

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 จึงส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินอย่างมากดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจำแนกข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน 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 และมีสวนยางพาราเพิ่มขึ้น 28.95 ตารางกิโลเมตร 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 ตารางกิโลเมตร ในทางกลับกันพื้นที่ป่าไม้มีแนวโน้มลดลง เหลือพื้นที่เท่ากับ 9.77 ตารางกิโลเมตร ผลจากการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นแนวทางการจัดการวางแผนการใช้ที่ดิน และการจัดการผังเมืองของพื้นที่เมือง พื้นที่ป่าไม้ 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. The objective of this study ~~was to study the classification of~~ ^{เดิม S are 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 built-up area have increased from the year 2010, with an area of 9.83 square kilometers, and increased to 28.18 square kilometers in 2020. Rubber plantations increased by 28.95 square kilometers, 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. On the other hand, the evergreen forest area will decrease to a remaining area of 9.77 square kilometers. 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

ควรเขียนเรื่องการเพิ่มขึ้นให้เป็น pattern เดียวกัน และควรใช้ร้อยละร่วมด้วย เพื่อให้เปรียบเทียบกันได้ เหตุใดจึงเขียนถึง 2 ประเภทนี้ ? มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด หรือมีขนาดพื้นที่มากที่สุด ?

ใช้วิธีนี้แล้วแบ่งได้ 7 ประเภท หรือ แบ่งข้อมูลเป็น 7 ประเภทด้วยวิธีนี้ ?

บทนำ

การใช้ที่ดินของมนุษย์เพื่อทำกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ตามความต้องการของมนุษย์โดยมีขอบเขตขนาดของที่ดินในการใช้ประโยชน์ต่างๆ ทำให้สภาพพื้นที่เดิมมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น การเกษตร พานิชกรรม อุตสาหกรรม บ้านเรือนที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำ และพื้นที่ป่าไม้ เป็นต้น (บุญเกียรติ แสงวันณ์, 2535) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงอย่างเป็นพลวัตโดยเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ การพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมเป็นปัจจัยขับเคลื่อนที่ช่วยเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของเมือง การเจริญเติบโตทางภาคอุตสาหกรรม และความต้องการอาหาร สินค้า การเกษตรที่มากขึ้น สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญและคณะ, 2556) สุระ พัฒนเกียรติ และปรีช กองสมบัติ (2556) ได้ศึกษาการประเมินการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าและการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ระบบนิเวศภูเขาจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-5 TM และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยแบบจำลอง CA-Markov พื้นที่ป่าไม้และการใช้ที่ดิน ในระบบนิเวศภูเขาจังหวัดเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2543 และพ.ศ. 2554 พบว่าพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ได้แก่ ป่าเต็งรัง ป่าพญานาค พญา ป่าดิบเขา พื้นที่เกษตรกรรม เมืองและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่อื่น ๆ และแหล่งน้ำ ในขณะที่พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงลดลง ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ พื้นที่เกษตรกรรมไม่ยืนต้น และป่ากึ่งอัลไพด โดยการวิเคราะห์ค่าดัชนีแคปปา (kappa index) โดยผลในการจำแนกมีความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 80.55 และค่าดัชนีแคปปาเท่ากับ 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 พืชหญ้าและไม้ละเมาะ พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำ คือ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรม และพืชหญ้าและไม้ละเมาะ ตามลำดับ และจากการแปลความหมายด้วยภาพถ่ายดาวเทียมพบว่า 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 (ชุดิธารัฐ อุตมะสิริเสน, 2561) Srirachana และคณะ (2562) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินต่อการบริการระบบนิเวศการกักเก็บน้ำและตะกอนดินที่เหมาะสมในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา โดยการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat โดยใช้เทคนิควิธีแบบป่าสุ่ม (Random forest) ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่เพิ่มขึ้นที่สำคัญของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ในช่วงปี 2553-2560 ได้แก่ สวนยางพารา เมืองและสิ่งปลูกสร้าง ในขณะที่พื้นที่ที่ลดลงมากที่สุดของการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน คือ ป่าดิบชื้นและพื้นที่อื่นๆ ใช้วิธีนี้ แล้วได้ค่าความถูกต้องเท่าใด ในแต่ละงานวิจัยที่อ้างถึง

