

การใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลเพื่อศึกษาสมบัติบางประการของดินในพื้นที่เสี่ยง  
การเป็นดินกรดและดินเค็มภาคกลางของประเทศไทย

Use of Remote Sensing Data for Some Soil Properties Studying in Areas  
at Risk of Acidic Soil and Saline Soil of Central Thailand

ทศน์ศว์ รัตนแก้ว

Totsanat Rattanakaw

กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ 10900

Division of Policy and Land Use Planning Land Development

Department Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand 10900

Corresponding author: totsanat@yahoo.com

Received: May 25, 2023

Revised: January 05, 2024

Accepted: January 17, 2024

**Abstract**

Conventional soil properties study including soil sampling and laboratory analysis are laborious, costly and time-consuming. Remote sensing data is collected as reflected electromagnetic radiation that vary with objects and correlate with plant growth and health. It can shorten the time of collecting soil samples, reduce cost from both in field and laboratory. This research was studied the potential of satellite images (Sentinel 2) by calculating three vegetation indices: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) and Normalized Difference Infrared Index (NDII) and correlating with soil fertility indicators, such as soil pH, soil electrical conductivity, and soil organic matter. Soil samples were collected from Kamphaeng Saen district in Nakhon Pathom province, which is at risk of saline soil, as well as from Bang Len district in Nakhon Pathom province and Pak Phli district in Nakhon Nayok province, both of which were at risk of acidic soil. The fertility of the soil was found to be associated with land use types, soil series, and vegetation indices calculated from Sentinel 2 satellite images. In March, the NDVI with a logarithmic model showed the highest potential for estimating soil pH. Similarly, in December, the GNDVI with an exponential model demonstrated the highest potential for estimating soil electrical conductivity. However, all vegetation indices were unsuitable for predicting soil organic matter.

**Keywords:** soil property, land use, Sentinel-2, vegetation index

## บทคัดย่อ

การศึกษาสมบัติดินแบบดั้งเดิม ได้แก่ การเก็บตัวอย่างดิน และการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ต้องใช้แรงงานและค่าใช้จ่ายสูง รวมทั้งใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการนาน ข้อมูลรับรู้ระยะไกลซึ่งอาศัยการบันทึกค่าพลังงานสะท้อนกลับที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงคลื่น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและสุขภาพของพืช การหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเคมีดินกับค่าการสะท้อนแสงของพืชที่มีสุขภาพต่างกันในพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่างกันและสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อประมาณค่าความสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ข้างเคียง ซึ่งช่วยลดแรงงาน ค่าใช้จ่าย และลดระยะเวลาในการดำเนินงาน การศึกษานี้ได้ศึกษาศักยภาพของข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel 2 โดยการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ดัชนี Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) และดัชนี Normalized Difference Infrared Index (NDII) แล้วหาความสัมพันธ์กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ในอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินเค็ม อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม และอำเภอบางพลี จังหวัดนครนายก ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินกรด ผลการศึกษาพบว่าความอุดมสมบูรณ์ของดินมีความสัมพันธ์กับประเภทการใช้ที่ดินและชุดดิน และมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel 2 โดยค่า NDVI ในเดือนมีนาคม ที่มีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic มีศักยภาพสูงที่สุดในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแบบจำลองเพื่อประมาณค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ค่า GNDVI ในเดือนธันวาคม ที่มีความสัมพันธ์แบบ Exponential มีศักยภาพสูงที่สุดในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแบบจำลองเพื่อประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน ขณะที่ปริมาณ

อินทรีย์วัตถุ ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด มีศักยภาพในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแบบจำลองต่ำมาก

**คำสำคัญ:** สมบัติดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ดาวเทียม Sentinel-2 ดัชนีพืชพรรณ

## คำนำ

ดินเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งยังคงต้องใช้ที่ดินเพื่อประกอบการเกษตรอันเป็นอาชีพพื้นฐาน เนื่องจากดินเป็นปัจจัยหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารและน้ำแก่พืช เป็นที่ยึดเกาะของรากให้พืชทรงตัวอยู่ได้ และเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงจะเอื้อต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างเพียงพอ ความอุดมสมบูรณ์ของดินถูกกำหนดจากเกณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ ความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช สมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น (Research and Development for Land Management Division, n.d.) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และปริมาณธาตุที่เป็นด่างที่ดินดูยึดไว้ เป็นสมบัติทางเคมีดินที่นิยมใช้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน อย่างไรก็ตามสมบัติทางเคมีดินต้องอาศัยกระบวนการทางเคมีในการวิเคราะห์ ซึ่งการปฏิบัติงานด้านเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีต้นทุนสูง ใช้ระยะเวลาและแรงงานมาก โดยเฉพาะการวิเคราะห์ดินรายแปลง การสร้างแบบจำลองเพื่อคาดการณ์ในการวินิจฉัยเชิงพื้นที่ของคุณลักษณะความอุดมสมบูรณ์ของดิน จึงเป็นความท้าทายและความก้าวหน้า สำหรับการทำการเกษตรแบบแม่นยำ (Molin and Tavares, 2019; Singh *et al.*, 2018) ทำให้สามารถทำการเกษตรแบบเข้มข้นและแม่นยำยิ่งขึ้น

เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลหรือรีโมทเซนซิง เป็นที่รู้จักในวงกว้างว่าเป็นวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาการตอบสนองของปฏิกิริยาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัตถุ การดูดซับช่วงคลื่นแสงถูกโดยคลอโรฟิลล์ และการสะท้อนช่วงคลื่นสามารถใช้แยกชนิดของพืชและสุขภาพพืช และสามารถใช้อย่างบอกถึงโครงสร้างเซลล์ของพืชและมวลชีวภาพ จากการวัดปริมาณค่าการสะท้อนแสงโดยพืชพรรณธรรมชาติจะสะท้อนพลังงานได้ดีในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 700-1,300 นาโนเมตร และในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้จะสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นแสงสีเขียว ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 500-600 นาโนเมตร ส่วนการสะท้อนพลังงานของดินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยบางประการในดิน เช่น ความชื้นในดิน แร่ธาตุในดิน เป็นต้น และน้ำจะไม่มีการสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Jensen, 2000) เช่น Glowienka *et al.* (2016) รายงานว่า การวิเคราะห์เชิงพื้นที่และเชิงเวลาในการกระจายความเค็มของดินและระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ในภูมิภาคโปแลนด์ ตะวันออกเฉียงใต้ในหลายช่วงปี โดยการวิเคราะห์ข้อมูลการรับรู้ระยะไกล ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าความเค็มของดินและระดับ pH มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก เช่นเดียวกับ โพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่วนใหญ่เกิดขึ้นในภาคเหนือและภาคใต้ของพื้นที่ที่ตรวจสอบ สาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจเป็นเพราะน้ำท่วมซึ่งกระทบภูมิภาค Vaudour *et al.* (2019) รายงานการใช้ข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2 โดยการคำนวณดัชนี NDVI ในการประมาณค่าสมบัติดินของชั้นดินบนในเขตอบอุ่นและในแถบเมดิเตอร์เรเนียน ได้แก่ ปริมาณอนุภาคดินเหนียว ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยใช้สมการ Partial Least Squares Regressions (PLSR) พบว่าการใช้ดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์กับปริมาณอนุภาคดินเหนียวที่ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.39 ถึง 0.42 ความเป็นกรดเป็นด่าง ที่ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.08 ถึง 0.51 ปริมาณอินทรีย์วัตถุค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.04 ถึง 0.09 และค่า

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ที่ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.13 ถึง 0.48 โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมบัติดินบางประการของดินในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีพืชปกคลุมที่ต่างกันในพื้นที่เสี่ยงการเป็นดินกรดและดินเค็มภาคกลางของประเทศไทย และศึกษาศักยภาพของข้อมูลสำรวจระยะไกลจากภาพถ่ายเทียมในการศึกษาสมบัติดินบางประการในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีพืชปกคลุมที่ต่างกัน ในพื้นที่เสี่ยงการเป็นดินกรดและดินเค็มภาคกลางของประเทศไทย

### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาศักยภาพของข้อมูลเทคโนโลยีรับรู้ระยะไกล ซึ่งเป็นภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดปานกลาง จากดาวเทียม Sentinel-2 ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นดิจิทัลโดยการคำนวณดัชนีพืชพรรณ และศึกษาความสัมพันธ์กับข้อมูลสมบัติทางเคมีดินที่ได้จากการสุ่มเก็บภาคสนามโดยขั้นตอนและวิธีการมีรายละเอียด ดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 และแผนที่ชุดดิน ปี พ.ศ. 2562 มาตราส่วน 1:25,000 จังหวัดนครปฐมและจังหวัดนครนายก ของกรมแผนที่ดิน ทำการซ้อนทับข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินกับแผนที่ชุดดิน โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับ (Overlay) ในโปรแกรมวิเคราะห์และประมวลผลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)

