

# ดัชนีที่เหมาะสมสำหรับการสำรวจพื้นที่ชุ่มน้ำด้วยข้อมูลจากระยะไกล

## Suitable Index for Wetland Monitoring Using Remote Sensing Data

เจนจิรา พิบูลย์ และ ดารอนวรรณ กำธรเกียรติ\*

Chanechira Piboon and Daroonwan Kamthonkiat\*

Received: 25 April 2021, Revised: 20 October 2021, Accepted: 4 January 2022

### บทคัดย่อ

การขาดแคลนแรงงาน งบประมาณ และเทคโนโลยีในการสำรวจพื้นที่ชุ่มน้ำได้อย่างรวดเร็ว นั้น เป็นอุปสรรคสำคัญในการอนุรักษ์และบริหารจัดการทรัพยากรภายในพื้นที่ชุ่มน้ำ การศึกษาดัชนีที่เหมาะสมในการสำรวจพื้นที่ชุ่มน้ำจากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลสามารถลดข้อจำกัดข้างต้นได้ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 ที่เข้าถึงได้ง่ายและไม่มีค่าใช้จ่ายมาประยุกต์เป็นดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาพื้นที่ชุ่มน้ำ 5 ดัชนี ได้แก่ Normalized Difference Water Index (NDWI) Modification of Normalized Difference Water Index (MNDWI) Tasseled-cap Wetness Index (TCWI) Normalized Suspended Material Index (NSMI) และ Normalized Difference Suspended Sediment Index (NDSSI) ซึ่งจะนำมาจำแนกสิ่งปกคลุมดิน 6 ประเภท ได้แก่ พืชหนาแน่นมาก พืชหนาแน่นน้อย น้ำใส น้ำมีตะกอนน้อย น้ำมีตะกอนมาก และป่าไม้รวมถึงพื้นที่โดยรอบภายในเขตอุทยานแห่งชาติเขาสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินของแต่ละดัชนีถูกนำมาเปรียบเทียบความสอดคล้องด้วยสายตา โดยแบ่งพื้นที่เป็น 3 โซนหลัก คือ โซน A แหล่งน้ำ โซน B พืชน้ำ และโซน C พื้นที่ป่าไม้และบริเวณโดยรอบ และเพิ่มการตรวจสอบความแม่นยำในการจำแนกด้วยวิธี Confusion matrix กับข้อมูลจากฐานข้อมูล Google Earth และการสำรวจภาคสนามเพื่อให้ได้ค่าความแม่นยำโดยรวมและสัมประสิทธิ์แคปป่าที่สะท้อนความแม่นยำของผลลัพธ์ ผลการศึกษพบว่า ดัชนี NDWI มีสิ่งปกคลุมดินทั้ง 3 โซนสอดคล้องกับแหล่งอ้างอิง และมีค่าความแม่นยำโดยรวมร้อยละ 73.8 และสัมประสิทธิ์แคปป่าเท่ากับ 0.68 จึงเป็นดัชนีที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือที่สุด ในขณะที่ดัชนี MNDWI ดัชนี TCWI ดัชนี NSMI และดัชนี NDSSI มีการจำแนกป่าไม้และพืชบนบกผิดไปเป็นแหล่งน้ำและพืชน้ำอย่างชัดเจนบริเวณโซน B และ C อีกทั้งยังมีค่าความแม่นยำในการจำแนกโดยรวมต่ำกว่าร้อยละ 70 และสัมประสิทธิ์แคปป่าน้อยกว่า 0.5 ซึ่งมีความแม่นยำต่ำกว่ามาตรฐาน สรุปได้ว่า ดัชนี NDWI จากภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 มีศักยภาพดีและใช้งบประมาณน้อย เหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นเครื่องมือติดตามสถานะของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษานี้และพื้นที่ชุ่มน้ำอื่นๆ แบบหลายช่วงเวลาหรืออย่างต่อเนื่องได้

คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อำเภอกองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

Faculty of Liberal Arts, Thammasat University, Khlong Luang, Pathum Thani 12121, Thailand.

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): daroonwan.k@arts.tu.ac.th

**คำสำคัญ:** ดัชนีพื้นที่ชุ่มน้ำ, การสำรวจจากระยะไกล, แลนด์แซท 8, สามร้อยยอด

## ABSTRACT

Lack of labor, budget and technology for short time monitoring of wetland conditions has become a major obstacle to sustainable management and conservation of wetlands. A study of the most suitable index for wetland monitoring is using free and easily accessible satellite images from LANDSAT 8 to overcome the mentioned limitations. Five wetland related indices, namely Normalized Difference Water Index (NDWI), Modification of Normalized Difference Water Index (MNDWI), Tasseled-cap Wetness Index (TCWI), Normalized Suspended Material Index (NSMI) and Normalized Difference Suspended Sediment Index (NDSSI) were assessed to classify 6 land covers: high density aquatic-plant, low density aquatic-plant, clear water, low turbidity water, high turbidity water, and forest area in wetland and vicinity areas of Khao Sam Roi Yod National Park in Prachuab Kirikhan Province. For validation of the results, the study area has been divided into 3 zones: water or Zone A, aquatic-plant or Zone B, and forest (including terrestrial plants and others) or Zone C, simple corresponding between land covers in the classified results and the study area were then visually observed. Additional process of accuracy assessment (confusion matrix) using the data from Google Earth database and field survey has been conducted, the derived overall accuracy and kappa coefficient of each result refer to its accuracy. The results showed that only the classification of NDWI presented high correspondence to zonal comparison and calculated accuracy (73.8% of overall accuracy and 0.68 of kappa coefficient). Whereas MNDWI, TCWI, NSMI, and NDSSI showed high confusion in the zones of forest (Zone C) and aquatic-plants (Zone B), and failed to the standard of accuracy with less than 70% of overall accuracy and less than 0.5 of kappa coefficient. In conclusion, NDWI from LANDSAT 8 is a good option and low budgetary for multi-temporal or continuous monitoring in the study area and other wetlands.

**Key words:** wetland index, remote sensing, LANDSAT 8, Sam Roi Yod

## บทนำ

พื้นที่ชุ่มน้ำมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ภายในระบบนิเวศนั้น และยังเป็นแหล่งทรัพยากรทางธรรมชาติที่เอื้อประโยชน์ต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม การสำรวจพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่ มักทำได้ล่าช้าจากข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ จำนวนเจ้าหน้าที่หรือผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบ และงบประมาณที่ใช้ในการทำงานมีจำกัด การสำรวจจากระยะไกล

ด้วยอากาศยานหรือดาวเทียมเป็นวิธีที่ช่วยให้ได้ข้อมูลภาพรวมหรือสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่ายและระยะเวลา มากกว่าหากเปรียบเทียบกับการใช้แรงงานคน โดยมีการศึกษาที่ประยุกต์ภาพถ่ายจากดาวเทียมในการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมหรือสถานะความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ พืชบริเวณปากแม่น้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำหลายกรณี หากพิจารณาในช่วงไม่เกิน 5 ปีที่ผ่านมา

พบว่า Lv *et al.* (2019) ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT ระหว่าง พ.ศ. 2532 ถึง 2558 เพื่อติดตามการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำในเขตเมืองใหม่สงอัน (Xiong'an New Area) ประเทศจีน มีการประยุกต์ดัชนีแสดงความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ดัชนีแสดงความแตกต่างของน้ำ (Normalized Difference Water Index: NDWI) และดัชนีติดตามความชื้นดิน (Soil Moisture Monitoring Index: SMMI) มาใช้ในการวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่า ระหว่าง พ.ศ. 2532 ถึง 2558 พื้นที่ชุ่มน้ำลดลง 40.94 ตารางกิโลเมตร (13.84%) ซึ่งมีผลมาจากการขาดแคลนน้ำในบางบริเวณของพื้นที่ชุ่มน้ำและส่งผลต่อความชื้นดินที่ลดลง ทำให้พืชน้ำไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จึงถูกแทนที่ด้วยพืชชนิดอื่นๆ ในขณะที่ Shahzad *et al.* (2018) ใช้ภาพแบนด์ที่ 1 (blue: 450-520 nm) แบนด์ที่ 2 (green: 520-600 nm) แบนด์ที่ 3 (red: 630-690 nm) และแบนด์ที่ 5 (shortwave infrared: 1550-1750 nm) ของดาวเทียม LANDSAT 7 ระบบ Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) และดัชนี Normalized Difference Suspended Sediment Index (NDSSI) ศึกษาตะกอนแขวนลอยในน้ำ (Suspended Solids Concentration - SSC) บริเวณปากแม่น้ำในเขตอุตสาหกรรมทางตอนใต้ของประเทศปากีสถาน (Indus Delta Region, south of Pakistan) โดยผลการวิเคราะห์ SSC ถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าตะกอนที่ตรวจวัดในวันที่ตรงกับการบินถ่ายภาพของดาวเทียม ผลการศึกษาแสดงค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างชุดข้อมูลทั้งสองเท่ากับ 0.88 ซึ่งดัชนี NDSSI สามารถช่วยให้ผลการวิเคราะห์ค่า SSC มีความแม่นยำมากขึ้น ส่วน Arisanty and Saputra (2017) ได้ศึกษาการหมุนเวียนของตะกอนแขวนลอยบริเวณปากแม่น้ำบาริโต (Barito Delta) ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการทำการเกษตรการทำเหมืองแร่ และการลักลอบตัดไม้ในพื้นที่ดังกล่าว การศึกษานี้ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 7

