สมการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) จากข้อมูลดาวเทียม

Crop Coefficient (Kc) Equation from Satellite Data

นนทนันท์ ทองคำ[1] สรวิศ สุภเวชย์[2]

Nonthanan Thongkam[1] Soravis Supavetch[2]

วิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

Email : nonthanan.th@ku.th[1] fengsvsu@ku.ac.th[2]

.....

บทคัดย่อ

ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-2 เป็นข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมรายละเอียดสูง 10 x 10 ตารางเมตร และมีความถี่ในการรับภาพพื้นที่เดิมทุกสัปดาห์ เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้บริหารจัดการแปลงเกษตรในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา ขนาดแปลงเกษตรเฉลี่ย 18.91 ไร่ โดยเฉพาะนำมาใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการน้ำสำหรับโครงการชลประทานต่าง ๆ บทความนี้ได้ทำการศึกษาพัฒนาอัลกอริทึมที่สำคัญที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ชลประทาน โดยเฉพาะในการตรวจแปลงที่ปลูกข้าว ตรวจจับวันที่ปลูกข้าว (ตามช่วงเวลาที่กำหนด) รวมไปถึงได้ทำการพัฒนาแบบจำลองการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าว (Kc) จากค่าดัชนีพืชพรรณจากการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-2 แบบกรองเมฆออก ผลจากงานวิจัยพบวิธีการประยุกต์ใช้ที่สำคัญ 3 ประเด็น คือ (1) การประมวลผลเพื่อตรวจหาแปลงปลูกข้าวในช่วงเวลาที่กำหนด (2) การประมวลผลหาวันที่ปลูกข้าว (3) แบบจำลองสำหรับคำนวณสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าว ที่สามารถนำไปใช้คำนวณความต้องการน้ำของข้าวในแปลงปลูกทั้งเขตพื้นที่ชลประทาน ผลจากการศึกษาวิจัยสมการค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชจากดัชนีพืชพรรณของดาวเทียม Sentinel-2 มีค่าเท่ากับ Kc = 2.1239xNDVI + 0.0255 รวมทั้งได้แสดงข้อแนะนำในการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ในภารกิจการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตรของโครงการชลประทานไว้ในส่วนสรุปผลและข้อเสนอแนะ

คำสำคัญ :สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช, Kc, ข้อมูลดาวเทียม

Abstract

Sentinel-2's data is high resolution 10x10 square meters and frequent of Orbit in same area every week ,it is suitable for paddy field operation in Thailand that almost size is around 2-10 rai, especially water management in irrigation level. this article research and develop algorithm to detect panted paddy fields and beginning date of planting in our period determination together with development in crop coefficient calculated model from normalize difference vegetation (NDVI)'s excluding cloud. 3 results are available detection in more than 100,000 rai in time range, beginning date of

planting calculation in estimated and the last result is crop coefficient model that we can take it to calculate evapotranspiration in all of irrigation area. Finally, crop coefficient equation from sentinel-2 data is Kc = 2.1239xNDVI + 0.0255, including a suggestion to apply in irrigation project's missions in the conclusion and suggestion.

Keywards : Crop Coefficient,Kc,Satellite Data

คำนำ

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา มีพื้นที่ชลประทาน 148,531 ไร่ พื้นที่โครงการ 185,664 ไร่ มีอ่างเก็บน้ำทับเสลา เป็นแหล่งกักเก็บน้ำต้นทุน และ ฝายทับเสลา เป็นอาคารหัวงานหลัก แบ่งการบริหารจัดการน้ำออกเป็น 2 ฝ่าย คือฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1 และ 2 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา มีภารกิจในการส่งน้ำเพื่อการชลประทาน ดูแลรักษาหัวงาน อาคารชลประทาน ซ่อมแซม ปรับปรุงอาคารชลประทานและทางลำเลียง ให้มีสภาพสมบูรณ์แข็งแรงพร้อมใช้งานเต็มประสิทธิภาพ ภารกิจหลักคือการบริหารจัดการน้ำชลประทานให้พื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกร โดยการบริหารจัดการน้ำชลประทานมีสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชที่แปรผันตรงตามการใช้น้ำขอบชงพืช แต่เนื่องด้วยสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชที่ในแต่ละพื้นที่ จะมีค่าขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ สภาพทางธรณีวิทยาและภูมิประเทศ ซึ่งเทคโนโลยีสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชจากภาพถ่ายดาวเทียมได้ โดยใช้ดาวเทียม Sentinel-2 ในการเก็บภาพถ่ายดาวเทียม ใช้โปรแกรม QGIS ประมวลผลทางภูมิสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อหาค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ(Normalized Difference Vegetation Index) นำมาพล็อตกราฟหาสมการค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชแบบเฉพาะเจาะจงพื้นที่ โดยได้ค่าที่แม่นยำในพื้นที่นั้นๆ ยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและพัฒนาสมการแปลงค่าระหว่างค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ (NDVI) กับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) ของแปลงนาข้าว

ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยนี้ใช้พื้นที่ศึกษา คือพื้นที่ชลประทานในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา จ. อุทัยธานี สำนักงานชลประทานที่ 12 กรมชลประทาน พื้นที่ชลประทาน 148,531 ไร่ มีพื้นที่แปลงนา

7,977 แปลงนา ขนาดแปลงนาเฉลี่ย 18.91 ไร่ ใช้เทคโนโลยีสำรวจทางไกลโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-2 ซึ่งมีขนาดภาพ 10x10 เมตร

ตรวจเอกสาร

1.โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา

สำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่ กรมชลประทาน (2560) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา มีเขื่อนทับเสลาในความรับผิดชอบ เป็นหัวงาน เพื่อใช้ในการบริหารจัดการน้ำเพื่อการชลประทาน โดยส่งน้ำให้ฝายทับเสลา ซึ่งอยู่ทางใต้ลงไปตามลำน้ำ 42 กิโลเมตร เพื่อช่วยการทำนาในฤดูฝน 10,000 ไร่ และพืชฤดูแล้งอีก 24,000 ไร่ บรรเทาการขาดแคลนน้ำทั้งสองฝั่งของลำห้วยทับเสลา ตั้งแต่เขื่อนลงไป บรรเทาอุทกภัยที่เคยเกิดขึ้น ในเขตลุ่มน้ำสะแกรกรังตอนล่าง เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลา ท่องเที่ยวและพักผ่อนหย่อนใจ ตัวเขื่อนถูกออกแบบมาเพื่อให้มีปริมาณน้ำเพียงพอสำหรับใช้ในเขตโครงการตอนล่าง 110,000 ไร่ ทั้งนี้นอกจาก เก็บน้ำในช่วงที่น้ำเกินความต้องการ เพื่อใช้ในฤดูแล้ง เขื่อนยังบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำอีกด้วย