2. การคัดเลือกแปลงศึกษา ทำการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินและชุดดิน และเลือกแปลงที่มีขนาด 10-50 ไร่ เพื่อให้ได้แปลงที่มีความแปรปรวนของข้อมูลน้อยที่สุด โดยสุ่มให้กระจายทั่วทั้งอำเภอ และเป็นไปตามสัดส่วนของประเภทการใช้ที่ดินและชุดดิน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

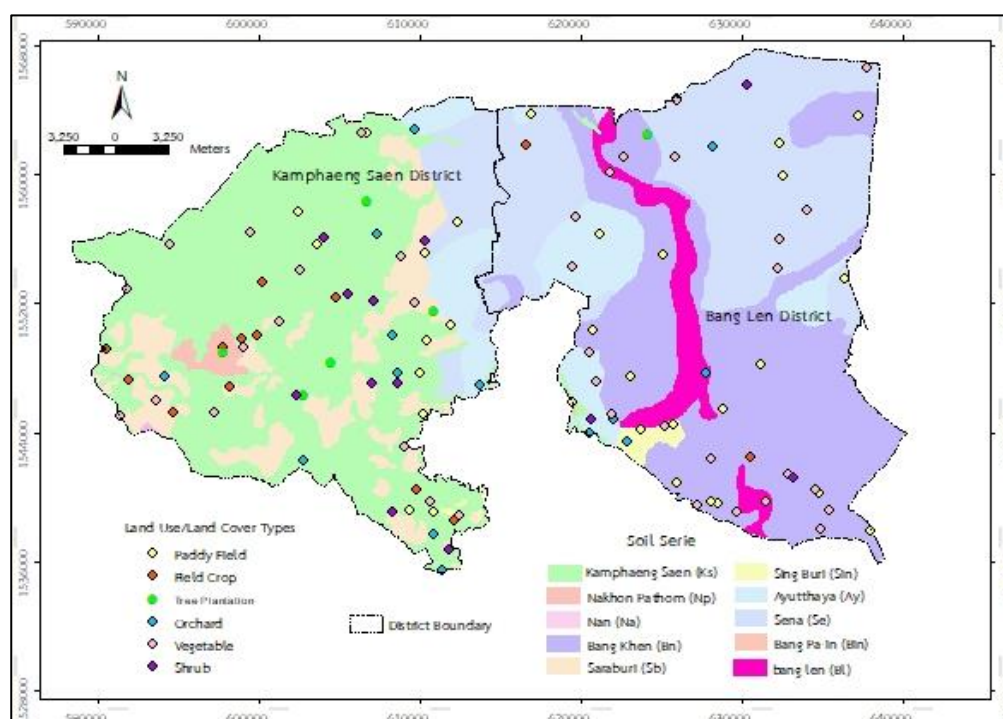
- 2.1 การคัดเลือกแปลงศึกษาตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยคัดเลือกเฉพาะการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มี

พืชปศุกรรม และเป็นการใช้ที่ดินส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินของ กรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งประกอบด้วย การจำแนกประเภทการใช้ ที่ดิน ระดับ 2 จำนวน 4 ประเภท ได้แก่ นาข้าว (A1) พืชไร่ (A2) ไม้ยืนต้น (A3) ไม้ผล (A4) และการจำแนกประเภท การใช้ที่ดินระดับ 3 จำนวน 2 ประเภท ได้แก่ ผัก (A502) และปาละมะเข (M102) โดยในอำเภอกำแพงแสน และ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม มีการจัดเก็บข้อมูลในพื้นที่ การใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 6 ประเภท ขณะที่อำเภopakพลี จังหวัดนครนายก มีการจัดเก็บข้อมูลในพื้นที่การใช้ ประโยชน์ที่ดิน 5 ประเภท ไม่มีการเก็บในพื้นที่พืชไร่เนื่องจาก มีพื้นที่น้อย

2.2 การคัดเลือกแปลงศึกษาตามชุดดิน ในอำเภอกำแพงแสน จำนวน 8 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินกำแพงแสน (Ks) ชุดดินเสนา (Se) ชุดดินนครปฐม (Np) ชุดดินน่าน (Na) ชุดดินบางเขน (Bn) ชุดดินสระบุรี (Sb) ชุดดินสิงห์บุรี

(Sin) และชุดดินอยุธยา (Ay) อำเภอบางเลน (Bl) จำนวน 7 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินกำแพงแสน (Ks) ชุดดินเสนา (Se) ชุดดินบางเขน (Bn) ชุดดินบางเลน (Bl) ชุดดินบางปะอิน (Bin) ชุดดินสิงห์บุรี (Sin) และชุดดินอยุธยา (Ay) และ อำเภopakพลี จำนวน 7 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินเชียงใหม่ (Cm) ชุดดินแก่ง (Kl) ชุดดินโคราช (Kt) ชุดดินกบินทร์บุรี (Kb) ชุดดินตรัง (Tng) ชุดดินน่าน (Na) และชุดดินรังสิต (Rs) ไม่สุ่มเลือกในพื้นที่ Slope Complex (SC) เนื่องจากเป็น พื้นที่ป่าไม้ และไม่สุ่มเลือกในพื้นที่ Undifferentiated Alluvium (U.A.) และ Conluvial Complex (C.C.) เนื่องจาก สมบัติดินไม่คงที่

2.3 จากการคัดเลือกแปลงศึกษาตามประเภท การใช้ที่ดินและชุดดิน ได้แปลงศึกษาในอำเภอกำแพงแสน ทั้งหมด 60 แปลง อำเภอบางเลน ทั้งหมด 52 แปลง (figure 1) และอำเภopakพลี ทั้งหมด 49 แปลง (figure 2)



**Figure 1** Soil sampling distribution varied by soil series and land use types in Kamphaeng Saen district and Bang Len district, Nakorn Pathom province

3. การเก็บข้อมูลภาคสนาม ทำการเก็บข้อมูลทั้ง 3 อำเภอ จำนวน 1 ครั้ง ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 ได้แก่

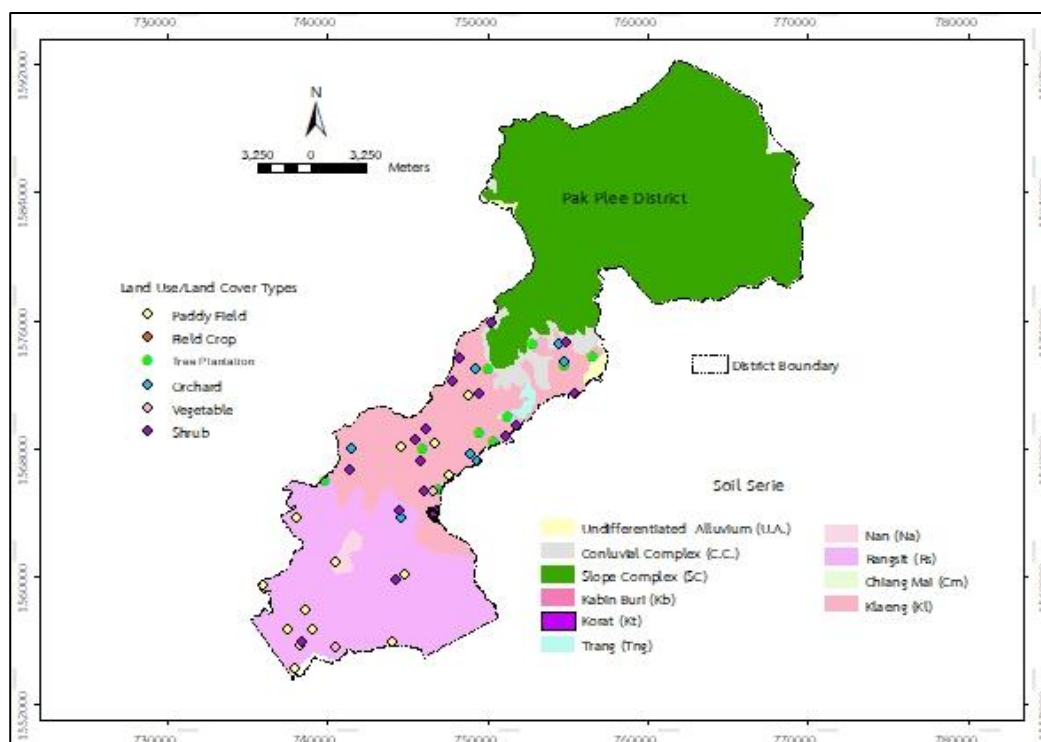
3.1 ทำการสำรวจตรวจสอบรายละเอียดสภาพการใช้ที่ดินภาคสนามในพื้นที่จริง พร้อมแก้ไขรายละเอียดให้มีความถูกต้องตรงกับสภาพปัจจุบัน