ใน พ.ศ. 2554 (ค.ศ. 2011) ที่บันทึกในช่วงหน้าฝนและหน้าแล้งมาวิเคราะห์ด้วย 3 วิธี คือ Normalized Suspended Material Index (NSMI) Normalized Differences Suspended Sediment Index (NDSSI) และการหาสัดส่วนแบนด์ (Green/Blue) และนำค่าตะกอนที่วิเคราะห์จากภาพดัชนีทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณตะกอนที่ตรวจวัดจริงในพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาพบว่า ตะกอนในน้ำที่วิเคราะห์จากดัชนี NSMI มีความสัมพันธ์กับค่าตะกอนที่ตรวจวัดจริงมากที่สุด

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาของ Blackmore (2016) ที่เปรียบเทียบดัชนี Normalized Difference Water Index (NDWI) และดัชนีที่ปรับปรุงจาก NDWI เรียกว่า Modified NDWI (MNDWI) ที่วิเคราะห์จากภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 ระบบ OLI โดยใช้วิเคราะห์พื้นที่น้ำและความชื้นดินบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำและแหล่งน้ำโดยรอบที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำทาลาติน (Tualatin River Basin) ผลการศึกษาพบว่า ดัชนี MNDWI สามารถจำแนกพื้นที่แหล่งน้ำขนาดใหญ่ได้อย่างชัดเจน สามารถวิเคราะห์ความชื้นและความแห้งแล้งของพื้นที่ได้ดี ในขณะที่ดัชนี NDWI จะมีปฏิสัมพันธ์กับพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมมากกว่า โดย Blackmore (2016) ได้สรุปว่า การใช้ดัชนีจากภาพถ่ายจากดาวเทียมจะเป็นวิธีที่ประหยัดที่สามารถให้ข้อมูลความชื้นและรายละเอียดของพื้นที่ ซึ่งมีประโยชน์โดยตรงต่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ชุ่มน้ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่วนการศึกษาของ Sarun *et al.* (2016) ได้ประยุกต์ดัชนี Normalized Difference Water Index (NDWI) ดัชนี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) และดัชนี Tasseled Cap Wetness (TCWI) จากภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 7 ระบบ Enhanced Thematic Mapping Plus (ETM+) ร่วมกับข้อมูลภูมิประเทศ ชื่อ Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital

Elevation Model (GDEM) หรือมักเรียกว่า ASTER GDEM ที่ผลิตภายใต้ความร่วมมือระหว่างประเทศ ญี่ปุ่น (The Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) of Japan) และสหรัฐอเมริกา (The United States National Aeronautics and Space Administration: NASA) เพื่อจำแนกพื้นที่ชุ่มน้ำที่อยู่ทางตอนใต้ของรัฐเกรละ ประเทศอินเดียในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นสึนามิใน พ.ศ. 2547 งานวิจัยนี้ใช้วิธีแบ่งช่วงค่าข้อมูลของพื้นที่ชุ่มน้ำในดัชนีทั้ง 3 ข้างต้น โดยเน้นบริเวณที่ราบลุ่มจากข้อมูล ASTER GDEM โดยพื้นที่ชุ่มน้ำของแต่ละดัชนีจะถูกนำมารวมกัน (Union) ผลการศึกษาพบว่า มีพื้นที่ชุ่มน้ำคงเหลือร้อยละ 23 ของพื้นที่ศึกษา (103 ตารางกิโลเมตร) โดยมีการสรุปว่าการใช้ดัชนีทั้ง 3 ร่วมกับข้อมูลภูมิประเทศให้ผลการจำแนกพื้นที่ชุ่มน้ำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ในขณะที่งานของ Tang *et al.* (2016) มีการวิเคราะห์สถานการณ์น้ำท่วมระหว่าง พ.ศ. 2528 ถึง 2558 ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ชุ่มน้ำพลาซาในมลรัฐเนบราสก้า (Nebraska playa wetland) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT และ Google Earth Engine (GEE) มีการใช้ดัชนี 4 อย่าง คือ ดัชนี Negative Normalized Vegetation Index (NNVI) ดัชนี NDWI ดัชนี MNDWI ดัชนี Tasseled Cap Wetness-Greenness Difference (TCWGD) ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ 176.79 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 18.92 ของพื้นที่ชุ่มน้ำแห่งนี้ถูกน้ำท่วม โดย TCWGD เป็นดัชนีที่เหมาะสมกับการศึกษาสถานการณ์น้ำท่วมในพื้นที่ศึกษามากที่สุด ส่วน Mozumder *et al.* (2014) ได้ศึกษาระบบนิเวศน์ของพื้นที่ชุ่มน้ำแรมซาร์สำคัญในลุ่มแม่น้ำพรหมบุตร ชื่อว่า Deepor Beel ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย โดยใช้ดัชนี NDWI ดัชนี MNDWI ดัชนี Normalized Difference Pond Index (NDPI) และดัชนี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) จากภาพถ่ายจากดาวเทียม

LANDSAT พ.ศ. 2532 พ.ศ. 2544 และ พ.ศ. 2555 ร่วมกับข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ศึกษา มาวิเคราะห์แบบ rule-based เพื่อจำแนกสิ่งปกคลุมดินหลักๆ ของพื้นที่ชุ่มน้ำเป้าหมาย ผลการศึกษาพบว่า ดัชนีข้างต้นสามารถจำแนกพื้นที่ชุ่มน้ำได้ดี และพบการลดลงของพื้นที่ชุ่มน้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากการก่อสร้างทางรถไฟ การปล่อยน้ำเสีย และการขยายพื้นที่เพาะปลูกโดยรอบ รวมถึงการเข้าไปตั้งถิ่นฐานภายในพื้นที่ชุ่มน้ำอย่างผิดกฎหมาย และในการศึกษาของ Sun *et al.* (2012) ได้ประยุกต์ดัชนี Enhanced Vegetation Index (EVI) และดัชนี Tasseled Cap wetness index (TCWI) จากภาพถ่ายจากดาวเทียม Terra/Aqua ระบบ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) เพื่อศึกษาความสมบูรณ์หรือสถานะของพื้นที่ชุ่มน้ำที่อยู่ในลุ่มน้ำโซยเก (Zoige Basin) มณฑลเสฉวน ประเทศจีน ที่ยังขาดการสำรวจข้อมูลสถานะของพืชหรือความสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำและบริเวณใกล้เคียง อีกทั้งยังประสบปัญหาการทำปศุสัตว์จำนวนมากในพื้นที่ โดยชันและคณะ ระบุว่า ดัชนี EVI และดัชนี TCWI ให้ผลการวิเคราะห์ความสมบูรณ์และสถานะของพื้นที่ชุ่มน้ำและบริเวณใกล้เคียงที่น่าเชื่อถือ

จากการศึกษาข้างต้น มีการประยุกต์ดัชนีจากภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายวิธีในการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมหรือสถานะความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ พืชบริเวณปากแม่น้ำ และพื้นที่ชุ่มน้ำ อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถสรุปได้ว่า ดัชนีใดมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการวิเคราะห์ความหลากหลายของสิ่งปกคลุมดินภายในพื้นที่ชุ่มน้ำ จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ ที่ประยุกต์ดัชนีจากภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีบทบาทในการศึกษาเกี่ยวกับพื้นที่ชุ่มน้ำ มาใช้วิเคราะห์สิ่งปกคลุมดินภายในพื้นที่ชุ่มน้ำของอุทยานแห่งชาติเขาสามร้อยยอด และตอบคำถามการวิจัย คือ ดัชนีใดสามารถวิเคราะห์สิ่งปกคลุมดินภายในพื้นที่ชุ่มน้ำเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่ง

แนวทางการวิเคราะห์และผลจากการศึกษานี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสนับสนุนงานด้านการสำรวจพื้นที่ชุ่มน้ำให้แก่หน่วยงานในสังกัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม หรือหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ นอกจากการประยุกต์ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 ที่ใช้ในการศึกษานี้แล้ว ยังมีผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีคุณสมบัติเชิงคลื่น เชิงพื้นที่ และเชิงเวลาเหมาะสมที่อาจพิจารณานำมาใช้สำรวจหรือประยุกต์สำหรับติดตามสภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำเพิ่มเติมได้ และหากเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถเข้าถึงได้แบบไม่มีค่าใช้จ่าย ก็จะช่วยประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อข้อมูล จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นเครื่องมือในการสำรวจพื้นที่ชุ่มน้ำอย่างต่อเนื่องหรือหลายช่วงเวลา เพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์ทรัพยากรหรือระบบนิเวศน์ภายในพื้นที่ชุ่มน้ำได้อย่างยั่งยืน

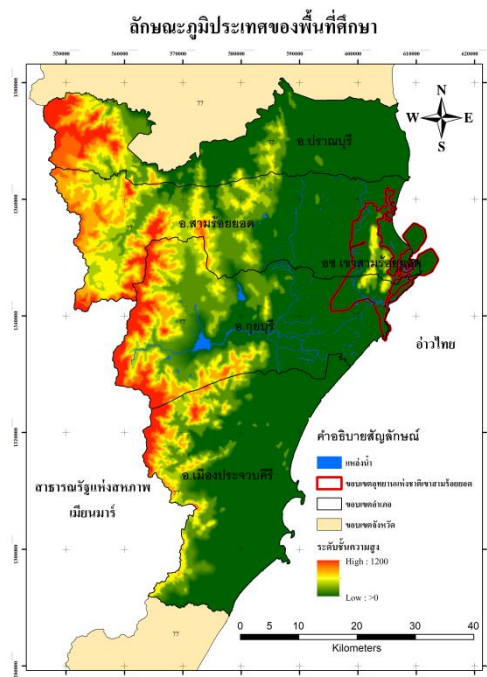
(Rapinel *et al.*, 2019; Ngwenya and Marambanyika, 2021)