2.ดาวเทียม Sentinel-2

esa Earth Online(2020) Sentinel-2 เป็นดาวเทียมใช้ในการตรวจสอบพื้นที่ ให้ภาพเชิงแสงที่มีความละเอียดสูงและต่อเนื่องครอบคลุมพื้นที่ผิวโลก ทุกๆ 5 วันด้วยดาวเทียม 2 ดวง และทุกๆ 10 วันด้วยดาวเทียม 1 ดวง โดยมีวัตถุประสงค์ของดาวเทียมคือ การสังเกตการณ์ที่ดิน พืชพรรณ น้ำ สิ่งปกคลุมทางทะเล พื้นที่ชายฝั่งทะเล ช่วยเหลือบรรเทาภัยพิบัติ และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ในปี 2560 กวิน กิ้มยก ได้กล่าวถึงการขึ้นสู่วงโคจรของดาวเทียม Sentinel 2A เมื่อวันอังคารที่ 23 มิถุนายน 2558 และหลังจากนั้นเพียง 4 วัน ดาวเทียม Sentinel 2A ก็ได้ส่งภาพถ่ายภาพแรกกลับมา ในวันพฤหัสบดีที่ 16 กรกฎาคม 2558 องค์การอวกาศยุโรป ได้เผยแพร่ข้อมูลภาพ โดยผู้ประสงค์ต้องการใช้ข้อมูล สามารถเข้าไปดาวน์โหลดได้ที่เว็บไซต์ https://scihub.esa.int/

ในการวิจัยนี้เลือกใช้ดาวเทียม Sentinel-2 เนื่องจากภาพใช้มีความละเอียดที่เหมาะสมกว่าดาวเทียมดวงอื่น ในระดับดาวเทียมที่ให้ข้อมูลฟรีไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ

3.สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ในปี 2560 กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ได้กล่าวถึงค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช ไว้ว่าถูกนำไปใช้เพื่อคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยในแต่ในละท้องที่มีภูมิอากาศ สภาพทางธรณีวิทยา อุณหภูมิพื้นผิว และภูมิประเทศที่แตกต่างกัน ทำให้ปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชต่างตามไปด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชที่สำคัญได้จาก 7 สูตร คือ Modified Penman , Blaney-Criddle ,

Pan method , Thornthwaite , Hagreaves , Radiation และ Penman Monteith ซึ่งวิธี Penman Monteith และ Modified Penman จะเป็นวิธีที่นิยมของกรมชลประทาน

ทบทวนวรรณกรรม

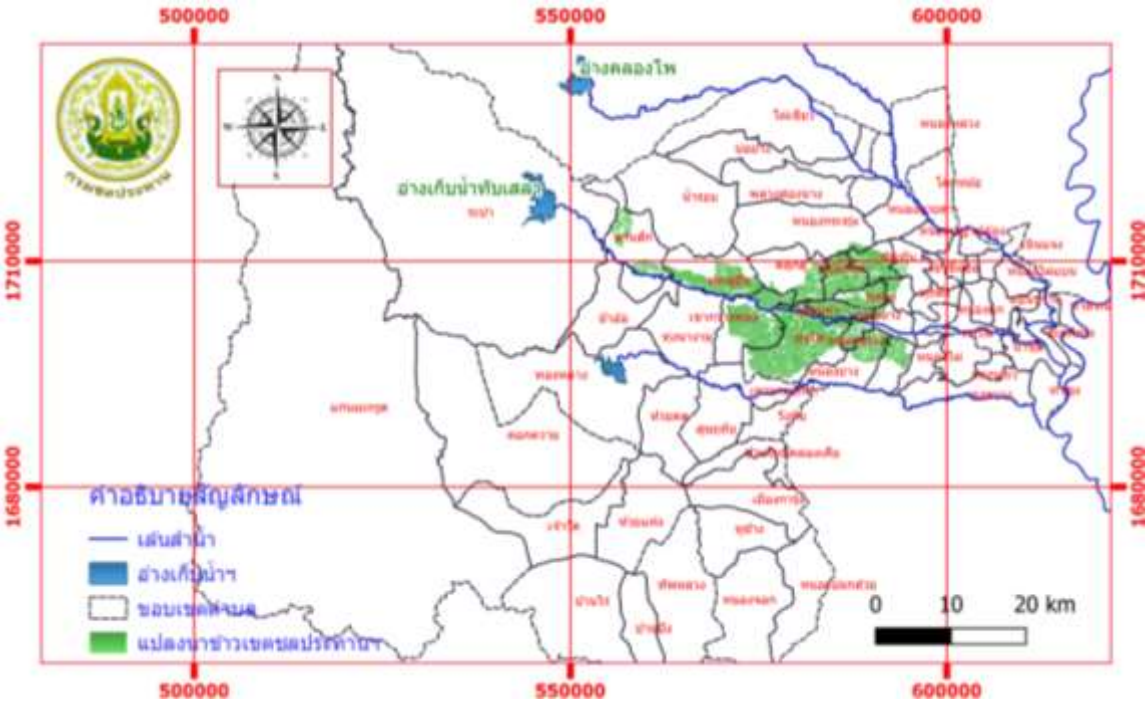
ณัฐธยาน์ นามอินทร์, เกศวรา สิทธิโชค และชูพันธุ์ ชมภูจันทร์, (2562) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณแบบผลต่างนอร์มอลไลซ์ กับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (ข้าวนาหว่านน้ำตม) โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชมีความแตกต่างขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ความแข็งแรงของพืช ช่วงการเติบโตของพืช อุณหภูมิ และชนิดของพืช ทางคณะผู้วิจัยได้เลือกดาวเทียม MODIS (MOD09Q1) ภาพผสมราย 8 วัน เลือกพื้นที่ลุ่มต่ำเจ้าเจ็ดในฤดูแล้ง ปี 2561 ถึง 2562 ได้ผลคือ สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช จากค่าดัชนีพืชพรรณ ทั้งนี้สำหรับการปลูกข้าวแบบนาดำ ควรใช้สมการของ Rossi at al.(2010) ส่วนแปลงนาข้าวชนิดการปลูกแบบนาตม สมารถเลือกใช้ได้จากสมการงานวิจัยนี้ หรือจาก ระบบ IrriSA

