

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประยุกต์ภูมิสารสนเทศในการคาดการณ์การกักเก็บคาร์บอนและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของป่าไม้ บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว จังหวัดจันทบุรี

Application of Geo-Informatics in Predicting Carbon Sequestration and Greenhouse Gases Emission in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary, Chanthaburi Province

คมชาญ จูตัน^{1,2*}วันชัย อรุณประภารัตน์²นพรัตน์ คัคคุริวาระ²Komchan Jutien^{1,2*}Wanchai Arunpraparut²Nopparat Kaakkurivaara²¹กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กรุงเทพฯ 10900¹Department of National Parks Wildlife and Plant Conservation, Bangkok 10900, Thailand²คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900²Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: komchan.ju@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 13 มีนาคม 2567

รับแก้ไข 8 มิถุนายน 2567

รับลงพิมพ์ 21 มิถุนายน 2567

ABSTRACT

Land uses changes were investigated using geographic information systems, the Land Change Modeler and the Ecosystem Services Modeler together with driving factor data and forest inventory data to predict greenhouse gas emissions in the Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary. Land use types in 2005, 2010 and 2015 were classified from LANDSAT imageries using visual interpretation techniques.

The results revealed that between 2005 and 2010, there were increases in the agriculture, urban and built-up, and water body landuse categories, while there was a decrease in dry evergreen forest, miscellaneous and mixed deciduous forest. Between 2010 and 2015, there was an increase in dry evergreen forest, agriculture, urban and built-up, and water body, while there was a decrease in miscellaneous and mixed deciduous forest. The accuracy assessment of the land use classification in 2015 revealed an overall accuracy of 89.47% and a kappa statistic of 92.57%. Land use predictions for the 2025, using the Land Change Modeler, indicated that between 2015 and 2025, the urban and built-up, agriculture, and water body categories increased by 171.56, 107.77, and 7.75 ha, respectively. These increments represented 29.88%, 18.77%, and 1.35% of the total changes. Conversely, miscellaneous, mixed deciduous forests, and dry evergreen forests decreased by 130.56, 79.65, and 76.86 ha, respectively. These reductions accounted for 22.74%, 13.87%, and 13.39% of the total changes. The predicted greenhouse gas emissions for the year 2025 were 6,320 tons. Measures to reduce greenhouse gas emissions in forest areas could include reducing deforestation and planting trees in deforested areas.

Keywords: Greenhouse gases Emission of forest; Geo-informatic; Modeling; Land use

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler ร่วมกับข้อมูลปัจจัยขับเคลื่อน และคาดการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยแบบจำลอง Ecosystem Services Modeler ร่วมกับข้อมูลสำรวจแรงงานทรัพยากรป่าไม้ ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว โดยจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2548 2553 และ 2558 จากภาพถ่ายเทียม LANDSAT ด้วยการแปลตีความด้วยสายตา

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า ระหว่างปี พ.ศ. 2548–2553 พื้นที่เกษตรกรรม ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ มีพื้นที่เพิ่มขึ้น และพื้นที่ป่าดิบแล้ง เบ็ดเตล็ด ป่าผสมผลัดใบ มีพื้นที่ลดลง ในขณะที่ระหว่าง ปี พ.ศ. 2553–2558 พื้นที่ป่าดิบแล้ง เกษตรกรรม ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ มีพื้นที่เพิ่มขึ้น และพื้นที่เบ็ดเตล็ด ป่าผสมผลัดใบ มีพื้นที่ลดลง สำหรับการประเมินความถูกต้องรวมและค่าความสอดคล้องจากการจำแนกการแปลตีความการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2558 มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 89.47 และ 92.57 ตามลำดับ ผลจากการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2568 พบว่า ระหว่างปี พ.ศ. 2558–2568 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง เกษตรกรรม แหล่งน้ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 171.56 107.77 และ 7.75 เฮกตาร์ คิดเป็นร้อยละ 29.88 18.77 และ 1.35 ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ตามลำดับ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด ป่าผสมผลัดใบ ป่าดิบแล้ง มีแนวโน้มลดลง 130.56 79.65 และ 76.86 เฮกตาร์ คิดเป็นร้อยละ 22.74 13.87 และ 13.39 ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ตามลำดับ และผลจากการคาดการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2568 มีค่าเท่ากับ 6,320 ตัน โดยมาตรการที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคป่าไม้ ได้แก่ การลดการทำลายป่าไม้ และการปลูกต้นไม้ในพื้นที่ถูกทำลาย เป็นต้น

คำสำคัญ: การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของป่าไม้ ภูมิสารสนเทศ แบบจำลอง การใช้ประโยชน์ที่ดิน

คำนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลมาจากการกระทำของมนุษย์ สาเหตุหลักมาจากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซ ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น (United Nations Thailand, n.d.) ในปี พ.ศ. 2564 การประชุมสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ครั้งที่ 26 (Conference of the Parties 26, COP 26) ณ เมืองกลาสโกว์ ประเทศสกอตแลนด์ ประเทศไทยได้ประกาศเป้าหมายสำคัญ คือ ประเทศไทยจะเป็นกลางทางคาร์บอน (carbon neutrality) ภายในปี ค.ศ. 2050 (ปี พ.ศ. 2593) และจะปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (net zero emission) ภายในปี ค.ศ. 2065 (ปี พ.ศ. 2608) และเพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว ประเทศไทยต้องเพิ่มปริมาณดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์จากเดิม 90 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าให้ได้ 120 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าเป็นอย่างน้อย อีกทั้งยังต้องลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้มาตรการต่าง ๆ เช่น การใช้รถยนต์ไฟฟ้า การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองและชนบท การป้องกันการบุกรุกทำลายพื้นที่ป่าไม้ และการเผาป่า เป็นต้น (Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, 2022) และในปัจจุบันภาคส่วนที่ช่วยเพิ่มปริมาณการดูดกลืนก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ ป่าไม้ (United Nations Development Programme, 2024)

เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว จังหวัดจันทบุรี เป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มป่าตะวันออก มีพื้นที่ 74,496.32 เฮกตาร์

เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารของแม่น้ำสำคัญ 2 สาย คือ แม่น้ำจันทบุรี และคลองพระปรัง อีกทั้งยังเป็นถิ่นที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าที่หายากใกล้จะสูญพันธุ์และมีถิ่นที่อยู่อาศัยเฉพาะบริเวณนี้เท่านั้น คือ กบอกลนาม ปลาชะโอน และค้างคาวปีกขน เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาวประสบปัญหาอย่างมากในด้านการคุกคามทรัพยากรธรรมชาติในพื้นที่ เนื่องจากมีพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนอยู่โดยรอบและในพื้นที่บางส่วน แม้ว่าทางเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแห่งนี้ได้ดำเนินการในทุกด้านเพื่อลดปัญหาดังกล่าว แต่ชุมชนต่าง ๆ ที่อยู่โดยรอบเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาวมีการขยายตัวใหญ่ขึ้น มีจำนวนประชากรมากขึ้น ทำให้เกิดความต้องการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งส่งผลกระทบต่อทรัพยากรป่าไม้และสัตว์ป่าในพื้นที่ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้แบบจำลอง Land change modeler ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ร่วมกับปัจจัยขับเคลื่อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และเพื่อคาดการณ์การกักเก็บคาร์บอนและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของป่าไม้โดยใช้แบบจำลอง Ecosystem services modeler ที่พัฒนาโดย Clark Labs (Clark Labs, 2018) ผลการศึกษานี้จะสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาวต่อไปในอนาคต เพื่อเป็นการสนับสนุนนโยบายของรัฐในการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว มีพื้นที่ 74,496.32 เฮกตาร์ ตั้งอยู่ในเขตอำเภอโป่งน้ำร้อน อำเภอมะขาม และอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี Latitude 12° 50'–13° 20' N Longitude 102° 1'–102° 16' E ทางทิศเหนือติดต่อกับเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤๅไนและอุทยานแห่งชาติเขาสิบห้าชั้น ทิศตะวันออกขนานทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 317 (จันทบุรี–สระแก้ว) ทิศตะวันตกติดต่อกับป่าสงวนแห่งชาติป่าขุนช่องและป่าสงวนแห่งชาติจันทาแป๊ะ ส่วนทิศใต้ติดต่อกับอุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ

การรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 ปี พ.ศ. 2548 (บันทึกข้อมูลวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2548) ปี พ.ศ. 2553 (บันทึกข้อมูลวันที่ 15 มกราคม 2553) และ LANDSAT 8 ปี พ.ศ. 2558 (บันทึกข้อมูลวันที่ 19 เมษายน 2558) ระบุว่า Path 128 Row 50 แบบหลากหลายช่วงคลื่น (multispectral) จากเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov/> และรวบรวมข้อมูลปัจจัยขับเคลื่อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (driving factors) ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชัน ระยะห่างจากหมู่บ้าน และระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม ตามการศึกษาของ Kongsawi (2020) และ Sinrodtnakorn (2020)

รวบรวมข้อมูลสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินภาคสนามเพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องจากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากข้อมูลดาวเทียม โดยกำหนดจำนวนแปลงตัวอย่างด้วยการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างบนพื้นฐานทฤษฎีความน่าจะเป็นทวินาม (binomial probability theory)

รวบรวมข้อมูลสำรวจแจงนับทรัพยากรป่าไม้ครั้งล่าสุดปี พ.ศ. 2558 ของส่วนสำรวจและวิเคราะห์ทรัพยากรป่าไม้สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ซึ่งสำรวจในกลุ่มแปลงตัวอย่างถาวรแบบวงกลม จำนวน 46 กลุ่มแปลง ระยะระหว่างกลุ่มแปลง 2.5 กิโลเมตร x 2.5 กิโลเมตร

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ดำเนินการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2548 ปี พ.ศ. 2553 และปี พ.ศ. 2558 จากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 5 และ LANDSAT 8 ด้วยเทคนิคการแปลตีความหมายด้วยสายตา (visual interpretation)

การตรวจสอบความถูกต้องจากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องจากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2558 และตรวจสอบความถูกต้องด้วยตาราง Confusion matrix เพื่อหาค่าความถูกต้องรวม (overall accuracy) ความถูกต้องของผู้ผลิต (producer's accuracy) ความถูกต้องของผู้ใช้ (user's accuracy) และค่าความสอดคล้องจากการจำแนก (kappa statistic) (Chuchip, 2018)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2548–2553 ด้วยวิธีการซ้อนทับ (overlay analysis) เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง Land change modeler และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2553–2558 เพื่อใช้คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2568

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2558

คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2558 โดยใช้แบบจำลอง Land change modeler จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2548 และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 ร่วมกับข้อมูลปัจจัยขับเคลื่อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชัน ระยะห่างจากหมู่บ้าน และระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม

นำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2558 ที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง Land change modeler มาซ้อนทับกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2558 ที่ได้จากการแปลตีความจากภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อประเมินความถูกต้องของการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง Land change modeler

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2568

คาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2568 โดยใช้แบบจำลอง Land change modeler จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2558 ร่วมกับปัจจัยขับเคลื่อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทั้ง 4 ปัจจัย

การคำนวณกักเก็บคาร์บอน ปี พ.ศ. 2558

นำข้อมูลจากการสำรวจแจงนับทรัพยากรป่าไม้ ปี พ.ศ. 2558 มาคำนวณเพื่อหามวลชีวภาพเหนือดินโดยใช้สมการแอลโลเมตรีของป่าต่าง ๆ ดังนี้ ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา ใช้สมการของ (Tsutsumi *et al.*, 1983) ป่าผสมผลัดใบ ป่าดิบชื้น ใช้สมการของ (Ogawa *et al.*, 1965) มีสมการดังนี้

ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา $W_s = 0.0509 (D^2H)^{0.919}$
 $W_b = 0.00893 (D^2H)^{0.977}$
 $W_l = 0.0140 (D^2H)^{0.669}$

ป่าผสมผลัดใบ $W_s = 0.0396 (D^2H)^{0.9326}$
 $W_b = 0.003487 (D^2H)^{1.0270}$
 $W_l = (28.0/Wtc + 0.025)^{-1}$

ป่าดิบชื้น $W_s = 0.0396 (D^2H)^{0.9326}$
 $W_b = 0.006003 (D^2H)^{1.0270}$
 $W_l = (18.0/Wtc + 0.025)^{-1}$

โดยที่ D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับ 1.3 เมตร

H = ความสูงทั้งหมดของต้นไม้

W_s = มวลชีวภาพของลำต้น

W_b = มวลชีวภาพของกิ่ง

W_l = มวลชีวภาพของใบ

จากนั้นนำข้อมูลมวลชีวภาพเหนือดินมาคำนวณเพื่อหา
 ค่ามวลชีวภาพใต้ดิน การกักเก็บคาร์บอนเหนือดิน และการกักเก็บ

คาร์บอนใต้ดิน ใช้ค่าสัดส่วนมวลชีวภาพใต้ดินต่อมวลชีวภาพ
 เหนือดินและค่าสัดส่วนคาร์บอน (Intergovernmental Panel
 on Climate Change, 2006) ตามลำดับดังนี้

มวลชีวภาพใต้ดินป่าไม่ผลัดใบ = มวลชีวภาพเหนือดิน $\times$ 0.37

มวลชีวภาพใต้ดินป่าผลัดใบ = มวลชีวภาพเหนือดิน $\times$ 0.24

การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวม = มวลชีวภาพรวม $\times$ 0.47

การคาดการณ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2568

คาดการณ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกปี พ.ศ. 2568
 ด้วยแบบจำลอง Ecosystem services modeler (ESM) โดย
 ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2558 และข้อมูล
 แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2568 ร่วมกับรวบรวมข้อ
 มูลค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือดินและข้อมูลค่าการกักเก็บ
 คาร์บอนใต้ดิน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นรูปแบบ
 ข้อมูลตาราง สามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดัง Figure 1