## วิธีการดำเนินการวิจัย

ประกอบด้วยเนื้อหา 3 ส่วน คือ พื้นที่ศึกษา เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

### 1. พื้นที่ศึกษา

อุทยานแห่งชาติเขาสามร้อยยอด เป็นอุทยานแห่งชาติลำดับที่ 4 และเป็นอุทยานแห่งชาติทางทะเลแห่งแรกของประเทศไทย มีพื้นที่ประมาณ 98 ตารางกิโลเมตร (59,375 ไร่) ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ คาบเกี่ยวกับอำเภอสามร้อยยอดและอำเภอกุยบุรี (อาณาเขตสีแดงในภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา

โดยทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา คือ เทือกเขาตะนาวศรีกั้นพรมแดนระหว่างไทยกับ สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์ มีความลาดชัน

(บริเวณพื้นที่สีแดงด้านซ้ายในภาพที่ 1) และค่อยๆ ลาดลงไปจนถึงชายฝั่งทะเลอ่าวไทยทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (สีเขียวด้านขวาในภาพที่ 1) พื้นที่ชุ่มน้ำแห่งนี้ขึ้น

ทะเบียนเป็นแรมซาร์ไซต์ (Ramsar Site) ลำดับที่ 11 ของประเทศไทย (National Parks of Thailand, 2021; Department of Mineral Resources, 2008)

ในการศึกษานี้ จะเน้นพิจารณาสิ่งปกคลุมดินภายในพื้นที่ชุ่มน้ำเฉพาะส่วนที่เป็นทุ่งน้ำจืดที่อยู่บนฝั่ง โดยไม่รวมพื้นที่ของอุทยานฯ ในส่วนที่จัดสรรเพื่อใช้ประโยชน์บริเวณที่อยู่ติดชายฝั่งและไม่รวมเกาะและอาณาเขตทะเลของอุทยานฯ โดยบริเวณทุ่งน้ำจืดจะมีทั้งแหล่งน้ำถาวร พืชน้ำ รวมถึงป่าไม้และพื้นที่โดยรอบ ซึ่งมีความหลากหลายของสิ่งปกคลุมดินที่เป็นองค์ประกอบหลักของพื้นที่ชุ่มน้ำ จึงเป็นพื้นที่เป้าหมายในการวิเคราะห์ครั้งนี้ มีขนาดพื้นที่ 49,103.45 ไร่ หรือ 78.56 ตารางกิโลเมตร

## 2. เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

2.1 ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่

- LANDSAT 8 ระบบ Operational Land Imager (OLI) ที่สำรวจในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและอินฟราเรด ความละเอียดจุดภาพ 30 เมตร บันทึกภาพวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2560 (Path 129 Row 052) ซึ่งให้บริการเพื่อการศึกษาวิจัยแบบไม่คิดมูลค่าผ่านเว็บไซต์ (<https://earthexplorer.usgs.gov>) ของหน่วยงาน United States Geological Survey (USGS) และ

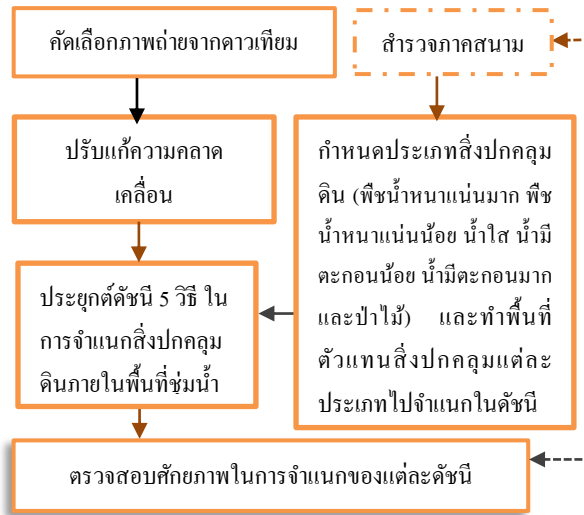
- ภาพถ่ายจากดาวเทียม Worldview-4 (เดิมชื่อ GeoEye-2) บันทึกภาพวันที่ 27 มกราคม 2560 และ 18 พฤษภาคม 2561 ความจุดภาพน้อยกว่า 5 เมตร ซึ่งมีในฐานข้อมูล Google Earth

2.2 แผนที่เชิงเลขขอบเขตอุทยานแห่งชาติเขาสามร้อยยอด (ไม่ระบุปี) จากสำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 3 สาขาเพชรบุรี กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

2.3 โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลภาพถ่ายจากดาวเทียม ชื่อ Environment for Visualizing Images หรือ ENVI เวอร์ชัน 5.4 และโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS Desktop 10.2 ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์และจัดทำแผนที่ รวมถึงมีการติดตามข้อมูลของพื้นที่ศึกษาในหลายช่วงเวลาผ่านโปรแกรม Google Earth Pro (Free ware) นอกจากนี้ ยังมีเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล รวมถึงกล้องถ่ายภาพและอุปกรณ์รับสัญญาณระบุตำแหน่งพิกัดโลก (Global Navigation Satellite System หรือ GNSS) ที่ใช้ในการสำรวจภาคสนาม

## 3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

สามารถสรุปเป็นขั้นตอนหลักๆ ดังต่อไปนี้ (ดูแผนผังในภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 คัดเลือกภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 ที่ปราศจากเมฆปกคลุมและมีความคมชัด และหลีกเลี่ยงการใช้ภาพที่บันทึกในช่วงเวลาที่พื้นที่ชุ่มน้ำประสบปัญหาภัยแล้งหรือน้ำท่วม จากการศึกษาข้อมูลสถานการณ์น้ำของพื้นที่ศึกษา อุทยานแห่งชาติเขาสามร้อยยอด (Thai Meteorological Department, 2021) และการคัดเลือกภาพที่คมชัด พบว่า ภาพที่บันทึกในวันที่ 17 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์

3.2 ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศที่ส่งผลต่อค่าการสะท้อนที่ผิดปกติในภาพถ่ายด้วยแบบจำลอง FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes) ในโปรแกรม ENVI ทำให้ภาพมีความถูกต้องและมีความคมชัดมากขึ้น (L3Harris Geospatial Solutions, Inc., 2022) พร้อมทั้งจะนำไปคำนวณหรือประยุกต์เป็นภาพดัชนีในขั้นตอนต่อไป

3.3 ประยุกต์ดัชนี จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้คัดเลือกดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาพื้นที่ชุ่มน้ำมาจำนวน 5 ดัชนี เพื่อใช้วิเคราะห์ความหนาแน่นของพืชน้ำ แหล่งน้ำและปริมาณตะกอน รวมถึงป่าไม้หรือพืชบนบกที่อยู่ในบริเวณ โดยรอบ ซึ่งเป็นสิ่งปกคลุมดินที่สะท้อนถึงความสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำได้ในภาพรวม โดยดัชนีที่จะนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน ได้แก่ ดัชนี Normalized Difference Water Index (NDWI) ดัชนี Modification of Normalized Difference Water Index (MNDWI) ดัชนี Tasseled-cap Wetness Index (TCWI) ดัชนี Normalized Suspended Material Index (NSMI) และ ดัชนี Normalized Difference Suspended Sediment Index (NDSSI) โดยมีสมการคำนวณดังต่อไปนี้

- ดัชนี NDWI สามารถคำนวณดัชนี NDWI ได้จากสมการที่ 1 (McFeeters, 1996)

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad \text{สมการที่ 1}$$

- ดัชนี MNDWI สามารถคำนวณดัชนี MNDWI จากสมการที่ 2 (Xu, 2006)

$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR1}{GREEN + SWIR1} \quad \text{สมการที่ 2}$$

- ดัชนี TCWI เน้นศึกษาความเปียกของดินและพืช (wetness soil/vegetation) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3 (Baig *et al.*, 2014)

$$TCWI = BLUE * 0.1511 + GREEN * 0.1973 + RED * 0.3283 + NIR * 0.3407 + SWIR * (-0.7117) + RIR * (-0.4559) \quad \text{สมการที่ 3}$$

- ดัชนี NSMI สามารถคำนวณดัชนี NSMI ดังสมการที่ 4 (Montalvo, 2010)

$$NSMI = \frac{(\rho_{RED})+(\rho_{GREEN})-(\rho_{BLUE})}{(\rho_{RED})+(\rho_{GREEN})+(\rho_{BLUE})} \quad \text{สมการที่ 4}$$

- ดัชนี NDSSI สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 (Hossain *et al.*, 2010)

$$NDSSI = \frac{(\rho_{BLUE})-(\rho_{NIR})}{(\rho_{BLUE})+(\rho_{NIR})} \quad \text{สมการที่ 5}$$

จากสมการทั้ง 5 ข้างต้น BLUE คือ ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีน้ำเงิน GREEN คือ ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีเขียว RED คือ ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีแดง NIR (Near Infrared) คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ SWIR (Shortwave Infrared) คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้นความยาวคลื่น 1.55 - 1.75 ไมโครเมตร RIR (Reflect Infrared) คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อนความยาวคลื่น 2.08 - 2.35 ไมโครเมตร ส่วนสมการที่ 4 และ 5 ซึ่งมีอักษรกรีก หรือ โรว์ (rho) อยู่หน้าชื่อของช่วงคลื่น เช่น  $\rho_{red}$  หมายถึง สมการนั้นต้องใช้ค่าการสะท้อนบนพื้นผิวโลก (Surface Reflectance - SR) ของช่วงคลื่น RED เป็นต้น

