ลดลงมากที่สุด จาก 80.53 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2553 เป็น 48.68 ตารางกิโลเมตร โดยพื้นที่อื่น ๆ ถูกเปลี่ยนไปเป็นสวนยางพารามากที่สุดถึง 73.53 ตารางกิโลเมตร แรงจูงใจในด้านราคาของยางแผ่นดิบในตลาดภายในประเทศสูงขึ้นเป็นผลให้เกิดการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพาราและปรับเปลี่ยนพื้นที่มาปลูกยางพารา

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินปี พ.ศ. 2573 จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินระหว่างปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ.2563 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov โดยพบว่ามีแนวโน้มพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างขยายตัวและเพิ่มขึ้นอย่างมาก จาก ร้อยละ 0.95 ในปี พ.ศ. 2553 เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.40 ในปี พ.ศ. 2573 คิดเป็นอัตราส่วนเพิ่มขึ้น 4.63 เท่าจากปี พ.ศ. 2553 หรือขยายตัวเพิ่มขึ้นมากกว่า 400 เฮกตาร์ จากพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างเดิมในปี พ.ศ.2553 ในระยะเวลา 20 ปี โดยรัฐบาลจัดตั้งให้จังหวัดสงขลาให้เป็น “เขตเศรษฐกิจพิเศษ” และอำเภอเสเดาถูกกำหนดเป็นที่ตั้งของ “นิคมอุตสาหกรรมสงขลา” เนื่องจากอำเภอเสเดาเป็นพื้นที่ติดต่อกับประเทศมาเลเซียมีด่านศุลกากรชายแดนที่สำคัญอย่างด่านสะเดาและด่านปาดังเบซาร์ ซึ่งถือเป็นช่องทางหลักในการเชื่อมโยงกับประเทศมาเลเซียสู่ประเทศสิงคโปร์ (สร้งพงศ์ สิทธิชัย, 2558)

จากผลการศึกษาข้างต้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในช่วงเวลา 20 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2573 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินคือ พื้นที่ป่าไม้ นาข้าว และพื้นที่อื่นๆ มีแนวโน้มลดลง อย่างชัดเจน ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เป็นพื้นที่สวนยางและพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง ปัจจัยที่ส่งผลให้แนวโน้มของพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด คือ อำเภอเสเดา มีด่านศุลกากรชายแดนที่มีมูลค่าการนำเข้าส่งออกสินค้าสูงที่สุดในประเทศไทยแต่ละปีเฉลี่ยกว่า 3 แสนล้านบาท เป็นประตูเชื่อมการค้ากับประเทศเพื่อนบ้านที่สำคัญของไทย (โพสท์ทูเดย์, 2562) ส่งผลให้มีพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกมีอัตราการขยายตัวที่สูง

ข้อเสนอแนะ

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในบริเวณพื้นที่อำเภอเสเดา จังหวัดสงขลา มีข้อจำกัดในการแปลภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละปี ที่เกิดจากการบันทึกข้อมูลต่างช่วงเวลา ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องภาคพื้นดินในอดีตได้จึงต้อง

ตรวจสอบผ่าน Google Earth จากการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อใช้การจัดการวางแผนการใช้ที่ดิน และการจัดการผังเมืองของพื้นที่เมืองของอำเภอเสเดาในอนาคตได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

กรมการปกครอง. (2553). ระบบสถิติทางการทะเบียน จำนวนประชากรรายอำเภอปี พ.ศ.2553.

สืบค้นเมื่อ วันที่ 2 สิงหาคม 2564 จาก <https://stat.bora.dopa.go.th>

กรมการปกครอง. (2563). ระบบสถิติทางการทะเบียน จำนวนประชากรรายอำเภอปี พ.ศ.2563.

สืบค้นเมื่อ วันที่ 2 สิงหาคม 2564 จาก <https://stat.bora.dopa.go.th>

ชุดิธารัฐ อุดมะสิริเสน. (2561). การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อประยุกต์และวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบเทคนิคเหมืองข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับทำนายผลการสอบวัดระดับความเชี่ยวชาญทางด้านไมโครซอฟต์ออฟฟิศของนักศึกษาระดับปริญญาตรี. สหาคมนสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย. ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2561

ทรงพร แก้ววิชิต, ศุภรัตน์ พิณสุวรรณ และจำริญ ศรีชัยชนะ. (2564). การให้บริการทางนิเวศต่อการกักเก็บตะกอนตามการเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่ป่า ในพื้นที่อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย ครั้งที่ 10. วันที่ 4-5 กุมภาพันธ์ 2564: 307-317

ที่ว่าอำเภอเสเดา. (2562). ประวัติความเป็นมาอำเภอเสเดา. สืบค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2564.

จาก <http://www.sadao-sk.go.th/index.php>

ดิณณ ธิกรกุลโตมร, วิลาวัณย์ ประสมทรัพย์ และอริวัฒน์ นิญโญยาง. (2563). การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน โดยใช้แบบจำลอง CA-MARKOV

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 25. วันที่ 15-17 กรกฎาคม 2563: 1-6

ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ และคณะ. (2556). การเปลี่ยนแปลงและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยประยุกต์ใช้ระบบภูมิสารสนเทศ บริเวณลุ่มน้ำคลองกุย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.

การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2556. กรุงเทพฯ.

ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาศ. (2557). คาดการณ์การใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำตะคอง พ.ศ. 2567 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov

วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 17(มกราคม-ธันวาคม 2557), 94-113.

บุญเกียรติ แสงวันณ. (2535). การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนใช้ที่ดิน.

การประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ. ILWIS. น. 25-27.

ระบบตรวจสอบการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสงขลา. (2559) การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอเสเดา

สืบค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2564 <https://www.solah-gis.com/sk-land-use/>

รสนันท์ อินทศิริสวัสดิ และคณะ. (2561). นิเวศบริการและความหลากหลายทางชีวภาพที่กลับคืนมาในแปลง

วนเกษตรยางพารา. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว).

สุธี อนันต์สุขสมศรี. และคณะ. (2560). การประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบซับซ้อน (Complex System) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในภาคตะวันออกของประเทศไทย. วารสารวิชาการ การวางแผนภาคและเมือง ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 (มกราคม-ธันวาคม 2560) : 61-73

โพสต์ทูเดย์. (2562). ด่านเสเดาแห่งที่ 2 คืบแล้ว 95% หนุนเป็นประตูเชื่อมการค้าเพื่อนบ้าน. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2564.

จาก <https://www.posttoday.com/economy/news/599374>

สุระ พัฒนเกียรติ และปรีช กองสมบัติ (2556). การประเมินการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าและการใช้ประโยชน์ที่ดิน
ในพื้นที่ระบบนิเวศภูเขาจังหวัดเชียงใหม่. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการเครือข่าย
งานวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย ครั้งที่ 2 วันที่ 24-26 มกราคม พ.ศ. 2556 หน้า 104-113

สุวิมล ต้นศิริ. วันชัย อรุณประภารัตน์ และวีระภาส คุณรัตนศิริ. (2561). การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลง
การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว
จังหวัดจันทบุรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพมหานคร

Srichaichana, J.; Trisurat, Y.; Ongsomwang, S. (2019). Land Use and Land Cover Scenarios for Optimum Water
Yield and Sediment Retention Ecosystem Services in Klong U-Tapao Watershed, Songkhla, Thailand.
Sustainability 11, 2895.