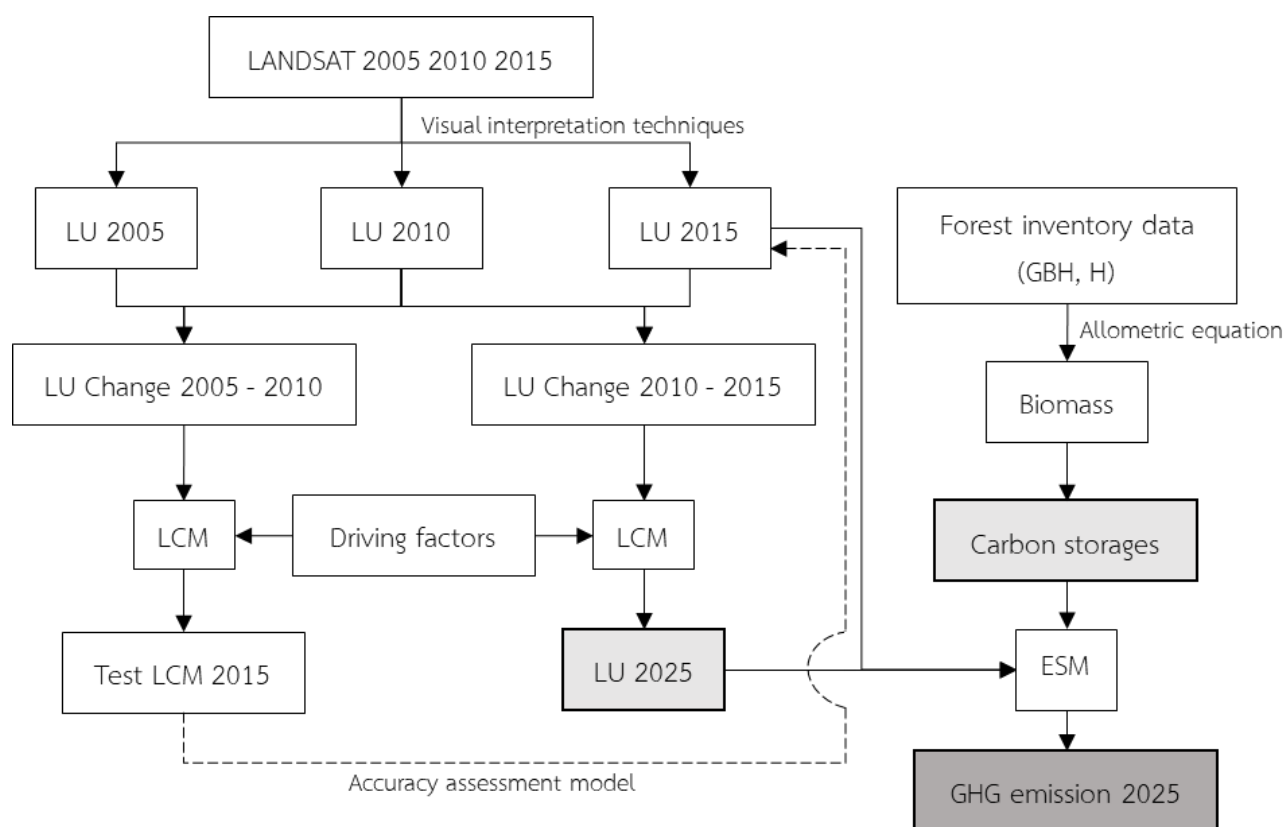


Figure 1 Methodology

ผลและวิจารณ์

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ผลการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินจากข้อมูล
 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 ปี พ.ศ. 2548 พ.ศ. 2553

และ LANDSAT 8 ปี พ.ศ. 2558 บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า
 เขาสอยดาว พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าดิบแล้ง รองลงมา
 ได้แก่ เกษตรกรรม ป่าดิบเขา ป่าดิบชื้น ป่าผสมผลัดใบ
 เบ็ดเตล็ด ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และสวนป่า
 ตามลำดับ ดัง Table 1 และ Figure 2

การตรวจสอบความถูกต้องจากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2558 บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาวและพื้นที่โดยรอบ ซึ่งจากการคำนวณด้วยทฤษฎีความน่าจะเป็น ทวินาม ต้องมีจุดสำรวจความถูกต้องตัวอย่างน้อย 225 จุด จากนั้นทำการสำรวจสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินตามแนวเส้นทาง (roadside) ในบริเวณที่เข้าถึงได้สะดวกและใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่บันทึกจากการสำรวจแจ้งนับทรัพยากรป่าไม้ของส่วนสำรวจและวิเคราะห์ทรัพยากรป่าไม้

สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช มาตรวจสอบความถูกต้อง จำนวน 608 จุด แบ่งออกเป็น ป่าดิบชื้น จำนวน 11 จุด ป่าดิบแล้ง จำนวน 376 จุด ป่าดิบเขา จำนวน 51 จุด ป่าผสมผลัดใบ จำนวน 2 จุด เกษตรกรรม จำนวน 132 จุด เบ็ดเตล็ด จำนวน 14 จุด ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 12 จุด และแหล่งน้ำ จำนวน 10 จุด พบว่า ค่าความถูกต้องรวม เท่ากับ ร้อยละ 89.47 และค่าความสอดคล้องจากการจำแนก เท่ากับ ร้อยละ 92.57 ซึ่งมีค่าความถูกต้องและความสอดคล้องอยู่ในเกณฑ์สูง ดัง Table 2 และ Figure 3

Table 1 Land use types in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary in 2005, 2010 and 2015

Land use type	Year 2005		Year 2010		Year 2015	
	Area (ha)	%	Area (ha)	%	Area (ha)	%
Moist evergreen forest	1,740.94	2.34	1,740.94	2.34	1,740.94	2.34
Dry evergreen forest	51,304.96	68.87	51,255.04	68.8	51,315.05	68.88
Hill evergreen forest	4,351.05	5.84	4,351.05	5.84	4,351.05	5.84
Mixed deciduous forest	1,394.03	1.87	1,363.94	1.83	1,344.20	1.8
Forest plantation	5.41	0.01	5.41	0.01	5.41	0.01
Agriculture	14,916.55	20.02	15,005.48	20.14	15,041.61	20.19
Miscellaneous	736.26	0.99	704.27	0.95	619.30	0.83
Urban and built-up	28.02	0.04	46.49	0.06	53.61	0.07
Water body	19.10	0.03	23.70	0.03	25.14	0.03
Total	74,496.32	100.00	74,496.32	100	74,496.32	100.00

