

การประยุกต์ใช้กูเกิ้ลเอิร์ธเอนจินเพื่อการจำแนกพื้นที่สีเขียวและการวิเคราะห์อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรระดับตำบลในอำเภอเมืองพิษณุโลก

ณภัทร แพงวังทอง¹ และวิภพ แพงวังทอง^{2*}

¹โรงเรียนมัธยมสาธิตมหาวิทยาลัยนเรศวร คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

²สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

*wipop.pa@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสถานภาพพื้นที่สีเขียวต่อประชากรในระดับตำบลของอำเภอเมืองพิษณุโลก ประจำปี พ.ศ. 2567 โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 ร่วมกับเทคโนโลยีกูเกิ้ลเอิร์ธเอนจินในการจำแนกพื้นที่สีเขียว ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่สีเขียวและประชากร พบความแตกต่างอย่างเด่นชัดของอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรในแต่ละตำบล โดยมีค่าตั้งแต่ 99.95 ตร.ม./คน ในเทศบาลนครพิษณุโลก ไปจนถึง 7,229.71 ตร.ม./คน ในตำบลดอนทอง ผลการประมวลผลผ่านกูเกิ้ลเอิร์ธเอนจินแสดงผลในรูปแบบแผนที่เฉพาะเรื่องที่แบ่งระดับพื้นที่สีเขียวต่อประชากรออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (<2,495.28 ตร.ม./คน) ระดับกลาง (2,495.28-4,890.24 ตร.ม./คน) และระดับสูง (>4,890.24 ตร.ม./คน) สะท้อนความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงพื้นที่สีเขียวอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีอัตราส่วนอยู่ในระดับต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ชนบทรอบนอก ผลการศึกษานี้จึงให้ข้อมูลสำคัญเพื่อสนับสนุนการวางแผนเชิงกลยุทธ์ ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนและการยกระดับคุณภาพชีวิตในเขตเมืองให้ดีขึ้น

คำสำคัญ: กูเกิ้ลเอิร์ธเอนจิน พื้นที่สีเขียวต่อประชากร ดาวเทียมเซนติเนล 2

Application of Google Earth Engine for Green Space Classification and Green Space Per Capita Ratio Analysis at the Sub-district Level, Mueang Phitsanulok District

Napat Paengwangthong¹ and Wipop Paengwangthong²

¹Naresuan University Secondary Demonstration School, Faculty of Education, Naresuan University

²Program of Geographic Information Science, School of Information and Communication Technology,

University of Phayao

*wipop.pa@gmail.com

Abstract

This research aimed to evaluate the green space per capita status at the sub-district level of Mueang Phitsanulok District for the year 2024, utilizing Sentinel-2 satellite imagery and Google Earth Engine technology for green space classification. The analysis of green space and population data revealed a distinct variation in the green space per capita ratio across sub-districts, ranging from 99.95 sq.m/person in Phitsanulok City Municipality to 7,229.71 sq.m/person in Don Thong Subdistrict. The results, processed through Google Earth Engine, were presented as a thematic map categorizing the green space per capita ratio into three levels: low (<2,495.28 sq.m/person), medium (2,495.28-4,890.24 sq.m/person), and high (>4,890.24 sq.m/person). This highlights a clear disparity in green space accessibility, particularly in urban areas which have low ratios when compared to surrounding rural areas. Therefore, these findings provide essential data to support strategic planning, leading to sustainable development and improved urban livability.

Keywords: Google Earth Engine, Green space per capita, Sentinel-2 satellite

1. บทนำ

พื้นที่สีเขียวเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อมในเขตเมือง พื้นที่สีเขียวหมายถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณเป็นองค์ประกอบหลักและก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ [1] พื้นที่สีเขียวยังถือเป็นดัชนีสำคัญที่บ่งชี้ถึงความรู้สึกดีมีสุขและคุณภาพสิ่งแวดล้อมของเมือง การมีพื้นที่สีเขียวปริมาณที่เหมาะสมและสามารถเข้าถึงได้ง่ายเป็นลักษณะของเมืองที่น่าอยู่ คุณค่าของพื้นที่สีเขียวต่อสุขภาพกายและใจของผู้อยู่อาศัย รวมถึงคุณค่าต่อสภาพแวดล้อมในวงกว้าง [2, 3]

การพัฒนาที่สอดคล้องกับแนวทางการจัดการพื้นที่สีเขียวตามแผนปฏิบัติการเชิงนโยบายของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [4, 5] ที่มุ่งเน้นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวอย่างยั่งยืน และเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ที่กำหนดให้เมืองที่มีสภาพแวดล้อมที่ดีควรมีพื้นที่สีเขียวไม่ต่ำกว่า 9 ตารางเมตรต่อคน [6-8] เกณฑ์มาตรฐานนี้ยังสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของสหประชาชาติ (Sustainable Development Goals: SDGs) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป้าหมายที่ 11 เมืองและชุมชนที่ยั่งยืน (Sustainable

Cities and Communities) ซึ่งให้ความสำคัญกับการจัดให้มีพื้นที่สีเขียวและพื้นที่สาธารณะที่เข้าถึงได้สำหรับทุกคน รวมถึงเป้าหมายที่ 15 ชีวิตบนบก (Life on Land) ที่เน้นการอนุรักษ์และฟื้นฟูระบบนิเวศบนบก

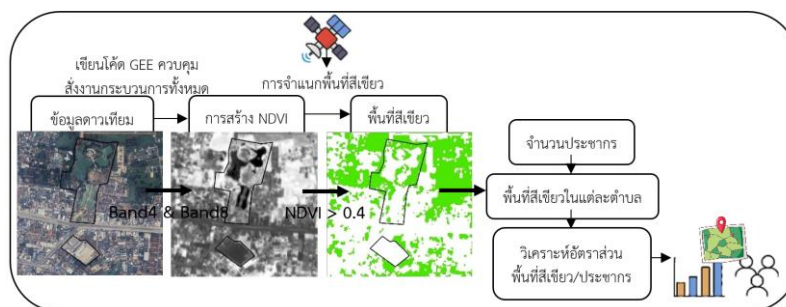
ยิ่งไปกว่านั้น ความสำคัญของเกณฑ์มาตรฐานพื้นที่สีเขียวไม่ได้จำกัดอยู่เพียงมิติด้านสิ่งแวดล้อม แต่ยังมีความเชื่อมโยงโดยตรงกับสุขภาวะของประชาชนอีกด้วย โดยงานทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบของ Twohig-Bennett and Jones [9] ได้ค้นพบว่า การเข้าถึงพื้นที่สีเขียวมีความสัมพันธ์กับการลดความเสี่ยงของโรคไม่ติดต่อเรื้อรังหลายชนิดและส่งเสริมสุขภาพจิตที่ดีขึ้น การศึกษาพื้นที่สีเขียวจึงเป็นมากกว่าการประเมินทรัพยากร แต่ยังเป็นการประเมินปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตและสุขภาพของประชากรในพื้นที่

อำเภอเมืองพิษณุโลก ซึ่งเป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจ การศึกษา และการคมนาคมของภาคเหนือตอนล่าง กำลังเผชิญกับการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็ว (Urbanization) การเติบโตดังกล่าวส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ว่างเปล่ากลายเป็นที่อยู่อาศัยและอาคารพาณิชย์ ซึ่งสร้างแรงกดดันต่อพื้นที่สีเขียวที่มีอยู่เดิม ทำให้การรักษาสมดุลระหว่างการพัฒนาทางเศรษฐกิจกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมกลายเป็นความท้าทายที่สำคัญสำหรับนักวางผังเมืองและผู้กำหนดนโยบายในท้องถิ่น การมีข้อมูลสถานภาพพื้นที่สีเขียวที่ถูกต้องและทันสมัยจึงเป็นเครื่องมือที่จำเป็นอย่างยิ่งในการบริหารจัดการเมืองให้เติบโตอย่างยั่งยืนและมีคุณภาพชีวิตที่ดี

การสำรวจและวิเคราะห์พื้นที่สีเขียวแบบดั้งเดิมอาจมีข้อจำกัดด้านเวลาและทรัพยากร การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ เช่น ข้อมูลจากดาวเทียม ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของการประเมินพื้นที่สีเขียวในวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีเกิ้ลเอิร์ธเอนจิน (Google Earth Engine: GEE) ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มการวิเคราะห์ข้อมูลบนระบบคลาวด์ที่ทรงพลัง ไม่เพียงช่วยลดข้อจำกัดด้านฮาร์ดแวร์ในการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ แต่ยังเอื้อให้เกิดการวิเคราะห์เชิงลึกที่ซับซ้อน เช่น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว (Longitudinal analysis) และการสร้างแบบจำลองที่สามารถทำซ้ำและตรวจสอบได้ (Reproducible science) ซึ่งเป็นการยกระดับการวิเคราะห์ให้มีความแม่นยำมากกว่าการสำรวจแบบดั้งเดิม การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี GEE เพื่อจำแนกพื้นที่สีเขียวในระดับตำบลของอำเภอเมืองพิษณุโลก โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อวิเคราะห์อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรในแต่ละตำบล และนำเสนอผลลัพธ์ในรูปแบบแผนที่ ซึ่งจะเป็ข้อมูลสำคัญในการสนับสนุนการวางแผนและบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในระดับท้องถิ่นให้สอดคล้องกับเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเมืองและชุมชนที่ยั่งยืน และการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ

2. วิธีการศึกษา

กรอบแนวคิดของการศึกษานี้ เริ่มจากการเขียนโค้ดเพื่อดึงข้อมูลดาวเทียม สร้างดัชนี NDVI และจำแนกพื้นที่ที่มีค่า NDVI มากกว่า 0.4 ให้เป็นพื้นที่สีเขียว จากนั้นนำข้อมูลประชากรมาเปรียบเทียบเพื่อคำนวณอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากร พร้อมแสดงผลในรูปแบบแผนที่เพื่อการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ ดังรูปและขั้นตอนต่อไปนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของการศึกษา

2.1 ประชากร/กลุ่มตัวอย่าง/กลุ่มเป้าหมาย

ประชากร: ประชากรในการศึกษาครั้งนี้คือ พื้นที่ทั้งหมดของอำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก

กลุ่มตัวอย่าง/กลุ่มเป้าหมาย: หน่วยวิเคราะห์หลักในการศึกษาคือ ตำบลทั้งหมด 21 ตำบล (ตารางที่ 1) ในเขตอำเภอเมืองพิษณุโลก ขอบเขตการวิเคราะห์จะครอบคลุมพื้นที่แต่ละตำบลตามขอบเขตการปกครอง

หน่วยวิเคราะห์รอง: ภายในแต่ละตำบล หน่วยวิเคราะห์รองคือ พิกเซลของภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 ที่ใช้ในการจำแนกพื้นที่สีเขียว

2.2 เครื่องมือ

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2: เป็นข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral) ที่ได้จากโครงการ Copernicus ของสหภาพยุโรป ซึ่งมีขนาดของพิกเซลหรือความละเอียดเชิงพื้นที่ 10x10 เมตร และมีช่วงเวลาการกลับมาถ่ายภาพซ้ำทุก 5 วัน ที่เหมาะสมสำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียว ข้อมูลนี้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณดัชนีพืชพรรณ (NDVI) เพื่อจำแนกพื้นที่สีเขียว

ข้อมูลขอบเขตการปกครองระดับตำบล (Shapefile): เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ที่แสดงขอบเขตการปกครองของแต่ละตำบลในอำเภอเมืองพิษณุโลก [10] ใช้สำหรับกำหนดขอบเขตการวิเคราะห์ในกูเกิลเอิร์ธเอนจิน

ข้อมูลประชากรระดับตำบล: ข้อมูลจำนวนประชากรของแต่ละตำบลในปี พ.ศ. 2567 ได้จากเว็บไซต์ขององค์การบริหารส่วนตำบลหรือหน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่นสำหรับการคำนวณอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากร

แพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน: เป็นเครื่องมือหลักในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลเชิงพื้นที่

