

การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมในการติดตามระดับน้ำเพื่อการทำนาแบบเปียกสลับแห้ง
Application of Satellite Data to Monitor Water Levels for Alternate Wetting and
Drying Rice Cultivation

นายวิทยา แก้วมี¹, นายณัฐพล วุฒิจันทร์², นายชวกร รวีตระกูลไพบูลย์³, นายไพศาล วรรณเกื้อ⁴,
นายพีรวัส พึ่งพาพัฒน์^{5*}, นางสาวปวีรินทร์น์ โชคอยู่ประเสริฐ⁶, นายธนภัทร์ งามยิ่งยวด⁷,
และนางสาวนภัส เนตรสุวรรณ⁸

^{1,2,3,4,5} กรมชลประทาน, ประเทศไทย

^{6,7,8} คณะวิศวกรรมศาสตร์, วิทยาลัยการชลประทาน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ประเทศไทย

Email: peerawat.p7166@gmail.com

บทคัดย่อ

การติดตามและบริหารจัดการระดับน้ำในนาข้าวอย่างเหมาะสมถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดการใช้น้ำ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในระบบการปลูกแบบเปียกสลับแห้ง (Alternate Wetting and Drying: AWD) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการประเมินระดับน้ำในแปลงนาข้าวโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีจากภาพถ่ายดาวเทียมกับข้อมูลระดับน้ำที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำในแปลงนาข้าว เพื่อสนับสนุนการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนภายใต้บริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-2 ซึ่งมีเซ็นเซอร์ MultiSpectral Instrument (MSI) ถูกนำมาวิเคราะห์ผ่านค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NSMI และเปรียบเทียบกับข้อมูลวัดระดับน้ำจริงในแปลงทดลอง ณ สถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งประกอบด้วยแปลงน่าน้ำขังและแปลงนาแบบ AWD การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดำเนินการด้วยวิธีถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สมการที่พัฒนาขึ้นมีความสัมพันธ์ระดับสูงในการประมาณระดับน้ำเมื่อระดับน้ำอยู่เหนือหรือเท่ากับผิวดิน โดยให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.691 และค่า RMSE เท่ากับ 1.696 เซนติเมตร

ผลลัพธ์จากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อติดตามระดับน้ำในแปลงนาข้าวในพื้นที่อื่น ๆ และสนับสนุนการตัดสินใจด้านการบริหารจัดการน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CH_4) และเสริมสร้างความยืดหยุ่นต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง

คำสำคัญ : นาเปียกสลับแห้ง (AWD), ภาพถ่ายดาวเทียม, การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, การติดตามค่าระดับน้ำ

Abstract

Accurate monitoring and management of water levels in rice paddies are critical for enhancing agricultural productivity and mitigating environmental impacts, particularly in fields managed under the Alternate Wetting and Drying (AWD) method. This study aims to develop a method for assessing water levels in paddy fields by integrating satellite remote sensing with ground-based automatic water level sensors, with the goal of supporting sustainable water management and reducing methane (CH₄) emissions in the context of climate change.

Sentinel-2 satellite imagery, equipped with the MultiSpectral Instrument (MSI), was analyzed using three vegetation and moisture indices: NDVI, NDWI, and NSMI. These were compared with in-situ water level data collected from experimental rice fields at the National Rice Science Institute in Suphan Buri Province, Thailand, which included both continuously flooded and AWD-managed fields. The relationship between the indices and observed water levels was analyzed using linear regression. Results showed that the model has a high degree of correlation when water levels were at or above the soil surface ($R^2 = 0.691$, $RMSE = 1.696$ cm), indicating that satellite-derived indices are more reliable for estimating surface water levels.

This approach demonstrates strong potential for application in other agricultural regions and offers a practical tool for improving water-use efficiency in rice cultivation. It also contributes to long-term strategies for greenhouse gas mitigation and climate resilience.

Keywords : Alternate Wetting and Drying (AWD), Satellite Imagery, Climate Change, Water Level Monitoring.

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศผู้ผลิตข้าวหลักของโลก ซึ่งภาคการเกษตรโดยเฉพาะการทำนาข้าวยังคงมีบทบาทสำคัญต่อความมั่นคงทางอาหารและเศรษฐกิจของประเทศ การจัดการน้ำในแปลงนาเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อทั้งปริมาณและคุณภาพของผลผลิตข้าวโดยตรง ระบบการทำนาแบบเปียกสลับแห้ง (Alternate Wetting and Drying: AWD) เป็นหนึ่งในแนวทางที่ช่วยส่งเสริมการใช้น้ำอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ แต่การควบคุมระดับน้ำในระบบดังกล่าวยังคงเป็นความท้าทายสำคัญ เนื่องจากต้องปรับเปลี่ยนระดับน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชและสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้พัฒนาและนำเสนอแนวทางต่าง ๆ เช่น การปรับปรุงระบบชลประทานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การจัดการน้ำอย่างรัดกุม รวมถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น เซ็นเซอร์ตรวจวัดระดับน้ำ ระบบอัตโนมัติ และการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งล้วนเป็นเครื่องมือสำคัญที่สามารถช่วยให้เกษตรกรและผู้บริหารจัดการน้ำสามารถควบคุมและบริหารน้ำได้ตรงกับความต้องการจริงของพื้นที่เพาะปลูก

การวิเคราะห์ระดับน้ำในแปลงนาข้าวโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและเทคโนโลยีเชิงพื้นที่ เป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาระบบจัดการน้ำให้มีความแม่นยำและทันสมัย เทคโนโลยีเชิงพื้นที่ อาทิ เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพถ่ายจากดาวเทียม สามารถนำมาใช้เพื่อตรวจวัดและติดตามระดับน้ำในแปลงนาได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำ ข้อมูลที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวจะช่วยให้สามารถควบคุมระดับน้ำในแปลงนาได้อย่างสอดคล้องกับความต้องการจริงของพืช ส่งผลให้ลดการสูญเสียน้ำ ลดปริมาณการใช้น้ำเกินความจำเป็น และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยรวม

การวิจัยนี้จึงถูกริเริ่มขึ้น เพื่อพัฒนาวิธีการจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพและทันสมัยมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในระบบทำนาแบบ AWD ที่ต้องการการควบคุมระดับน้ำที่แม่นยำในเชิงเวลาและพื้นที่ การใช้เทคโนโลยีเชิงพื้นที่ช่วยให้สามารถติดตามสถานะของแปลงนาแบบเรียลไทม์ สนับสนุนการตัดสินใจเชิงรุกในด้านการจัดสรรน้ำ และลดภาระต้นทุนที่เกิดจากการจัดการน้ำแบบเดิม ทั้งนี้ยังเป็นการวางรากฐานให้กับการพัฒนาขยายด้านการจัดการน้ำเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสอดคล้องกับแนวทางของการเกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture) และการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาวิธีการประเมินระดับน้ำในแปลงนาข้าวโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีจากภาพถ่ายดาวเทียมกับข้อมูลระดับน้ำที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำในแปลงนาข้าว

3. วิธีการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้ตั้งอยู่ในบริเวณของสถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งเป็นแหล่งทดลองต้นแบบที่ใช้ในการศึกษาระบบการจัดการน้ำในนาข้าว โดยมีการจัดทำแปลงทดลองจำนวน 3 แปลง ขนาดแปลงละ 10 × 40 เมตร ภายใต้สภาพแวดล้อมและการจัดการแปลงที่ใกล้เคียงกัน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ได้อย่างเป็นระบบ โดยแปลงที่ 1 ใช้รูปแบบการจัดการน้ำแบบนาข้าวขังตลอดฤดูเพาะปลูก ในขณะที่แปลงที่ 2 และแปลงที่ 3 ใช้วิธีการจัดการน้ำแบบนาเปียกสลับแห้ง (Alternate Wetting and Drying: AWD) ดังแสดงในรูปที่ 1

พื้นที่ทั้งหมดตั้งอยู่บนชุดดินชยันต (Chai Nat Soil Series) ซึ่งเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีความสามารถในการอุ้มน้ำและระบายน้ำในระดับปานกลาง เป็นชุดดินที่แพร่กระจายอยู่ในพื้นที่ชลประทานภาคกลางของประเทศไทย และเหมาะสมต่อการเพาะปลูกข้าวภายใต้ทั้งระบบน้ำขังและระบบ AWD

สำหรับพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้าวพันธุ์ กข.41 การเลือกใช้พันธุ์ข้าวเดียวกันในทุกแปลงทดลองช่วยลดตัวแปรแทรกซ้อนที่อาจกระทบต่อผลการวิเคราะห์ ทำให้สามารถประเมินความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมกับระดับน้ำจริงได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น



รูปที่ 1 พื้นที่แปลงศึกษา ณ สถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ จังหวัดสุพรรณบุรี

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ที่ใช้ในการศึกษานี้ถูกจัดเตรียมผ่านการเข้าถึงและประมวลผลจากแพลตฟอร์ม Google Earth Engine ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการจัดการข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในปริมาณมาก โดยเลือกช่วงเวลาของภาพถ่ายระหว่างเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2567 ซึ่งครอบคลุมตลอดระยะเวลาการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา สำหรับการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ด้านการเกษตร จำเป็นต้องดำเนินการผสมแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Band Combination) หรือการรวมแถบคลื่น (Composite Bands) เพื่อให้ได้ภาพที่มีความชัดเจนและเหมาะสมต่อการแปลความหมายตามที่สนใจ

3.2.2 การเก็บข้อมูลระดับน้ำภาคสนาม

การทำนาแบบ AWD โดยทั่วไปจะขังน้ำในแปลงนาที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร ในช่วงหลังปักดำจนกระทั่งข้าวอยู่ในช่วงตั้งท้องออกดอกจึงจะเพิ่มระดับน้ำในแปลงอยู่ที่ 7-10 เซนติเมตร ช่วงที่ปล่อยให้ข้าวขาดน้ำหรือแกล้งข้าวมี 2 ช่วงคือ ช่วงแรก ในช่วงเจริญเติบโตทางลำต้น (อายุข้าว 35-45 วัน) เป็นเวลา 14 วัน หรือจนกว่าระดับน้ำในแปลงนาจะลดลงต่ำกว่าผิวแปลง 10-15 เซนติเมตร หรือดินในแปลงนาแตกระแหง แล้วจึงปล่อยน้ำเข้านา และช่วงที่ 2 ในช่วงข้าวแตกกอสูงสุด (อายุข้าว 60-65 วัน) เป็นเวลาอีก 14 วัน เช่นเดียวกัน หรือจนกว่าระดับน้ำในแปลงนาจะลดลงต่ำกว่าผิวแปลง 10-15 เซนติเมตร หรือดินในแปลงนาแตกระแหงแล้วปล่อยน้ำเข้านา

ในการศึกษาครั้งนี้พื้นที่ศึกษาได้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับน้ำแบบท่ออ่านค่าอัตโนมัติ ณ ตำแหน่งหัวแปลงปลูกข้าวแต่ละแปลง ซึ่งหากพิจารณาจากมุมมองด้านบน (top view) จะอยู่ทางด้านขวามือของแปลง ดังแสดงในรูปที่ 2 ข้อมูลระดับน้ำดังกล่าวถูกบันทึกและส่งผ่านระบบ Narrowband Internet of Things (NB-IoT) แบบอัตโนมัติ โดยมีความถี่ในการบันทึกข้อมูลเป็นรายวัน และมีความละเอียดของการตรวจวัดระดับน้ำอยู่ที่ 1 เซนติเมตร การติดตั้งอุปกรณ์ถูกออกแบบให้สามารถวัดระดับน้ำในช่วงความลึกต่าง ๆ โดยครอบคลุมทั้ง ระดับน้ำใต้ผิวดิน (จากระดับผิวดินลงไปลึก 20 เซนติเมตร) และ ระดับน้ำเหนือผิวดิน (จากระดับผิวดินขึ้นไป 10 เซนติเมตร)



รูปที่ 2 ติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับน้ำอัตโนมัติในพื้นที่แปลงศึกษา

3.3 เครื่องมือที่ใช้วิจัย

3.3.1 Google Earth Engine (GEE) เป็นแพลตฟอร์มภูมิสารสนเทศเชิงวิเคราะห์ที่พัฒนาโดยบริษัท Google ซึ่งให้บริการผ่านระบบคลาวด์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมขนาดใหญ่ในระดับโลก GEE มีฐานข้อมูลที่ครอบคลุมระยะเวลาอันยาวนานกว่า 40 ปี ตั้งแต่ทศวรรษ 1970 จนถึงปัจจุบัน ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลได้โดยตรงผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มเติมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ของตน

จุดเด่นของ GEE อยู่ที่ความสามารถในการสืบค้นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากแหล่งต่าง ๆ ทั่วโลก พร้อมด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่หลากหลาย เช่น การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ การเปรียบเทียบข้อมูลย้อนหลัง การจัดทำแผนที่แนวโน้มในอนาคต และการวิเคราะห์เชิงปริมาณบนพื้นผิวโลก นอกจากนี้ GEE ยังรองรับการเขียนคำสั่งผ่านภาษา JavaScript และ Python ซึ่งเอื้อต่อการพัฒนาโค้ดสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลภูมิสารสนเทศที่มีความซับซ้อนได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

สำหรับการศึกษานี้ ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-2 ถูกเรียกใช้งานผ่าน GEE โดยเลือกภาพถ่ายเฉพาะในช่วงระหว่างเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2567 ซึ่งครอบคลุมฤดูเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา พร้อมทั้งมีการกรองคุณภาพของภาพเพื่อให้ได้เฉพาะข้อมูลที่ปราศจากเมฆและมีความคมชัดสูง เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น โดยดำเนินการคำนวณค่าดัชนีเชิงพื้นที่ เช่น NDVI, NDWI และ NSMI เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับข้อมูลระดับน้ำที่วัดได้จริงจากภาคสนาม

3.3.2 โปรแกรม QGIS

QGIS (Quantum Geographic Information System) เป็นซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) แบบซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส (Open Source Software) ที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและแพร่หลายในวงการวิชาการและการประยุกต์ใช้ด้านภูมิสารสนเทศ