พลัฏฐ์ ปาจิตร(2562) ได้ศึกษาวิเคราะห์การส่งน้ำให้เกษตรกรในพื้นที่ชลประทาน ของเขื่อนวังร่มเกล้า เพื่อหาความต้องหารการใช้น้ำที่แท้จริงของพื้นที่ โดยประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม MODIS (MOD11 A1) ขนาดจุดภาพ 250x250 เมตรเพื่อแปลงอุณหภูมิพื้นผิว เป็นอุณหภูมิอากาศ ประมาณอุณหภูมิสูงสุดต่ำสุดเชิงพื้นที่ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง และได้ศึกษาการแบ่งช่วงค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยกำกำหนดให้ระยะเริ่มปลูกค่าดัชนีพืชพรรณ อยู่ระหว่าง 0.3-0.3966 ระยะใกล้เจริญพันธ์ ค่าดัชนีพืชพรรณ อยู่ระหว่าง 0.3967-0.4933 ระยะใกล้เก็บเกี่ยว ค่าดัชนีพืชพรรณ อยู่ระหว่าง 0.4934-0.5706 โดยการแบ่งช่วงของความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชดังกล่าวมีข้อสังเกตคือ ควรมีการปรับปรุงให้ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยท้ายสุดกระบวนการที่ผ่านมาได้ผลสรุปของปริมาณการใช้น้ำของพืชในเขตเขื่อนวังร่มกล่าวว่าสมเหตุสมผลในการปล่อยน้ำจากเขื่อนเมื่อเทียบกับความต้องการใช้น้ำของพืช

พื้นที่ศึกษา

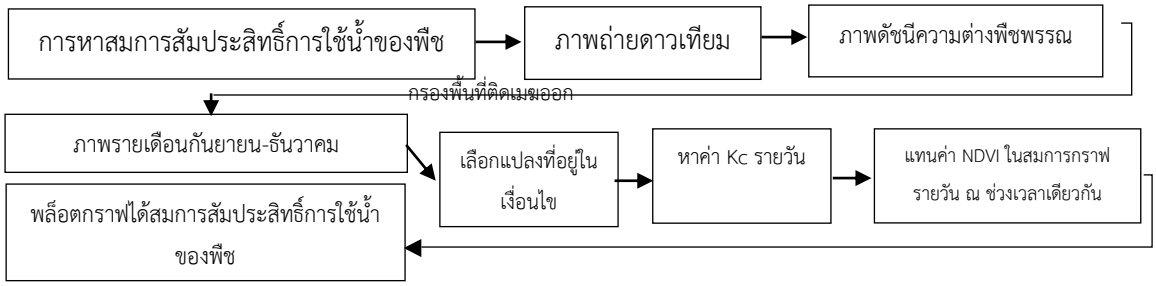
พื้นที่ศึกษาคือ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา จังหวัดอุทัยธานี สังกัดสำนักงานชลประทานที่ 12 กรมชลประทาน การศึกษานี้เป็นการศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความต่างพืชพรรณและค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช_ โดยเริ่มจากนำภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียมSentinel-2 มาใช้ซึ่งมีขนาด 10*10 เมตร มาประมวลภาพเป็นภาพแสดงค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ โดยใช้โปรแกรม QGIS นำค่าดัชนีความต่างพืชพรรณมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรายเดือนโดยกำหนด

ช่วงเวลาการเพาะปลูกที่ 120 วัน และสร้างเงื่อนไขการเลือกแปลงนา นำค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชหาสมการตามช่วงอายุข้าวรายวัน นำแปลงนาที่ผ่านเกณฑ์มาแทนค่าในสมการข้างต้น โดยเทียบที่ช่วงเวลาอายุข้าวเดียวกัน จะได้สมการระหว่างสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชและดัชนีความต่างพืชพรรณ



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา ในจังหวัดอุทัยธานี

วิธีการวิจัย



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการวิจัย

1.การแปลงภาพถ่ายดาวเทียมเป็นภาพดัชนีความต่างพืชพรรณ

เลือกภาพถ่ายดาวเทียมช่วงเดือนกันยายน ถึงธันวาคม 2561 เนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงแผนการจำลองสถานการณ์น้ำในอ่างเก็บน้ำทับเสลาแล้ว พบว่าปี 2562 ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำทับเสลาต่ำกว่า 40 ล้าน ลบ.ม.หรือต่ำกว่า 25%ของความจุระดับเก็บกัก ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อรักษาเสถียรภาพ

เขื่อนหรือน้ำนอนนิ่ง (Dead Storage) จึงไม่มีปริมาณการปล่อยน้ำเพื่อการชลประทาน ดังนั้นการปลูกข้าวในปีนี้ไม่เหมาะกับการวิเคราะห์ในงานวิจัย จึงเลือกวิเคราะห์ปี 2561 แทน ซึ่งเป็นปีที่มีปริมาณการปล่อยน้ำเพื่อการชลประทานจากอ่างเก็บทับเสลา ตามปกติ

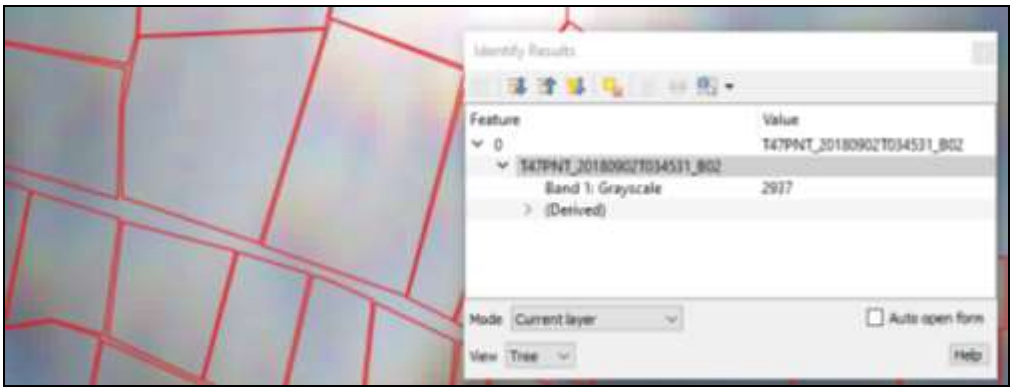
วิเคราะห์ดัชนีความต่างพืชพรรณ จากข้อมูลดาวเทียม โดยใช้สมการดังนี้

$$NDVI = \frac{Band8 - Band4}{Band8 + Band4}$$

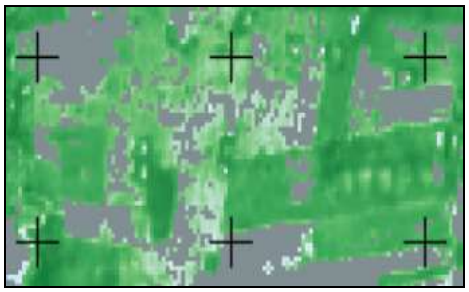
โดย NDVI เป็นค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ BAND4 คือช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และ BAND8 คือช่วงคลื่นแสงสีแดง

2.นำพื้นที่มีเมฆออก

ภาพที่ได้จากการแปลงเป็นภาพดัชนีความต่างพืชพรรณ นำพื้นที่มีเมฆออก จากการอ่านค่าของ Band 2 ช่วงคลื่นของสีฟ้าเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียมสีผสมจริง(True Color Image) พบว่า พื้นที่มีเมฆบังจะมีค่ามากกว่า 1,100 จึงสร้างเงื่อนไขน้ำพื้นที่มีเมฆออกโดยค่าที่ต่ำกว่า 1,100 จะยังคงอยู่ แต่ค่าที่มากกว่า 1,100 ให้แทนที่ด้วย -9,999 เพื่อง่ายต่อการนำไปใช้งานต่อไป โดยจากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นเมฆที่บังพื้นที่แปลงนา และเมื่อผ่านกระบวนการกรองเมฆออกแล้วจะเป็นดังภาพที่ 3 ซึ่งพื้นที่มีเมฆถูกแทนด้วยค่า -9,999 แสดงออกเป็นสีเทา