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2: ทำการคัดเลือกภาพในช่วงเวลาที่เหมาะสม (ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2567 ถึง 31 ธันวาคม 2567) โดยการกำหนดช่วงเวลาตลอดทั้งปีมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างภาพตัวแทนที่สะท้อนสภาพพืชพรรณโดยเฉลี่ยของพื้นที่ และลดอคติที่อาจเกิดจากฤดูกาลใดฤดูกาลหนึ่ง จากนั้นทำการกรองภาพที่มีปริมาณเมฆปกคลุมต่ำกว่า 10% เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพที่มีคุณภาพดีสำหรับการวิเคราะห์ แล้วนำภาพทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์มาทำการรวมภาพแบบมัธยฐาน (Median Composite) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการลดผลกระทบจากเมฆที่ยังหลงเหลืออยู่ เงา และความผิดปกติของข้อมูลชั่วคราว เพื่อให้ได้ภาพที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลขอบเขตการปกครองตำบล (Shapefile): นำเข้าข้อมูล Shapefile ของตำบลในอำเภอเมืองพิษณุโลกเข้าสู่แพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจินเพื่อใช้เป็นขอบเขตในการวิเคราะห์

ข้อมูลประชากรระดับตำบล: รวบรวมข้อมูลจำนวนประชากรของแต่ละตำบลจากแหล่งข้อมูลเว็บไซต์ของทั้ง 21 องค์การบริหารส่วนตำบลที่อยู่ภายในอำเภอเมืองพิษณุโลก และจัดเก็บในรูปแบบ Dictionary ภายในสคริปต์กูเกิลเอิร์ธเอนจิน

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ ดำเนินการบนแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจินอาศัยการเขียนสคริปต์ (<https://code.earthengine.google.com/dbd028bf9630a4105f83da266e9b6d8c>) โดยการทำงานของกูเกิลเอิร์ธเอนจินมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: การนำเข้าข้อมูล (Data Import):

เริ่มต้นด้วยการนำเข้าข้อมูลขอบเขตการปกครองของตำบลในอำเภอเมืองพิษณุโลกในรูปแบบ Shapefile (`ee.FeatureCollection("projects/beamimg-figure-459614-t7/assets/tambon2")`); เข้าสู่ GEE เพื่อใช้เป็นขอบเขตการศึกษา

นำเข้าชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 (ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ผ่านการปรับแก้เชิงเรขาคณิตและบรรยากาศแล้ว

ขั้นตอนที่ 2: การคัดเลือกและเตรียมข้อมูลภาพ (Image Filtering and Preparation):

ทำการกรองชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 ตามขอบเขตพื้นที่ศึกษา (.filterBounds(tambon)) และช่วงเวลาที่น่าสนใจ (ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2567 ถึง 31 ธันวาคม 2567) (.filterDate('2024-01-01', '2024-12-31'))

คัดเลือกเฉพาะภาพที่มีปริมาณเมฆปกคลุมต่ำกว่า 10% (.filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 10))) เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพสำหรับการวิเคราะห์

สร้างภาพรวมแบบมัธยฐาน (Median Composite) จากภาพที่ผ่านการคัดเลือก เพื่อลดผลกระทบจากเมฆและเงา และให้ได้ภาพที่เป็นตัวแทนของช่วงเวลาการศึกษา (.median()).

ขั้นตอนที่ 3: การคำนวณดัชนี NDVI (NDVI Calculation):

คำนวณดัชนีพืชพรรณ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) จากแถบคลื่น Near-Infrared (B8) และ Red (B4) ของภาพเซนติเนล 2 โดยใช้ฟังก์ชัน normalizedDifference() และตั้งชื่อให้กับผลลัพธ์ (.rename('NDVI')).

ขั้นตอนที่ 4: การสร้างหน้ากากพื้นที่สีเขียว (Green Space Masking):

กำหนดเกณฑ์ในการจำแนกพื้นที่สีเขียวโดยใช้ค่า NDVI ที่มากกว่า 0.4 (ndvi.gt(0.4)) เพื่อสร้างหน้ากาก (binary mask) ที่ระบุบริเวณที่เป็นพื้นที่สีเขียว

ปรับปรุงหน้ากากเป็นตัวแทนค่า (greenMask.updateMask(greenMask)) เพื่อให้แสดงเฉพาะบริเวณที่ NDVI ตรงตามเกณฑ์

ขั้นตอนที่ 5: การคำนวณพื้นที่สีเขียว (Green Area Calculation):

คำนวณพื้นที่ของแต่ละพิกเซลในหน่วยตารางเมตร (ee.Image.pixelArea()).

คูณหน้ากากพื้นที่สีเขียวกับพื้นที่ต่อพิกเซลเพื่อให้ได้ภาพที่แสดงพื้นที่สีเขียวในหน่วยตารางเมตร (greenArea.multiply(pixelArea)).

ขั้นตอนที่ 6: การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในระดับตำบล (Zonal Statistics):

ใช้ฟังก์ชัน reduceRegions() เพื่อคำนวณผลรวมของพื้นที่สีเขียวภายในขอบเขตของแต่ละตำบล โดยระบุข้อมูลขอบเขตตำบล (collection: tambon), ตัวรีดิวเซอร์สำหรับการหาผลรวม (reducer: ee.Reducer.sum()), ความละเอียดในการคำนวณ (scale: 10 เมตร), และระบบพิกัดอ้างอิง (crs: 'EPSG:32647').

ขั้นตอนที่ 7: การรวมข้อมูลประชากร (Population Data Integration):

สร้าง Dictionary ที่เก็บข้อมูลจำนวนประชากรของแต่ละตำบล (popDict).

ใช้ฟังก์ชัน map() เพื่อวนรอบ Feature Collection ของผลลัพธ์พื้นที่สีเขียวในแต่ละตำบล และทำการดึงชื่อตำบล (f.get('TambonT')) เพื่อนำไปค้นหาข้อมูลประชากรจาก Dictionary (popDict.get(name, 0)). หากไม่พบข้อมูลประชากรจะกำหนดให้มีค่าเป็น 0

ขั้นตอนที่ 8: การคำนวณอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากร (Per Capita Ratio Calculation):

ภายในฟังก์ชัน map(), คำนวณอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรโดยนำพื้นที่สีเขียวรวมของตำบล (f.get('sum')) มาหารด้วยจำนวนประชากร (pop). ใช้ ee.Algorithms.If() เพื่อป้องกันการหารด้วยศูนย์

เพิ่มข้อมูลประชากร พื้นที่สีเขียวรวม และอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรเป็นคุณสมบัติใหม่ให้กับแต่ละ Feature ใน Feature Collection (f.set(...)).

ขั้นตอนที่ 9: การแสดงผลและการนำเสนอ (Visualization and Output):

แสดงผลลัพธ์ใน Console (print()).

กำหนดจุดกึ่งกลางแผนที่และระดับการซูม (Map.centerObject()).