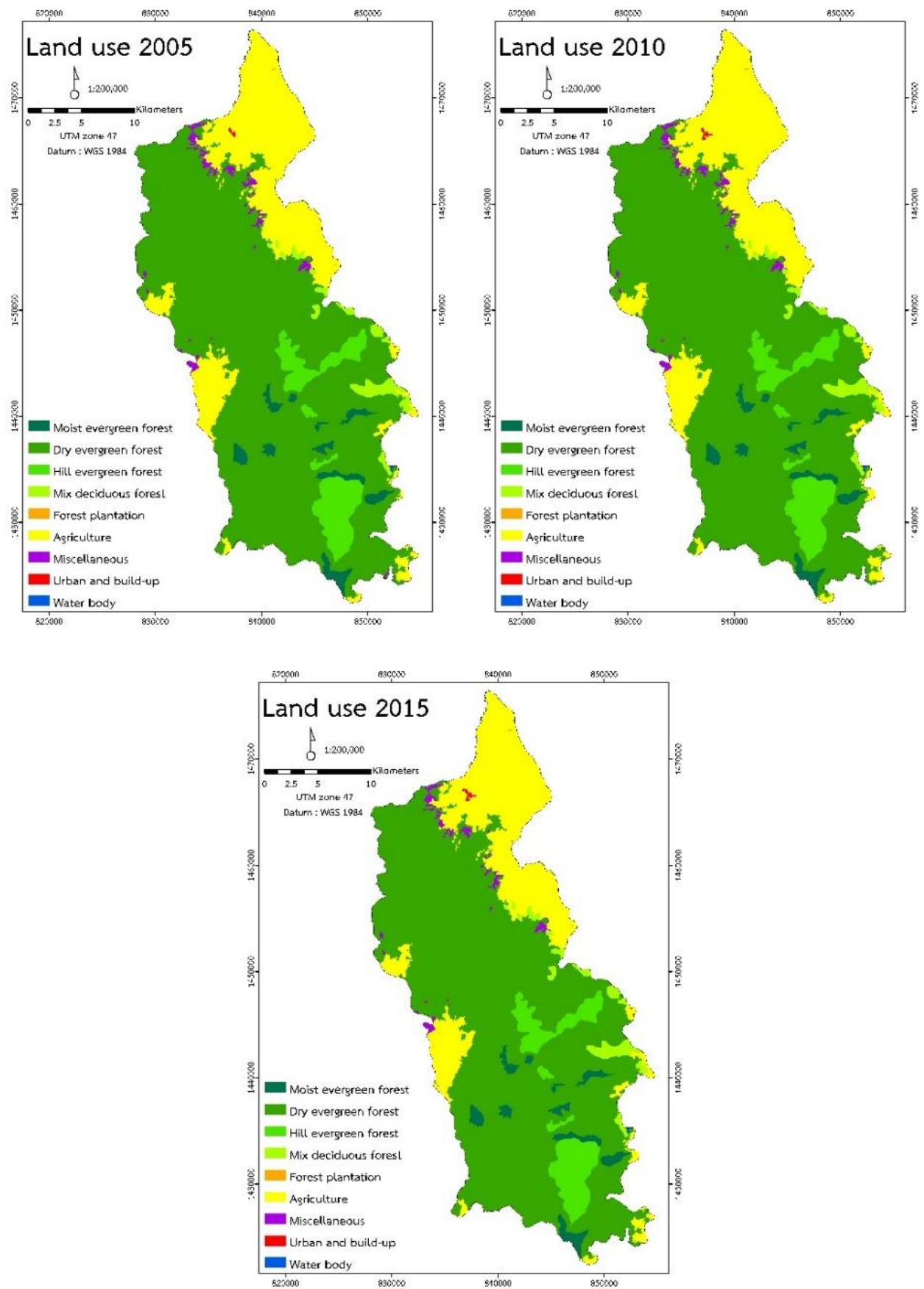


Figure 2 Land use types of Khao Soi Dao wildlife sanctuary in 2005, 2010 and 2015

Table 2 Accuracy of land use classification based on LANDSAT 8 imagery in 2015

Land use type		Reference data										User's accuracy (%)
		ME	DE	HE	MD	FP	A	M	U	W	Total	
Classified data	ME	11	27	-	-	-	-	-	-	-	38	28.95
	DE	-	343	3	-	-	5	-	-	-	351	97.72
	HE	-	-	48	-	-	-	-	-	-	48	100.00
	MD	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2	100.00
	FP	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-
	A	-	4	-	-	-	126	10	6	6	152	82.89
	M	-	2	-	-	-	-	4	-	-	6	66.67
	U	-	-	-	-	-	1	-	6	-	7	85.71
	W	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	100.00
Total		11	376	51	2	0	132	14	12	10	608	
Producer's accuracy (%)		100.00	91.22	94.12	100.00	-	95.45	28.57	50.00	40.00		
Overall accuracy (%)		89.47										
Kappa statistic (%)		92.57										

Remarks: ME = Moist evergreen forest DE = Dry evergreen forest HE = Hill evergreen forest
MD = Mixed deciduous forest FP = Forest plantation A = Agriculture
M = Miscellaneous U = Urban and built-up W = Water body

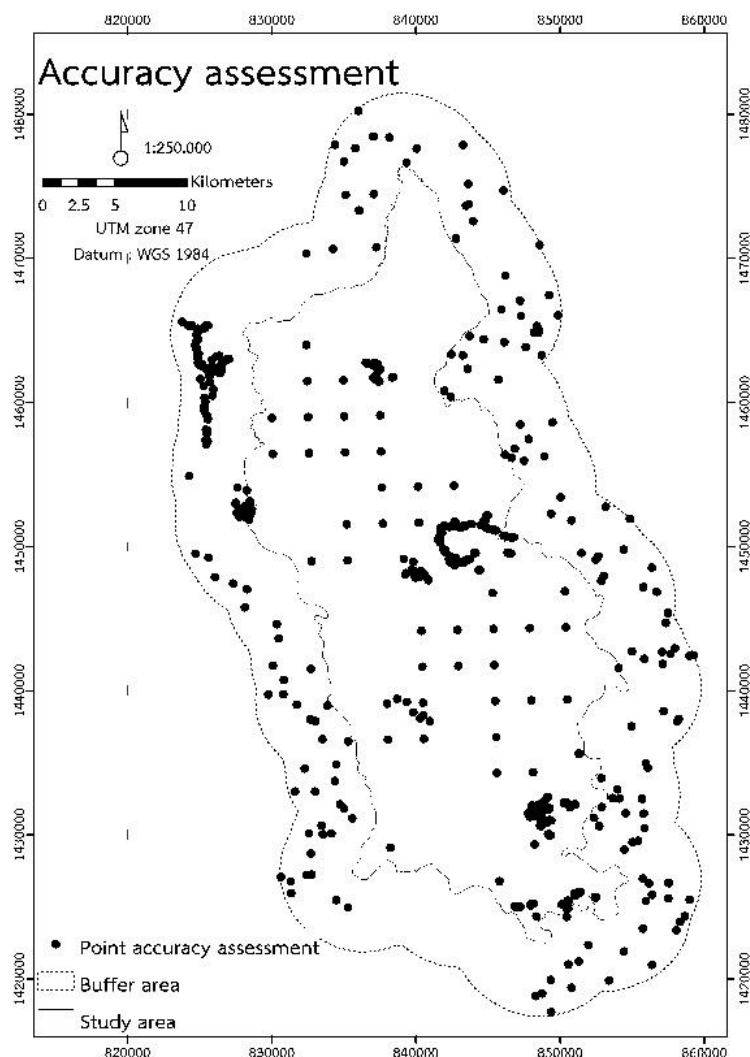


Figure 3 Location of accuracy assessment points for land use classification

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2548–2553 พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ทั้งหมด จำนวน 224 เฮกตาร์ โดยเกษตรกรรมมีพื้นที่เพิ่มขึ้นจากเดิมมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ชุมชนและสิ่งก่อสร้าง แหล่งน้ำ ในขณะที่ป่าดิบแล้งมีพื้นที่ลดลงจากเดิมมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ เบ็ดเตล็ด ป่าผสมผลัดใบ เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศที่เป็นพื้นที่ราบมีการขยายตัวของชุมชน เส้นทางคมนาคม และการทำเกษตรกรรมในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาวอยู่แล้ว ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การเกิดบุกรุกแผ้วถางพื้นที่ป่าไม้และเบ็ดเตล็ดเพื่อทำเกษตรกรรม ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ที่ถูกบุกรุกพบได้บริเวณทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว ดัง Table 3