ภาพที่ 3 แสดงค่าจาก Band 2 เทียบกับภาพเสมือนจริง บริเวณพื้นที่มีเมฆ



ภาพที่ 4 แสดงค่าดัชนีความต่างพืชพรรณในพื้นที่แปลงนาที่นำส่วนทีเมฆบังออก

3.การคัดกรองแปลงนาที่อยู่ในช่วงเวลาและค่าที่กำหนด

เนื่องจากภาพแต่ละช่วงเวลาอาจมีการบดบังจากเมฆทำให้การคำนวณค่าจาก Pixel ที่ไม่มีการบดบังจะต้องเป็นตัวแทนของทั้งแปลง ดังนั้น จึงต้องกรองแปลงนาด้วยการตรวจนับจำนวนค่าความต่างดัชนีพืชพรรณ หรือนับจำนวน Pixel ที่ไม่ติดเมฆบดบัง ต้องมีจำนวนมากกว่าครึ่งหนึ่งของแปลงจึงจะนำค่าความต่างดัชนีพืชพรรณของแปลงนั้นมาเฉลี่ยเพื่อเป็นค่าตัวแทน ดังภาพที่ 4

นำค่าดัชนีความต่างพืชพรรณแต่ละแปลงนามาวิเคราะห์ โดยสร้างเงื่อนไข ใน 1 แปลงนา แต่ละ Pixel ที่มีค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ จะต้องมีอัตราส่วนมากกว่า 50% ของจำนวน Pixel ทั้งหมด ซึ่งหากไม่มีเป็นไปตามเงื่อนไขจะไม่นำค่าในแปลงนานั้นๆมาใช้ และหากผ่านเกณฑ์ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของแปลงนานั้นๆ

(A)

0.30	0.32	0.31
0.32	0.36	0.30
0.34	0.30	0.31

(B)

0.30	0.32	0.31
No Data	No Data	0.30
0.34	0.30	0.31

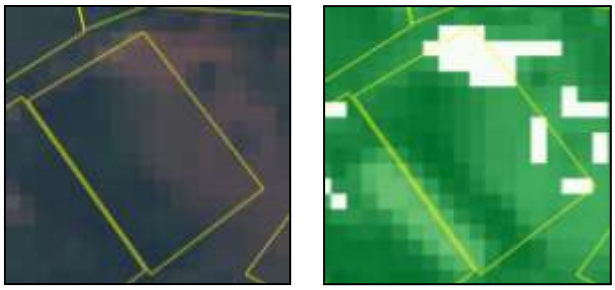
(C)

0.30	0.32	No Data
0.32	0.36	No Data
No Data	No Data	No Data

ภาพที่ 5 แสดงตัวอย่างความสมบูรณ์ของข้อมูลในแต่ละ Pixel

จากภาพเบื้องต้นยกตัวอย่างค่าดัชนีความต่างพืชพรรณในแปลงนา ให้แปลงนาคือเส้นรอบรูปสีแดง ให้แต่ละช่องคือ 1 Pixel โดย 1 แปลงนามี 9 Pixel แปลงนา A มีค่าในแต่ละ Pixel ครบ 9 ช่อง ผ่านเงื่อนไขที่กำหนดคือ มีค่าใน Pixel มากกว่า 50% ค่าเฉลี่ยที่ถูกนำไปใช้มีค่าเท่ากับ 0.3177 แปลงนา B มีค่าใน Pixel 7 ช่องผ่านเกณฑ์ มีค่าใน Pixel มากกว่า 50% ค่าเฉลี่ยที่ถูกนำไปใช้มีค่าเท่ากับ 0.3114 แปลงนา C มีค่าใน Pixel 4 ช่องไม่ผ่านเกณฑ์ เพราะมีค่าใน Pixel ต่ำกว่า 50% ไม่ถูกนำไปคำนวณและวิเคราะห์ต่อ

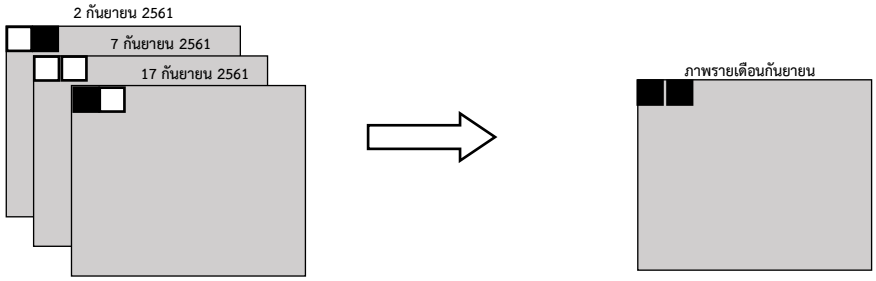
หาเงื่อนไขในการเลือกแปลงนา ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณที่ได้บางแปลงนามีค่าผิดปกติ โดยทางผู้วิจัยจะสังเกตแปลงที่มีค่าปกติกับภาพถ่ายสีผสมจริง(TCI)



ภาพที่6 แปลงนาที่ผิดสังเกต

ภาพที่ 7 แปลงนาที่ผิดสังเกต (ต่อ)