แสดงชั้นข้อมูล NDVI และชั้นข้อมูลอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรบนแผนที่ (Map.addLayer()) โดยมีการกำหนดรูปแบบการแสดงผลด้วยสีที่แตกต่างกันตามช่วงค่า

สร้างคำอธิบายสัญลักษณ์แผนที่ (Legend) เพื่ออธิบายความหมายของสีต่างๆ

คำนวณพื้นที่รวมของแต่ละตำบลจากรูปทรงทางเรขาคณิต (f.geometry().area()) และคำนวณร้อยละของพื้นที่สีเขียวต่อพื้นที่ทั้งหมดของตำบล

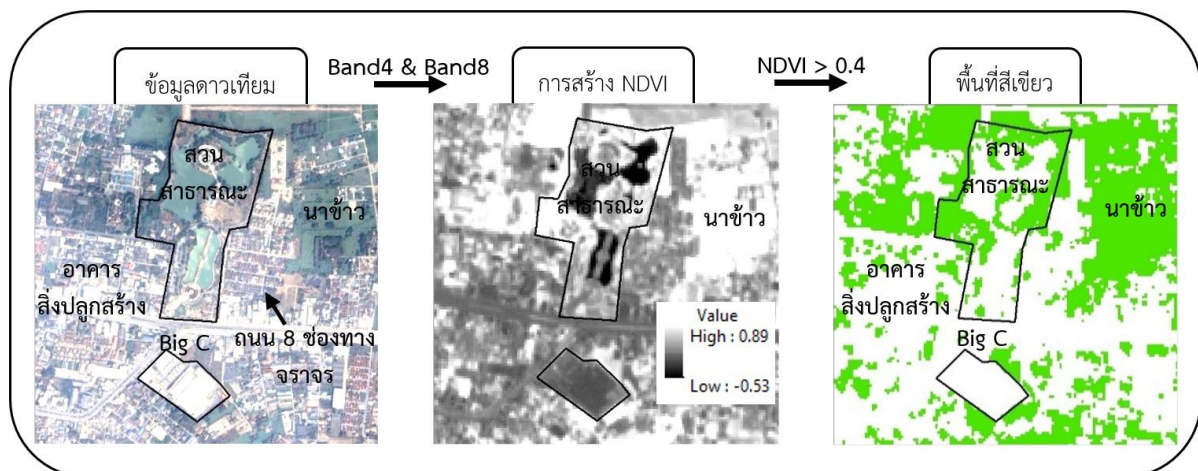
ส่งออกตารางสรุปผลลัพธ์ไปยัง Google Drive ในรูปแบบ CSV (Export.table.toDrive()).

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 ด้วยดัชนีพืชพรรณ (NDVI) บนแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน เพื่อจำแนกพื้นที่สีเขียวในอำเภอเมืองพิษณุโลก ปี พ.ศ. 2567 พบว่าแต่ละตำบลมีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวและอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรที่แตกต่างกัน

3.1 การกระจายตัวของพื้นที่สีเขียวในระดับตำบล

ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) เป็นดัชนีที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 โดยอาศัยความแตกต่างของการสะท้อนแสงในย่าน Near-Infrared (NIR) และย่าน Red (RED) ตามสูตร $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ ซึ่งให้ค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 โดยพื้นที่ที่มีพืชพรรณสมบูรณ์จะมีค่า NDVI สูง (มากกว่า 0.4) ในขณะที่พื้นที่ไม่มีพืชพรรณหรือเป็นสิ่งปลูกสร้างจะมีค่าใกล้ 0 หรือติดลบ [11-12] จากการประมวลผลข้อมูลบนแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน พบว่าชั้นข้อมูล NDVI ที่ได้สามารถแสดงการกระจายตัวของพื้นที่สีเขียวในอำเภอเมืองพิษณุโลกได้อย่างชัดเจน (ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2 และ 3)



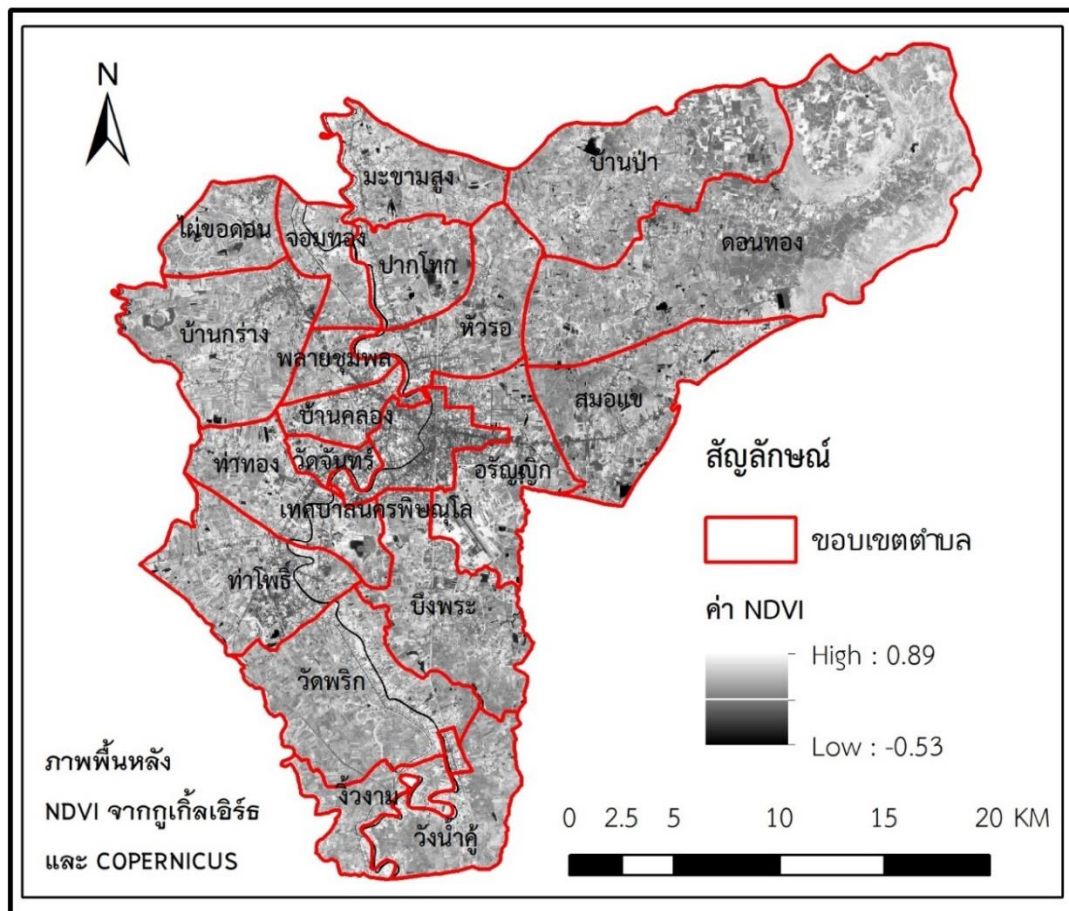
ภาพที่ 2 ผลการจำแนกพื้นที่สีเขียวของพื้นที่ตัวอย่างภายในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก

ผลการวิเคราะห์พื้นที่สีเขียวระดับตำบล เราได้นำชั้นข้อมูลขอบเขตการปกครองระดับตำบลภายในอำเภอเมืองพิษณุโลกมาซ้อนทับ (overlay) กับชั้นข้อมูล NDVI ที่ได้จากการประมวลผลก่อนหน้านี้ จากนั้นใช้ฟังก์ชัน zonal statistics ในการคำนวณหาพื้นที่รวมและสัดส่วนพื้นที่สีเขียว (NDVI > 0.4) ของแต่ละตำบล โดย GEE จะทำการรวมพื้นที่พิกเซลที่ตรงตามเงื่อนไขและแปลงเป็นหน่วยเนื้อที่จริง (หน่วยเป็นตารางกิโลเมตร) พร้อมทั้งคำนวณเป็นร้อยละของพื้นที่สีเขียวต่อเนื้อที่ตำบลทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นความแตกต่างของสัดส่วนพื้นที่สีเขียวระหว่างตำบล ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

การกระจายตัวของพื้นที่สีเขียวในระดับตำบล ผลการศึกษาพบว่าตำบลต่างๆ ในอำเภอเมืองพิษณุโลกมีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยตำบลที่มีลักษณะเป็นชนบทและพื้นที่เกษตรกรรม เช่น อบต.จี่งวาม มีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวสูง

ถึง 76.44% ของเนื้อที่ตำบล ขณะที่ตำบลที่มีลักษณะเป็นเขตเมืองอย่างเทศบาลนครพิษณุโลก มีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวเพียง 35.54% เท่านั้น ความแตกต่างนี้สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของลักษณะการใช้งานที่ดินต่อการกระจายตัวของพื้นที่สีเขียว

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีข้อจำกัดที่สำคัญซึ่งควรนำมาพิจารณาในการแปลผล นั่นคือการจำแนก "พื้นที่สีเขียว" โดยใช้เกณฑ์ค่า NDVI > 0.4 นั้น ได้นับรวมพื้นที่เกษตรกรรม เช่น นาข้าว ไร่พืชหมุนเวียน เข้าไปด้วย ซึ่งพื้นที่เหล่านี้มีความเขียวขจีที่ผันแปรสูงมากตามฤดูกาล (High seasonal variation) ตัวอย่างเช่น นาข้าวในฤดูเก็บเกี่ยวหรือฤดูแล้งอาจมีค่า NDVI ต่ำและไม่ถูกนับเป็นพื้นที่สีเขียว ในขณะที่มีค่าสูงในช่วงฤดูเพาะปลูก การใช้ภาพรวมแบบมัลติฐานตลอดทั้งปีช่วยลดผลกระทบนี้ได้ในระดับหนึ่ง แต่ไม่ได้จำแนกประเภทของพื้นที่สีเขียวออกจากกันอย่างชัดเจน ดังนั้น อัตราส่วนที่สูงในบางตำบลอาจเป็นผลมาจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นหลัก มากกว่าจะเป็นพื้นที่สีเขียวถาวรประเภทสวนสาธารณะหรือป่าไม้ ซึ่งเป็นประเด็นที่ต้องพิจารณาในการนำผลไปใช้ในการวางแผนพัฒนาเมือง



ภาพที่ 3 ข้อมูล NDVI ซ้อนทับกับขอบเขตตำบลในพื้นที่ศึกษา

3.2 อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากร

การวิเคราะห์อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรในระดับตำบลสะท้อนให้เห็นความเหลื่อมล้ำในการกระจายตัวอย่างชัดเจน ผลการศึกษาพบว่า ตำบลบ้านป่าเป็นพื้นที่ที่มีอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรสูงที่สุดถึง 6,791.37 ตร.ม./คน เนื่องจากมีพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่เกษตรกรรมกว้างขวาง ในขณะที่ประชากรอาศัยอยู่ค่อนข้างเบาบางเพียง 5,792 คน สภาพดังกล่าวเอื้อต่อการรักษาสมดุลทางสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของประชาชนเป็นอย่างดี

ในทางตรงกันข้าม เทศบาลนครพิษณุโลกซึ่งเป็นศูนย์กลางความเจริญของจังหวัด มีอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรต่ำที่สุดเพียง 99.95 ตร.ม./คน สถานการณ์นี้เป็นผลมาจากการขยายตัวของชุมชนเมืองอย่างรวดเร็ว การเพิ่มขึ้นของสิ่งปลูก

สร้าง และการเปลี่ยนพื้นที่สีเขียวไปใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและพาณิชยกรรม ตำบลอื่นๆ ในเขตเมือง เช่น เทศบาลเมือง อรัญญิก (727.70 ตร.ม./คน) และเทศบาลตำบลห้วย (715.41 ตร.ม./คน) ก็มีแนวโน้มประสบปัญหาคล้ายคลึงกัน เนื่องจาก ความหนาแน่นของประชากรที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาตำบลที่มีลักษณะเขตเมืองและกึ่งเมือง (ตารางที่ 1) เช่น อบต.ท่าโพธิ์ (1,004.73 ตร.ม./คน) และ อบต. บึงพระ (1,305.15 ตร.ม./คน) พบว่ามีอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลง การใช้ที่ดินจากการเกษตรสู่กิจกรรมอื่นๆ ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น และเพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างพื้นที่เมืองและ ชนบทให้ชัดเจนยิ่งขึ้น การศึกษาครั้งนี้จึงได้จำแนกตำบลออกเป็น 2 กลุ่ม และนำเสนอผลการวิเคราะห์แยกกันดังแสดงใน ตารางที่ 1 และ 2 ซึ่งทำให้เห็นถึงความเหลื่อมล้ำของอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรได้อย่างชัดเจน