แบบจำลอง CA-Markov เป็นแบบจำลองที่นำการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และเวลา มาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงในอดีตตามแนวคิดของแบบจำลอง Markov ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่โดยรอบตามแนวคิดของแบบจำลอง CA (cellular automata: CA) (สุธี อนันสุขสมศรีและคณะ, 2560) วิเคราะห์คาดการณ์แนวโน้มรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov และสามารถใช้ในการวางแผนจัดการการใช้ประโยชน์ที่ดินในระยะยาวได้อย่างเป็นระบบ (สุวิมล ตันศิริและคณะ, 2561) ได้มีผู้ศึกษาการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov อย่างแพร่หลาย ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาศ (2557) ได้ศึกษาการคาดการณ์การใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำตะคอง พ.ศ. 2567 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov และใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat

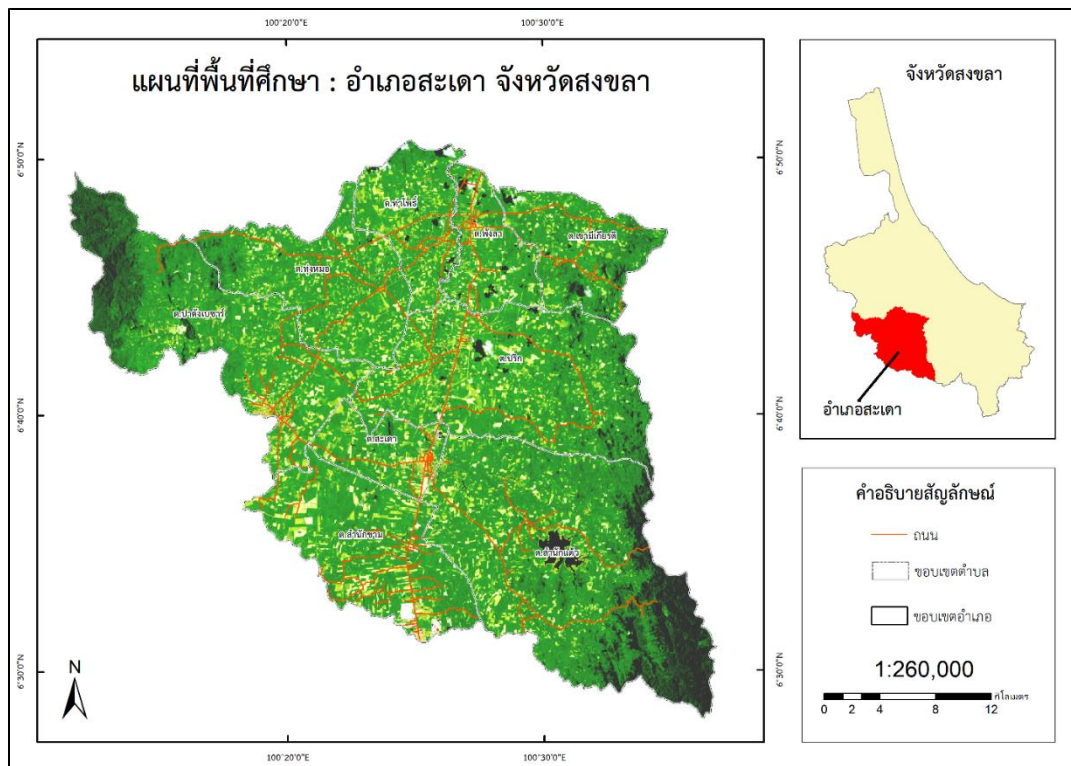
เพื่อช่วยในการติดตามความเปลี่ยนแปลงและจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในอดีตถึงปัจจุบัน และคาดการณ์ในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov ของกลุ่มน้ำลำตะคองในปี 2567 พบว่ามีพื้นที่ดินที่อยู่อาศัยและพื้นที่ป่าไม้เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.71 และ 24.99 ตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ มีแนวโน้มลดลงร้อยละ 60.90, 2.27 และ 2.12 ตามลำดับ โดยความถูกต้องของแบบจำลอง CA-Markov เท่ากับร้อยละ 70 ดิณห์ ธิกรกุลโตมรและคณะ (2563) ได้ศึกษาการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน โดยใช้แบบจำลอง CA-Markov เพื่อจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2A และติดตามการเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในอนาคต พบว่า การทดสอบแบบจำลองที่ใช้ในการคาดการณ์มีความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 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 มีด้านสู่การสะเดาเป็นด้านสู่การชายแดนที่มีมูลค่าการนำเข้าส่งออกสินค้าสูงที่สุดในประเทศไทยแต่ละปีเฉลี่ยกว่า 3 แสนล้านบาท เป็นประตูเชื่อมการค้ากับประเทศเพื่อนบ้านที่สำคัญของไทย (โพสดีทูเดย์, 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 ใช้วิธีการจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียมด้วยเทคนิค 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 คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน TerrSet โปรแกรม ERDAS IMAGINE 9.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ และสมาร์ทโฟน