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยสองขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การคำนวณค่าดัชนีเชิงพื้นที่จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และ (2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีที่ได้กับข้อมูลระดับน้ำจากภาคสนาม

3.4.1 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ถูกนำมาประมวลผลผ่านแพลตฟอร์ม Google Earth Engine (GEE) สอดคล้องกับฤดูปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา โดยคัดเลือกเฉพาะภาพที่มีคุณภาพสูงเพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ ดัชนีเชิงพื้นที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์มี 3 ประเภท ได้แก่

(1) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ใช้แถบสเปกตรัม Red (Band 4) และ Near-Infrared (Band 8) ในการประเมินความหนาแน่นของพืชพรรณเขียว

(2) Normalized Difference Water Index (NDWI) ใช้ แถบ Green (Band 3) และ Near-Infrared (Band 8) เพื่อประเมินความชื้นของพืชหรือผิวดิน

(3) Normalized Soil Moisture Index (NSMI) ใช้ แถบ Short-Wave Infrared (SWIR) ได้แก่ Band 11 และ Band 12 เพื่อประเมินความชื้นของดินในระดับผิวดิน

3.4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี ค่าดัชนีที่ได้จากการคำนวณจะถูกนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับข้อมูลระดับน้ำจริงที่ได้จากท่อนวัดระดับน้ำอัตโนมัติซึ่งติดตั้งในแปลงนาข้าวทดลอง การวิเคราะห์ดำเนินการโดยใช้เทคนิคการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ (ค่าดัชนี) ในการทำนายค่าระดับน้ำ (ตัวแปรตาม) เพื่อประเมินความแม่นยำของแบบจำลองถดถอยที่ได้ใช้ตัวชี้วัดทางสถิติ 2 ค่า ได้แก่

(1) ค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) เพื่อแสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำทำนายกับระดับน้ำจริง

(2) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) เพื่อประเมินความแม่นยำของแบบจำลองโดยวัดระยะห่างเฉลี่ยระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จริง

4. ผลการศึกษา

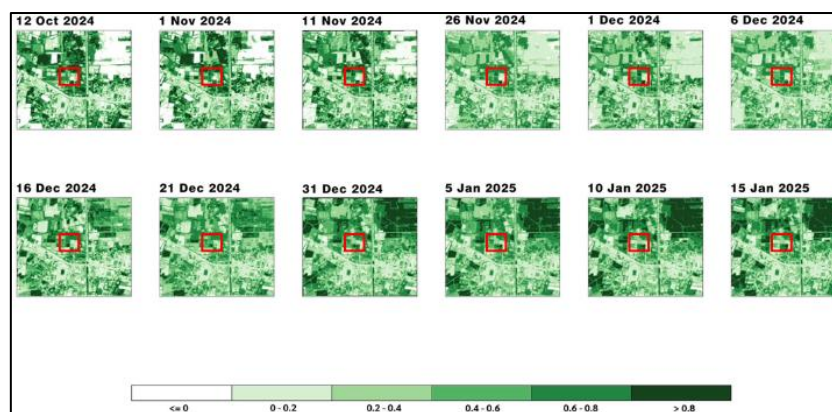
4.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ได้ผ่านการกรองข้อมูล ในช่วงที่มีเมฆบดบัง และกำหนดขอบเขต ช่วงที่ได้ศึกษาระหว่างเดือนตุลาคม ถึงเดือน มกราคม 2568 จากแพลตฟอร์ม GEE สำหรับการวิเคราะห์ NDVI NDWI NSMI ของพื้นที่

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ NDVI โดยทำการผสมสี Band 4 (Red) และ Band 8 (Near-Infrared)

ค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณปกติ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ซึ่งได้จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยใช้ข้อมูลจากแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า Band 4 (Red) และ Band 8 (Near-Infrared) แสดงถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณในพื้นที่ทดลองตลอดฤดูเพาะปลูก ระหว่างเดือนตุลาคม 2567 ถึงกลางเดือนมกราคม 2568 โดยในช่วงต้นฤดูปลูก (12 ตุลาคม 2567) ค่า NDVI อยู่ในระดับต่ำในทั้งสามแปลงทดลอง ได้แก่ แปลงที่ 1 = 0.268, แปลงที่ 2 = 0.219 และแปลงที่ 3 = 0.233 สะท้อนถึงระยะกล้าที่ต้นข้าวยังไม่ปกคลุมพื้นที่มากนัก ต่อมาในช่วงต้นถึงกลางเดือนพฤศจิกายน ค่า NDVI เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง โดยแปลงที่ 1 เพิ่มขึ้นถึง 0.789, แปลงที่ 2 เป็น 0.774 และแปลงที่ 3 เป็น 0.737 แสดงถึงระยะเจริญเติบโตของต้นข้าวที่มีความเขียวขจีและความหนาแน่นของใบสูงสุด ซึ่งเป็นช่วง 3-6 สัปดาห์หลังการปลูก ข้อมูลแสดงให้เห็นว่าค่า NDVI อยู่ในระดับสูงสุดในช่วงปลายพฤศจิกายนถึงต้นธันวาคม (ประมาณ 0.76-0.79) ก่อนเริ่มลดลงในช่วงต้นถึงกลางเดือนธันวาคมตามวัฏจักรการเจริญเติบโตและการเก็บเกี่ยว เช่น แปลงที่ 1 ลดจาก 0.782 (1 ธ.ค.) เป็น 0.745 (6 ธ.ค.) และลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงกลางเดือนมกราคม (0.327) ในขณะที่แปลงที่ 2 ลดลงชัดเจนจาก 0.752 (1 ธ.ค.) เป็น 0.219 (6 ธ.ค.) และแปลงที่ 3 คงระดับ NDVI สูงสุดที่ 0.793 (1 ธ.ค.) ก่อนลดลงเหลือ 0.312 (15 ม.ค.) แสดงให้เห็นว่าค่า NDVI สามารถสะท้อนสถานะการเจริญเติบโตของต้นข้าวในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างชัดเจนและสอดคล้องกับสภาพจริงในแปลงเพาะปลูก สรุปได้ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ค่า NDVI ตามระยะเวลาการเก็บข้อมูลของพื้นที่ศึกษา

แปลงที่	ค่า NDVI											
	12 ต.ค.	1 พ.ย.	11 พ.ย.	26 พ.ย.	1 ธ.ค.	6 ธ.ค.	16 ธ.ค.	21 ธ.ค.	31 ธ.ค.	5 ม.ค.	10 ม.ค.	15 ม.ค.
	67	67	67	67	67	67	67	67	67	68	68	68
1	0.268	0.720	0.789	0.764	0.783	0.745	0.752	0.622	0.310	0.366	0.353	0.327
2	0.219	0.770	0.774	0.798	0.75	0.219	0.727	0.622	0.258	0.270	0.255	0.272
3	0.232	0.665	0.737	0.783	0.793	0.729	0.622	0.576	0.267	0.270	0.277	0.312