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553–2558 พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ทั้งหมด จำนวน 209.41 เฮกตาร์

โดยป่าดิบแล้งมีพื้นที่เพิ่มขึ้นจากเดิมมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ เกษตรกรรม ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ ในขณะที่เบ็ดเตล็ด ลดลงจากเดิมมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ป่าผสมผลัดใบ แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ป่าไม้ช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2553–2558 มีการบริหารจัดการด้านการอนุรักษ์ป้องกันพื้นที่ป่าไม้ มีนโยบายและมาตรการที่เข้มงวดและมีประสิทธิภาพมากกว่าในช่วง ระหว่างปี พ.ศ. 2548–2553 เนื่องจากคณะรักษาความสงบแห่งชาติได้ออกคำสั่งที่ 64/2557 และคำสั่งที่ 66/2557 เพื่อกำหนดแนวทางการช่วยเหลือต่อราษฎรผู้ยากไร้ มีรายได้น้อย วางยุทธศาสตร์ในการพิทักษ์ทรัพยากรป่าไม้ของชาติ และจัดทำแผนแม่บท กำหนดเป้าหมายการดำเนินการพิทักษ์รักษาพื้นที่ป่าไม้อย่างน้อยร้อยละ 40 ของพื้นที่ประเทศ โดยให้กระทรวงกลาโหม กระทรวงมหาดไทย สำนักงานตำรวจแห่งชาติ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กองกำลังรักษาความสงบเรียบร้อย กองกำลังป้องกันชายแดนของกองทัพบก กองทัพเรือ และกองอำนวยการรักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร ตลอดจนหน่วยงาน

ที่มีภารกิจและอำนาจหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ได้ดำเนินการยึดคืนพื้นที่ป่า ยับยั้งการบุกรุกป่า โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศเป็นหลักฐานหลัก จึงส่งผลให้พื้นที่ป่าไม่มีจำนวนพื้นที่เพิ่มขึ้น

ซึ่งมีความสอดคล้องกับรายงานโครงการจัดทำข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้ ปี พ.ศ. 2559 (Royal Forest Department, 2017) ดัง Table 3

Table 3 Land use change in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary from 2005 to 2010 and from 2010 to 2015

Land use type	2005–2010		2010–2015	
	Area (ha)	%	Area (ha)	%
Moist evergreen forest	0.00	0.00	0.00	0.00
Dry evergreen forest	-49.92	22.28	60.01	28.66
Hill evergreen forest	0.00	0.00	0.00	0.00
Mixed deciduous forest	-30.10	13.44	-19.73	9.42
Forest plantation	0.00	0.00	0.00	0.00
Agriculture	88.93	39.70	36.13	17.25
Miscellaneous	-31.99	14.28	-84.97	40.58
Urban and built-up	18.47	8.25	7.12	3.40
Water body	4.60	2.05	1.44	0.69
Total	224.00	100.00	209.41	100.00

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2568

คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้แบบจำลอง Land change modeler เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินในอดีต ระหว่างปี พ.ศ. 2553–2558 ร่วมกับปัจจัยขับเคลื่อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชัน ระยะห่างจากหมู่บ้าน

และระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม (Figure 4) เพื่อสร้างแผนที่คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2568

การใช้ประโยชน์ที่ดิน ในปี พ.ศ. 2568

สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2568 ที่ได้จากแบบจำลอง Land change modeler พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าดิบแล้ง รองลงมา ได้แก่ เกษตรกรรม ป่าดิบเขา ป่าดิบชื้น ป่าผสมผลัดใบ เบ็ดเตล็ด ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และสวนป่า ตามลำดับ รายละเอียดดัง Table 4 และ Figure 5