ในแง่ของการเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากล อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรในอำเภอเมืองพิษณุโลกส่วนใหญ่สูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำ 9 ตร.ม./คน ที่องค์การอนามัยโลก (WHO) และสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมกำหนดไว้ อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างอย่างมากระหว่างเขตเมืองและชนบท โดยเฉพาะในเทศบาลนครพิษณุโลกที่ใกล้เคียงกับเกณฑ์ขั้นต่ำ ส่ง สัญญาณเตือนถึงความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่เมือง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นว่า เขตเมืองมักประสบปัญหาการเข้าถึงพื้นที่สีเขียวที่ไม่เพียงพอ [13-14]

ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรในระดับตำบลได้ใช้วิธีการแบ่งช่วงค่าแบบทุกช่วงชั้นเท่ากัน (equal interval) เพื่อจำแนกข้อมูลออกเป็น 3 ระดับชั้น (class) โดยแต่ละชั้นมีช่วงค่าดังนี้: ระดับต่ำ (<2,495.28 ตร.ม./คน) ระดับกลาง (2,495.28-4,890.24 ตร.ม./คน) และระดับสูง (>4,890.24 ตร.ม./คน) ผลการวิเคราะห์แสดงในแผนที่เฉพาะเรื่อง (ภาพที่ 4) ชี้ให้เห็นความเหลื่อมล้ำในการกระจายทรัพยากรธรรมชาติอย่างชัดเจน

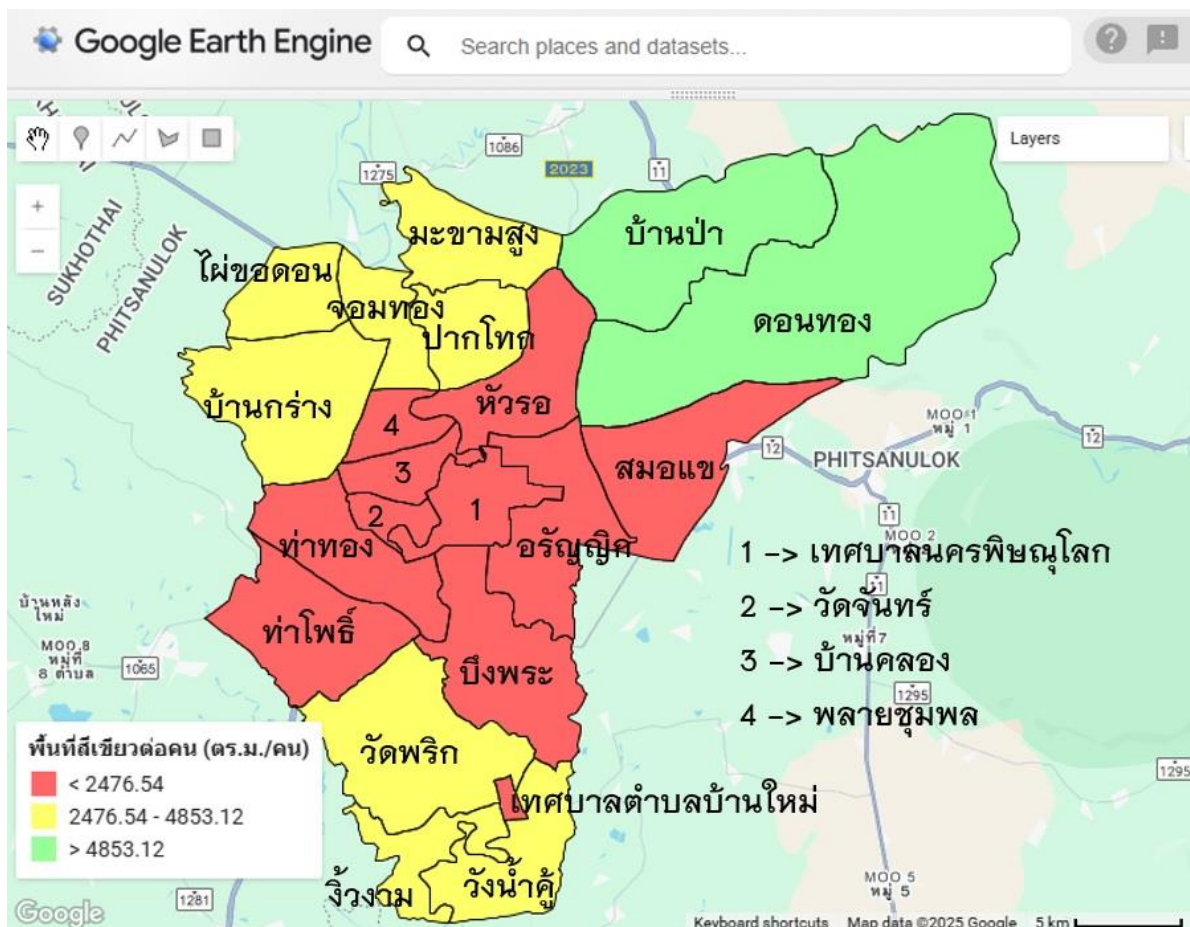
ผลการศึกษาส่วนนี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการวางแผนพัฒนาและกระจายพื้นที่สีเขียวอย่างเท่าเทียม โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีความหนาแน่นประชากรสูง เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างการพัฒนาทางเศรษฐกิจและการรักษา สิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

ตารางที่ 1 พื้นที่สีเขียวและอัตราส่วนต่อประชากรในกลุ่มตำบลเขตเมืองและกึ่งเมือง อำเภอเมืองพิษณุโลก

ขอบเขตการปกครอง	จำนวน ประชากร (คน)	เนื้อที่ ตำบล (ตร.กม.)	พื้นที่ สีเขียว (ตร.กม.)	ร้อยละ พื้นที่สีเขียว	พื้นที่สีเขียว ต่อประชากร (ตร.ม./คน)
เทศบาลนครพิษณุโลก	68,086	19.15	6.81	35.54	99.95
อบต.วัดจันทร์	9,010	6.82	4.01	58.83	445.03
เทศบาลตำบลบ้านคลอง	13,486	11.74	7.25	61.81	537.96
เทศบาลตำบลบ้านใหม่	1,891	1.73	1.04	59.99	550.17
เทศบาลตำบลห้วย	26,339	31.58	18.84	59.68	715.41
เทศบาลเมืองอรัญญิก	30,414	36.54	22.13	60.58	727.70
เทศบาลตำบลพลาชุมพล	7,590	10.32	6.52	63.21	859.47
อบต.ท่าโพธิ์	25,223	39.00	25.34	64.97	1,004.73
อบต.บึงพระ	19,125	43.19	24.96	57.79	1,305.15
อบต.สมอแข	15,832	42.88	22.19	51.75	1,401.75
อบต.ท่าทอง	14,371	31.80	20.94	65.87	1,457.36
ค่าเฉลี่ยกลุ่ม	-	-	-	59.09	755.06