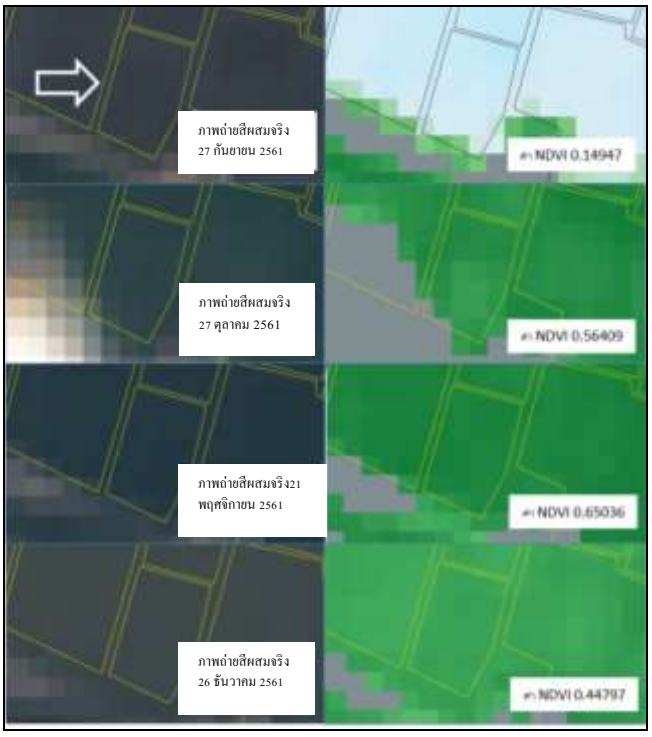
ค่าที่ผิดปกติมีข้อสังเกตคือ เกิดจากแปลงนาย่อยในแปลงเดียวกันดังภาพที่ 6 การปลูกไม่พร้อมกัน บางแปลงนาเขียวตลอดทั้ง 4 เดือนคาดว่าน่าจะปลูกพืชชนิดอื่นที่ไม่ใช่ข้าวถึงแม้จะเป็นแปลงนาข้าว บางแปลงนามีการปลูกไม้ยืนต้นเป็นกลุ่มในบางพื้นที่ของแปลงนาทำให้ค่าที่ได้มีค่าของพืชชนิดอื่นปนมาด้วย แม้กระทั่งบางแปลงนาขอบเขตไม่ตรงกับของจริงตามที่ปรากฏในภาพที่ 5 จึงต้องมีกระบวนการกำหนดเงื่อนไขการเลือกแปลงเกิดขึ้น



ภาพที่ 8 แสดงการนำภาพถ่ายดาวเทียมรายวันมาซ้อนทับเป็นรายเดือน

จากการตรวจสอบภาพถ่ายสีผสมจริงกับค่าดัชนีความต่างพืชพรรณในพื้นที่นำไปสู่การกำหนดเงื่อนไขการเลือกแปลงนาที่นำมาใช้ในงานวิจัย โดยใช้การซ้อนกันของข้อมูล ตามภาพที่ 7 ช่องสีขาวคือไม่มีค่า ช่องสีดำคือมีค่า โดยเมื่อมีการซ้อนทับกันแล้วจะเติมค่าในแต่ละ Pixel ที่ค่าขาดหาย ค่าที่มีค่าซ้อนกันในช่องที่มีค่าอยู่แล้ว จะใช้ค่าเฉลี่ยแทน นำไปสู่เงื่อนไขการเลือกแปลงคือ เดือนที่ 1 ค่าเฉลี่ยราย

เดือนน้อยกว่า 0.3 เดือนที่ 2 ค่าเฉลี่ยรายเดือนมากกว่า 0.3 เดือนที่ 3 ค่าเฉลี่ยรายเดือนมากกว่า 0.5 เดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยรายเดือนน้อยกว่า 0.5



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบภาพตัวอย่างรายเดือน ภาพดัชนีความต่างพืชพรรณและภาพถ่ายสีผสมจริง (TCI)

ข้อมูลที่ใช้

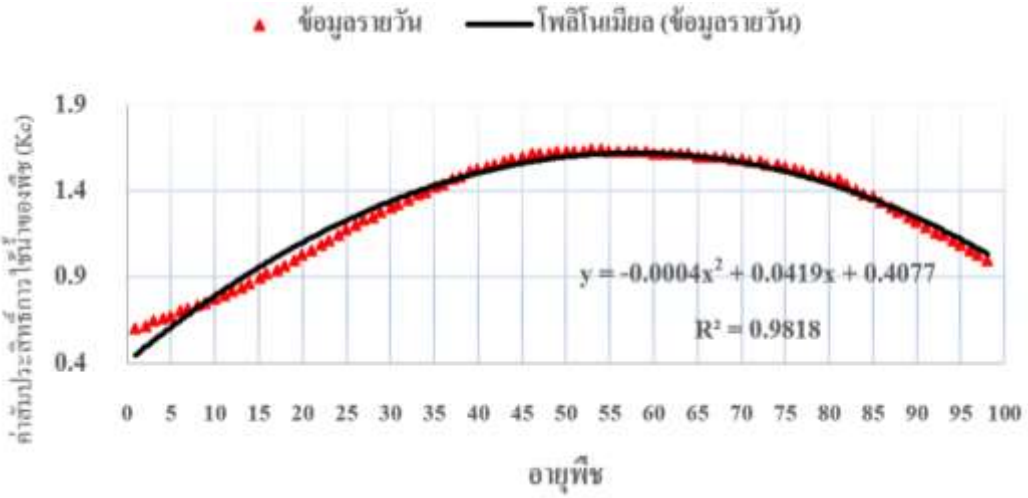
ข้อมูลที่ใช้ศึกษาเป็นภาพถ่ายดาวเทียมจาก ดาวเทียม Sentinel-2 ช่วงเวลา กันยายน 2561 ถึงธันวาคม 2561 และ ขอบเขตพื้นที่แปลงนา ในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา

ผลและวิจารณ์

ผลการศึกษาพบว่า แปลงนาในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา มีการปลูกข้าวเมื่อเทียบ ณ ช่วงเวลาเดียวกันปลูกไม่พร้อมกันขึ้นกับโซนปลูกข้าวนั้นๆ ในบางแปลงมีการปลูกพืชชนิดอื่น เมื่อ อ่านค่าดัชนีความต่างพืชพรรณในระยะ 120 วันแล้วจะมีค่าผิดปกติ และงานวิจัยนี้ วิเคราะห์ข้อมูลที่ การปลูกข้าว 1 รอบ โดยเลือกใช้พื้นที่ชลประทาน ที่มีระบบการจ่ายน้ำให้เกษตรกร เพื่อให้ข้อมูลมีค่าที่ สม่ำเสมอที่สุด หากเป็นพื้นที่แล้งมีน้ำเป็นบางช่วงอาจทำให้ค่าไม่ครบสมบูรณ์ หรือมีความผิดพลาดของ ข้อมูลมากขึ้น

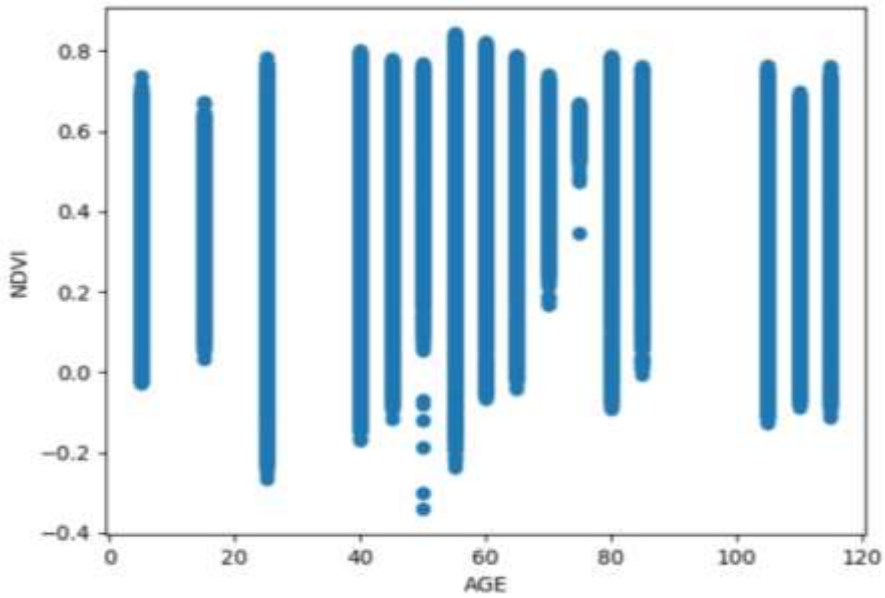
จากการอ้างอิงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชจากส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนัก บริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน ปี 2555 เลือกข้าวขาวดอกมะลิ 105 นาดำที่ได้จาก สูตรของ Penman Monteith ซึ่งเป็นค่ารายสัปดาห์นั้นมาเปลี่ยนเป็นรายวันเพื่อใช้เทียบระหว่างค่า

สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชและค่าดัชนีความต่างพืชพรรณโดยเทียบระดับรายวันต่อไปนั้น จะมีค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โดยได้สมการค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชรายวัน คือ $Y= -0.0004X^2 + 0.0419X + 0.4077$ โดย $R^2 =0.9818$ ได้กราฟดังนี้



ภาพที่ 10 กราฟค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชรายวันตามช่วงอายุของข้าว

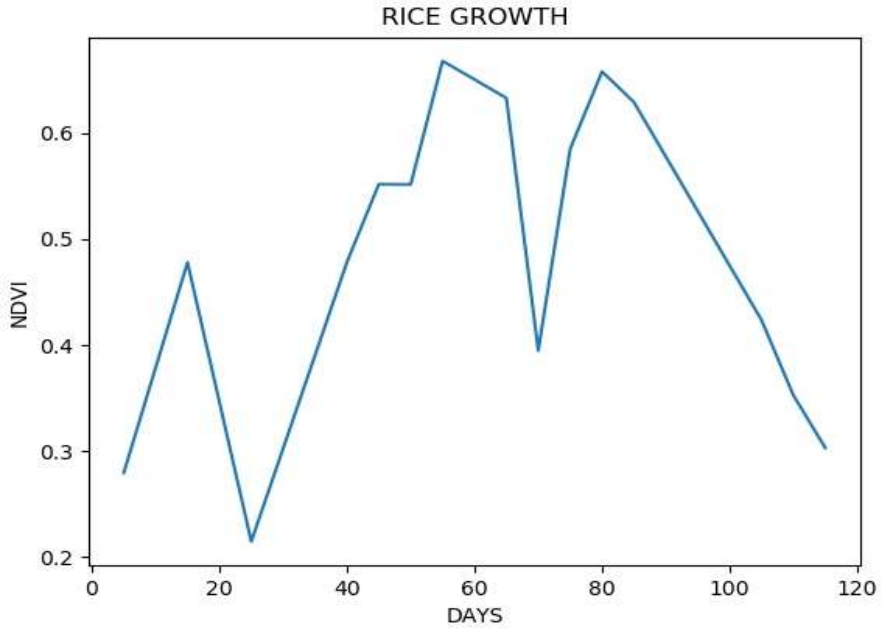
จากภาพที่ 10 ช่วงของอายุข้าว 120 วัน ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชเริ่มจาก 0.604 ในช่วงแรก ระยะกล้า และมีค่าสูงสุดที่ อายุข้าว 55 วัน คือ1.634 ซึ่งอยู่ในระยะแตกกอไประยะตั้งท้อง และหลังจากนั้นค่าจะลดลงเรื่อยๆในระยะน้ำนมและข้าวสุก ซึ่งเป็นช่วงเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 11 กราฟความถี่ของค่าความต่างดัชนีพืชพรรณตามช่วงอายุ

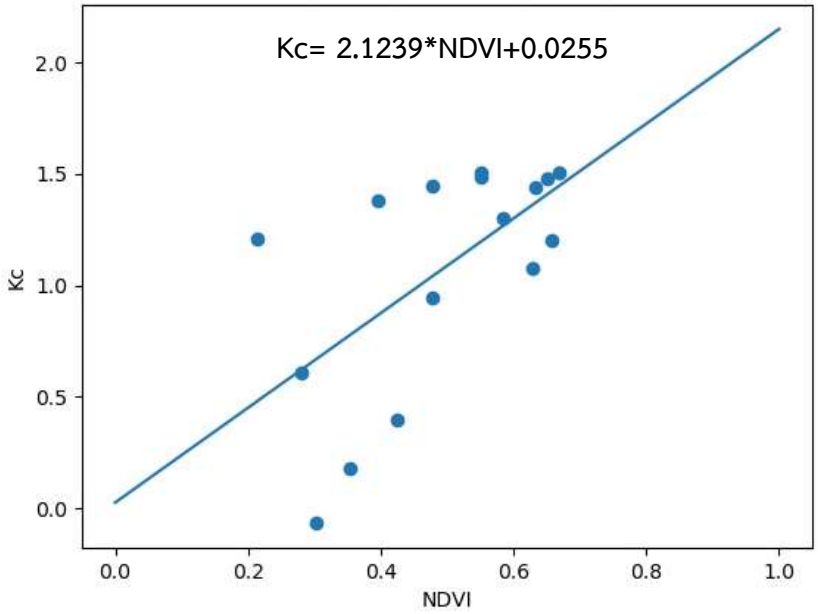
จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณที่ช่วง เดือนกันยายนปี 2561 ถึงเดือนธันวาคมปี 2561 ของภาพที่ 11 ต้องการทราบค่าความถี่ของค่าดัชนีความต่างพืชพรรณในแปลงนาตามช่วงอายุ

ข้าว เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการเลือกแปลงนั้น สามารถพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ 11 ซึ่งแสดงได้ว่าค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ อยู่ระหว่าง -0.4 ถึง 0.8 มีการแกว่งของข้อมูลที่ค่อนข้างกว้าง โดยเฉพาะที่ 25 วันและ 55 วัน ซึ่งอาจจะเกิดจากการปลูกข้าวที่ไม่พร้อมกัน ควรกำหนดเงื่อนไขการเลือกแปลงให้เหมาะสมเพื่อเพิ่มการเกาะกลุ่มของข้อมูลที่ดีขึ้น เช่นช่วงเดือนแรกเลือกแปลงนาที่มีค่าดัชนีความต่างพืชพรรณที่น้อยกว่า 0.3 ดังนั้นการแกว่งของข้อมูลจะลดลงในช่วง 30 วันแรกเหลือค่าเพียง 0.3ถึง -0.3 เป็นต้น