3. เตรียมข้อมูล

ดาวนโพลสดภาพถ่ายดาวเทียมและนำข้อมูลและภาพดาวเทียมจากเว็บไซต์ที่น่าเชื่อถือ คือ <https://earthexplorer.usgs.gov/> ของสำนักงานสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (The United States Geological Survey : USGS) การศึกษาในครั้งนี้ใช้ภาพดาวเทียม 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 หลังจากการแปลภาพดาวเทียมและทำการสำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ณ วันที่สำรวจภาคสนาม

4. การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วยเทคนิค Random forest

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วยเทคนิค Random forest คือ การนำภาพถ่ายเทียม 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

ประเด็นสำคัญของงานวิจัยนี้คือ ต้องอธิบายว่า การใช้ข้อมูล 2 เวลา เพียงพอต่อการทำแบบจำลองหรือไม่ เนื่องจาก มี **transition** เพียงช่วงเดียว ไม่เห็น **trend** ที่เกิดขึ้นในอนาคต

(Urban and build up: UR) แหล่งน้ำ (Water body: WB) และพื้นที่อื่น ๆ (Miscellaneous area: ML) และทำการตรวจสอบความถูกต้องค่า overall accuracy และ Kappa Hat จะต้องมามีค่าสูงกว่า 80 เปอร์เซนต์ ถึงจะยอมรับผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในครั้งนี้

สามารถอ้างอิงจากงานอื่นหรือไม่ ที่ระบุว่า สูงกว่า 80% ถือว่ายอมรับได้ หรือมีเหตุผลอื่นใดประกอบการใช้เกณฑ์นี้