3.2 เก็บตัวอย่างดินแปลงละ 3 จุด แล้วนำมาคลุกเคล้ารวมกันแล้วส่งห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM)

4. การนำเข้าข้อมูลภาคสนามและการสร้างฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS Database) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute data) ได้แก่ ข้อมูลจากภาคสนาม ทำการปรับแก้ประเภทการใช้ที่ดินให้ตรงกับสภาพปัจจุบัน

และนำเข้าผลวิเคราะห์เคมีดินจากห้องปฏิบัติการฐานข้อมูลให้ตรงกับจุดเก็บข้อมูลที่คัดเลือกไว้

5. การรวบรวมภาพถ่ายดาวเทียม การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และดาวน์โหลดข้อมูล ดำเนินการบนเว็บไซต์กูเกิลเอิร์ธเอนจิน (Google Earth Engine) โดยมีขั้นตอน ได้แก่ คัดเลือกภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ชนิด COPERNICUS/S2 บริเวณอำเภอกำแพงแสน อำเภอบางเลน และอำเภอบางแพ ในเดือนมีนาคมและเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จากนั้นทำการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ดัชนี Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) และดัชนี Normalized Difference Infrared Index (NDII) โดยใช้สมการใน Table 1 แล้วทำการดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ที่ประมวลผลเสร็จแล้วเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์กับสมบัติทางเคมีดินต่อไป



**Figure 2** Soil sampling distribution varied by soil series and land use types in Pak Plee District, Nakorn Nayok province

Table 1 Vegetation indices and formula

| No. | Vegetation index | Formula                                                     | Reference                     |
|-----|------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1   | NDVI             | $(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$     | Rouse <i>et al.</i> (1974)    |
| 2   | GNDVI            | $(\text{NIR} - \text{Green}) / (\text{NIR} + \text{Green})$ | Gitelson <i>et al.</i> (1996) |
| 3   | NDII             | $(\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$   | Hunt and Rock (1989)          |

6. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่าการสะท้อนแสงกับข้อมูลวิเคราะห์ดิน โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ Regression model โดยพิจารณาความสัมพันธ์จากค่า p-value และ r-square โดยใช้โปรแกรมประมวลผลทางสถิติสำเร็จรูป SPSS version 16.0

### ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกัน

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินตามประเภทการใช้ที่ดินที่มีพืชปกคลุม 6 ประเภท ในชุดดินต่าง ๆ ของ 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอกำแพงแสนและอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม และอำเภอบางพลี จังหวัดนครนายก ซึ่งทั้ง 3 อำเภอมีพื้นที่ดินที่มีศักยภาพต่ำ ได้แก่ พื้นที่ดินเค็ม และพื้นที่ดินเปรี้ยว ซึ่งการเก็บตัวอย่างดินได้สุ่มเก็บในพื้นที่ของเกษตรกร ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 แล้วส่งวิเคราะห์ค่าทางเคมีดิน 3 ประเภท ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ๆ ใน 3 อำเภอ (Table 2 และ Figure 3) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง พืชไร่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงที่สุดเท่ากับ 7.41 รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ปลูกผัก ปาล์มะมะ ไม้ผล ไม้ยืนต้น และนาข้าว มีความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 6.43, 5.96, 5.94, 5.65 และ 5.67 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บในพื้นที่ปลูกพืชไร่ส่วนใหญ่อยู่ในชุดดินกำแพงแสน ในอำเภอกำแพงแสน ซึ่งเป็นชุดดินที่มีค่าความเป็นกรด

เป็นด่างในชั้นดินบนอยู่ในช่วง 7.0-8.0 ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงด่างอ่อน (Land Development Department, 2014a) และไม่มีจุดเก็บดินประเภทพืชไร่ในอำเภอบางพลี ขณะที่พื้นที่นาข้าวส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ในชุดดินในที่ลุ่ม ได้แก่ ชุดดินอยุธยา (Ay) และชุดดินรังสิต (Rs) ที่มีค่า pH ในชั้นดินบนอยู่ในช่วง 4.0-5.0 และชุดดินบางเขน (Bn) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในชั้นดินบนอยู่ในช่วง 5.5-7.0 (Land Development Department, 2014a)

2. ค่าการนำไฟฟ้า พื้นที่ปลูกผักมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดเท่ากับ 0.64 dS/m รองลงมา ได้แก่ พื้นที่นาข้าว ไม้ผล พืชไร่ ไม้ยืนต้น และปาล์มะมะ และมีค่า pH เท่ากับ 0.59, 0.35, 0.24, 0.20 และ 0.20 dS/m ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้าในพื้นที่ทั้ง 5 ประเภทมีความแตกต่างของข้อมูลค่อนข้างสูงเนื่องจากชุดที่ทำการศึกษา มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกันมาก พื้นที่ปลูกผักมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดเนื่องจากแปลงเก็บตัวอย่างดินส่วนใหญ่อยู่ในชุดดินกำแพงแสน (Ks) ชุดดินบางเขน (Bn) และชุดดินเสนา (Se) ซึ่งเป็นดินที่วัฏฏ์ต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำผสมกับตะกอนทะเล พัฒนาในสภาพน้ำกร่อย (Land Development Department, 2014a)

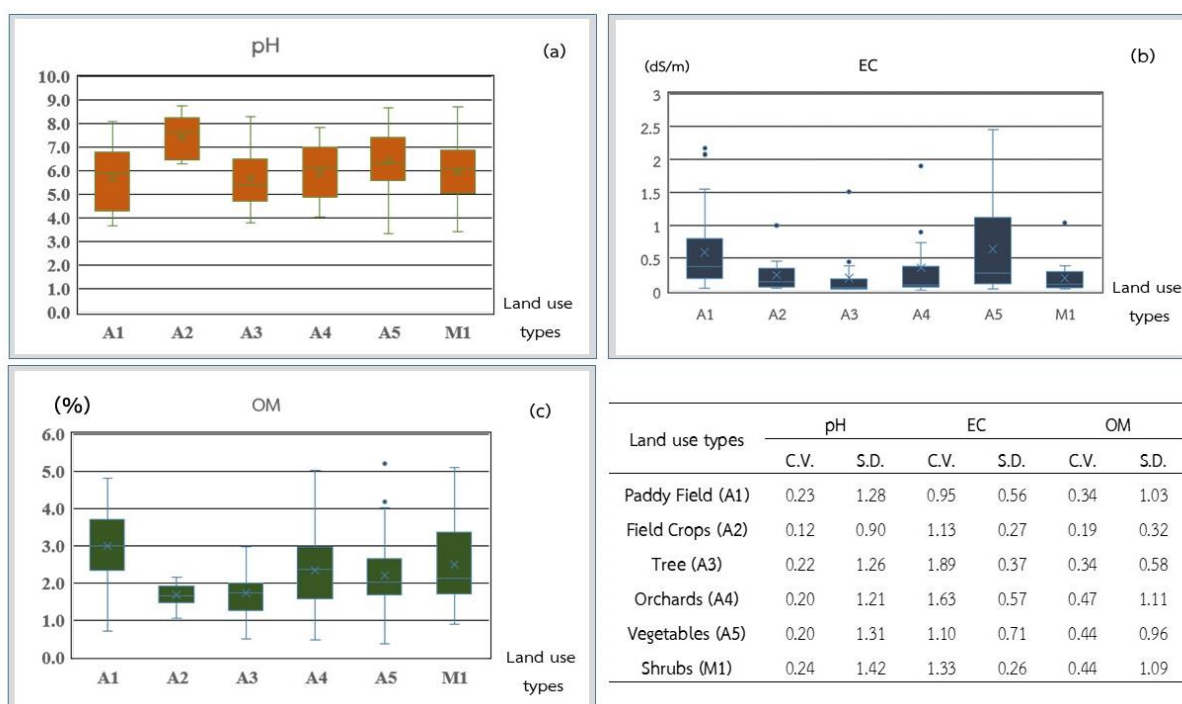
3. ค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ นาข้าวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 3.00 รองลงมา ได้แก่ ปาล์มะมะ ไม้ผล ไม้ยืนต้น และพืชไร่ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับร้อยละ 2.49, 2.33, 2.20, 1.72 และ 1.68 ตามลำดับ โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ปลูกผักมีความแตกต่างของข้อมูลค่อนข้างสูง ขณะที่พื้นที่พืชไร่มีความแตกต่างของข้อมูลน้อย นาข้าวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ

สูง เนื่องจากแปลงเก็บตัวอย่างดินส่วนใหญ่อยู่ในชุดดินบางเขน (Bn) และชุดดินรังสิต (Rs) ซึ่งเป็นดินที่อยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Dystraquerts ซึ่งเป็นกลุ่มดินที่มีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุปานกลางถึงสูงมากในดินบน (Udomsri, 2001) ขณะที่พืชไร่มี

ปริมาณ OM น้อยที่สุด เนื่องจากพื้นที่ปลูกพืชไร่ส่วนใหญ่อยู่ในชุดดินกำแพงแสนดินบนเป็นดินร่วนปนทรายแบ่งหรือดินร่วน (Land Development Department, 2014a) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นดินบนอยู่ที่ร้อยละ 2.6 (Land Development Department, 2016)

**Table 2** Averaged soil lab analysis values varied by land use types

| Land use types       | pH   | EC (dS/m) | OM (%) |
|----------------------|------|-----------|--------|
| Paddy Field (A1)     | 5.67 | 0.59      | 3.00   |
| Field Crops (A2)     | 7.41 | 0.24      | 1.68   |
| Tree Plantation (A3) | 5.65 | 0.20      | 1.72   |
| Orchards (A4)        | 5.94 | 0.35      | 2.33   |
| Vegetables (A5)      | 6.43 | 0.64      | 2.20   |
| Shrubs (M1)          | 5.96 | 0.20      | 2.49   |



**Figure 3** Variation of soil (a) pH, (b) EC and (c) OM by land use types in the study area

## การศึกษาข้อมูลการรับรู้ระยะไกลในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินและสมบัติทางเคมีดินที่ต่างกัน

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับสมบัติทางเคมีดินทำโดยการนำค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII มาหาค่าเฉลี่ยตามประเภทการใช้ที่ดิน 6 ประเภท แล้วนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับค่าสมบัติทางเคมีดินที่เก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณอินทรียวัตถุ ทำการเฉลี่ยตามประเภทการใช้ที่ดิน 6 ประเภท (Table 3 และ Figure 4) ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

1. ดัชนี NDVI ในเดือนมีนาคม ไม้ยืนต้นมีค่า NDVI สูงที่สุด เท่ากับ 0.489 รองลงมา ได้แก่ ไม้ผล ปาละเมาะ ผัก นาข้าว และพืชไร่ ค่า NDVI เท่ากับ 0.418, 0.405, 0.345, 0.344 และ 0.277 ตามลำดับ และในเดือนธันวาคม ไม้ยืนต้นมีค่า NDVI สูงที่สุด เท่ากับ 0.562 รองลงมา ได้แก่ ปาละเมาะ ไม้ผล พืชไร่ ผัก และนาข้าว ค่า NDVI เท่ากับ 0.502, 0.474, 0.380, 0.351 และ 0.258 ตามลำดับ

2. ดัชนี GNDVI ในเดือนมีนาคม ไม้ยืนต้นมีค่า GNDVI สูงที่สุด เท่ากับ 0.404 รองลงมา ได้แก่ ไม้ผล ปาละเมาะ ผัก นาข้าว และ พืชไร่ ค่า GNDVI เท่ากับ 0.353, 0.351, 0.295, 0.291 และ 0.258 ตามลำดับ และในเดือนธันวาคม ไม้ยืนต้นมีค่า GNDVI สูงที่สุด เท่ากับ 0.451 รองลงมา ได้แก่ ปาละเมาะ ไม้ผล พืชไร่ ผัก และนาข้าว ค่า GNDVI เท่ากับ 0.412, 0.384, 0.332, 0.283 และ 0.202 ตามลำดับ

3. ดัชนี NDII ในเดือนมีนาคม ไม้ยืนต้นมีค่า NDII สูงที่สุด เท่ากับ 0.103 รองลงมา ได้แก่ ไม้ผล ผัก ปาละเมาะ นาข้าว และพืชไร่ ค่า NDII เท่ากับ 0.035, 0.025, 0.026, 0.023 และ -0.026 และในเดือนธันวาคม ไม้ยืนต้นมีค่า NDII สูงที่สุด เท่ากับ 0.206 รองลงมา ได้แก่ ปาละเมาะ ไม้ผล นาข้าว ผัก และพืชไร่ ค่า NDII เท่ากับ 0.141, 0.135, 0.095, 0.088 และ 0.063 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI และ GNDVI มีลักษณะ

คล้ายกันทั้ง 2 เดือน คือ ค่า NDVI มีค่าสูงกว่า GNDVI ซึ่งเกิดจากดัชนี NDVI เป็นการคำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นแดงโดยใช้สมการ  $(NIR - Red) / (NIR + Red)$  และ GNDVI คำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นเขียวโดยใช้สมการ  $(NIR - Green) / (NIR + Green)$  โดยทั่วไปพืชจะสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มากกว่าช่วงคลื่นเขียวและช่วงคลื่นแดง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ แล้วจึงเห็นว่าในบริเวณที่มีพืชปกคลุมสูงจะมีค่า NDVI สูงกว่าค่า GNDVI และค่า NDII ตามลำดับ และไม้ยืนต้น ไม้ผล และปาละเมาะ มีค่า NDVI และ GNDVI สูงกว่า นาข้าว พืชไร่ และผัก เนื่องจากค่า NDVI และ GNDVI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับขนาดทรงพุ่ม ขนาดพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพ คือ ค่า NDVI และ GNDVI จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดทรงพุ่ม ขนาดพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น (Rouse *et al.*, 1974; Gitelson *et al.*, 1996; Simms and Ward, 2013)

อย่างไรก็ตามในเดือนมีนาคมค่า NDVI และ GNDVI ของไม้ผลสูงกว่าของปาละเมาะ แต่ต่ำกว่าในเดือนธันวาคม ทั้งนี้อาจเกิดจากไม้ผลเป็นพืชที่เกษตรกรมีการดูแลรดน้ำตลอดทั้งปี ขณะที่ปาละเมาะเป็นพืชที่ไม่มีการดูแลและอาศัยน้ำฝนในการเจริญเติบโตเป็นหลัก จึงทำให้ในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง ปาละเมาะมีการเจริญเติบโตน้อยและมีการผลัดใบเนื่องจากมีน้ำไม่เพียงพอ ซึ่งคล้ายกับต้นไม้อื่นหลายชนิด เช่น ยางพารา ในช่วงเดือนที่อากาศแห้งใบสีเขียวเข้มที่ปกติจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเหลืองก่อนที่จะร่วงหล่น ทำให้ใบลดลง (Azizan *et al.*, 2021) เมื่อมีใบลดลงทำให้การดูดซับช่วงคลื่นสีแดงลดลง และพื้นที่มีช่องว่างเนื่องจากใบพืชปกคลุมน้อยลง และค่าสะท้อนแสงในบริเวณที่ว่างจะเป็นค่าสะท้อนแสงของดินซึ่งมีการสะท้อนแสงทุกช่วงคลื่นสูง ทำให้เมื่อคำนวณสัดส่วนแล้วค่าช่วงคลื่นแดงและเขียวแตกต่างจากค่าช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ไม่มากนัก จึงทำให้ค่า NDVI และ GNDVI มีค่าต่ำ ขณะที่ไม้ผลไม่มีการผลัดใบจึงทำให้ค่าไม่แตกต่างกันมากนักทั้ง 2 เดือน