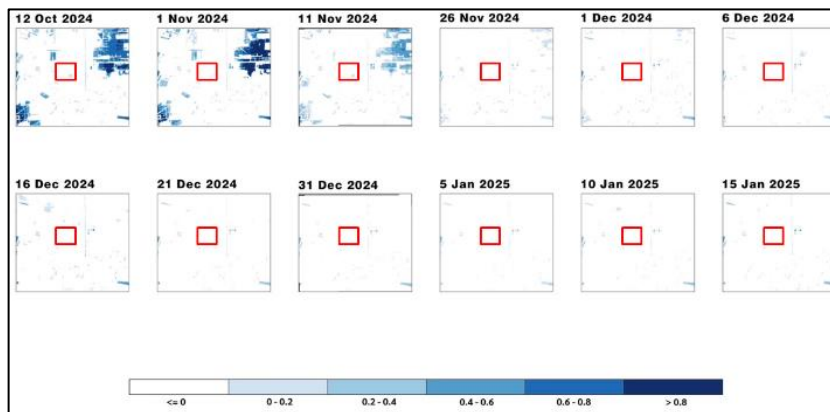


รูปที่ 3 ค่า NDVI ตามระยะเวลาการเก็บข้อมูลของพื้นที่ศึกษา

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ NDWI โดยทำการผสมสี Band 3 (Green) และ Band 8 (Near-Infrared) ค่าดัชนีความแตกต่างของน้ำปกติ (Normalized Difference Water Index: NDWI) ที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยใช้ข้อมูลจากแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า Band 3 (Green) และ Band 8 (Near-Infrared) แสดงแนวโน้มการลดลงของความชื้นผิวดินตลอดช่วงระยะเวลาศึกษา ตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม พ.ศ. 2567 ถึงกลางเดือนมกราคม พ.ศ. 2568 โดยในแปลงที่ 1 ค่า NDWI เริ่มต้นที่ -0.283 (12 ต.ค.) และลดลงต่อเนื่องถึง -0.713 (1 ธ.ค.) ก่อนที่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น -0.627 (6 ธ.ค.) และลดลงอีกครั้งในช่วงหลังจากนั้นจนอยู่ที่ -0.435 (15 ม.ค.) ส่วนแปลงที่ 2 ลดลงจาก -0.264 (12 ต.ค.) เป็น -0.706 (26 พ.ย.) และมีแนวโน้มทรงตัวที่ค่าต่ำระหว่าง -0.645 ถึง -0.392 จนถึงกลางเดือนมกราคม ขณะที่แปลงที่ 3 เริ่มต้นด้วยค่า NDWI ค่อนข้างต่ำที่ -0.627 (12 ต.ค.) และลดลงต่อเนื่องจนถึง -0.701 (1 ธ.ค.) ก่อนจะผันผวนอยู่ในช่วง -0.384 ถึง -0.628 ในช่วงเดือนธันวาคมถึงมกราคม แนวโน้มการลดลงของค่า NDWI สะท้อนการลดลงของความชื้นผิวดินในช่วงที่ต้นข้าวกำลังเจริญเติบโตหนาแน่น โดยเฉพาะในเดือนพฤศจิกายนถึงต้นธันวาคม อย่างไรก็ตาม ในระยะที่พืชเริ่มยอดหนาแน่นมาก การสะท้อนคลื่น NIR จากพืชอาจเพิ่มขึ้นจนรบกวนการคำนวณค่า NDWI ทำให้ค่าดัชนีลดลง แม้ว่าความชื้นในดินยังคงอยู่ในระดับหนึ่งก็ตาม สถานการณ์นี้แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของการใช้ NDWI ในพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมหนาแน่น ดังนั้นจึงควรพิจารณาใช้ค่าดัชนีนี้ควบคู่กับดัชนีอื่นร่วมด้วย สรุปได้ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 4

ตารางที่ 2 ค่า NDWI ตามระยะเวลาการเก็บข้อมูลของพื้นที่ศึกษา

แปลงที่	ค่า NDWI											
	12 ต.ค. 67	1 พ.ย. 67	11 พ.ย. 67	26 พ.ย. 67	1 ธ.ค. 67	6 ธ.ค. 67	16 ธ.ค. 67	21 ธ.ค. 67	31 ธ.ค. 67	5 ม.ค. 68	10 ม.ค. 68	15 ม.ค. 68
1	-0.283	-0.568	-0.677	-0.684	-0.713	-0.627	-0.655	-0.589	-0.418	-0.440	-0.439	-0.435
2	-0.264	-0.601	-0.690	-0.706	-0.646	-0.627	-0.642	-0.561	-0.418	-0.400	-0.392	-0.409
3	-0.627	-0.527	-0.620	-0.692	-0.701	-0.627	-0.418	-0.384	-0.390	-0.404	-0.413	-0.629



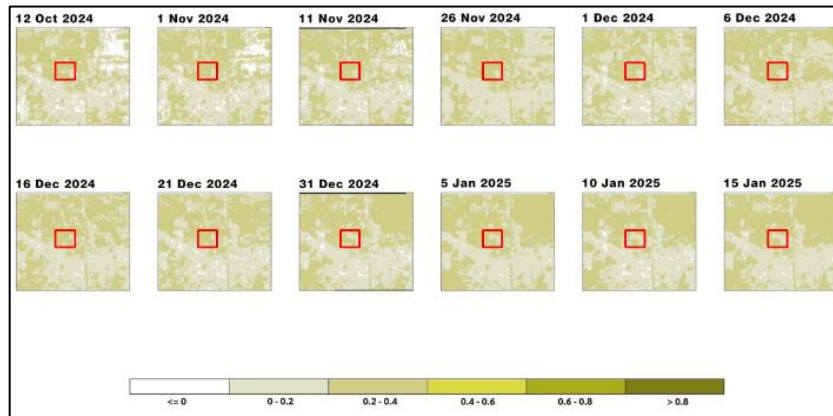
รูปที่ 4 ค่า NDWI ตามระยะเวลาการเก็บข้อมูลของพื้นที่ศึกษา

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ NSMI โดยทำการผสมสี Band 11 (SWIR1) และ Band 12 (SWIR2) ค่าดัชนีความชื้นในดินที่ผ่านการปรับให้อยู่ในช่วงมาตรฐาน (Normalized Soil Moisture Index: NSMI) ซึ่งได้จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยใช้ข้อมูลจากแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า Band 11 (SWIR1) และ Band 12 (SWIR2) แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดินในพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2567 ถึงกลางเดือนมกราคม พ.ศ. 2568 โดยในแปลงที่ 1 ค่า NSMI เพิ่มขึ้นจาก 0.198 (12 ต.ค.) เป็น 0.324 (1 ธ.ค.) และคงที่ที่ 0.323 (6 ธ.ค.) ก่อนจะลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงปลายฤดูกล เหลือ 0.184 (10 ม.ค.) ส่วนแปลงที่ 2 ค่า NSMI เพิ่มขึ้นจาก 0.184 (12 ต.ค.) เป็น 0.310 (26 พ.ย.) ก่อนลดลงอย่างชัดเจนเป็น 0.184 (6 ธ.ค.) และลดต่ำลงถึง 0.165 (10 ม.ค.) ขณะที่แปลงที่ 3 มีค่าเริ่มต้นต่ำสุดในช่วงต้นฤดู (0.134) และเพิ่มขึ้นต่อเนื่องเป็น 0.322 (6 ธ.ค.) ก่อนลดลงสู่ระดับ 0.163 (10 ม.ค.) แนวโน้มดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่า NSMI ในทั้งสามแปลงมีค่าสูงสุดในช่วงปลาย