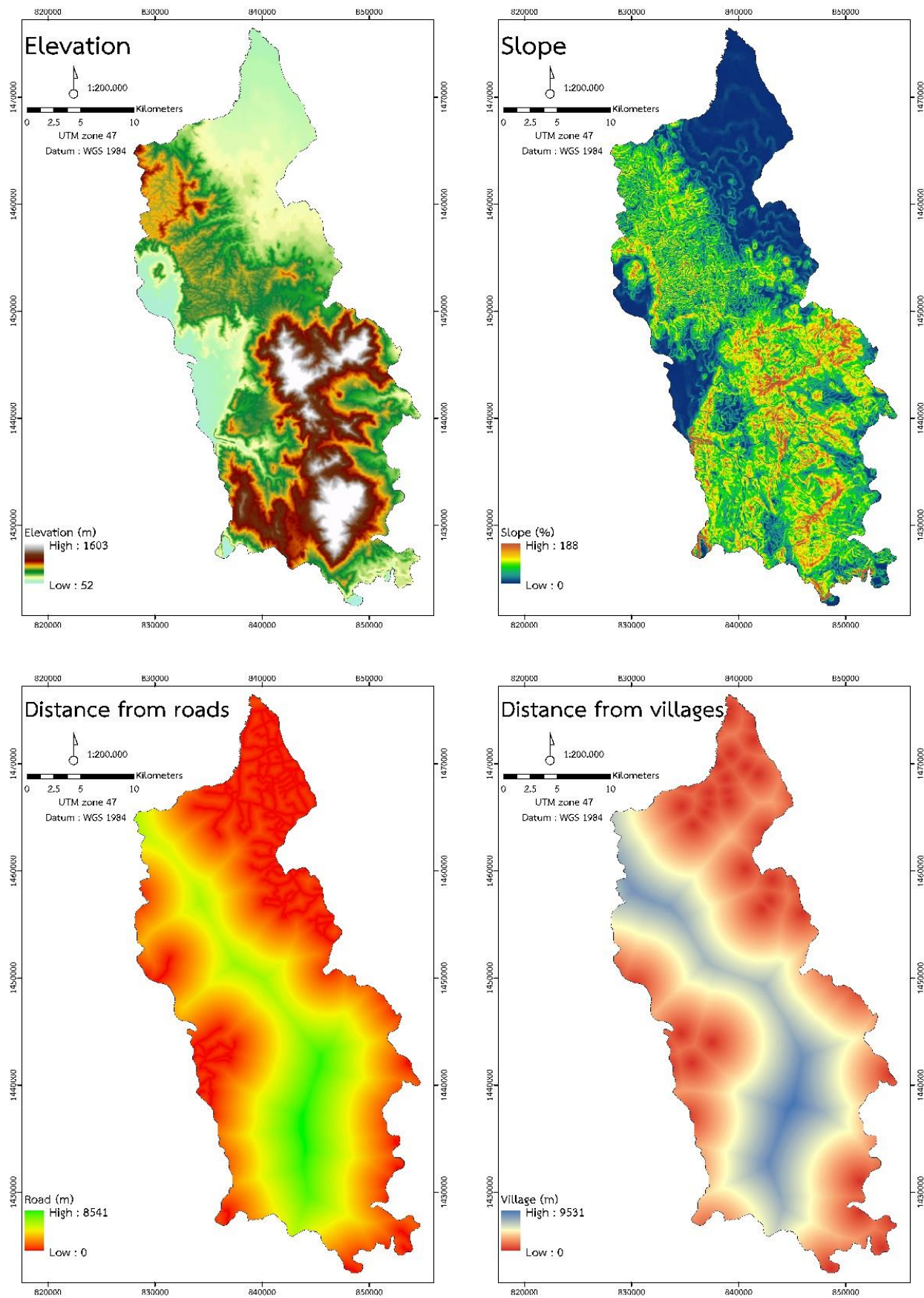
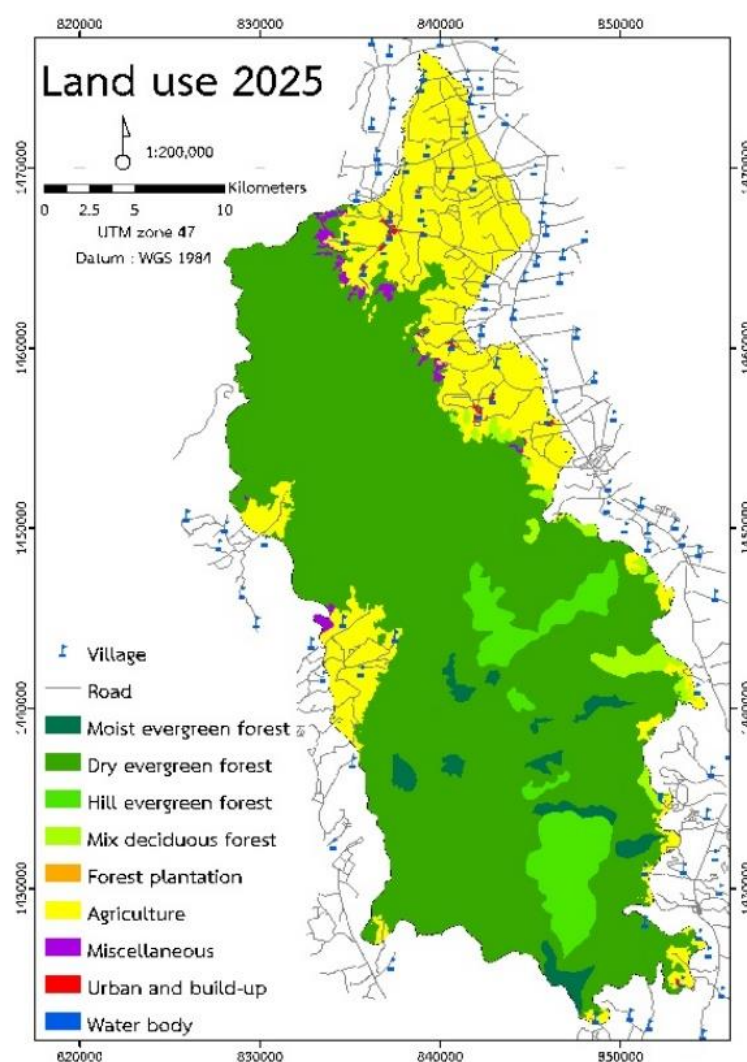


Figure 4 Driver variables for land use prediction in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary

Table 4 Predicted land use types in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary in 2025 using land change modeler

Land use type	Year 2025	
	Area (ha)	%
Dry evergreen forest	51,238.19	68.78
Agriculture	15,149.38	20.34
Hill evergreen forest	4,351.05	5.84
Moist evergreen forest	1,740.94	2.34
Mixed deciduous forest	1,264.55	1.70
Miscellaneous	488.74	0.66
Urban and built-up	225.18	0.30
Water body	32.89	0.04
Forest plantation	5.41	0.01
Total	74,496.32	100.00


Figure 5 Predicted land use in 2025 in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary using land change modeler

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2558–2568

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2558–2568 คาดการณ์ว่า มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ทั้งหมด จำนวน 574.16 เฮกตาร์ โดยชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีพื้นที่เพิ่มขึ้นจากเดิมมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ เกษตรกรรม แหล่งน้ำ ในขณะที่เบ็ดเตล็ดมีพื้นที่ลดลงจากเดิมมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ป่าผสมผลัดใบ ป่าดิบแล้ง และป่าดิบชื้น ป่าดิบเขา สวนป่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งจากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2558–2568 แสดงให้เห็นว่าในอนาคตพื้นที่ป่าไม้มีแนวโน้มลดลงและพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่พบบริเวณภูมิประเทศที่เป็นพื้นที่ราบทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ ซึ่งมีการทำเกษตรกรรมและเป็นที่อยู่อาศัยของประชาชนในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาวอยู่แล้ว โดยสาเหตุหลักที่พื้นที่ป่าไม้เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เกษตรกรรมอาจเกิดขึ้นจากปัญหาความต้องการที่ดิน

ทำกินเพื่อการปลูกทุเรียน ซึ่งเป็นสินค้าการเกษตรที่มีการส่งออกไปยังต่างประเทศและสินค้าการเกษตรที่มีราคาสูง อีกทั้งด้านทิศตะวันออกขนานกับทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 317 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Boonyanuphap (1998) อธิบายว่า พื้นที่ป่าไม้ที่อยู่ในเขตแนวรัศมีของถนนจะมีการบุกรุกพื้นที่มากกว่าพื้นที่ป่าไม้ที่อยู่นอกแนวรัศมีของถนน และพื้นที่ป่าไม้ที่มีระยะห่างจากชุมชนน้อยจะส่งผลให้สภาพป่าเสื่อมโทรม สัตว์ป่าบางชนิดมีปริมาณลดลง เกิดการย้ายถิ่นที่อยู่อาศัย และจะส่งผลให้ระบบนิเวศเปลี่ยนไป อย่างไรก็ตาม การวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ป่าไม้ในอนาคตเป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้มีบทบาทสำคัญในการรักษาความหลากหลายทางชีวภาพ การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และการกักเก็บคาร์บอน ดังนั้นการใช้เทคโนโลยี การกำหนดแนวทาง และการเพิ่มมาตรการการป้องกันให้เข้มงวดมากกว่านี้ จะช่วยเพิ่มพื้นที่ป่าไม้และฟื้นฟูสภาพป่าเสื่อมโทรมให้กลับคืนสภาพต่อไป (Tonsiri, 2018) ดัง Table 5 และ Figure 6

Table 5 Predicted land use change in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary from 2015 to 2025