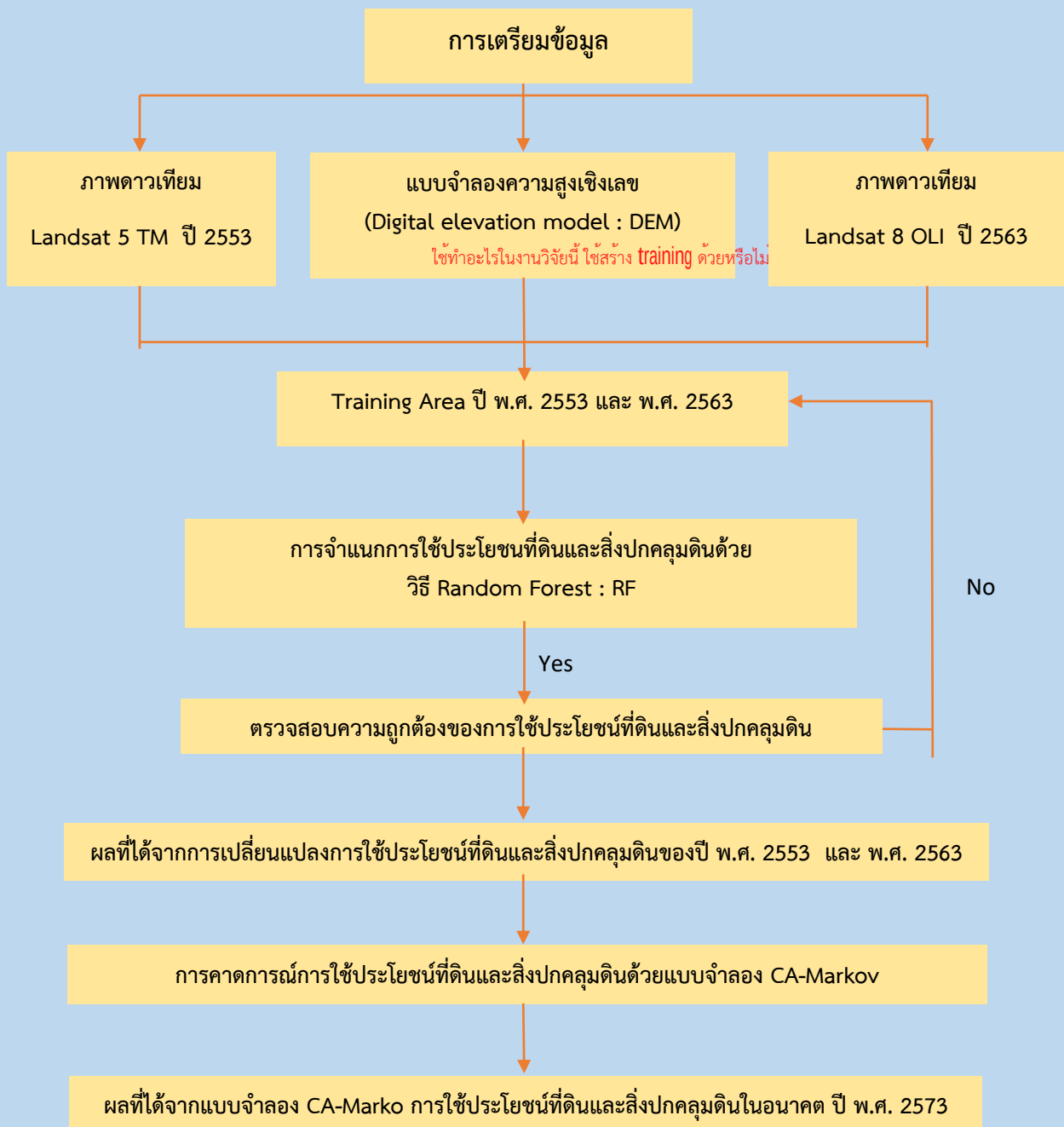
5. การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov

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

6. การดำเนินการศึกษา

ขั้นตอนศึกษาเริ่มต้นจากจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ของพื้นที่อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ปี พ.ศ.2553 และปี พ.ศ.2563 ด้วยวิธีการ Random Forest ตรวจสอบค่าความถูกต้องการแปลในสนาม และ Google Earth ยอมรับค่า Kappa Hat ที่มากกว่า 0.75 จากนั้น คำนวณหาค่า ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง LULC แต่ละประเภท (Transition probability) ด้วย Makrov chain คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมในอนาคตด้วย CA-Markov สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา

ยังไม่มีการใช้คำนี้ก่อนหน้านี้ ควรใช้ภาษาไทย แล้ววงเล็บภาษาอังกฤษนี้หรือไม่



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดในการศึกษา (conceptual framework)