พฤศจิกายนถึงต้นธันวาคม ซึ่งอาจขัดแย้งกับสภาพความเป็นจริงที่พื้นที่เพาะปลูกเริ่มเข้าสู่ช่วงระบายน้ำเพื่อเตรียมเก็บเกี่ยว โดยค่าที่สูงของ NSMI อาจไม่ได้สะท้อนความชื้นผิวดินโดยตรง แต่เป็นผลจากการสะท้อนคลื่นสั้น (SWIR) ที่ได้รับอิทธิพลจากเรือนยอดพืชที่เขียวขจีและหนาแน่น ส่งผลให้เซนเซอร์รับข้อมูลจากพืชพรรณมากกว่าผิวดิน จึงอาจสะท้อนถึงชีวมวลและความเขียวของต้นข้าวมากกว่าความชื้นจริงของดิน ดังนั้นควรพิจารณาค่า NSMI ควบคู่กับดัชนีอื่นเพื่อประเมินความชื้นในแปลงเพาะปลูกได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น สรุปได้ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 5

ตารางที่ 3 ค่า NSMI ตามระยะเวลาการเก็บข้อมูลของพื้นที่ศึกษา

แปลงที่	ค่า NSMI											
	12 ต.ค.	1 พ.ย.	11 พ.ย.	26 พ.ย.	1 ธ.ค.	6 ธ.ค.	16 ธ.ค.	21 ธ.ค.	31 ธ.ค.	5 ม.ค.	10 ม.ค.	15 ม.ค.
	67	67	67	67	67	67	67	67	67	68	68	68
1	0.198	0.257	0.262	0.286	0.324	0.323	0.294	0.278	0.187	0.209	0.184	0.195
2	0.184	0.278	0.298	0.310	0.305	0.184	0.307	0.256	0.175	0.194	0.165	0.186
3	0.134	0.234	0.290	0.298	0.296	0.322	0.293	0.256	0.175	0.192	0.163	0.187



รูปที่ 5 ค่า NSMI ตามระยะเวลาการเก็บข้อมูลของพื้นที่ศึกษา

4.2 ผลของระดับน้ำที่วัดได้จากทอว์ระดับน้ำในนาข้าว

ข้อมูลระดับน้ำที่วัดได้จากทอว์ระดับน้ำในแปลงนาข้าวเป็นข้อมูลเชิงสังเกต (Observed data) ที่ได้จากการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับน้ำในพื้นที่ศึกษา โดยมีการเลือกใช้เฉพาะข้อมูลที่มีวันและเวลาใกล้เคียงหรือสอดคล้องกับช่วงเวลาที่มีการเก็บข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาคพื้น (ground truth) กับค่าดัชนีจากข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่น NDVI, NDWI และ NSMI ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4 ถึง 6

ตารางที่ 4 ค่าระดับน้ำที่วัดได้จากทอว์ระดับน้ำในนาข้าวของแปลงที่ 1

Date	NDVI	NDWI	NSMI	Observed data (cm)
12/10/2024	0.268106	-0.282651	0.198391	8
01/11/2024	0.720083	-0.568306	0.256763	8
11/11/2024	0.789097	-0.676865	0.262475	1
26/11/2024	0.763594	-0.683927	0.285653	2
01/12/2024	0.782603	-0.713210	0.323858	3
06/12/2024	0.745214	-0.626915	0.322954	1

ตารางที่ 5 ค่าระดับน้ำที่วัดได้จากทอวัดระดับน้ำในนาข้าวของแปลงที่ 2

Date	NDVI	NDWI	NSMI	Observed data (cm)
12/10/2024	0.219065	-0.264156	0.183790	8
01/11/2024	0.769903	-0.601109	0.278490	8
11/11/2024	0.773945	-0.689689	0.298396	0
26/11/2024	0.798520	-0.705611	0.310118	-3
01/12/2024	0.752435	-0.645968	0.304673	-3
06/12/2024	0.219065	-0.264156	0.183790	-8

ตารางที่ 6 ค่าระดับน้ำที่วัดได้จากทอวัดระดับน้ำในนาข้าวของแปลงที่ 3

Date	NDVI	NDWI	NSMI	Observed data (cm)
12/10/2024	0.232529	-0.626915	0.133877	6
01/11/2024	0.664641	-0.526867	0.234287	6
26/11/2024	0.782601	-0.692024	0.298268	-2
01/12/2024	0.792948	-0.700928	0.295942	-9
06/12/2024	0.728715	-0.620130	0.321745	-8

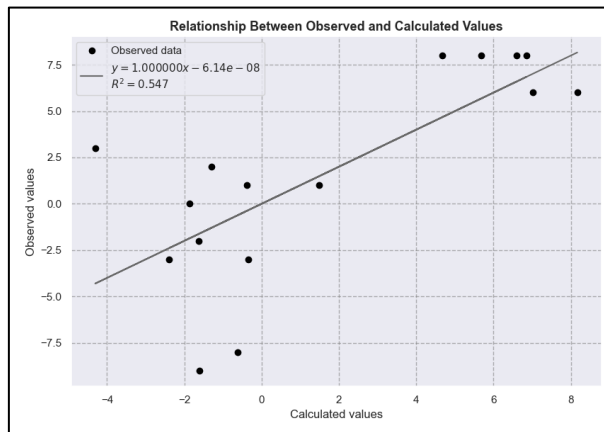
4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีและค่าระดับน้ำในนาข้าว

4.3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

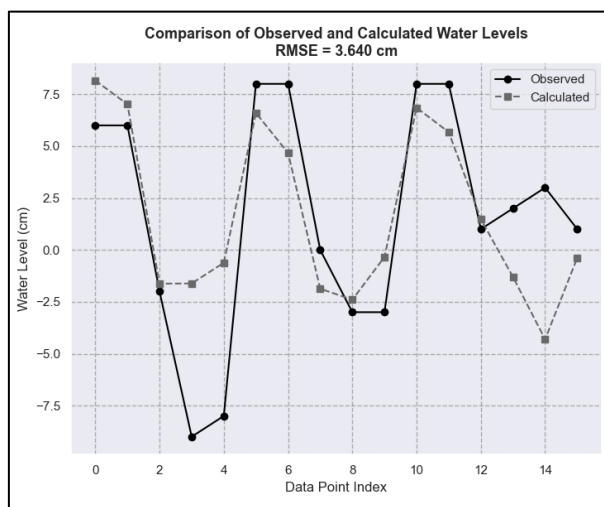
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีจากภาพถ่ายดาวเทียมกับค่าระดับน้ำในแปลงนาข้าว ดำเนินการโดยการรวมข้อมูลจากหลายแปลงทดลองที่ผ่านการคัดกรองแล้วภายใต้สภาพแวดล้อมและการจัดการแปลงที่ใกล้เคียงกัน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ได้อย่างเป็นระบบ จำนวน 3 แปลง โดยแปลงที่ 1 ใช้รูปแบบการจัดการน้ำแบบนาข้าวขังตลอดฤดูเพาะปลูก ในขณะที่แปลงที่ 2 และแปลงที่ 3 ใช้วิธีการจัดการน้ำแบบนาเปียกสลับแห้ง โดยนำค่าดัชนีที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และข้อมูลค่าระดับน้ำที่วัดได้จากทอวัดระดับน้ำในแปลงนาข้าวมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกัน จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ ซึ่งได้แก่ค่าดัชนีต่าง ๆ ที่ใช้เป็นตัวแทนของลักษณะทางชีวภาพและกายภาพของแปลงเพาะปลูก

ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ถดถอยจะถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณค่าระดับน้ำในแปลงนา (Calculated values: Cal) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ระดับน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่เพาะปลูก จากข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยค่าที่ได้จากแบบจำลองจะถูกเปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำที่วัดได้จริงจากภาคสนาม (Observed values) เพื่อประเมินความแม่นยำและแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งสองชุด

ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถสรุปและแสดงในรูปแบบกราฟได้ในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่าที่ตรวจวัดจริง พร้อมแสดงสมการถดถอยและค่า R^2 และในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบลำดับค่าระดับน้ำทั้งจากการตรวจวัดจริงและการคำนวณ พร้อมแสดงค่า RMSE เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ตรวจวัดจริงกับค่าที่คำนวณได้



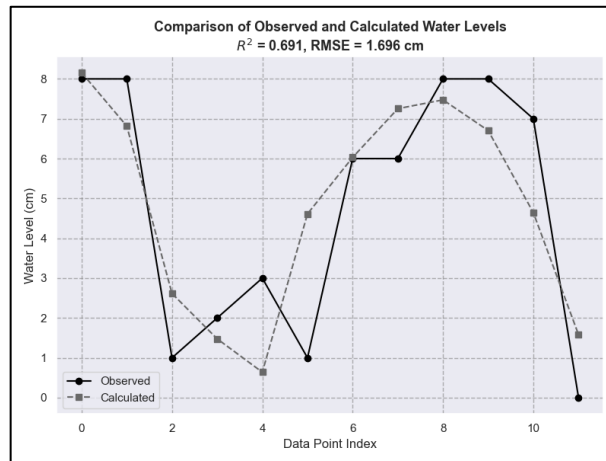
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดจริงกับค่าที่คำนวณได้

4.3.2 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ

จากผลการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดจริงในแปลงนาข้าวกับค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณตามแบบจำลอง (Cal) ซึ่งแสดงในรูปที่ 7 พบว่า ในช่วงค่าระดับน้ำที่อยู่ต่ำกว่าผิวดิน ค่าที่คำนวณได้มีแนวโน้มเบี่ยงเบนจากค่าที่ตรวจวัดจริงอย่างมีนัยสำคัญ โดยระดับเฉลี่ยของค่าที่คำนวณได้ในช่วงยอดล่างของกราฟอยู่ที่ประมาณ -3 เซนติเมตร ซึ่งบ่งชี้ถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการประเมินระดับน้ำในช่วงดังกล่าว ในทางตรงกันข้าม ช่วงที่ค่าระดับน้ำอยู่เหนือผิวดิน ค่าที่คำนวณได้มีแนวโน้มสอดคล้องกับค่าที่ตรวจวัดจริงมากกว่า แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถใช้ประเมินค่าระดับน้ำที่อยู่เหนือผิวดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงสามารถตั้งสมมติฐานเบื้องต้นได้ว่า ความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าระดับน้ำเหนือผิวดินได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อจำกัดในการประเมินค่าระดับน้ำที่อยู่ต่ำกว่าผิวดิน

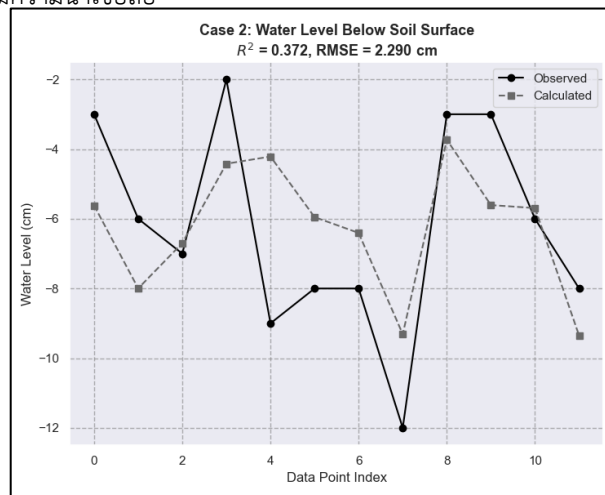
การทดสอบสมมติฐาน เพื่อทดสอบสมมติฐานดังกล่าว ได้มีการแบ่งช่วงค่าระดับน้ำออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

- (1) กรณีที่ค่าระดับน้ำในนาข้าวมีค่า มากกว่าหรือเท่ากับ 0 เซนติเมตร (ระดับน้ำอยู่เหนือผิวดิน)
- (2) กรณีที่ค่าระดับน้ำในนาข้าวมีค่า น้อยกว่า 0 เซนติเมตร (ระดับน้ำอยู่ใต้ผิวดิน)



รูปที่ 8 ชุดความสัมพันธ์กรณีที่ 1 (ช่วงค่าระดับน้ำในนาข้าวที่มีค่าอยู่เหนือผิวดิน)

จากการวิเคราะห์โดยแบ่งช่วงค่าระดับน้ำในนาข้าวออกเป็นกรณีต่าง ๆ พบว่า ใน รูปที่ 8 ซึ่งแสดงชุดความสัมพันธ์กรณีที่ 1 (ช่วงค่าระดับน้ำในนาข้าวที่มีค่า มากกว่าหรือเท่ากับ 0 เซนติเมตร หรืออยู่ เหนือผิวดิน) แบบจำลองที่ได้สามารถอธิบายค่าความชื้นของดัชนีจากภาพถ่ายดาวเทียมได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่า $R^2 = 0.691$ และ $RMSE = 1.696$ cm แสดงถึงความสอดคล้องที่ดีระหว่างค่าที่คำนวณได้และค่าที่ตรวจวัดจริง ซึ่งสะท้อนว่าแบบจำลองที่สร้างจากช่วงค่าดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 9 ชุดความสัมพันธ์กรณีที่ 2 (ช่วงค่าระดับน้ำในนาข้าวที่มีค่าอยู่เหนือผิวดิน)

ในขณะที่ รูปที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ชุดความสัมพันธ์กรณีที่ 2 (ช่วงค่าระดับน้ำในนาข้าวที่มีค่าน้อยกว่า 0 เซนติเมตร หรืออยู่ ต่ำกว่าผิวดิน) พบว่าค่าที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อนสูงเกินไป โดยที่มีค่า $R^2 = 0.372$ และ $RMSE = 2.290$ ซม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำน้อยในช่วงระดับน้ำที่อยู่ใต้ผิวดิน