ภาพที่ 12 กราฟดัชนีความต่างพืชพรรณตามช่วงอายุการเติบโต

จากการกำหนดเงื่อนไขการเลือกแปลงนาเพื่อพล็อตกราฟหาสมการระหว่างค่าดัชนีความต่างพืชพรรณและค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช เลือกใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่างเดือนกันยายน ถึงเดือนธันวาคมนั้น ตั้งเงื่อนไขคือ แปลงนาที่มีค่าดัชนีความต่างพืชพรรณเฉลี่ยเดือนกันยายนน้อยกว่า 0.3 เดือนตุลาคม ค่าเฉลี่ยรายเดือนมากกว่า 0.3 เดือนพฤศจิกายนค่าเฉลี่ยรายเดือนมากกว่า 0.5 และเดือนธันวาคมค่าเฉลี่ยรายเดือนน้อยกว่า 0.5 แปลงนาที่ผ่านเงื่อนไขนำมาพล็อตกราฟเพื่อดูค่าดัชนีความต่างพืชพรรณตามช่วงอายุการเติบโต โดยจากภาพที่ 12 จะเห็นว่าที่ช่วงอายุ 20 และ 70 วัน ค่าของดัชนีความต่างพืชพรรณจะลดลงอย่างมากเนื่องด้วยเมื่อตรวจสอบกับภาพถ่ายสีผสมจริง(TCI) แล้วพบว่าช่วงเวลาดังกล่าว มีเมฆมาบดบัง ทำให้ค่าที่ได้อาจไม่เป็นไปตามแนวโน้ม หากต้องการกราฟที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรวิเคราะห์หลายรอบการปลูกข้าวของช่วงปีอื่นประกอบด้วย แต่นอกเหนือจากนั้นลักษณะกราฟคล้ายกับภาพที่ 10 ซึ่งมีลักษณะดัชนีความต่างพืชพรรณที่น้อยช่วงแรก และมีค่ามากสุดช่วงระยะแตกกอไประยะตั้งท้อง และค่าจะลดลงเนื่องจากสีของพืชพรรณข้าวเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง

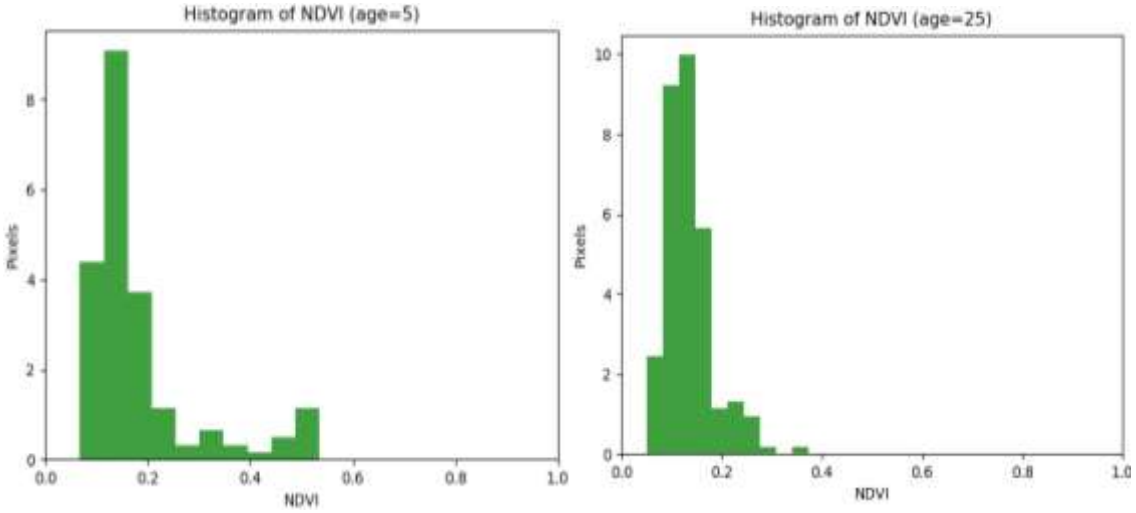


ภาพที่ 13 กราฟสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชและค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ

จากการเตรียมข้อมูลและผลของข้อมูลที่ผ่านมา วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชและค่าดัชนีความต่างพืชพรรณตามการเติบโตของข้าวตามช่วงอายุ โดยวิเคราะห์เทียบรายวัน ซึ่งยึดที่ช่วงเวลาเดียวกันค่าจะเปลี่ยนแปลงไปตามความสัมพันธ์ของภาพที่ 13

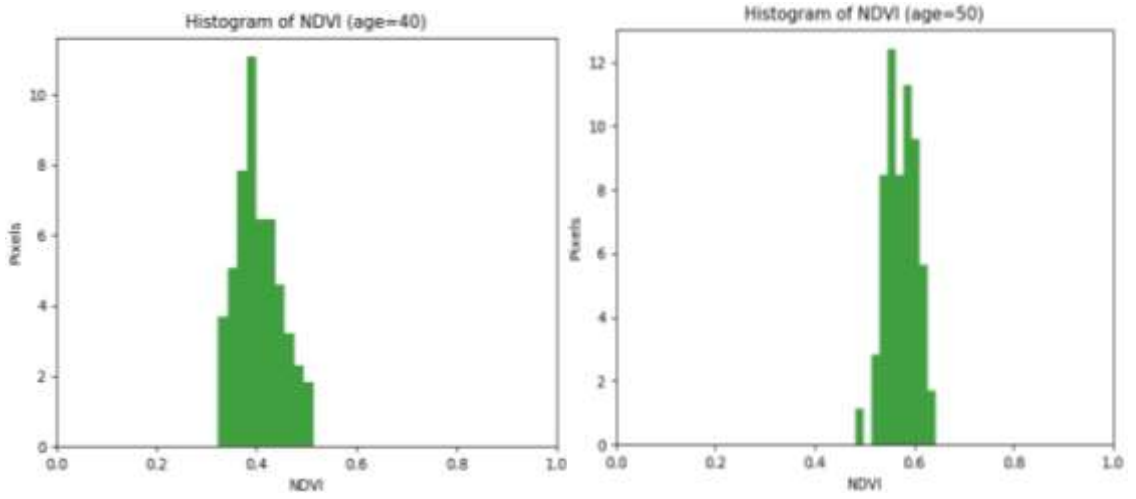
จากภาพที่ 13 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชจะแปรผันตรงกันช่วงอายุของข้าวแต่เมื่อถึงช่วงออกรวงข้าวมีสีเหลืองค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชจะมีค่าลดลงแปรผกผันกับเวลาที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการวกกลับของข้อมูลดังภาพข้างต้น ส่วนแกน X ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณจะมีค่ามากขึ้น แต่เมื่อถึงช่วงออกรวงข้าว จะมีค่าย้อนกลับเชิงถดถอย ซึ่งตรงกับการเจริญเจริญเติบโตของข้าว เมื่อข้าวเริ่มเจริญเติบโตค่าดัชนีความต่างพืชพรรณและค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชจะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อถึงช่วงออกรวงข้าว ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณและค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชจะลดลง เนื่องด้วยต้นข้าวจะเริ่มเหลือง รวงข้าวก็จะสีเหลืองด้วย ทำให้ค่าดังกล่าวลดลงอย่างสอดคล้องตามความเป็นจริง จากกราฟข้อมูลจะเกาะกันช่วงปลายกราฟเยอะเนื่องจากเป็นช่วงที่มีค่าสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชและค่าดัชนีความต่างพืชพรรณก่อนจะมีการวกกลับของข้อมูล