ภาพนี้จะเรียกว่า ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย หรือไม่

ผลการศึกษา

1. การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากอดีตและปัจจุบัน

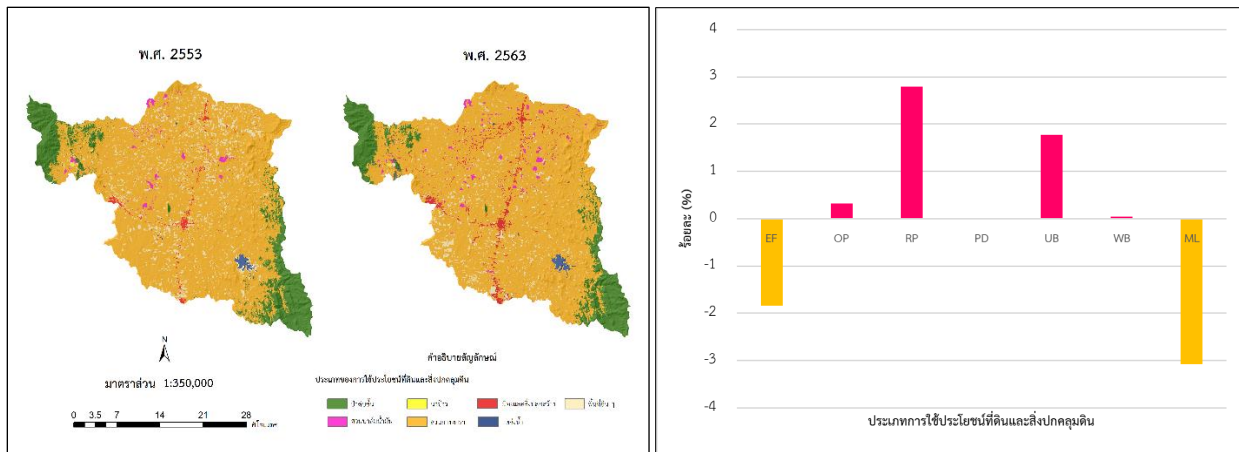
ควรใช้คำว่า ร้อยละ แทน เปอร์เซ็นต์

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

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 และปัจจุบันในปี 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 และประเด็นที่น่าสนใจคือพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจาก ร้อยละ 0.95 ในปี พ.ศ. 2553 เพิ่มเป็นร้อยละ 4.40 ในปี พ.ศ. 2573 คิดอัตราการเพิ่มขึ้น 4.63 เท่าของพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกและสิ่งปลูกสร้างเดิมในปี 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