จากการพิจารณาเปรียบเทียบค่าความสัมพันธ์และค่าความคลาดเคลื่อนทั้งสองกรณี สามารถสรุปได้ว่า กรณีที่ 1 (ระดับน้ำ ≥ 0 เซนติเมตร) เป็นกรณีที่ให้ผลลัพธ์แม่นยำและน่าเชื่อถือที่สุด เหมาะสำหรับการใช้เป็นพื้นฐานในการสร้างสมการสำหรับการคำนวณค่าระดับน้ำในแปลงนาจากค่าดัชนี NDVI, NDWI และ NSMI โดยมีสมการที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นดังสมการที่ 1

$$Water\ Level\ (cm) = 34.68NDVI + 61.14NDWI + 7.69NSMI + 14.61 \quad (1)$$

ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์ระดับน้ำในพื้นที่เพาะปลูกจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้อย่างเหมาะสมในช่วงที่ระดับน้ำอยู่เหนือผิวดิน

5. การอภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างค่าดัชนีจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ได้แก่ NDVI, NDWI และ NSMI กับค่าระดับน้ำที่วัดได้จากทอวัดระดับน้ำในแปลงนาข้าว โดยดำเนินการในพื้นที่ทดลอง 3 แปลง ณ สถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ของชุดดินชียนา ซึ่งเป็นชุดดินที่พบแพร่หลายในภาคกลางของประเทศไทย ครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 984,231 ไร่ นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ยังใช้ พันธุ์ข้าว กข41 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมกับพื้นที่ลุ่มชลประทาน และมีการปลูกอย่างแพร่หลายในพื้นที่ภาคกลาง การระบุพันธุ์ข้าวอย่างชัดเจนมีความสำคัญ เนื่องจากค่าดัชนีจากภาพถ่ายดาวเทียมอาจได้รับอิทธิพลจากลักษณะทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของข้าวแต่ละพันธุ์ที่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) พบว่า แบบจำลองที่ใช้ดัชนี NDVI, NDWI และ NSMI สามารถคาดการณ์ค่าระดับน้ำในแปลงนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้ข้อมูลระดับน้ำที่อยู่ "เหนือผิวดิน" (ระดับน้ำ ≥ 0 เซนติเมตร) ซึ่งให้ค่าความสัมพันธ์ระดับสูง ($R^2 = 0.691$) และค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด (RMSE = 1.696 เซนติเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 8 ในทางตรงกันข้าม เมื่อรวมข้อมูลช่วงที่ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าผิวดินเข้าไปในการวิเคราะห์ พบว่าแบบจำลองมีค่าความสัมพันธ์ลดลงเหลือเพียง 0.372 และค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเป็น 2.290 เซนติเมตร ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าแบบจำลองอาจมีข้อจำกัดในการอธิบายค่าระดับน้ำในช่วงที่น้ำซึมอยู่ใต้ผิวดิน ซึ่งอาจมีความซับซ้อนเกินกว่าที่ดัชนีเชิงพื้นที่จะสามารถจำแนกได้อย่างชัดเจน

ผลการศึกษานี้มีความสอดคล้องกับแนวคิดของ Gao (1996) และ McFeeters (1996) ที่ระบุว่า ดัชนี NDVI และ NDWI มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของชีวมวลพืชและความชื้นในพื้นที่เพาะปลูก โดยเฉพาะในระยะที่พืชเจริญเติบโตอย่างหนาแน่น รวมถึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Acharya และคณะ (2018) ที่พบว่าการใช้ดัชนีเชิงพื้นที่แบบรวมหลายตัว (composite indices) ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์สถานะของน้ำในพื้นที่เกษตรกรรม โดยแนวคิดในการใช้ดัชนีหลายตัวร่วมกันนั้นมีพื้นฐานจากข้อจำกัดของดัชนีแต่ละตัวที่อาจสะท้อนลักษณะเฉพาะบางด้านของพืชหรือน้ำในแปลงเพาะปลูกเท่านั้น เช่น NDVI มีความไวต่อชีวมวลพืชเขียว แต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างของความชื้นได้อย่างชัดเจน ในขณะที่ NDWI และ NSMI มีความไวต่อปริมาณน้ำหรือความชื้นผิวดินแต่ก็อาจได้รับอิทธิพลจากโครงสร้างพืชหรือพื้นผิวดิน ดังนั้น การผสมผสานข้อมูลจากหลายดัชนีเข้าด้วยกันจึงช่วยเพิ่มมิติของการรับรู้ ทำให้สามารถอธิบายลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ได้อย่างครอบคลุมมากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรมที่มีความซับซ้อนทั้งด้านโครงสร้างพืช ระดับน้ำ และความชื้นในดิน ส่งผลให้แบบจำลองที่ใช้ดัชนีรวมมีแนวโน้มให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและสอดคล้องกับสภาพจริงได้ดีกว่าการใช้ดัชนีเดียว

จากผลการวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนไขของชุดดินชียนาและพันธุ์ข้าว กข41 สามารถนำสมการที่ได้จากกรณีนี้ที่ระดับน้ำอยู่เหนือผิวดินมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินค่าระดับน้ำ โดยสมการที่ได้มีรูปแบบดังนี้

$$\text{Water Level (cm)} = 34.68\text{NDVI} + 61.14\text{NDWI} + 7.69\text{NSMI} + 14.61$$

สมการนี้สามารถประยุกต์ใช้เพื่อการติดตามสถานะน้ำในแปลงนา โดยเฉพาะในระบบการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้ง (Alternate Wetting and Drying: AWD) และยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือประกอบการตรวจสอบลักษณะแปลงนาในระดับพื้นที่ โดยหากผลการคำนวณแสดงค่าระดับน้ำสูงและคงที่ต่อเนื่อง แสดงถึงแปลงนาที่ขังน้ำ ในขณะที่แปลงที่มีค่าระดับน้ำสลับสูงต่ำจะสอดคล้องกับลักษณะของแปลงนา AWD

ผลการศึกษานี้จึงสามารถสรุปได้ว่า การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ร่วมกับแบบจำลองเชิงสถิติ สามารถนำมาใช้สนับสนุนการประเมินสถานะระดับน้ำในนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีการท่วมขังของน้ำ และภายใต้เงื่อนไขพื้นที่และดินที่มีลักษณะสอดคล้องกับพื้นที่ศึกษา

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 การขยายระยะเวลาการเก็บข้อมูล

การเพิ่มระยะเวลาของการเก็บข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลภาคสนาม จะช่วยเพิ่มจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ส่งผลให้การสร้างสมการคำนวณค่าระดับน้ำมีความน่าเชื่อถือและความแม่นยำที่สูงขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดความเอนเอียงของผลการวิเคราะห์ที่อาจเกิดจากลักษณะเฉพาะของข้อมูลในช่วงเวลานั้น

6.2 การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Regression)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีจากภาพถ่ายดาวเทียมกับค่าระดับน้ำโดยใช้วิธีถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น อาจช่วยให้สามารถอธิบายลักษณะของข้อมูลที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้ดีกว่าการวิเคราะห์เชิงเส้นแบบเดิม ซึ่งเหมาะสมกับปรากฏการณ์ในธรรมชาติที่มักมีพฤติกรรมแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Behavior) ส่งผลให้สมการที่ได้มีความสามารถในการทำนายที่แม่นยำมากขึ้น