ซึ่งในเดือนธันวาคมเป็นช่วงปลายฝนป่าละเมาะยังมีน้ำเพียงพอในการเจริญเติบโต และส่วนใหญ่ป่าละเมาะจะเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่กว่าไม้ผลทำให้ค่า NDVI และ GNDVI สูงกว่าป่าละเมาะ พืชที่มีอายุสั้นเช่น ผัก ข้าว และพืชไร่ โดยทั่วไปจะมีค่าดัชนี NDVI และ GNDVI ต่ำกว่าไม้ยืนต้น เกิดจากเป็นต้นไม้ที่มีขนาดเล็กมีใบน้อยทำให้การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าน้อย แต่อย่างไรก็ตามพบว่า นาข้าว มีค่า NDVI และ GNDVI ต่ำที่สุดในเดือนมีนาคม ซึ่งเกิดจากในช่วงเวลาดังกล่าวเกษตรกรเก็บเกี่ยวข้าวเรียบร้อยแล้ว ซึ่งโดยทั่วไปพื้นที่ที่ไม่มีพืชปกคลุมหรือพืชปกคลุมน้อย จะมีค่าดัชนี NDVI และ GNDVI ต่ำ และในทำนองเดียวกัน พืชไร่จะมีค่าดัชนี NDVI และ GNDVI ต่ำที่สุดในเดือนธันวาคม เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่เก็บเกี่ยวอ้อยในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม และปล่อยต่อให้งอกขึ้นมาใหม่ ซึ่งส่วนใหญ่จะเริ่มงอกใหม่ ในเดือนมีนาคม โดยในปี พ.ศ. 2564 โรงงานเริ่มเปิดหีบอ้อยตั้งแต่วันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2564 เป็นต้นไป (Prachachat Turakit, 2021)

การเปลี่ยนแปลงของค่า NDII ต่างจากค่า NDVI และ ค่า GNDVI โดยในเดือนมีนาคม ค่า NDII ของพืชไร่ นาข้าว ป่าละเมาะ ผัก มีค่าต่ำ ขณะที่ในเดือนธันวาคม พืชไร่ ผัก นาข้าว ไม้ผล มีค่าต่ำ ทั้งนี้เกิดจากดัชนี NDII เป็นดัชนีที่วัดการสะท้อนแสงโดยการหาค่า

ความแตกต่างระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น เป็นดัชนีที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในเรือนยอดของพืช (Ji *et al.*, 2011) สามารถใช้ตรวจจับความเครียดของพืชเนื่องจากปริมาณน้ำในใบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามคุณสมบัติของการสะท้อนแสงอินฟราเรดคลื่นสั้น ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำในใบ โดยการดูดซับช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้นจะมากขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในใบมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าดัชนีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น และเนื่องจากความไวต่อปริมาณน้ำในใบพืช ค่า NDII จึงให้ข้อมูลรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับสภาพพืชมากกว่า NDVI โดย NDII แสดงความสัมพันธ์สูงกับความชื้นในดินชั้นบนบริเวณราก (Ochoa *et al.*, 2023) ซึ่งเห็นได้ว่าค่า NDII ในเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงปลายฝนจะมีค่าสูงกว่าในเดือนมีนาคมฤดูแล้ง ซึ่งพื้นที่พืชไร่ นาข้าว ผัก เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกพืชไร่ เป็นช่วงหลังเก็บเกี่ยว และป่าละเมาะเป็นช่วงที่ต้นไม้ออกใบขึ้นใหม่ ส่วนใหญ่แห้งเนื่องจากเป็นพืชที่ต้องอาศัยน้ำฝน แต่จะสูงกว่าในไม้ผลในเดือนธันวาคมเนื่องจากต้นไม้มียอดหนาแน่นกว่า และมีใบที่ออกมาใหม่ยังไม่มีการร่วงสามารถเก็บความชื้นได้มากกว่า ไม้ผลซึ่งส่วนใหญ่ปลูกเป็นแถว มีพื้นที่ว่างเยอะกว่าความหนาแน่นของต้นพืชในพื้นที่น้อยกว่า

**Table 3** Averaged values of three vegetation indices varied by land use types in 2021

| Land use types   | March |       |        | December |       |       |
|------------------|-------|-------|--------|----------|-------|-------|
|                  | NDVI  | GNDVI | NDII   | NDVI     | GNDVI | NDII  |
| Paddy Fields     | 0.344 | 0.291 | 0.023  | 0.258    | 0.202 | 0.095 |
| Field Crops      | 0.277 | 0.258 | -0.026 | 0.380    | 0.332 | 0.063 |
| Tree Plantations | 0.489 | 0.404 | 0.103  | 0.562    | 0.451 | 0.206 |
| Orchards         | 0.418 | 0.353 | 0.035  | 0.474    | 0.384 | 0.135 |
| Vegetables       | 0.345 | 0.295 | 0.026  | 0.351    | 0.283 | 0.088 |
| Shrubs           | 0.405 | 0.351 | 0.025  | 0.502    | 0.412 | 0.141 |

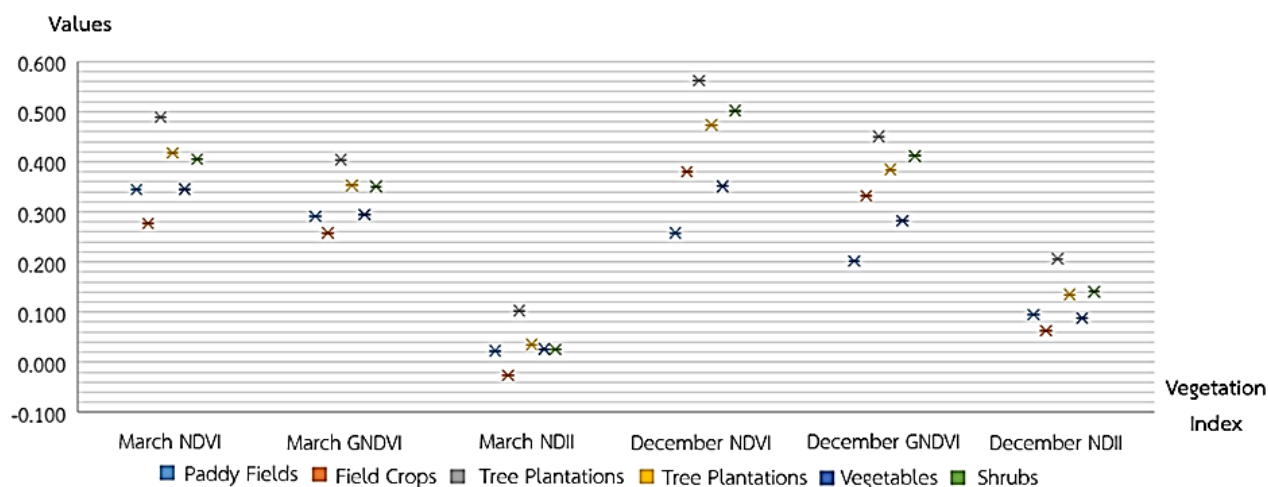


Figure 4 Averaged of vegetation indices varied by land use types in 2021

### การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ กับสมบัติทางเคมีดิน

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับสมบัติทางเคมีดิน ทำโดยการนำค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด มีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจากข้อมูลภาพถ่ายทั้ง 2 เดือน โดยข้อมูลภาพในเดือนมีนาคม พบความสัมพันธ์ในระดับปานกลางทั้ง 3 ดัชนี (Table 4) แต่อย่างไรก็ตามดัชนี NDVI ที่ใช้โมเดลแบบ Logarithmic ให้ค่าความสัมพันธ์ความแม่นยำสูงที่สุดโดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.66 และ p-value เท่ากับ 0.05 ขณะที่ข้อมูลภาพถ่ายในธันวาคม มีเพียงดัชนี NDII พบความสัมพันธ์ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง เมื่อใช้โมเดลแบบ Logarithmic และ Power โดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.63 และ p-value เท่ากับ 0.06 ทั้งนี้จึงอาจเป็นไปได้ว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี NDII กับ ค่า pH มีความสัมพันธ์เชิงลบ คือ เมื่อค่า NDII สูงขึ้นค่า pH มีแนวโน้มลดลง ซึ่งโดยทั่วไปค่าดัชนีพืชพรรณ

จะสามารถใช้จำแนกปริมาณของพืชและสุขภาพของพืชที่ปกคลุม และนอกจากนี้ความสัมพันธ์ของค่า NDII กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างอาจสัมพันธ์กับการปลูกพืช ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศและชุดดิน ซึ่งทำให้สมบัติดินเหมาะสมต่อการปลูกพืชที่ต่างกัน โดยพืชไร่ซึ่งมีค่า NDII ส่วนใหญ่ต่ำ และค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูง เกิดจากตัวอย่างดินที่เก็บส่วนใหญ่อยู่ใน ชุดดินกำแพงแสน (Ks) ในอำเภอกำแพงแสน ซึ่งเป็นชุดดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในชั้นดินบนอยู่ในช่วง 7.0-8.0 ปฏิบัติการดินเป็นกลางถึงด่างอ่อน (Land Development Department, 2014a) ขณะที่ไม้ยืนต้นมีค่า NDII สูงที่สุดจะมีค่าเฉลี่ยของ pH ต่ำที่สุด ส่วนใหญ่อยู่ในชุดดินแกล้ง (KI) ซึ่งเป็นชุดดินที่มีปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (Land Development Department, 2014a) จึงอาจเป็นไปได้ว่าการประมาณค่าความเป็นกรดเป็นด่างโดยใช้ค่า NDII อาจต้องคำนึงถึงลักษณะของภูมิประเทศ ชุดดิน และชนิดของพืชที่ปกคลุม และดัชนี NDII แสดงความสัมพันธ์สูงกว่า ดัชนี NDVI และ ดัชนี GNDVI อาจเกิดจาก NDII สามารถตรวจจับความเครียดของพืชได้ดีกว่า (Ochoa *et al.*, 2023)