3.4 สํารวจข้อมูลภาคสนามช่วงต้นเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 เพื่อประโยชน์ในการกำหนดประเภทของสิ่งปกคลุมดินที่ต้องการวิเคราะห์ และใช้เป็นข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลพื้นที่ศึกษาจากภาพถ่ายจากดาวเทียมรายละเอียดสูงในฐานข้อมูล Google Earth

3.5 กำหนดประเภทสิ่งปกคลุมดินภายในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สะท้อนให้เห็นถึงความสมบูรณ์หรือความเสื่อมโทรมทางกายภาพในเบื้องต้น และดังที่ได้พบเห็นจากการสำรวจภาคสนามและข้อมูลประกอบจากฐานข้อมูล Google Earth ได้แก่ พืชน้ำหนาแน่นมาก พืชน้ำหนาแน่นน้อย น้ำใส น้ำมีตะกอนน้อย น้ำมี

ตะกอนมาก และป่าไม้ โดยบริเวณพืชน้ำหนาแน่นมากมักจะเป็นต้นกกชนิดต่างๆ ในขณะที่พืชน้ำหนาแน่นน้อยส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณที่มีดอกบัว (ใช้ชนิดพืชน้ำในการช่วยแบ่งความหนาแน่นของพืชน้ำ) ซึ่งเป็นจุดดึงดูดนักท่องเที่ยวโดยเฉพาะในช่วงที่ดอกบัวบานเป็นบริเวณกว้าง ส่วนพื้นที่น้ำจําแนกเป็นบริเวณที่มีน้ำใส น้ำมีตะกอนน้อย และน้ำที่มีตะกอนมาก ซึ่งสามารถสะท้อนถึงคุณภาพน้ำในเบื้องต้น หากแหล่งน้ำมีตะกอนมากจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำและสัตว์น้ำ หรืออาจหมายถึง พื้นที่ต้นเงินจากตะกอนน้ำมากที่จะส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำได้ เนื่องจากข้อมูลตะกอนน้ำไม่มีการจัดเก็บโดยกรมอุทยานฯ หรือหน่วยงานอื่นๆ อีกทั้งในการศึกษาครั้งนี้ ยังขาดแคลนงบประมาณและความเชี่ยวชาญในการจัดเก็บข้อมูลน้ำ จึงใช้การพิจารณาระดับความขุ่น-ใสของน้ำด้วยสายตา แบ่งเป็นน้ำใสหรือน้ำไม่มีตะกอนที่มักพบบริเวณน้ำลึก น้ำมีตะกอนน้อยจะหมายถึง บริเวณที่มีความใสลดลงจากน้ำใสไม่เกินร้อยละ 50 แต่หากมากกว่าร้อยละ 50 จะจัดเป็นน้ำมีตะกอนมาก นอกจากนี้ยังใช้ภาพจาก Google Earth ในเวลาใกล้เคียงกับช่วงเวลาที่ยังศึกษาความช่วยเหลือจําแนกตำแหน่ง โดยน้ำใสจะมีสีเขียวใก้สีฟ้าและจะมีโทนสีที่ยิ่งสว่างเมื่อยิ่งมีความขุ่นหรือมีปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น ส่วนพื้นที่ป่าไม้ ในที่นี้หมายถึงรวมทั้งป่าไม้และบริเวณ



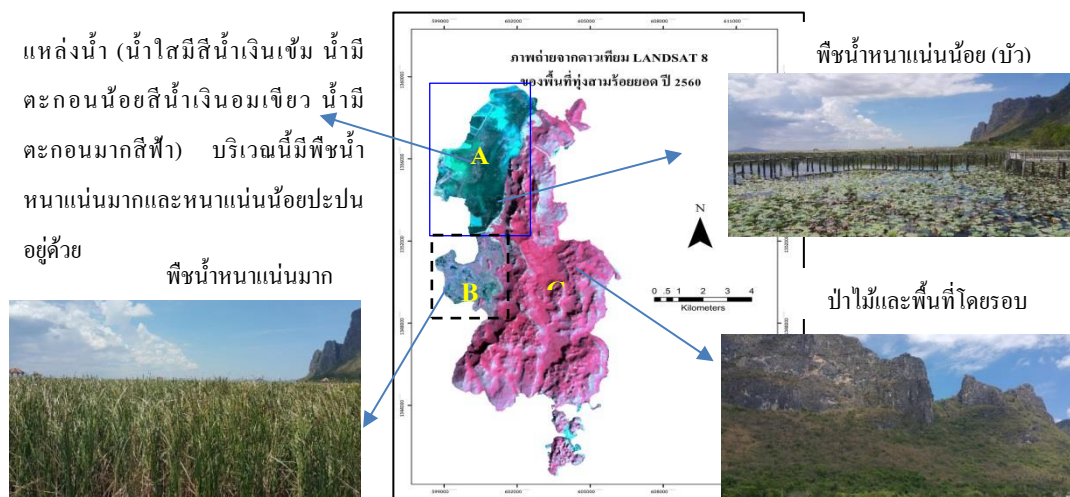
โดยรอบของพื้นที่ชุ่มน้ำ ซึ่งในการศึกษานี้ จะกำหนดพื้นที่ตัวแทนของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทแล้วไปวิเคราะห์และจำแนกในภาพดัชนีทั้ง 5 ดัชนี

3.6 ตรวจสอบศักยภาพในการจำแนกของแต่ละดัชนี 2 วิธี คือ 1) การเปรียบเทียบกับสายตา เนื่องจากพื้นที่ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบสิ่งปกคลุมดินในการศึกษาค่อนข้างเล็ก จึงจะเน้นพิจารณาความแม่นยำในลักษณะของการเปรียบเทียบประเภทของสิ่งปกคลุมดินด้วยสายตา ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเข้าใจง่าย เมื่อนำภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 ปี 2560 มาผสมแบบสีเท็จ (R: NIR, G: RED, B: GREEN) เพื่อให้แสดงพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมเป็นสีแดง หากยังมีสีแดงเข้มจะแสดงถึงความสมบูรณ์แข็งแรงหรือความหนาแน่นของพืชยังมีมาก โดยสามารถแบ่งพื้นที่เป้าหมายเพื่อทำการศึกษาและตรวจสอบเป็น 3 ส่วนหรือโซนหลัก (ดูภาพที่ 3) ซึ่งแต่ละโซนมีรายละเอียดของสิ่งปกคลุมดินที่ปรากฏในภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 ดังนี้

- โซน A เป็นบริเวณที่มีแหล่งน้ำและพืชน้ำ โดยบริเวณน้ำใสจะเห็นเป็นสีน้ำเงินเข้มหรือเกือบดำในภาพ แต่พื้นที่น้ำส่วนใหญ่เป็นน้ำมีตะกอนน้อย (สีน้ำเงินอมเขียว) และมีพืชน้ำหนาแน่นน้อย (สีแดงปนน้ำเงินหรือเทาเข้ม) กระจายปะปนอยู่ โดยมีพืชน้ำหนาแน่นมาก (สีแดงปนเทาอ่อน) แทรกอยู่บางจุด ส่วนน้ำมีตะกอนมาก (สีฟ้า) ก็พบปรากฏอยู่หลายบริเวณเช่นกัน

- โซน B เป็นบริเวณที่มีพืชน้ำ มีการกระจุกตัวทั้งแบบหนาแน่นมากและหนาแน่นน้อย มีบางบริเวณเป็นที่เนินและภูเขาโคดลูกเล็กๆ น้ำท่วมไม่ถึงและพบป่าไม้หรือพืชที่เจริญเติบโต (สีแดง) บนที่เนินและบริเวณรอยต่อระหว่างโซน B และ C

- โซน C เป็นบริเวณที่มีป่าไม้ อยู่บริเวณที่เนินและภูเขา ซึ่งยังมี พืชบกหรือไม้ยืนต้น รวมถึงพื้นที่อื่นๆ โดยรอบ ซึ่งครอบคลุมถึงพื้นที่น้ำเล็กๆ อยู่ระหว่างเกาะทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำที่มีตะกอนมาก



ภาพที่ 3 ตัวแทนสิ่งปกคลุมดินเป้าหมายและตำแหน่งในภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8

2) ตรวจสอบความแม่นยำในการจำแนกประเภทของสิ่งปกคลุมดิน (Accuracy assessment) ด้วยวิธี Confusion matrix ซึ่งเป็นตารางที่หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากจุดสำรวจภาคสนามกับตำแหน่งของสิ่งปกคลุม

ดินประเภทต่างๆ ที่จำแนกจากภาพดัชนี (รวมจำนวน 42 ตำแหน่ง) ซึ่งให้ผลการคำนวณค่าความแม่นยำโดยรวม (Overall accuracy) และค่าสัมประสิทธิ์แคปป่า (Kappa coefficient) หากค่าความแม่นยำโดยรวมไม่ต่ำกว่า

ร้อยละ 70 และค่าสัมประสิทธิ์แคปป่าไม่ต่ำกว่า 0.5 หมายถึง มีความแม่นยำในการจำแนกอยู่ในระดับดีหรือผ่านมาตรฐาน สามารถนำไปวิเคราะห์หรือนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างน่าเชื่อถือต่อไป

หลังตรวจสอบความแม่นยำด้วย 2 วิธีข้างต้นแล้ว ทำให้สามารถสรุปผลการศึกษาดัชนีที่เหมาะสมในการสำรวจพื้นที่ชุ่มน้ำเป้าหมายมากที่สุด และคำนวณพื้นที่ของสิ่งปกคลุมดินทั้ง 6 ประเภทที่วิเคราะห์ได้จากดัชนีดังกล่าว

### ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาศักยภาพของดัชนี NDWI ดัชนี MNDWI ดัชนี TCWI ดัชนี NSMI และ ดัชนี NDSSI ที่สังเคราะห์จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 ในช่วงต้นปี 2560 เพื่อจำแนกสิ่งปกคลุมดิน 6 ประเภท ได้แก่ พืชพรรณหนาแน่นมาก พืชพรรณาน้อย น้ำใส น้ำมีตะกอนน้อย น้ำมีตะกอนมาก และป่าไม้ นั้น แสดงระดับความสอดคล้องของรายละเอียดหรือองค์ประกอบสำคัญในแต่ละโซนตามที่กำหนดในภาพที่ 3 และค่าความแม่นยำที่ตรวจสอบด้วยวิธี Confusion Matrix ประกอบกับการ

นำเสนอแผนที่และช่วงค่าของดัชนีต่างๆ ที่จำแนกสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท ดังรายละเอียดต่อไปนี้

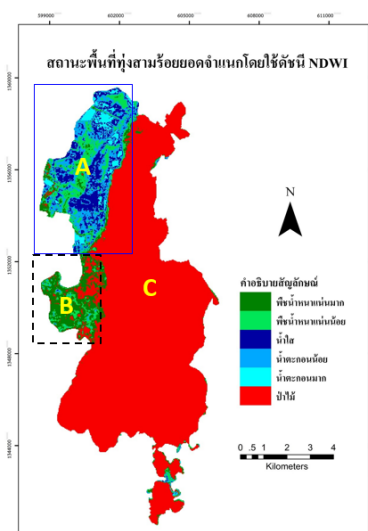
### 1. ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน 6 ประเภทของดัชนี NDWI

ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินเป้าหมายทั้ง 6 ประเภทของดัชนี NDWI แสดงในภาพที่ 4 พบว่าการจำแนกสิ่งปกคลุมดินมีความสอดคล้องกับลักษณะของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ค่อนข้างมากเมื่อพิจารณาด้วยสายตา ซึ่งสามารถสรุปเป็นโซนได้ดังนี้

- โซน A สามารถจำแนกน้ำใส และน้ำมีตะกอนมากได้ชัดเจน ส่วนน้ำมีตะกอนน้อยก็จำแนกได้แต่พบปะปนกับพืชพรรณาน้อยอยู่หลายบริเวณ ในขณะที่มีพืชพรรณาน้อยมากและป่าไม้แทรกอยู่เพียงเล็กน้อย

- โซน B พบพืชพรรณาน้อยมากปะปนกับพืชพรรณาน้อยในบริเวณนี้ และมีป่าไม้แทรกอยู่โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อระหว่างพืชพรรณาน้อยและพืชบก

- โซน C จำแนกพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าไม้พบการปะปนของพืชพรรณาน้อย พืชพรรณาน้อยมาก และน้ำมีตะกอนอยู่เพียงเล็กน้อย ซึ่งมักอยู่บริเวณขอบ



<b>Overall Accuracy</b>	<b>73.8095</b>
<b>Kappa Coefficient</b>	<b>0.6857</b>
<b>Index Value</b> (-1.0000 to 1.0000)	<b>ประเภทสิ่งปกคลุมดิน</b> (สิ่งปกคลุมดินที่มีค่าใกล้เคียงกัน)
-1.000 to -0.5901	ป่าไม้
-0.5900 to -0.3901	พืชพรรณาน้อยมาก (ป่าและพืชพรรณาน้อย)
-0.3900 to -0.2001	พืชพรรณาน้อย (พืชพรรณาน้อยมาก)
-0.2000 to -0.0001	น้ำมีตะกอนน้อย (พืชพรรณาน้อยและน้ำใส)
0.0000 to 0.3999	น้ำใส
0.4000 to 1.000	น้ำมีตะกอนมาก

ภาพที่ 4 สิ่งปกคลุมดินจำแนกด้วยดัชนี NDWI

จากภาพที่ 4 แสดงค่าดัชนี NDWI มีช่วงค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยช่วงค่าของแต่ละประเภทสิ่งปกคลุมดินสามารถแยกจากกันได้ค่อนข้างชัดเจนและมีค่าความแม่นยำโดยรวมในการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินเท่ากับร้อยละ 73.8 และค่าสัมประสิทธิ์แคปป่า 0.68 แสดงว่า มีความแม่นยำดีหรือผ่านมาตรฐานและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หรืออ้างอิงต่ออย่างไรก็ตาม ยังคงพบการจำแนกปะปนกันของสิ่งปกคลุมดินบางชนิด ซึ่งจะเห็นได้จากการที่มีค่าของดัชนีบางช่วงมีสิ่งปกคลุมดินชนิดอื่นด้วย ดังได้ระบุในวงเล็บของภาพที่ 4

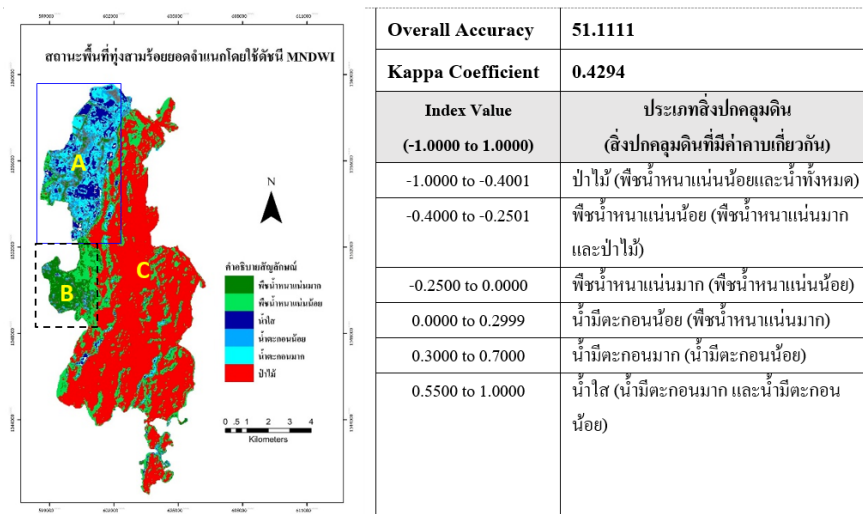
จะเห็นได้ว่า ดัชนี NDWI สามารถจำแนกสิ่งปกคลุมดินในแต่ละโซนได้สอดคล้องกับแหล่งอ้างอิงมาก ซึ่งไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Lv *et al.* (2019) ที่ระบุว่า ดัชนี NDWI มีบทบาทสำคัญในการจำแนกองค์ประกอบสำคัญในพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ ส่วนที่เป็นน้ำ ดิน และพืช โดยดัชนีคำนวณมาจากช่วงคลื่น GREEN ที่สามารถใช้วิเคราะห์น้ำ ตะกอนน้ำ และพืชได้ดี ส่วนช่วงคลื่น NIR เหมาะสมในการวิเคราะห์ความหนาแน่นและความสมบูรณ์ของพืช ส่วนดินและสิ่งปกคลุมดินอื่นๆ ทั้งสองช่วงคลื่นก็สามารถจำแนกได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินในงานวิจัยนี้

ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Blackmore (2016) และงานวิจัยของ Tang *et al.* (2016) ที่สรุปว่า ดัชนี NDWI จะมีปฏิสัมพันธ์กับพื้นที่ชุ่มน้ำ สามารถแยกพืชน้ำออกจากพืชบนบกได้จากความแตกต่างของความชื้นดิน (น้ำขัง/น้ำไม่ขัง) รวมถึงสามารถแยกระดับความหนาแน่นของพืชน้ำได้

**2. ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน 6 ประเภทของดัชนี MNDWI**

ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินเป้าหมายทั้ง 6 ประเภทของดัชนี MNDWI แสดงในภาพที่ 5 เมื่อพิจารณาความสอดคล้องของผลการจำแนกกับลักษณะของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ด้วยสายตาสามารถสรุปเป็นโซนได้ดังนี้

- โซน A สามารถจำแนกน้ำใส น้ำมีตะกอนมาก และน้ำมีตะกอนน้อยได้ และมีพืชน้ำหนาแน่นมากครอบคลุมพื้นที่มากกว่าพืชน้ำหนาแน่นน้อย
- โซน B พบพืชน้ำหนาแน่นมากครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ในโซนนี้ และมีพืชน้ำหนาแน่นน้อยปะปนอยู่บ้าง แต่พบป่าไม้แทรกอยู่น้อยมาก
- โซน C ถูกจำแนกพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าไม้ แต่พบการปะปนของพืชน้ำหนาแน่นน้อย น้ำใส และน้ำมีตะกอนปะปนกับป่าไม้และพื้นที่โดยรอบ



ภาพที่ 5 สิ่งปกคลุมดินจำแนกด้วยดัชนี MNDWI

ค่าดัชนี MNDWI มีช่วงค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยช่วงค่าของแต่ละประเภทสิ่งปกคลุมดินมีการคาบเกี่ยวกับสิ่งปกคลุมดินประเภทอื่นๆ ดังระบุในวงเล็บในภาพที่ 5 ส่งผลให้มีค่าความแม่นยำโดยรวมในการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินเท่ากับร้อยละ 51.11 และค่าสัมประสิทธิ์แคปป่า 0.43 แสดงว่ามีความแม่นยำต่ำกว่ามาตรฐาน