ตารางที่ 2 พื้นที่สีเขียวและอัตราส่วนต่อประชากรในกลุ่มตำบลเขตชนบท อำเภอเมืองพิษณุโลก

ขอบเขตการปกครอง	จำนวน ประชากร (คน)	เนื้อที่ ตำบล (ตร.กม.)	พื้นที่ สีเขียว (ตร.กม.)	ร้อยละ พื้นที่สีเขียว	พื้นที่สีเขียว ต่อประชากร (ตร.ม./คน)
อบต.บ้านกร่าง	12,602	47.25	32.66	69.12	2,591.66
อบต.ปากโทก	4,968	21.46	13.17	61.38	2,651.82
อบต.จอมทอง	3,800	16.92	12.19	72.05	3,207.89
อบต.ไผ่ชอดอน	4,134	19.19	14.05	73.23	3,399.06
อบต.มะขามสูง	5,658	27.51	20.02	72.77	3,538.53
อบต.จี้วังาม	3,341	18.01	13.77	76.44	4,121.50
อบต.วัดพริก	7,887	53.38	37.09	69.48	4,702.53
อบต.วังน้ำคู้	4,159	28.98	19.91	68.72	4,787.94
อบต.บ้านป่า	5,792	61.46	39.34	64.01	6,791.37
อบต.ดอนทอง	13,199	143.81	95.42	66.35	7,229.71
ค่าเฉลี่ยกลุ่ม	-	-	-	69.36	4,302.20



ภาพที่ 4 แผนที่ความแตกต่างของอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรระดับตำบลโดยใช้กูเกิ้ลเอิร์ธเอนจิน

4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ได้ประเมินการกระจายตัวของพื้นที่สีเขียวและอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรในอำเภอเมืองพิษณุโลก ปี พ.ศ. 2567 โดยใช้เทคโนโลยีกูเกิ้ลเอิร์ธเอนจินร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายเทียมเซนติเนล 2 และข้อมูลประชากร ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการศึกษาพบความแตกต่างอย่างชัดเจนของอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรระหว่างเขตเมืองและเขตชนบท โดยเขตเทศบาลนครพิษณุโลกมีอัตราส่วนต่ำที่สุดเพียง 99.95 ตร.ม./คน และมีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวเพียง 35.54% ของพื้นที่ทั้งหมดสะท้อนถึงความท้าทายในการจัดการพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองที่มีความหนาแน่นของประชากรสูงและการขยายตัวของชุมชนเมือง

ในทางตรงกันข้าม ตำบลบ้านป่าซึ่งเป็นพื้นที่ชนบทมีอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรสูงที่สุดถึง 6,791.37 ตร.ม./คน เนื่องจากมีพื้นที่ป่าไม้ขนาดใหญ่และประชากรอาศัยอยู่เบาบาง โดยมีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวคิดเป็น 64.01% ของพื้นที่ตำบล

การวิเคราะห์การกระจายตัวของพื้นที่สีเขียวพบว่า ตำบลส่วนใหญ่ในพื้นที่ชนบทมีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวเกิน 60% ของพื้นที่ทั้งหมด โดยเฉพาะตำบลวังงาม (76.44%) และตำบลไผ่ขอดอน (73.23%) ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ ในขณะที่เขตเทศบาลและชุมชนเมืองมีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวประมาณ 59-64% แต่เมื่อกำหนดต่อจำนวนประชากรแล้วพบว่าเมืองมีอัตราส่วนค่อนข้างต่ำ

การศึกษานี้ยังพบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างลักษณะทางกายภาพของพื้นที่กับอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากร ตำบลที่มีประชากรน้อยแต่มีพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่ เช่น ตำบลดอนทอง (7,229.71 ตร.ม./คน) และตำบลวัดพริก (4,702.53 ตร.ม./คน) มีอัตราส่วนสูงกว่าค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เขตเมืองหลักแม้จะมีพื้นที่สีเขียวในสัดส่วนที่เหมาะสม แต่เมื่อเทียบกับจำนวนประชากรแล้วกลับมีอัตราส่วนต่ำ

จากผลการศึกษาข้างต้น ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเชิงนโยบายดังนี้ แม้ว่าทุกตำบลจะมีอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำของ WHO แต่ความเหลื่อมล้ำในการกระจายตัวยังคงเป็นปัญหาสำคัญ ดังนั้น ควรเร่งวางแผนเพิ่มพื้นที่สีเขียวสาธารณะที่ประชาชนเข้าถึงได้ง่ายในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกและพื้นที่เมืองชั้นในที่มีความหนาแน่นประชากรสูง โดยอาจพัฒนาในรูปแบบสวนสาธารณะขนาดเล็ก (Pocket park) หรือการปลูกต้นไม้ตามแนวถนน เพื่อลดความเหลื่อมล้ำและยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในเขตเมือง ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวยังถือเป็นการลงทุนด้านสาธารณสุขเชิงรุก ที่สามารถช่วยลดความเสี่ยงทางสุขภาพที่สัมพันธ์กับการใช้ชีวิตในเมืองได้โดยตรง [9] นอกจากนี้ควรส่งเสริมการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ชนบทอย่างยั่งยืนเพื่อรักษาสมดุลระหว่างการอนุรักษ์และการพัฒนาต่อไป

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการวางแผนการใช้ที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงการกระจายตัวของประชากรและศักยภาพของพื้นที่ เพื่อให้การจัดการพื้นที่สีเขียวเป็นไปอย่างเท่าเทียมและสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 11 เรื่องเมืองและชุมชนที่ยั่งยืน และเป้าหมายที่ 15 เรื่องการอนุรักษ์ระบบนิเวศบนบก