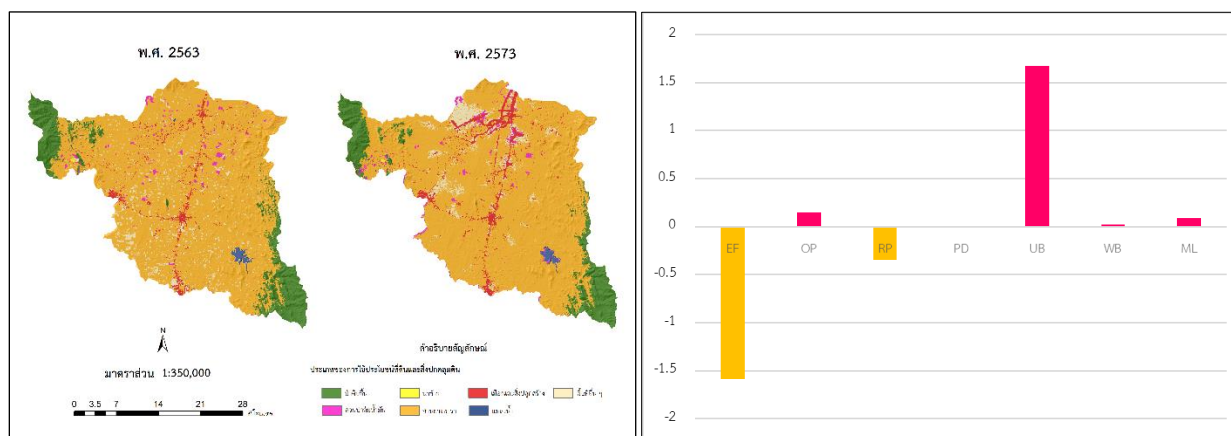
ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	2553		2563		2573	
	พื้นที่	ร้อยละ	พื้นที่	ร้อยละ	พื้นที่	ร้อยละ
ป่าดิบชื้น	136.53	13.20	117.42	11.36	101.00	9.77
สวนป่า	9.18	0.89	12.47	1.21	14.04	1.36
สวนยางพารา	792.81	76.68	821.76	79.48	818.18	79.13
นาข้าว	0.40	0.04	0.36	0.03	0.31	0.03
เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	9.83	0.95	28.18	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 สวนป่า 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 โดยพื้นที่ที่ลดลงถูกเปลี่ยนไปเป็นสวนป่า 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)							รวม	ร้อยละ
		ป่าดิบชื้น	สวนปาล์ม	สวนยางพารา	นาข้าว	เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	แหล่งน้ำ	พื้นที่อื่น ๆ		
	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 เพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของอำเภอสะเตา จังหวัดสงขลา ผลจากการการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วยเทคนิค Random Forest จะให้ค่า kappa hat ในเกณฑ์สูง และการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในอนาคตปี พ.ศ. 2573 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ผลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน จากข้อมูลดาวเทียมLANDSAT 5 TM และ ภาพดาวเทียม LANDSAT 8 OLI โดยแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ ป่าดิบชื้น สวนปาล์ม สวนยางพารา นาข้าว เมืองและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ พบว่า พื้นที่สวนยางพาราเพิ่มขึ้น จาก 792.81 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2553 และ เป็น 821.76 ตารางกิโลเมตร ในปีพ.ศ. 2563 มีพื้นที่สวนยางพาราเพิ่มขึ้นจากพื้นที่ป่าดิบชื้น สวนปาล์ม นาข้าว แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ ซึ่งพื้นที่สวนยางพาราเพิ่มขึ้นจากปัจจัยสำคัญที่ผลักดันให้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์มีการกำหนดนโยบายขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพาราในประเทศ ก่อนปรับราคายางพาราสูงใจให้เกษตรกรผู้ปลูกยางพารามีการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพารามากขึ้น ในขณะเดียวกันเกษตรกรที่ปลูกพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นได้มีการปรับเปลี่ยนพื้นที่มาปลูกยางพาราเป็นจำนวนมาก (รสนันต์ อินทศิริสวัสดิ์, 2561) ในทางกลับกันพื้นที่อื่น ๆ ลดลงมากที่สุด

จาก 80.53 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2553 เป็น 48.68 ตารางกิโลเมตร โดยพื้นที่อื่น ๆ ถูกเปลี่ยนไปเป็นสวนยางพารามากที่สุดถึง 73.53 ตารางกิโลเมตร แรงจูงใจในด้านราคาของยางแผ่นดิบในตลาดภายในประเทศสูงขึ้นเป็นผลให้เกิดการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพาราและปรับเปลี่ยนพื้นที่มาปลูกยางพารา

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วยด้วยแบบจำลอง CA-Markov ในปี พ.ศ. 2573 โดยใช้ปี พ.ศ. 2553 และ 2563 เป็นฐาน สรุปได้ว่า พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง มีการเพิ่มขึ้นมากที่สุดในปี พ.ศ. 2573 ประมาณ 4.63 เท่าจากปี พ.ศ. 2553 หรือขยายตัวเพิ่มขึ้นมากกว่า 400 เปอร์เซ็นต์ และในทางกลับกันพื้นที่ป่าไม้ดิบชื้นมีการลดลงมากที่สุด