Land use type	2015–2025	
	Area (ha)	%
Urban and built-up	171.56	29.88
Agriculture	107.77	18.77
Water body	7.75	1.35
Miscellaneous	-130.56	22.74
Mixed deciduous forest	-79.65	13.87
Dry evergreen forest	-76.86	13.39
Moist evergreen forest	0.00	0.00
Hill evergreen forest	0.00	0.00
Forest plantation	0.00	0.00
Total	574.16	100.00

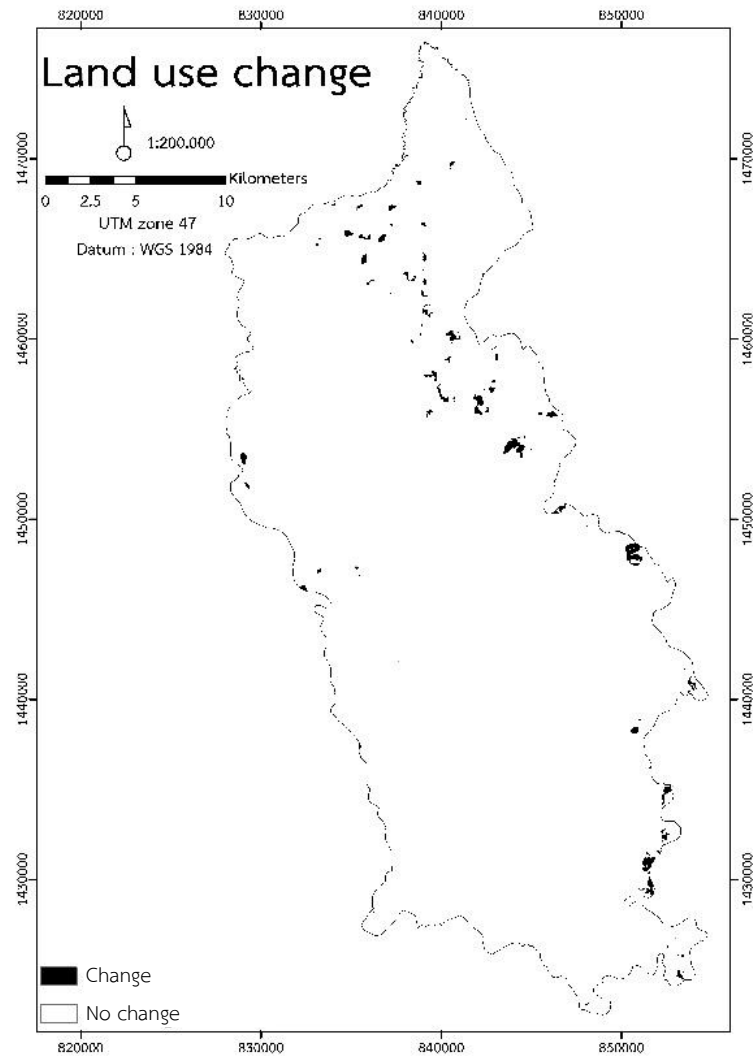


Figure 6 Predicted land use change between 2015 and 2025 in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary

การคำนวณกักเก็บคาร์บอน ปี พ.ศ. 2558

ผลจากการสำรวจข้อมูลภาคสนามบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว จำนวน 46 แปลง แบ่งตามประเภทป่าได้ดังนี้ ป่าดิบชื้น จำนวน 11 แปลง ป่าดิบแล้ง จำนวน 34 แปลง และป่าดิบเขา จำนวน 1 แปลง ส่วนป่าผสมผลัดใบไม่มีข้อมูลแปลงสำรวจทรัพยากรป่าไม้ ดัง Figure 7 ซึ่งแต่ละแปลงมีขนาดเท่ากับ 0.1 เฮกตาร์ หรือ 1,000 ตารางเมตร

มาคำนวณหาค่ามวลชีวภาพโดยใช้สมการแอลโลเมตรีตามชนิดป่า และคำนวณหาค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและการกักเก็บคาร์บอนใต้พื้นดิน (Royal Forest Department, 2014) พบว่า ป่าดิบชื้นมีการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและการกักเก็บคาร์บอนใต้พื้นดินมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ป่าดิบเขาและป่าดิบแล้งมีการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและการกักเก็บคาร์บอนใต้พื้นดินน้อยที่สุด ดัง Table 6

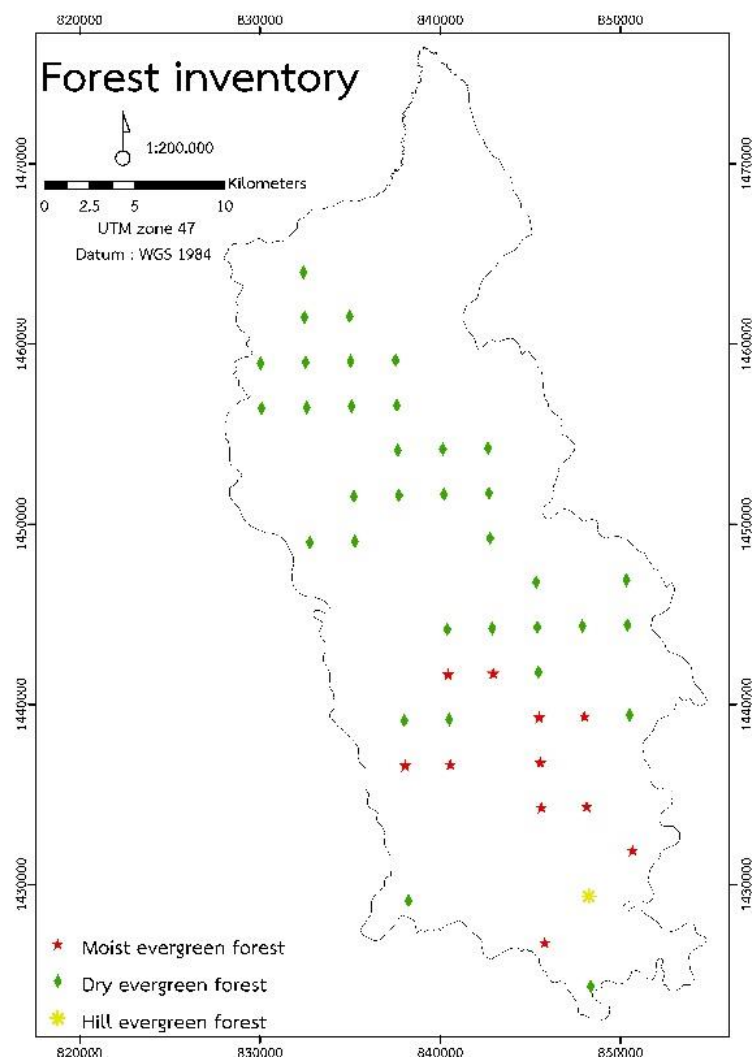


Figure 7 Forest inventory sampling points in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary in 2015

Table 6 Aboveground and belowground carbon sequestration in forest in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary

Forest type	Aboveground carbon	Belowground carbon	Total
	tC/ha	tC/ha	tC/ha
Moist evergreen forest	83.24	30.8	114.04
Dry evergreen forest	60.09	22.23	82.32
Hill evergreen forest	64.69	23.94	88.63