สำหรับการศึกษารั้งถัดไป ควรพิจารณาเพิ่มข้อมูลประชากรแฝงที่เดินทางเข้าออกพื้นที่ระหว่างวัน เช่น ผู้ที่มาทำงาน นักเรียน หรือแรงงานชั่วคราว ซึ่งไม่ได้ถูกรวมในการวิเคราะห์ครั้งนี้ การนำข้อมูลกลุ่มนี้มาร่วมพิจารณาจะช่วยสะท้อนความต้องการพื้นที่สีเขียวที่แท้จริง โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีความหนาแน่นของกิจกรรมสูง

อีกทั้งควรศึกษาเพิ่มเติม คือเกณฑ์ค่าขีดแบ่ง (threshold) ในการจำแนกพื้นที่สีเขียวจาก NDVI ที่ใช้ค่าเดียวกัน (NDVI > 0.4) ทั้งพื้นที่ศึกษา อาจไม่เหมาะสมในบางบริบท ดังนั้นควรมีการปรับค่าขีดแบ่งให้เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของแต่ละพื้นที่ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ หรืออาจพิจารณาใช้วิธีการจำแนกอื่นเพิ่มเติม เช่น การจำแนกแบบกำกับ (Supervised Classification) หรือเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกพื้นที่สีเขียว และควรมีการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำแนกเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีที่ใช้และเสริมความน่าเชื่อถือของผลการศึกษา

ประการสุดท้าย เพื่อให้การวิเคราะห์สะท้อนความเป็นจริงในการเข้าถึงพื้นที่สีเขียวของประชากรในเขตเมืองได้แม่นยำยิ่งขึ้น การศึกษาในอนาคตควรมีการจำแนกและจำกัดขอบเขตการวิเคราะห์ให้เจาะจงเฉพาะพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นเมือง (Urbanized Area) ภายในแต่ละตำบล แทนการใช้ขอบเขตตำบลทั้งพื้นที่ซึ่งครอบคลุมทั้งพื้นที่เมือง ชนบท และเกษตรกรรมปะปนกัน

แนวทางการดำเนินการดังกล่าวสามารถทำได้โดยการใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศประเภทอื่นเข้ามาช่วยในการสร้างหน้ากาก (Masking) เพื่อสกัดเฉพาะพื้นที่เมือง ตัวอย่างเช่น การใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Data) ของกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อเลือกเฉพาะขอบเขตที่เป็น "พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง" มาใช้เป็นพื้นที่ศึกษาหลัก หรือการใช้ข้อมูลดาวเทียมสำรวจแสงไฟในช่วงกลางคืน (Nighttime Light Data) ซึ่งพื้นที่ที่มีค่าความสว่างสูงจะสัมพันธ์กับความเป็นเมืองที่หนาแน่น สามารถนำมาสร้างขอบเขตเพื่อจำกัดพื้นที่วิเคราะห์ได้

การวิเคราะห์ในลักษณะนี้จะทำให้ได้อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรในเขตเมืองที่แท้จริง ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อนักวางผังเมืองและหน่วยงานท้องถิ่นในการกำหนดนโยบายและจัดลำดับความสำคัญในการพัฒนาพื้นที่สีเขียวได้อย่างตรงจุดมากยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบคุณ ความอนุเคราะห์และการสนับสนุนจาก Google Earth Engine Platform ที่ให้บริการเครื่องมือและแพลตฟอร์มอันทรงพลังสำหรับการประมวลผลข้อมูลภูมิสารสนเทศ และขอขอบคุณโครงการ Copernicus ของสหภาพยุโรป ที่ให้บริการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ซึ่งทั้งสองเป็นหัวใจสำคัญของการศึกษารั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, Ministry of Natural Resources and Environment. (2022, May 16). *Green Space Area*. <https://www.onep.go.th/greenspacearea/> (In/Thai)
- [2] Sineenat Sukolrattanamethi.(2019, July 19). *Urban green spaces require proactive planning*. MATICHON ONLINE. https://www.matichon.co.th/article/news_1585145 (In/Thai)
- [3] ISRA NEWS AGENCY. (2022, March 19). *'Green spaces' measure city happiness, but Bangkok still lags behind as an 'environmental city'*. <https://www.isranews.org/article/isranews-scoop/107414-isranews-246.html> (In/Thai)
- [4] Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, Ministry of Natural Resources and Environment. (2022, May 16). *Policy Action Plan for Sustainable Urban Green Space Management*. <http://www.onep.go.th/ebook/urban/urban-publication-06.pdf> (In/Thai)
- [5] Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, Ministry of Natural Resources and Environment. (2022, May 16). *Guidelines for Sustainable Urban Green Space Management*. <http://www.onep.go.th/ebook/urban/urban-publication-07.pdf> (In/Thai)
- [6] Russo, A., & Cirella, G. T. (2018). Modern Compact Cities: How Much Greenery Do We Need?. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 1-15. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102180>
- [7] Supakit Phithakbanchot. (2021, January 3). *Green spaces in metropolitan areas.becommon*. <https://becommon.co/culture/green-bangkok/> (In/Thai)



- [8] Thai PBS. (2022, May 19). *Is Bangkok really lacking green spaces?*. <https://thevisual.thaipbs.or.th/bangkok-green-space/main/> (In/Thai)
- [9] Twohig-Bennett, C., & Jones, A. (2018). The health benefits of the great outdoors: A systematic review and meta-analysis of greenspace exposure and health outcomes. *Environmental Research*, 166, 628–637. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.06.030>
- [10] Chontanat Suwan. (2025, May 15). *Environmental datasets for download*. CSUWAN. <https://csuwan.weebly.com/360436343623360936603650362736213604--download.html> (In/Thai)
- [11] Avetisyan, D., Velizarova, E., & Filchev, L. (2022). Post-fire forest vegetation state monitoring through satellite remote sensing and in situ data. *Remote Sensing*, 14(24), 6266. <https://doi.org/10.3390/Rs14246266>
- [12] Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
- [13] Williams, T. G., Logan, T. M., Zuo, C. T., Liberman, K. D., Guikema, S. D. (2020). Parks and safety: a comparative study of green space access and inequity in five US cities. *Landscape and Urban Planning*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103841>
- [14] Rigolon, A., Browning, M. H. E. M., Lee, K., & Shin, S. (2018). Access to Urban Green Space in Cities of the Global South: A Systematic Literature Review. *Urban Science*, 2(3), 67. <https://doi.org/10.3390/urbansci2030067>