จะเห็นได้ว่า มีการจำแนกพืชน้ำ และแหล่งน้ำอยู่ในโซน C ซึ่งไม่สอดคล้องกับแหล่งอ้างอิง โดยในโซน A พบน้ำใสและน้ำมีตะกอนมาก ในขณะที่น้ำมีตะกอนน้อยไม่ปรากฏชัดเจน นอกจากนี้ยังพบพืชน้ำหนาแน่นมากครอบคลุมพื้นที่ในน้ำและบริเวณโซน B มากเกินจริง ในขณะที่พื้นที่ขึ้น พื้นที่ป่าไม้ บริเวณที่เป็นเงาภูเขาหรือสันเขา และป่าไม้ไม่หนาแน่นที่ปรากฏสีในภาพถ่ายจากดาวเทียมใกล้เคียงกันนั้น ได้ถูกจำแนกเป็นพืชน้ำหนาแน่นน้อย ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องบางส่วนกับข้อสรุปของ Blackmore (2016) ที่ใช้ดัชนี MNDWI ในการจำแนกพื้นที่แหล่งน้ำขนาดใหญ่ได้อย่างชัดเจน สามารถทำนายความชื้นและความแห้งแล้งของพื้นที่ได้ดีแต่ไม่ได้สรุปชัดเจนเรื่องตะกอนน้ำและการจำแนกพืชน้ำ เช่นเดียวกับการอธิบายช่วงค่าของสมการ (สมการที่ 2) ที่ระบุถึงช่วงค่าของน้ำ ดินที่มี

ความชื้น และบริเวณที่ไม่ใช่ป่า อาทิดินแห้ง เมือง และสิ่งปลูกสร้าง แต่ไม่ได้ระบุชัดเจนถึงช่วงค่าของพืชน้ำ

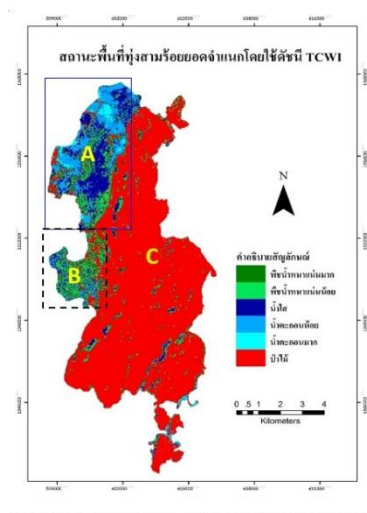
### 3. ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน 6 ประเภทของดัชนี TCWI

ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินเป้าหมายทั้ง 6 ประเภทของดัชนี TCWI ได้แสดงในภาพที่ 6 เมื่อพิจารณาความสอดคล้องของผลการจำแนกกับลักษณะของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ด้วยสายตาสามารถสรุปเป็นโซนได้ดังนี้

- โซน A สามารถจำแนกน้ำใส น้ำมีตะกอนมาก และน้ำมีตะกอนน้อยได้เป็นกลุ่มก้อนชัดเจน ส่วนพืชน้ำหนาแน่นมากและพืชน้ำหนาแน่นน้อยไม่สามารถแยกจากกันได้อย่างชัดเจน รวมถึงมีการจำแนกเป็นป่าไม้แทรกอยู่บางบริเวณ

- โซน B พบพืชน้ำหนาแน่นมาก พืชน้ำหนาแน่นน้อย น้ำใส น้ำมีตะกอน รวมถึงมีป่าไม้ ซึ่งทั้งหมดถูกจำแนกปะปนกัน

- โซน C จำแนกพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าไม้ แต่พบการปะปนของน้ำและพืชน้ำหลายบริเวณ โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นเงาของภูเขา



Overall Accuracy	45.2381
Kappa Coefficient	0.3429
Index Value (-0.2500 to 0.1000)	ประเภทสิ่งปกคลุมดิน (สิ่งปกคลุมดินที่มีค่าคาบเกี่ยวกับ)
-0.2500 to -0.0001	ป่าไม้ (น้ำใส และพืชน้ำ)
0.0000 to 0.0200	พืชน้ำหนาแน่นมาก (ป่า พืชน้ำ หนาแน่นน้อย และน้ำทั้งหมด)
0.0201 to 0.0250	พืชน้ำหนาแน่นน้อย (พืชน้ำหนาแน่น มาก น้ำทั้งหมด)
0.0251 to 0.0270	น้ำใส (น้ำมีตะกอน และพืชน้ำ หนาแน่นน้อย)
0.0271 to 0.0390	น้ำมีตะกอนน้อย (น้ำใส และพืชน้ำ หนาแน่นน้อย)
0.0391 to 0.1000	น้ำมีตะกอนมาก (น้ำมีตะกอนน้อย และ พืชน้ำหนาแน่นน้อย)

ภาพที่ 6 สิ่งปกคลุมดินจำแนกด้วยดัชนี TCWI

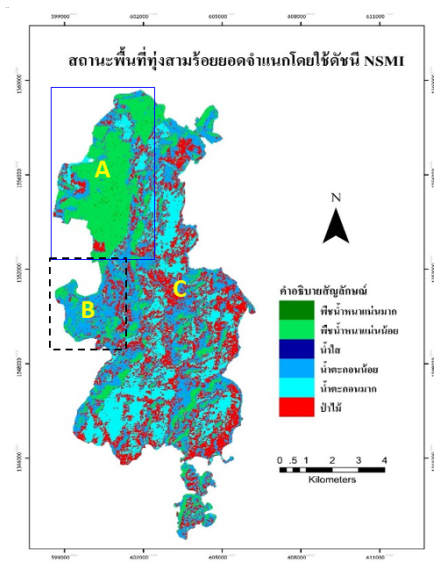
ค่าดัชนี TCWI จะมีช่วงค่าไม่แน่นอน ในการศึกษานี้มีช่วงค่าอยู่ระหว่าง -0.2500 ถึง 0.1000 โดยช่วงค่าของแต่ละประเภทสิ่งปกคลุมดินมีการคาบเกี่ยวกับสิ่งปกคลุมดินประเภทอื่นๆ ดังระบุในวงเล็บของภาพที่ 6 ส่งผลให้มีค่าความแม่นยำโดยรวมในการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินเท่ากับร้อยละ 45.24 และค่าสัมประสิทธิ์แคปป่า 0.34 และเมื่อมีความสอดคล้องระหว่างผลการจำแนกและโซนของสิ่งปกคลุมดินด้วยสายตา พบว่า สอดคล้องระดับปานกลาง ซึ่งสามารถสรุปว่า มีความแม่นยำในการจำแนกต่ำกว่ามาตรฐาน จะเห็นได้ว่า ดัชนี TCWI สามารถจำแนกน้ำได้หลายระดับ แต่จำแนกน้ำใสได้มากและปะปนไปในโซน B และ C ซึ่งไม่สอดคล้องกับแหล่งอ้างอิงโดยศักยภาพในการจำแนกเกี่ยวกับน้ำได้มีการสรุปไว้ในงานวิจัยของ Tang *et al.* (2016) ที่ใช้ดัชนี TCWGD ซึ่งรวม TCWI อยู่ด้วยนั้น มีความเหมาะสมกับการศึกษาสถานการณ์น้ำท่วมในพื้นที่ชุ่มน้ำพลาโยในมลรัฐเนบราสก้า ประเทศสหรัฐอเมริกามากที่สุด ในขณะที่ Sun *et al.* (2012) ใช้ดัชนี TCWI ร่วมกับดัชนี EVI ทำให้ได้การวิเคราะห์ความสมบูรณ์และสถานะของพื้นที่ชุ่มน้ำและบริเวณใกล้เคียงมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งในงานวิจัยนี้เน้นพิจารณาศักยภาพของการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน

ของดัชนีที่ละเอียด จึงยังพบความไม่น่าเชื่อถือของการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน ซึ่งไม่สอดคล้องกับข้อสรุปในงานวิจัยของชั้นและคณะ

**4. ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน 6 ประเภทของดัชนี NSMI**

ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินเป้าหมายทั้ง 6 ประเภทของดัชนี NSMI แสดงในภาพที่ 7 เมื่อพิจารณาความสอดคล้องของผลการจำแนกกับลักษณะของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ด้วยสายตาสามารถสรุปเป็นโซนได้ดังนี้

- โซน A พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ถูกจำแนกเป็นพืชน้ำหนาแน่นน้อย และพบการจำแนกน้ำมีตะกอนมาก น้ำมีตะกอนน้อย และป่าไม้ปะปนกันในโซนนี้
- โซน B มีการจำแนกพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นน้ำมีตะกอนน้อย โดยมีการจำแนกเป็นพืชน้ำหนาแน่นน้อยและป่าไม้แทรกอยู่ไม่มากบริเวณรอยต่อระหว่างโซน B และ C
- โซน C พบว่า น้ำมีตะกอน พืชน้ำหนาแน่นน้อยและป่าไม้ถูกจำแนกปะปนกันอย่างชัดเจนในโซนนี้



<b>Overall Accuracy</b>	<b>40.4762</b>
<b>Kappa Coefficient</b>	<b>0.2953</b>
<b>Index Value (-1.0000 to 1.0000)</b>	<b>ประเภทสิ่งปกคลุมดิน (สิ่งปกคลุมดินที่มีค่าคาบเกี่ยวกับ)</b>
-1.000 to 0.0000	น้ำใส (พืชน้ำหนาแน่นน้อย น้ำมีตะกอน)
0.0001 to 0.2699	น้ำมีตะกอนน้อย (ป่าไม้ พืชน้ำ และน้ำมีตะกอนมาก)
0.2700 to 0.4000	น้ำมีตะกอนมาก (ป่าไม้ และพืชน้ำ)
0.4001 to 0.5500	พืชน้ำหนาแน่นน้อย (น้ำใส น้ำมีตะกอน และป่าไม้)
0.5501 to 0.6000	พืชน้ำหนาแน่นมาก (น้ำมีตะกอน พืชน้ำหนาแน่นน้อย และป่าไม้)
0.6001 to 1.000	ป่าไม้ (น้ำมีตะกอน และพืชน้ำ)