การคาดการณ์การกักเก็บคาร์บอนและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2568

นำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2558 ข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2568 ข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน และข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนใต้พื้นดิน มาวิเคราะห์การคาดการณ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2568 โดยใช้แบบจำลอง Ecosystem services modeler พบว่า ใน ปี พ.ศ. 2568 มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 6,320 ตัน เนื่องจากใน ปี พ.ศ. 2558 มีค่าการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าไม้ เท่ากับ 4,802,757 ตัน

ใน ปี พ.ศ. 2568 มีค่าการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าไม้ เท่ากับ 4,796,437 ตัน ซึ่งจำนวนดังกล่าวเป็นค่าการคาดการณ์การกักเก็บคาร์บอนและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่คำนวณจากข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนของป่าดิบชื้น ป่าดิบแล้ง และป่าดิบเขา เท่านั้น เนื่องจากไม่มีข้อมูลการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ของป่าผสมผลัดใบ จึงไม่สามารถนำมาคำนวณการกักเก็บคาร์บอนและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2568 ด้วยแบบจำลอง Ecosystem services modeler ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลศึกษาของ Wattanawinitchai (2019) และ Chaivanich (2021) ที่อธิบายว่า ในอนาคตจะมีปริมาณ

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น โดยสาเหตุการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาวเพิ่มขึ้น มาจากการตัดไม้และการแผ้วถางทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในต้นไม้ถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ การเปลี่ยนพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม การเติบโตของประชากร และการขยายตัวของเมือง โดยวิธีการที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคป่าไม้ได้แก่ การรักษาและฟื้นฟูป่าธรรมชาติให้สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้น การปลูกป่าผสมผสานที่มีความหลากหลายทางชีวภาพ การส่งเสริมการใช้ทรัพยากรป่าไม้อย่างยั่งยืน การส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนในการอนุรักษ์และจัดการป่าไม้ การบังคับใช้กฎหมายที่เข้มงวด และการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชน ซึ่งมาตรการเหล่านี้ต้องการความร่วมมือจากทุกภาคส่วน เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคป่าไม้รายละเอียดดัง Table 7

Table 7 Predicted carbon analysis in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary in 2025 based on Ecosystem Services Modeler

Carbon Storage and Sequestration	Amount (tons)
Total current carbon	4,802,757
Total scenario carbon	4,796,437
Total sequestered carbon	6,320

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว แบ่งออกเป็น 9 ประเภท ได้แก่ ป่าดิบชื้น ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา ป่าผสมผลัดใบ สวนป่าเกษตรกรรม เบ็ดเตล็ด ชุมชน และแหล่งน้ำ สำหรับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2548–2553 พบว่า พื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ป่าดิบแล้งลดลงมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ เบ็ดเตล็ด ป่าผสมผลัดใบ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553–2558 พื้นที่ป่าดิบแล้งเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ เกษตรกรรม ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เบ็ดเตล็ดมีพื้นที่ลดลงมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ป่าผสมผลัดใบ ส่วนพื้นที่ป่าดิบชื้น ป่าดิบเขา และสวนป่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2568 ด้วยแบบจำลอง Land change modeler ร่วมกับปัจจัยขับเคลื่อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นจากเดิมมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ เกษตรกรรม ในขณะที่เบ็ดเตล็ดลดลง

จากเดิมมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ป่าผสมผลัดใบ ป่าดิบแล้ง และผลการคาดการณ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2568 พบว่า มีแนวโน้มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 6,320 ตัน จึงเห็นควรให้เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว มีมาตรการเชิงรุกเพื่อกำหนดข้อบังคับหรือกำหนดพื้นที่การบริหารจัดการที่เข้มงวดขึ้น เพื่อเพิ่มปริมาณการดูดซับก๊าซเรือนกระจกต่อไปในอนาคต

คำนิยาม

การศึกษาค้นคว้านี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี เจ้าหน้าที่กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ที่คอยอำนวยความสะดวก สนับสนุน และอนุญาตให้การศึกษาในพื้นที่แห่งนี้

REFERENCES

- Boonyanuphap, J. 1998. *Application of GIS for Determining Risk Area for Encroachment of Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary*. M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Chaivanich, K. 2021. The assessment of community scale greenhouse and reducing the greenhouse gas emissions of the study case in Phachi Municipality. *CRMA Journal*, 19: 65–75. (in Thai)
- Chuchip, K. 2018. Accuracy Assessment. *Remote Sensing Technical Note No. 3*. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Clark Labs. 2018. *Terrset Geospatial Monitoring and Modeling System*. Clark University, Massachusetts, United States.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 : Agriculture, Forestry and Other Land Use*. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Kongsawi, V. 2020. Application of geo-informatics in predicting forest land use at the Doi Inthanon National Park, Chiang Mai province. *Thai Journal of Forestry*, 39(2): 77–90. (in Thai)
- Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation. 2022 *Thailand's Objectives to Reduce Climate Change Impacts in Accordance with COP26 Guidelines*. www.mhesi.go.th/index.php/news/6704cop26-2.html, 15 May 2024 (in Thai)

- Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K., Kira, T. 1965. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand II. Plant Biomass. **Nature and Life in Southeast Asia**, 4: 49-80.
- Royal Forest Department. 2014. **Manual for Surveying Carbon Sequestration and Biodiversity in Community Forests**. www.forest.go.th/communitydevelopment/wpcontent/uploads/sites/105/2020/03/, 28 February 2024. (in Thai)
- Royal Forest Department. 2017. **The Forest Area Data Compilation Project in 2015-2016**. www.forestinfo.forest.go.th/Content/file/executive%20summary%2060.pdf, 28 February 2024. (in Thai)
- Sinrodtanakorn, C. 2020. Monitoring and predicting land use tendency using land change modeler at Doi Suthep-Pui National Park, Chiang Mai province. **Thai Journal of Forestry**, 39(1): 110-124. (in Thai)
- Tonsiri, S. 2018. **Application of CA-Markov Model to Predict Land Use Changes in Khao Soi Dao Wildlife Sanctuary, Chanthaburi Province**. M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Tsutsumi, T., Yoda, K., Sahunalu, P., Dhanmanonda, P., Prachaiyo, B. 1983. Forest: Felling, burning and regeneration., In: Kyuma, K., Pairintra, C. (Eds.). **Shifting Cultivation**. Tokyo. pp. 13-62.
- United Nations Development Programme (Thailand). 2024. **Which Sector is the Biggest Contributor to Greenhouse Gas Emissions?** <https://www.undp.org/stories/greenhouse-emissions-thailand-th>, 8 May 2024.
- United Nations Thailand. n.d. **Climate Change**. <https://thailand.un.org/th/173511climatechange>, 28 February 2024. (in Thai)
- Wattanawinitchai, W. 2019. **Projection of Change in the Quantity of Carbon dioxides in Thailand Following Changes in Economic Factors, Sources, and Population over a Period of 10 Years**. M.S. Thesis, National Institute of Development Administration, Bangkok, Thailand. (in Thai)