**Table 4** Correlation between vegetation index and soil pH

| Month    | Vegetation Index | Model       | Equation                                       | r    | r <sup>2</sup> | P value |
|----------|------------------|-------------|------------------------------------------------|------|----------------|---------|
| March    | NDVI             | Linear      | $\text{pH} = -25.472\text{NDVI} + 12.138$      | 0.77 | 0.60           | 0.07    |
|          |                  | Exponential | $\text{pH} = 15.645e^{-3.99 \text{NDVI}}$      | 0.77 | 0.60           | 0.07    |
|          |                  | Logarithmic | $\text{pH} = -5.973\ln(\text{NDVI}) - 2.5132$  | 0.81 | 0.66           | 0.05*   |
|          |                  | Power       | $\text{pH} = 1.5753\text{NDVI}^{-0.936}$       | 0.81 | 0.66           | 0.07    |
|          | GNDVI            | Linear      | $\text{pH} = -8.9301\text{GNDVI} + 9.0828$     | 0.71 | 0.51           | 0.11    |
|          |                  | Exponential | $\text{pH} = 9.6221e^{-1.376\text{GNDVI}}$     | 0.71 | 0.51           | 0.11    |
|          |                  | Logarithmic | $\text{pH} = -3.016\ln(\text{GNDVI}) + 2.757$  | 0.74 | 0.55           | 0.09    |
|          |                  | Power       | $\text{pH} = 3.635\text{GNDVI}^{-0.464}$       | 0.74 | 0.55           | 0.09    |
|          | NDII             | Linear      | $\text{pH} = -12.267x + 6.5577$                | 0.76 | 0.60           | 0.07    |
|          |                  | Exponential | $\text{pH} = 6.522e^{-1.897x}$                 | 0.77 | 0.58           | 0.08    |
|          |                  | Logarithmic | -                                              | -    | -              | -       |
|          |                  | Power       | -                                              | -    | -              | -       |
| December | NDVI             | Linear      | $\text{pH} = -1.4435\text{NDVI} + 6.7854$      | 0.24 | 0.06           | 0.64    |
|          |                  | Exponential | $\text{pH} = 6.7525e^{-0.222\text{NDVI}}$      | 0.24 | 0.06           | 0.64    |
|          |                  | Logarithmic | $\text{pH} = -0.352\ln(\text{NDVI}) + 5.8615$  | 0.15 | 0.02           | 0.77    |
|          |                  | Power       | $\text{pH} = 5.8623\text{NDVI}^{-0.053}$       | 0.15 | 0.02           | 0.78    |
|          | GNDVI            | Linear      | $\text{pH} = -0.9344\text{GNDVI} + 6.4987$     | 0.13 | 0.02           | 0.81    |
|          |                  | Exponential | $\text{pH} = 6.4631e^{-0.145\text{GNDVI}}$     | 0.13 | 0.02           | 0.81    |
|          |                  | Logarithmic | $\text{pH} = -0.074\ln(\text{GNDVI}) + 6.0965$ | 0.03 | 0.00           | 0.95    |
|          |                  | Power       | $\text{pH} = 6.0772\text{GNDVI}^{-0.011}$      | 0.03 | 0.00           | 0.95    |
|          | NDII             | Linear      | $\text{pH} = -9.1971x + 7.2933$                | 0.70 | 0.49           | 0.12    |
|          |                  | Exponential | $\text{pH} = 7.3122e^{-1.427x}$                | 0.71 | 0.50           | 0.12    |
|          |                  | Logarithmic | $\text{pH} = -1.259\ln(x) + 3.4309$            | 0.79 | 0.63           | 0.06    |
|          |                  | Power       | $\text{pH} = 4.0265x^{-0.194}$                 | 0.79 | 0.63           | 0.06    |

2. ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity) พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับค่าการนำไฟฟ้าของดินจากข้อมูลภาพถ่ายทั้ง 2 เดือน (Table 5) โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในเดือน

มีนาคมพบความสัมพันธ์ในระดับต่ำทั้ง 3 ดัชนี แต่อย่างไรก็ตามดัชนี NDVI ที่ใช้โมเดลแบบ Power ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุดโดยมีค่า r<sup>2</sup> เท่ากับ 0.32 และ p-value เท่ากับ 0.24 ขณะที่ข้อมูลภาพถ่ายในธันวาคม

ดัชนี NDVI และ GNDVI พบความสัมพันธ์ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง โดย GNDVI โมเดลแบบ Exponential โดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.73 และ p-value เท่ากับ 0.03 ทั้งนี้จึงอาจเป็นไปได้ว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่า GNDVI ในเดือนธันวาคมกับค่าการนำไฟฟ้าของดิน โดยเมื่อค่า GNDVI สูงขึ้นค่าการนำไฟฟ้าของดินมีแนวโน้มลดลงจากผลการวิเคราะห์เห็นได้ว่าดัชนี NDVI และ GNDVI มีศักยภาพในการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของดินในพื้นที่ที่มีพืชปกคลุม แต่ดัชนี GNDVI อาจมีศักยภาพสูงกว่าเนื่องจากค่า GNDVI มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตสามารถนำมาใช้เพื่อตรวจสอบสถานะการเจริญเติบโตของพืชตามเวลาจริง การทำนายหรือประเมินคุณลักษณะของพืช เช่น พื้นที่ใบ มวลชีวภาพ ความสมบูรณ์ของพืช และความหนาแน่นของพืช ค่า GNDVI มีความไวต่อการแปรผันของคลอโรฟิลล์ในพืชมากกว่าค่า NDVI และมีจุดอ่อนที่ต่ำกว่า สามารถใช้ในพืชที่มีทรงพุ่มหนาแน่นหรือในขั้นตอนการพัฒนาขั้นสูง

ในขณะที่ค่า NDVI เหมาะสำหรับการประมาณความแข็งแรงของพืชในระยะแรก ค่า GNDVI เป็นดัชนีวัดกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นดัชนีคลอโรฟิลล์และถูกนำมาใช้มากขึ้น ในการกำหนดปริมาณน้ำและไนโตรเจนในเรือนยอดของพืชเนื่องจากมีความอ่อนตัวช้ากว่าค่า NDVI เป็นดัชนีพืชชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ปริมาณคลอโรฟิลล์เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพที่สำคัญสำหรับกระบวนการทางสรีรวิทยาหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของพืช ความสามารถในการสังเคราะห์แสง และการตรวจจับความเครียด รวมถึงความเครียดจากภัยแล้ง (Gitelson *et al.*, 1996) และค่าดัชนีพืชพรรณในเดือนธันวาคมให้ค่าความสัมพันธ์สูงกว่าค่าดัชนีพืชพรรณในเดือนมีนาคม อาจเกิดจากช่วงเดือนธันวาคมส่วนใหญ่ยังมีพืชปกคลุมและไม่มีการผลัดใบจึงทำให้สามารถเห็นความแตกต่างในการดูดซับช่วงคลื่นของคลอโรฟิลล์ของพืชที่เจริญเติบโตได้ปกติในพื้นที่ที่ดิน

ไม่มีความเค็ม และพืชที่เจริญเติบโตผิดปกติมีคลอโรฟิลล์ต่ำ ในบริเวณที่ดินมีความเค็ม ซึ่งสอดคล้องกับ Cilek and Berberoglu (2018) ที่รายงานว่าการใช้ดัชนีพืชพรรณต่างช่วงเวลามีผลต่อความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช กรมการข้าว (Rice Department, n.d.) รายงานว่าการมีเกลือมากทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชต่ำ และเกลือไปยับยั้งการดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียมด้วย นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง

3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจากข้อมูลภาพถ่ายทั้ง 2 เดือน (Table 6) โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในเดือนมีนาคม พบความสัมพันธ์ในระดับต่ำมากทั้ง 3 ดัชนี ขณะที่ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในเดือนธันวาคม ดัชนี NDVI และ GNDVI พบความสัมพันธ์ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดย GNDVI โมเดลแบบ Logarithmic โดยมีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.40 และ p-value เท่ากับ 0.18 ทั้งนี้จึงอาจเป็นไปได้ว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี GNDVI ของเดือนธันวาคมกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีความสัมพันธ์เชิงลบ คือ พบว่าเมื่อค่า GNDVI สูงขึ้นปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีแนวโน้มลดลง ซึ่งโดยทั่วไปค่าดัชนีพืชพรรณจะสามารถใช้จำแนกปริมาณของพืชและสุขภาพของพืชที่ปกคลุม โดยพืชที่มีขนาดใหญ่ มีมวลชีวภาพสูง จะมีค่าดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII สูงกว่าบริเวณที่พืชปกคลุมอยู่น้อย และพืชเป็นโรคทั้งจากการขาดธาตุอาหารและการเกิดโรคแมลง ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าบริเวณที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงแต่มีค่าดัชนีพืชพรรณต่ำกว่า ซึ่งเป็นพื้นที่นาข้าว จึงอาจเป็นไปได้ว่าการศึกษาโดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณเพื่อหาความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอาจต้องคำนึงถึงลักษณะของภูมิประเทศ ชุดดิน และชนิดของพืชที่ปกคลุม ซึ่งโดยทั่วไปนาข้าวจะอยู่ในบริเวณชุดดินที่เป็นดินเหนียวในที่ลุ่ม เป็นบริเวณที่มีการสะสม

ของอินทรีย์วัตถุสูงเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณพื้นที่ดอน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ดินร่วนหรือดินทรายในบริเวณที่ปลูกไม้ยืนต้นที่มีค่าดัชนีพืชพรรณสูง หน้าดินตื้น มีชั้น ดินน้อย มีการชะล้างหน้าดินมาก ชั้นดินบนจะบาง หรืออาจจะไม่มีชั้นดินบนเลยก็ได้ ตรงกันข้ามกับดินที่เกิดในที่ราบลุ่ม

ที่มักจะมีชั้นดินบนที่หนากว่าเนื่องจากเป็นแหล่งทับถมของตะกอน เนื้อดินละเอียดกว่า เพราะมีการเคลื่อนย้ายอนุภาคขนาดดินเหนียวจากดินชั้นบนลงไปสะสมอยู่ในดินล่าง (Land Development Department, 2014b)

**Table 5** Correlation between vegetation index and soil Electrical Conductivity

| Month    | Vegetation Index | Model       | Equation                         | r     | r <sup>2</sup> | P value |
|----------|------------------|-------------|----------------------------------|-------|----------------|---------|
| March    | NDVI             | Linear      | $EC = -5.7388NDVI + 1.7132$      | -0.38 | 0.15           | 0.46    |
|          |                  | Exponential | $EC = -5.7388NDVI + 1.7132$      | -0.40 | 0.16           | 0.43    |
|          |                  | Logarithmic | $EC = -1.326\ln(NDVI) - 1.5584$  | -0.32 | 0.11           | 0.53    |
|          |                  | Power       | $EC = 0.0014NDVI^{-3.751}$       | -0.34 | 0.12           | 0.51    |
|          | GNDVI            | Linear      | $EC = -1.8015GNDVI + 0.9564$     | -0.48 | 0.23           | 0.33    |
|          |                  | Exponential | $EC = 1.6593e^{-4.976GNDVI}$     | -0.50 | 0.25           | 0.31    |
|          |                  | Logarithmic | $EC = -0.545\ln(GNDVI) - 0.2483$ | -0.15 | 0.20           | 0.37    |
|          |                  | Power       | $EC = 0.0595GNDVI^{-1.508}$      | -0.47 | 0.22           | 0.35    |
|          | NDII             | Linear      | $EC = -0.8517NDII + 0.3967$      | -0.18 | 0.03           | 0.74    |
|          |                  | Exponential | $EC = 0.3585e^{-2.805NDII}$      | -0.22 | 0.05           | 0.68    |
|          |                  | Logarithmic | -                                | -     | -              | -       |
|          |                  | Power       | -                                | -     | -              | -       |
| December | NDVI             | Linear      | $EC = -1.4275NDVI + 0.9716$      | -0.78 | 0.64           | 0.06    |
|          |                  | Exponential | $EC = 1.6538e^{-3.836NDVI}$      | -0.81 | 0.65           | 0.05*   |
|          |                  | Logarithmic | $EC = -0.559\ln(NDVI) - 0.1313$  | -0.80 | 0.64           | 0.06    |
|          |                  | Power       | $EC = 0.086NDVI^{-1.495}$        | -0.80 | 0.64           | 0.06    |
|          | GNDVI            | Linear      | $EC = -1.8556x + 1.0084$         | -0.85 | 0.72           | 0.03*   |
|          |                  | Exponential | $EC = 1.8088e^{-4.959x}$         | -0.85 | 0.73           | 0.03*   |
|          |                  | Logarithmic | $EC = -0.567\ln(x) - 0.2541$     | -0.84 | 0.70           | 0.04*   |
|          |                  | Power       | $EC = 0.0625x^{-1.508}$          | -0.84 | 0.70           | 0.04*   |
|          | NDII             | Linear      | $EC = -1.9799NDII + 0.6105$      | -0.51 | 0.26           | 0.30    |
|          |                  | Exponential | $EC = 0.6457e^{-5.565NDII}$      | -0.53 | 0.28           | 0.77    |
|          |                  | Logarithmic | $EC = -0.201\ln(NDII) - 0.0687$  | -0.42 | 0.18           | 0.41    |
|          |                  | Power       | $EC = 0.0957NDII^{-0.566}$       | -0.45 | 0.20           | 0.38    |

**Table 6** Correlation between vegetation index and soil OM

| Month    | Vegetation index | Model       | Equation                            | r     | r <sup>2</sup> | P value |
|----------|------------------|-------------|-------------------------------------|-------|----------------|---------|
| March    | NDVI             | Linear      | OM = 5.5705NDVI + 0.9344            | -0.08 | 0.01           | 0.88    |
|          |                  | Exponential | OM = 1.2743e <sup>2.3185 NDVI</sup> | -0.06 | 0.00           | 0.91    |
|          |                  | Logarithmic | OM = 1.3642ln(NDVI) + 4.2228        | -0.03 | 0.00           | 0.96    |
|          |                  | Power       | OM = 5.0075 NDVI <sup>0.5677</sup>  | -0.03 | 0.00           | 0.96    |
|          | GNDVI            | Linear      | OM = -1.3025GNDVI + 2.6617          | -0.14 | 0.02           | 0.79    |
|          |                  | Exponential | OM = 2.5612e <sup>-0.478GNDVI</sup> | -0.12 | 0.01           | 0.82    |
|          |                  | Logarithmic | OM = -0.264ln(GNDVI) + 1.9388       | -0.09 | 0.01           | 0.87    |
|          |                  | Power       | OM = 2.0042GNDVI <sup>-0.079</sup>  | -0.06 | 0.00           | 0.91    |
|          | NDII             | Linear      | OM = -1.4441 NDII + 2.2827          | -0.12 | 0.01           | 0.82    |
|          |                  | Exponential | OM = 2.2344e <sup>-0.612 NDII</sup> | -0.11 | 0.01           | 0.83    |
|          |                  | Logarithmic | -                                   | -     | -              | -       |
|          |                  | Power       | -                                   | -     | -              | -       |
| December | NDVI             | Linear      | OM = -2.3304NDVI + 3.2195           | -0.52 | 0.27           | 0.29    |
|          |                  | Exponential | OM = 3.3023e <sup>-0.973NDVI</sup>  | -0.49 | 0.24           | 0.31    |
|          |                  | Logarithmic | OM = -0.989ln(NDVI) + 1.3511        | -0.57 | 0.32           | 0.24    |
|          |                  | Power       | OM = 1.5175NDVI <sup>-0.41</sup>    | -0.53 | 0.28           | 0.29    |
|          | GNDVI            | Linear      | OM = -3.1864GNDVI + 3.3337          | -0.59 | 0.34           | 0.22    |
|          |                  | Exponential | OM = 3.4796e <sup>-1.343GNDVI</sup> | -0.55 | 0.30           | 0.26    |
|          |                  | Logarithmic | OM = -1.061ln(GNDVI) + 1.0698       | -0.63 | 0.40           | 0.18    |
|          |                  | Power       | OM = 1.3433GNDVI <sup>-0.445</sup>  | -0.59 | 0.35           | 0.21    |
|          | NDII             | Linear      | OM = -1.8212NDII + 2.4589           | -0.19 | 0.03           | 0.72    |
|          |                  | Exponential | OM = 2.4054e <sup>-0.764NDII</sup>  | -0.18 | 0.03           | 0.74    |
|          |                  | Logarithmic | OM = -0.038ln(NDII) + 2.1559        | -0.03 | 0.00           | 0.95    |
|          |                  | Power       | OM = 2.1645NDII <sup>-0.006</sup>   | -0.01 | 0.00           | 0.98    |