ภาพที่ 7 สิ่งปกคลุมดินจำแนกด้วยดัชนี NSMI



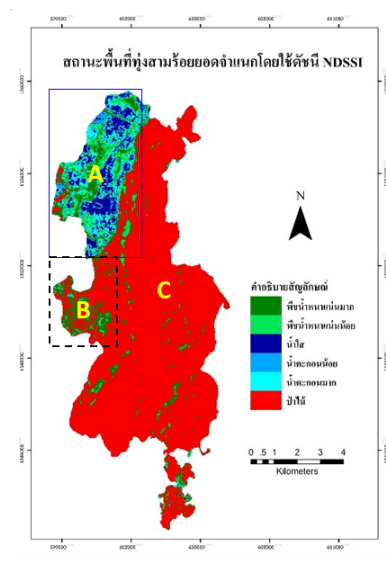
ค่าดัชนี NSMI มีช่วงค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยช่วงค่าของแต่ละประเภทสิ่งปกคลุมดินมีการคาบเกี่ยวกับสิ่งปกคลุมดินประเภทอื่นๆ มาก ดังระบุในวงเล็บในภาพที่ 7 ส่งผลให้มีค่าความแม่นยำโดยรวมในการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินเท่ากับร้อยละ 40.47 และค่าสัมประสิทธิ์แคปป่า 0.29 แสดงว่ามีความแม่นยำต่ำกว่ามาตรฐานมาก

จะเห็นได้ว่า ดัชนี NSMI ไม่สามารถแยกน้ำมีตะกอนมากและน้ำมีตะกอนน้อยออกจากพืชน้ำและป่าไม้ได้ ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Arisanty and Saputra (2017) ที่ระบุว่า ค่าตะกอนในน้ำที่วิเคราะห์จากดัชนี NSMI นั้นมีความสัมพันธ์กับค่าตะกอนน้ำที่ตรวจวัดจริงมากที่สุด เมื่อพิจารณาจากคำอธิบายของสมการ (สมการที่ 4) พบว่า น้ำใสจะมีค่าของดัชนีต่ำ ในขณะที่น้ำยังมีตะกอนมากจะยังมีค่าสูง ซึ่งไม่มีการระบุถึงช่วงค่าของพืช อีกทั้งสมการนี้น่าจะเหมาะกับการศึกษาน้ำเป็นหลัก เพราะไม่สามารถแยกพืชน้ำหรือพืชบนบกออกจากของน้ำมีตะกอนได้

## 5. ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน 6 ประเภทของดัชนี NDSSI

ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินเป้าหมายทั้ง 6 ประเภทของดัชนี NDSSI ได้แสดงในภาพที่ 8 เมื่อพิจารณาความสอดคล้องของผลการจำแนกกับลักษณะของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ด้วยสายตาสามารถสรุปเป็นโซนได้ดังนี้

- โซน A สามารถจำแนกน้ำใสและน้ำมีตะกอนได้ แต่ระดับตะกอนมากและน้อยนั้นไม่สามารถแยกกันได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ยังพบพืชน้ำหนาแน่นมากและหนาแน่นน้อยอยู่หลายบริเวณ พบป่าไม้แทรกอยู่เล็กน้อยทางทิศตะวันตก
- โซน B พบพืชน้ำหนาแน่นมากปะปนกับพืชน้ำหนาแน่นน้อย และประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่ถูกจำแนกเป็นป่าไม้
- โซน C มีการจำแนกพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าไม้ พบการปะปนของพืชน้ำหนาแน่นมากและพืชน้ำหนาแน่นน้อยบางบริเวณ โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นเงาของภูเขา



<b>Overall Accuracy</b>	<b>59.5238</b>
<b>Kappa Coefficient</b>	<b>0.5143</b>
<b>Index Value</b> (-1.0000 to 1.0000)	<b>ประเภทสิ่งปกคลุมดิน</b>
-1.0000 to -0.6000	ป่าไม้ (พืชน้ำหนาแน่นมาก และพืชน้ำหนาแน่นน้อย)
-0.6001 to -0.3001	พืชน้ำหนาแน่นมาก (ป่าไม้ และพืชน้ำหนาแน่นน้อย)
-0.3000 to -0.0001	พืชน้ำหนาแน่นน้อย (ป่าไม้ และพืชน้ำหนาแน่นมาก)
0.0000 to 0.3000	น้ำมีตะกอนมาก (น้ำใส น้ำมีตะกอนน้อย)
0.3001 to 0.6000	น้ำมีตะกอนน้อย (น้ำใส น้ำมีตะกอนมาก)
0.6001 to 1.0000	น้ำใส (น้ำมีตะกอน)

ภาพที่ 8 สิ่งปกคลุมดินจำแนกด้วยดัชนี NDSSI

ค่าดัชนี NDSSI มีช่วงค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยช่วงค่าของแต่ละประเภทสิ่งปกคลุมดินมีการคาบเกี่ยวกับสิ่งปกคลุมดินประเภทอื่นๆ มาก ดังระบุในวงเล็บในภาพที่ 8 ส่งผลให้มีค่าความแม่นยำโดยรวมในการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินเท่ากับร้อยละ 59.52 และค่าสัมประสิทธิ์แคปป่า 0.51 ซึ่งมีความแม่นยำระดับปานกลางแต่ยังต่ำกว่าระดับมาตรฐานที่จะนำไปใช้ประโยชน์หรืออ้างอิงได้อย่างน่าเชื่อถือ

จะเห็นได้ว่า ดัชนี NDSSI ไม่สามารถจำแนกระดับตะกอนในน้ำได้อย่างชัดเจน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Arisanty and Saputra (2017) ที่ศึกษาการหมุนเวียนของตะกอนแขวนลอยบริเวณปากแม่น้ำบาริตอ (Barito Delta) ด้วยดัชนี NSMI ดัชนี NDSSI และการหาสัดส่วนแบนด์ หรือ band ratio (green/blue) ซึ่งพบว่า ค่าตะกอนในน้ำที่วิเคราะห์จากดัชนี NSMI มีความสัมพันธ์กับค่าตะกอนที่ตรวจวัดจริงมากที่สุด ในขณะที่ดัชนี NDSSI และ band ratio ไม่สามารถจำแนกตะกอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งข้อสรุปดังกล่าวขัดแย้งกับงานวิจัยของ Shahzad *et al.* (2018) ที่ใช้ดัชนี NDSSI ในการศึกษาตะกอนแขวนลอยบริเวณปากแม่น้ำในเขตอุตสาหกรรมทางตอนใต้ของประเทศปากีสถาน และพบว่า ดัชนี NDSSI สามารถช่วยให้ผลการวิเคราะห์ค่าตะกอนแขวนลอยมีความแม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่อ้างถึงข้างต้นจะเน้นศึกษาตะกอน ไม่มีการกล่าวถึงพีช เช่นเดียวกับคำอธิบายสมการที่ระบุเพียงว่า ค่าดัชนียิ่งสูงจะแสดงถึงระดับความใสของน้ำยิ่งมาก ในขณะที่น้ำยังมีตะกอนมากจะยังมีค่าดัชนีต่ำ

จากผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินเป้าหมายทั้ง 6 ประเภทของแต่ละดัชนีที่พิจารณาความสอดคล้องของผลการจำแนกกับลักษณะของสิ่งปกคลุมดิน 3 โชนในพื้นที่ด้วยสายตา พบว่า มีความคลาดเคลื่อนในการจำแนกป่าไม้และพีชบนบกไปเป็นแหล่งน้ำและพีชน้ำในผลการจำแนกจาก 4 ดัชนี คือ ดัชนี MNDWI ดัชนี

TCWI ดัชนี NSMI และดัชนี NDSSI โดยความคลาดเคลื่อนในการจำแนกจะมีระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งปรากฏชัดเจนบริเวณ โชน B และ C ในขณะที่ความคลาดเคลื่อนในการจำแนกสิ่งปกคลุมดินที่พบในโชนต่างๆ จะปรากฏน้อยที่สุดเมื่อวิเคราะห์ด้วยดัชนี NDWI อีกทั้งเมื่อคำนวณด้วยวิธี Confusion matrix แล้วยังพบว่ามีเพียงดัชนี NDWI ที่มีค่าความแม่นยำโดยรวมไม่ต่ำกว่า 70 และค่าสัมประสิทธิ์แคปป่าไม่ต่ำกว่า 0.5 ด้วยเหตุนี้ ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินเป้าหมายที่ได้จากดัชนี NDWI จึงมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการจำแนกสิ่งปกคลุมดินบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำภายในอุทยานแห่งชาติเขาสามร้อยยอด โดยผลการจำแนกแสดงพื้นที่พีชน้ำหนาแน่นมากเท่ากับ 4,398.19 ไร่ (ร้อยละ 8.96 ของพื้นที่ทั้งหมด) พีชน้ำหนาแน่นน้อย 2,953.69 ไร่ (ร้อยละ 6.02 ของพื้นที่ทั้งหมด) 49,103.45 ไร่ (ร้อยละ 103.45 ไร่) แหล่งน้ำใส 3,750.75 ไร่ (ร้อยละ 7.64 ของพื้นที่ทั้งหมด) น้ำมีตะกอนน้อย 2,280.38 ไร่ (ร้อยละ 4.64 ของพื้นที่ทั้งหมด) น้ำตะกอนมาก 989.44 ไร่ (ร้อยละ 2.02 ของพื้นที่ทั้งหมด) และพื้นที่ป่าไม้รวมบริเวณโดยรอบครอบคลุมพื้นที่ 34,731 ไร่ (ร้อยละ 70.73 ของพื้นที่ทั้งหมด)