6.3 การศึกษาเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลที่สามารถตรวจวัดระดับน้ำใต้ผิวดิน

ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีดาวเทียมที่สามารถตรวจวัดค่าระดับน้ำใต้ผิวดินโดยตรง โดยเฉพาะเทคโนโลยีที่ใช้เซนเซอร์เรดาร์ เช่น Synthetic Aperture Radar (SAR) หรือระบบที่ใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งสามารถทะลุผ่านพืชพรรณและชั้นผิวดินได้บางส่วน เทคโนโลยีเหล่านี้จะช่วยเติมเต็มข้อจำกัดของดัชนีที่พึ่งพาการสะท้อนแสงเพียงอย่างเดียว และเปิดโอกาสให้สามารถพัฒนาแบบจำลองที่ครอบคลุมทั้งระดับน้ำบนผิวดินและใต้ผิวดินได้อย่างแม่นยำและครอบคลุมยิ่งขึ้น

7. บรรณานุกรม

ไชยฤทธิ์ เศรษฐวงษ์ และพิพัทธ์ เรืองแสง. (2564). การเปรียบเทียบดัชนีน้ำแบบ NDWI, MNDWI1 และ MNDWI2 จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 สำหรับสกัดพื้นที่แหล่งน้ำผิวดินบริเวณตัวเมืองจังหวัดขอนแก่น. แหล่งที่มา: <https://ph01.tcithaijo.org/index.php/jait/article/view/24492> ,11 เมษายน 2568.

ญาณวุฒิ อุทราช์ ธีรพงศ์ เหล่าสุวรรณ สาธิต แสงประดิษฐ์ เชษฐพงษ์ บุตรเทพ สมิทร เหลี่ยมมณี ไสภณ อินทรา และพัชรพล ขุนทอง. (2563). การบรรเทาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยวิธีการทำแบบเปียกกลับแห้งเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก. แหล่งที่มา: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jsid/article/view/256060/172021>, 11 เมษายน 2568.

ณยศ กุลพานิช ชมรกดต วรชัยรุ่งเรือง และพรสมิทธิ ฉายสมิทธิกุล. (2563). การสำรวจหาพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างของจังหวัดนครปฐมด้วยวิธีการสำรวจระยะไกลจากดาวเทียม Landsat 8 และ Sentinel 2. แหล่งที่มา: <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/ssajournal/article/view/251459> ,11 เมษายน 2568.

ณัฐพล เย็นสกุลสุข และชงทิศ ฉายากุล. (2563). การประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าวแบบนาหว่านน้ำตามในเขตพื้นที่ชลประทานของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล. แหล่งที่มา: <https://www.conference.thaince.org/index.php/ncce25/article/view/659> ,11 เมษายน 2568.

ถิรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์ และไพศาล สันติธรรมนท. (2566). การปรับปรุงประสิทธิภาพและความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลดาวเทียมนำหน้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการประยุกต์ใช้ในการผลิตแผนที่. แหล่งที่มา: https://www.researchgate.net/profile/ThirawatBannakulpihat/publication/374170224_ENHANCING_PERFORMANCE_AND_EVALUATING_ACCURACY_OF_GNSS_POSITIONING_FOR_UAV_MAPPING/links/6512a3344aa1fe047007d13a/ENHANCING-PERFORMANCE-AND-EVALUATING-ACCURACY-OF-GNSS-POSITIONING-FOR-UAV-MAPPING.pdf ,11 เมษายน 2568.

ธนภุต พิษขุนทด. (2563). การประยุกต์ใช้ข้อมูล Landsat เพื่อติดตามอุณหภูมิพื้นผิวดินของที่ดินในจังหวัดมหาสารคาม. แหล่งที่มา: <http://202.28.34.124/dspace/handle/123456789/1290> ,11 เมษายน 2568.

นภาพร จันทะแพน อภิสิทธิ์ ภูละมูล จุฬาวลัย นนตะพันธ์ และศิวา แก้วปลั่ง. (2566). เปรียบเทียบข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 สำหรับการติดตามความเค็มของดินในฤดูแล้งและฤดูฝน. แหล่งที่มา: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/jstrmu/article/download/248633/168745/899658> ,11 เมษายน 2568.

พุฒิพงศ์ ธนะวงศ์ และภูมิพัฒน์ อุ๋นบ้าน. (2565). การประเมินความสอดคล้องของข้อมูลภาพถ่ายรายละเอียดสูงด้วยอากาศยานไร้คนขับและภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของข้าว. แหล่งที่มา: <https://ph01.tcithaijo.org/index.php/jsid/article/download/250990/170222/913241> ,11 เมษายน 2568.

สาโรช แสงเมือง. (2566). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินด้วยข้อมูลดาวเทียม. แหล่งที่มา: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/6528/> ,11 เมษายน 2568.

สุรีย์พร คำแพง. (2563). การระบุสารสีด้วยเทคนิคทางภาพเชิงมัลติสเปกตรัมโดยใช้แอลอีดีความยาวคลื่นแคบ. แหล่งที่มา: <https://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/76934> ,11 เมษายน 2568.

Acharya, S. (2019). Application of water indices in surface water change detection using Landsat imagery in Nepal. Available Source: <http://www.academia.edu/download/110203202/SM1869.pdf>, April 11, 2025.

Acharya, T. D., Subedi, A., & Lee, D. H. (2018). Evaluation of water indices for surface water extraction in a Landsat 8 scene of Nepal. *Sensors*, 18(8), 2580. Available Source: <https://doi.org/10.3390/s18082580> , April 11, 2025

Deoli, N. (2022). Detection of Water Spread Area Changes in Eutrophic Lake Using Landsat Data. Available Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/18/6827>, April 11, 2025.

Gao, B. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)

Illarionova, V. (2021). Generation of the NIR Spectral Band for Satellite Images with Convolutional Neural Networks. Available Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/16/5646>, April 11, 2025.

Jiang, L. (2021). An Effective Water Body Extraction Method with New Water Index for Sentinel-2 Imagery. Available Source: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/12/1647>, April 11, 2025.

Jitt-Aer, K., Buaphiban, T., and Sriprasert, A. (2020). Applying aerial imagery from Unmanned Aerial Vehicle for digital maps. Available Source: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/spurst/article/view/240532>, April 11, 2025.

Jutamad, P. (2024). Use of Sentinel-2 Image Data for Terrestrial Boundary Calculation of Thailand. Available Source: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jsid/article/view/256632>

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. Available Source: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714> April 11, 2025.

Ozelkan, E. (2019). Water Body Detection Analysis Using NDWI Indices Derived from Landsat-8 OLI. Available Source: <https://www.pjoes.com/Water-Body-Detection-Analysis-Using-NDWI-Indices-Derived-from-Landsat-8-OLI,110447,0,2.html>, April 11, 2025.

Shu, W., and Li, D. (2021). Evaluation of historic and operational satellite radar altimetry missions for constructing consistent long-term lake water level records. Available Source: <https://hess.copernicus.org/articles/25/1643/2021>, April 11, 2025.

Yu, T. (2019). Selection of Landsat 8 OLI Band Combinations for Land Use and Land Cover Classification. Available Source: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8820595>, April 11, 2025.