## สรุปผลการวิจัย

ความอุดมสมบูรณ์ของดินขึ้นอยู่กับประเภทการใช้ที่ดินและชุดดิน ค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) และ Normalized Difference Infrared Index (NDII) ซึ่งคำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีศักยภาพในการนำมาประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ในบางตัวชี้วัด และขึ้นอยู่กับเดือนที่มีการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแบบจำลองในการประมาณค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่า NDVI ในเดือนมีนาคม ที่มีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic ซึ่งมี ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.66 และ p-value เท่ากับ 0.05 มีศักยภาพสูงที่สุด ค่าการนำไฟฟ้าของดิน ค่า GNDVI ในเดือนธันวาคม ที่มีความสัมพันธ์แบบ Exponential ซึ่งมี ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.73 และ p-value เท่ากับ 0.03 มีศักยภาพสูงที่สุด ขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดต่ำมาก จึงทำให้มีศักยภาพในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแบบจำลองที่ต่ำมากในการศึกษาครั้งนี้

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรจัดทำแบบจำลองการความอุดมสมบูรณ์ของดินแยกตามชนิดพืช เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีช่วงการเจริญเติบโตและแสดงความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสงและสมบัติดินที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงของปี
2. การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน อาจจำเป็นต้องศึกษาและเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่มีพืชปกคลุม เนื่องจากการใช้ข้อมูล

รีโมทเซนซิงอาศัยหลักการการสะท้อนแสงของพืช โดยบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เช่น บริเวณที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำหรือค่าการนำไฟฟ้าของดินสูง จะมีการเจริญเติบโตของพืชต่ำ ส่งผลให้ค่าดัชนีพืชพรรณต่ำ ในทางตรงกันข้ามบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง การเจริญเติบโตของพืชสูง ส่งผลให้ค่าดัชนีพืชพรรณสูง เป็นต้น

3. เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชมีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี การสุ่มเก็บข้อมูลในแต่ละปีที่ศึกษา จะทำให้สมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองในการประมาณค่าความอุดมสมบูรณ์มีความแม่นยำขึ้น

4. การศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่บันทึกในเดือนธันวาคม แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่าวิเคราะห์ดินที่นำมาศึกษาความสัมพันธ์เป็นค่าวิเคราะห์จากตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บในเดือนมีนาคม อาจทำให้ความแม่นยำของสมการที่ได้คลาดเคลื่อน จึงอาจจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมโดยเก็บตัวอย่างดินในเดือนธันวาคมซึ่งเป็นช่วงเดียวกันกับภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กสว.) เพื่อดำเนินงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 กิจกรรมวิจัยและนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาด้านการจัดการดินและที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน แผนงานวิจัย “การจัดการดินเค็มและดินกรดในพื้นที่ภาคกลางเพื่อปลูกพืชสมุนไพร”

### เอกสารอ้างอิง

- Azizan, F.A., I.S. Astuti, M.I. Aditya, T.R. Febbiyanti, A. Williams, A. Young, and A.A. Aziz. 2021. Using multi-temporal satellite data to analyse phenological responses of rubber (*Hevea brasiliensis*) to climatic variations in South Sumatra, Indonesia. **Remote Sensing**. [Online]. Available <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/15/2932> (April 10, 2022).
- Cilek, A. and S. Berberoglu. 2018. Object-based crop mapping using multi-temporal Landsat 8 Imagery. **Int. Journal of Engineering Research and Application** 8(4)(Part-II): 34-37.
- Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman and M.N. Merzlyak. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment** 58(3): 289-298.
- Glowienka, E., K. Michalowska, A. Pekala, B. Hejmanowska. 2016. Application of GIS and remote sensing techniques in multitemporal analyses of soil properties in the Foreland of the Carpathians. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science** 44(2016): 052044. [Online]. Available <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/44/5/052044/pdf> (March 18, 2021).
- Hunt, E.R. Jr. and B.N. Rock. 1989. Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances. **Remote Sens. Environ.** 30: 43-54. DOI:10.1016/0034-4257(89)90046-1.
- Jensen, J.R. 2000. **Remote Sensing of Environment: An Earth Resource Perspective Second edition**. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc. 592 p.
- Ji, L., L. ZHANG, B.K. WYLIE and J. ROVER. 2011. On the terminology of the spectral vegetation index (NIR-SWIR)/(NIR+SWIR). **International Journal of Remote Sensing** 32(21): 6901-6909.
- Land Development Department. 2014a. **Characteristics and Properties of Soil Series in Central Thailand**. Bangkok: Soil Resources Survey and Research Division, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [Online]. Available [http://www.ddd.go.th/thaisoils\\_museum/](http://www.ddd.go.th/thaisoils_museum/) (January 20, 2023). [in Thai]
- Land Development Department. 2014b. **Soil and Soil Formation**. Bangkok: Soil Resources Survey and Research Division, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [Online]. Available [https://www.ddd.go.th/thaisoils\\_museum/survey\\_1/soils.htm](https://www.ddd.go.th/thaisoils_museum/survey_1/soils.htm) (January 20, 2023). [in Thai]

Land Development Department. 2016.

**Characteristics and properties of 62 soil groups.** Bangkok: Soil Resources Survey and Research Division, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [Online]. Available <http://oss101.ddd.go.th/soilr/product.html> (January 20, 2023). [in Thai]

Molin, J.P. and T.R. Tavares. 2019. Sensor systems for mapping soil fertility attributes: challenges, advances, and perspectives in Brazilian tropical soils. **Eng. Agric.** [Online]. Available <https://www.scielo.br/j/eagri/a/QnZPHfVR YqjVfpRH8y3J7VH/?lang=en> (March 18, 2021).

Ochoa, C.G., F. Villarreal-Guerrero, J.A. Prieto-Amparán, H.R. Garduño, F. Huang and C. Ortega-Ochoa. 2023. Precipitation, vegetation and groundwater relationships in a rangeland ecosystem in the Chihuahuan desert, Northern Mexico. **Hydrology** 10(2): 41 [Online]. Available <https://doi.org/10.3390/hydrology10020041> (December 21, 2022)

Prachachat Turakit. 2021. **Thailand Economic.** Prachachat Turakit Online, November 19, 2021. [Online]. Available <https://www.prachachat.net/economy/news-805635> (January 20, 2023). [in Thai]

Research and Development for Land Management Division. n.d.

**Soil Management.** Bangkok: Research and Development for Land Management Division Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [Online]. Available [https://www.ddd.go.th/Web\\_Soil/Page\\_02.htm](https://www.ddd.go.th/Web_Soil/Page_02.htm) (January 20, 2023). [in Thai]

Rice Department. n.d. Saline Soil, **Rice Knowledge.** Bangkok: Rice Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. [Online]. Available [http://www.ricethailand.go.th/rkb3/Fertilizer\\_022.pdf](http://www.ricethailand.go.th/rkb3/Fertilizer_022.pdf) (January 20, 2023). [in Thai]

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell and D.W. Deering. 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. pp. 309-317. *In* Freden, S.C., E.P. Mercanti, and M. Becker (eds.). **Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume I: Technical Presentations.** Washington, D.C.: NASA SP-351, NASA.

Simms, É.L. and H. Ward. 2013. Multisensor NDVI-based monitoring of the Tundra-Taiga Interface (Mealy Mountains, Labrador, Canada). **Remote Sensing.** [Online]. Available [www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing) (December 21, 2022).

- Singh, G., B. Kumar, and Shashikant. 2018. Soil fertility mapping using remote sensing and GIS in NSP farms of ND University of Agriculture and Technology, Kumarganj, Faizabad, Uttar Pradesh, India. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 2018(Special Issue-7): 1394-1402.
- Udomsri, S. 2001. Major Characteristics and Potential of Dystraquepts in the Central Plain of Thailand. pp. 84-91. *In Proceedings of the 39th Kasetsart University Annual Conference: Plants, Agricultural Extension and Communication*. Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]
- Vaudour, E., C. Gomez, Y. Fouad, P. Lagacherie. 2019. Sentinel-2 image capacities to predict common topsoil properties of temperate and Mediterranean agroecosystems. **Remote Sensing of Environment** 223: 21-33.