## สรุป

ดัชนีที่สามารถวิเคราะห์สิ่งปกคลุมดินภายในพื้นที่ชุ่มน้ำเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ ดัชนี NDWI ซึ่งนอกจากจะมีค่าความแม่นยำโดยรวมและค่าสัมประสิทธิ์แคปป่าสูงที่สุดแล้ว (Overall accuracy = 73.8 และ Kappa coefficient = 0.68) ในผลลัพธ์ยังปรากฏชัดเจนว่า สามารถจำแนกระดับตะกอนน้ำ ความหนาแน่นของพีชน้ำ และแยกป่าหรือพีชบกได้ดี ในขณะที่ดัชนีอื่นๆ มีค่าความแม่นยำโดยรวมและค่าสัมประสิทธิ์แคปป่าไม่ผ่านมาตรฐาน (Overall accuracy < 70 และ Kappa coefficient < 0.5) เพื่อพิจารณาในภาพผลลัพธ์พบว่า ดัชนี MNDWI และดัชนี NDSSI มีศักยภาพในการจำแนกบริเวณน้ำใสและน้ำมีตะกอน

ได้ แต่ยังมีข้อจำกัดในการจำแนกระดับความหนาแน่นของพีชน้ำ และพบการจำแนกปะปนกันระหว่างพีชน้ำและพีชบก ส่วนดัชนี TCWI สามารถจำแนกระดับตะกอนในน้ำได้ดี แต่จำแนกบริเวณเงาของภูเขาเป็นแหล่งน้ำและพีชน้ำ สำหรับดัชนีที่ให้ผลการจำแนกที่คลาดเคลื่อนมากที่สุดในการศึกษานี้ คือ NSMI ที่ไม่สามารถแยกน้ำมีตะกอนมากและน้ำมีตะกอนน้อยออกจากพีชน้ำและป่าไม้ได้ ซึ่งอาจสรุปได้ว่า ดัชนี MNDWI ดัชนี TCWI ดัชนี NSMI และดัชนี NDSSI มีศักยภาพในการศึกษาแหล่งน้ำ ตะกอนน้ำ รวมถึงความชื้นในพื้นที่ แต่มีข้อจำกัดในการจำแนกความหลากหลายของสิ่งปกคลุมดินหรือองค์ประกอบอื่นภายในพื้นที่ชุ่มน้ำ สำหรับการจำแนกระดับความหนาแน่นของพีชน้ำด้วยชนิดพีช และจำแนกระดับความขุ่น-ใสของน้ำจากการประเมินด้วยสายตาและใช้สีที่ปรากฏในภาพถ่ายจากดาวเทียมนั้น สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือมากขึ้นได้ หากมีข้อมูลความหนาแน่นของพีชน้ำ และระดับความขุ่น-ใสของน้ำที่ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์หรือเกณฑ์ที่มีมาตรฐาน ปัจจุบันมีการนำดัชนีหรือช่วงคลื่นอื่นๆ รวมถึงข้อมูลจากระบบตรวจวัดหรือเครื่องมืออื่นๆ มาบูรณาการกันเพื่อพัฒนาการวิเคราะห์พื้นที่ชุ่มน้ำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่เมื่อมีแหล่งข้อมูล ขึ้นตอนหรือเครื่องมือที่มากขึ้น การวิเคราะห์ย่อมใช้เวลามากขึ้น เช่นเดียวกับค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นตามไปด้วย ในการศึกษาี้ได้นำเสนอดัชนีเดี่ยวที่คำนวณมาจากภาพถ่ายจากดาวเทียมที่เข้าถึงง่ายและไม่มีค่าใช้จ่าย และมีศักยภาพในการจำแนกสิ่งปกคลุมดินภายในพื้นที่ชุ่มน้ำและบริเวณโดยรอบได้ดีและรวดเร็ว จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์เพื่อติดตามสถานะหรือสิ่งปกคลุมดินของพื้นที่ชุ่มน้ำภายในอุทยานแห่งชาติเขาสามร้อยยอดหรือพื้นที่ชุ่มน้ำอื่นๆ ได้หลายช่วงเวลาหรืออย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้ข้อมูล

ที่มีประโยชน์ต่อการบริหารจัดการหรืออนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำให้คงความสมบูรณ์อย่างยั่งยืน

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยงานที่สนับสนุนข้อมูลในการศึกษานี้ทุกแห่ง และขอบคุณคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ในการผลักดันให้เกิดการพัฒนาและเผยแพร่งานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- Arisanty, D. and Saputra, A.N. 2017. Remote Sensing Studies of Suspended Sediment Concentration Variation in Barito Delta, pp. 1-7. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 98, The 5th Geoinformation Science Symposium 2017 (GSS 2017)*. Yogyakarta, Indonesia.
- Baig, M.H.A., Zhang, L., Shuai, T. and Tong, Q. 2014. Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters* 5(5): 423-431.
- Blackmore, D.S. 2016. Use of Water Indices Derived from Landsat OLI Imagery and GIS to Estimate the Hydrologic Connectivity of Wetlands in the Tualatin River National Wildlife Refuge. Master Thesis of Science (Geography), Portland State University.
- Department of Mineral Resources. 2008. **Zoning Classification for Geology and Mineral Resources Management of Prachuap Khiri Khan Province**. Advance Vision Service Limited, Bangkok. (in Thai)



- Hossain, A.K.M.A., Jia, Y. and Chao, X. 2010. Development of Remote Sensing Based Index for Estimating/Mapping Suspended Sediment Concentration in River and Lake Environments, pp. 578-585. *In ISE Proceeding, The 8th international symposium on ECOHYDRAULICS (ISE 2010)*. International Association for Hydraulic Engineering and Research (IAHR), South Korea.
- Lv, J., Jiang, W., Wang, W., Wu, Z., Liu, Y., Wang, X. and Li, Z. 2019. Wetland Loss Identification and Evaluation Based on Landscape and Remote Sensing Indices in Xiong'an New Area. *Remote Sensing* 11(23): 2834.
- L3Harris Geospatial Solutions, Inc. 2022. **Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH)**. Available Source: <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/flaash.html>, May 20, 2022.
- McFeeters, S.K. 1996. The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17(7): 1425-1432.
- Montalvo, L.G. 2010. **Spectral Analysis of Suspended Material in Coastal Waters: A Comparison Between Band Math Equations**. Available Source: <https://docplayer.net/39330139-Spectral-analysis-of-suspended-material-in-coastal-waters-a-comparison-between-band-math-equations.html>, January 13, 2021.
- Mozumder, C., Tripathi, N.K. and Tipdecho, T. 2014. Ecosystem evaluation (1989–2012) of Ramsar wetland Deepor Beel using satellite-derived indices. *Environmental Monitoring and Assessment* 186(2014): 7909-7927.
- National Parks of Thailand. 2021. **Khao Sam Roi Yot National Park – General Information**. Available Source: <https://nps.dnp.go.th/parksdetail.php?id=129&name=KhaoSamRoiYotNationalPark>, February 20, 2021. (in Thai).
- Ngwenya, K. and Marambanyika, T. 2021. Trends in use of remotely sensed data in wetlands assessment and monitoring in Zimbabwe. *African Journal of Ecology* 59(3): 676-686. doi: 10.1111/aje.12858.
- Rapinel, S., Fabre, E., Dufour, S., Arvor, D., Mony, C. and Hubert-Moy, L. 2019. Mapping potential, existing and efficient wetlands using free remote sensing data. *Journal of Environmental Management* 247(2019): 829-839.
- Sarun, S., Vineetha, P. and Kumar, R.A. 2016. Semi-Automated Methods for Wetland Mapping Using Landsat ETM+: A Case Study from Tsunami Affected Panchyats of Alappad & Arattupuzha, South Kerala. *International Journal of Science and Research* 5(8): 1150-1154.
- Shahzad, M.I., Meraj, M., Nazeer, M., Zia, I., Inam, A., Mehmood, K. and Zafar, H. 2018. Empirical estimation of suspended solids concentration in the Indus Delta Region using Landsat-7 ETM+ imagery. *Journal of Environmental Management* 209: 254-261.
- Sun, J., Cao, J., Duan, H., Yan, C. and Wang, T. 2012. Monitoring ecological health of wetlands and adjacent uplands by combining MODIS vegetation

- index and wetness index, pp. 1-4. *In Proceeding, International Symposium on Geomatics for Integrated Water Resource Management. Geomatics for Integrated Water Resources Management (GIWRM), China.*
- Tang, Z., Li, Y., Gu, Y., Jiang, W., Xue, Y., Hu, Q., LaGrange, T., Bishop, A., Drahota, J. and Li, R. 2016. Assessing Nebraska playa wetland inundation status during 1985-2015 using Landsat data and Google Earth Engine.
- Environmental Monitoring and Assessment** 188(12): 654.
- Thai Meteorological Department. 2021. **Report of Natural Disasters in Thailand.** Available Source: <http://climate.tmd.go.th/disaster/>, February 20, 2021.
- Xu, H. 2006. Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. **International Journal of Remote Sensing** 27(14): 3025-3033.