จากผลการศึกษาข้างต้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในช่วงเวลา 20 ปี ตั้งแต่พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2573 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินคือ พื้นที่ป่าไม้ นาข้าว และพื้นที่อื่นๆ มีแนวโน้มลดลง อย่างชัดเจน ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เป็นพื้นที่สวนยางและพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง ปัจจัยที่ส่งผลให้แนวโน้มของพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดคืออำเภอสะเดา มีด้านอุตสาหกรรมชายแดนที่มีมูลค่าการนำเข้าส่งออกสินค้าสูงที่สุดในประเทศไทยแต่ละปีเฉลี่ยกว่า 3 แสนล้านบาท เป็นประตูเชื่อมการค้ากับประเทศเพื่อนบ้านที่สำคัญของไทย (โพสท์ทูเดย์, 2562) ส่งผลให้มีพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกมีอัตราการขยายตัวที่สูง

ข้อเสนอแนะ

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในบริเวณพื้นที่อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา มีข้อจำกัดในการแปลภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละปี ที่เกิดจากการบันทึกข้อมูลต่างช่วงเวลา ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องจากพื้นดินในอดีตได้จึงต้องตรวจสอบผ่าน Google Earth จากการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อใช้การจัดการวางแผนการใช้ที่ดิน และการจัดการผังเมืองของพื้นที่เมืองของอำเภอสะเดาในอนาคตได้เป็นอย่างดี

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 อุตมะสิริเสน. (2561). การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อประยุกต์และวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบเทคนิคเหมืองข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับทำนายผลการสอบวัดระดับความเชี่ยวชาญทางด้านไมโครซอฟต์ออฟฟิศของนักศึกษาระดับปริญญาตรี. สหภาพสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย.

ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2561

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

ที่ว่าอำเภอสะเดา. (2562). ประวัติความเป็นมาอำเภอสะเดา.สืบค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2564.

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

- ดิณณ์ ธิรกุลโตมร, วิลาวัณย์ ประสมทรัพย์ และอธิวัฒน์ ภิญโญยาง. (2563). การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงและการคาดการณ์ การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน โดยใช้แบบจำลอง CA-MARKOV Land Use/Land Cover Change Detection and Prediction using CA-MARKOV Model. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 25. วันที่ 15-17 กรกฎาคม 2563: 1-6
- ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ และคณะ. (2556). การเปลี่ยนแปลงและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน โดยประยุกต์ใช้ระบบภูมิสารสนเทศ บริเวณลุ่มน้ำคลองกุย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2556. กรุงเทพฯ.
- ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาศ. (2557). การคาดการณ์การใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำตะคอง พ.ศ. 2567 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 17(มกราคม-ธันวาคม 2557), 94-113.
- บุญเกียรติ แสงวันฉ. (2535). การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนใช้ที่ดิน. การประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ. ILWIS. น. 25-27.
- ระบบตรวจสอบการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสงขลา. (2559) การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอสะเดา สืบค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2564 <https://www.solah-gis.com/sk-land-use/>
- รศวันต์ อินทศิริสวัสดิ และคณะ. (2561). นิเวศบริการและความหลากหลายทางชีวภาพที่กลับคืนมาในแปลงวนเกษตรยางพารา. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว).
- สุธิ อนันต์สุขสมศรี. และคณะ. (2560). การประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบซับซ้อน (Complex System) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในภาคตะวันออกของประเทศไทย. วารสารวิชาการ การวางแผนภาคและเมือง ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 (มกราคม-ธันวาคม 2560) : 61-73
- โพสต์ทูเดย์. (2562). ด่านสะเดาแห่งที่ 2 คืบแล้ว 95% หนุนเป็นประตูเชื่อมการค้าเพื่อนบ้าน. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2564. จากเว็บไซต์ <https://www.posttoday.com/economy/news/599374>
- สุระ พัฒนเกียรติ และปรีช กองสมบัติ (2556). การประเมินการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าและการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ระบบนิเวศภูเขาจังหวัดเชียงใหม่. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการเครือข่ายงานวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย ครั้งที่ 2 วันที่ 24-26 มกราคม พ.ศ. 2556 หน้า 104-113
- สุวิมล ต้นศิริ. วันชัย อรุณประภารัตน์ และวีระภาส คุณรัตนศิริ. (2561). การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง 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.