เลือกใช้เส้นตรงเป็นตัวแทนของสมการเนื่องจาก ความสะดวกของการใช้ของมูลโดยสามารถแทนค่าได้จากค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งโดยผลการวิจัยได้สมการคือ Kc = 2.1239*NDVI+0.0255



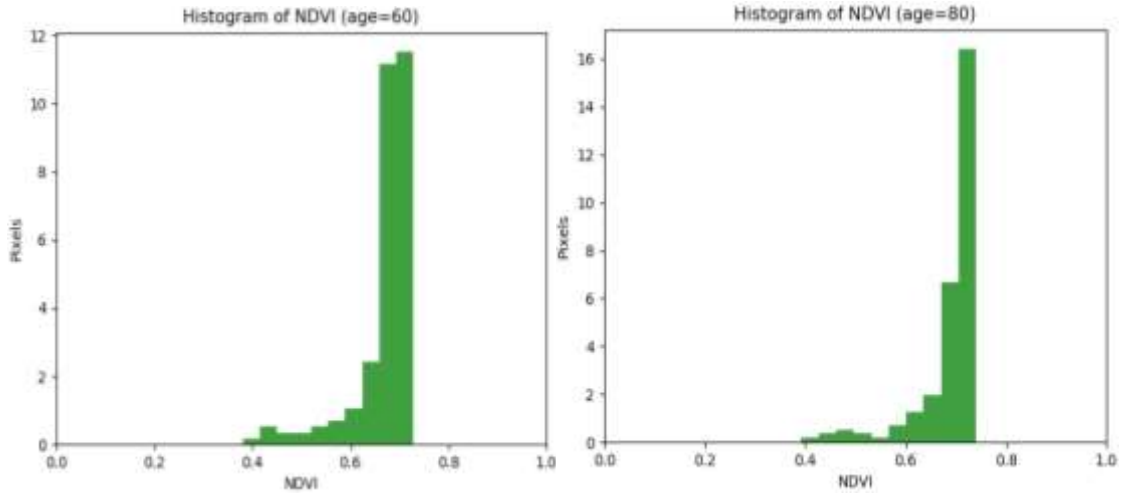
ภาพที่ 14 ความหนานแน่นของค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ ช่วงอายุข้าว 5 และ 25 วัน

ภาพที่ 14 แสดงให้เห็นถึงค่าดัชนีความต่างพืชพรรณระยะกล้า ช่วงเริ่มปลูกข้าวมีค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วงต่ำกว่า 0.2 และค่าที่น้อยกว่านี้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำ ซึ่งได้จากการตรวจสอบจากภาพถ่ายสีผสมจริง ซึ่งสอดคล้องกันขั้นตอนก่อนการปลูกข้าว ที่จะมีการปล่อยน้ำท่วมขังนาทั้งผืน เพื่อเป็นการบ่มดินและกำจัดวัชพืชในคราวเดียวกัน



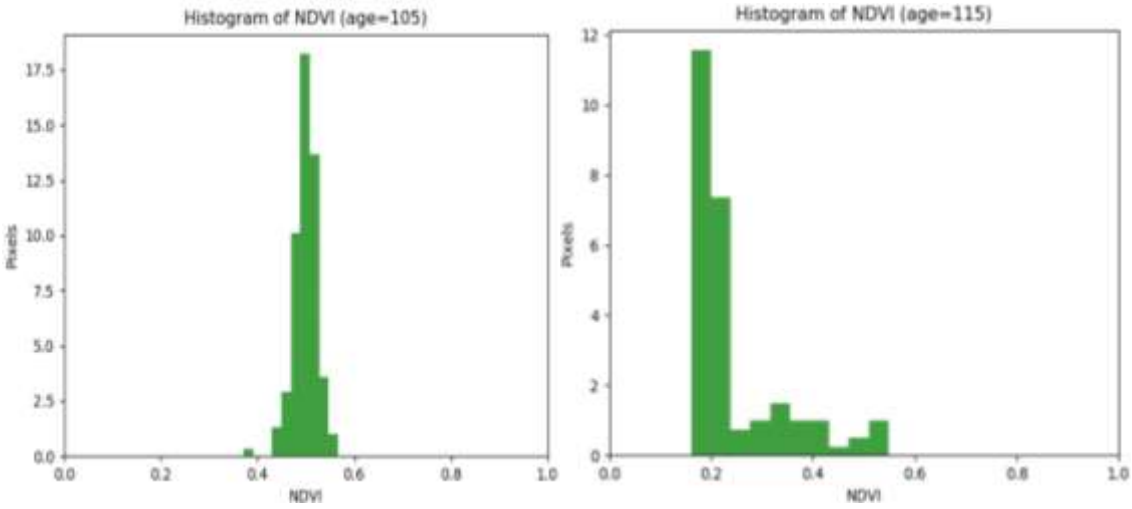
ภาพที่ 15 ความหนานแน่นของค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ ช่วงอายุข้าว 40 และ 50 วัน

จากภาพที่ 15 แสดงให้เห็นถึงค่าดัชนีความต่างพืชพรรณระยะแตกกอ มีค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.6 ซึ่งเป็นระยะที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้น ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณจะไม่มาก มีทิศทางของค่าที่เพิ่มขึ้นแบบค่อยเป็นค่อยไป ไม่ก้าวกระโดด



ภาพที่ 16 ความหนานแน่นของค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ ช่วงอายุข้าว 60 และ 80 วัน

จากภาพที่ 16 ค่าดัชนีความต่างของพืชพรรณที่อายุ 60 ถึง 90 วัน เป็นระยะตั้งท้อง ช่วงที่ข้าวเริ่มออกรวงข้าว โดยค่าสูงสุดจะอยู่ในช่วงนี้ จากรูปภาพข้างต้น ค่าสูงสุดจะอยู่ราวๆ 0.7 ลักษณะต้นข้าวเขียวขจีมากที่สุด และหลังจากช่วงนี้ ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณจะลดลงตามลักษณะต้นข้าวและรวงข้าวที่สีออกเหลือง ไม่เขียวดังเดิม



ภาพที่ 17 ความหนานแน่นของค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ ช่วงอายุข้าว 105 และ 115 วัน

จากภาพที่ 17 แสดงถึงค่าดัชนีความต่างพืชพรรณที่มีทิศทางลดลง ซึ่งเป็นระยะน้ำนมและข้าวสุก ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวข้าว โดยระยะนี้ข้าวจะมีสีเหลือง ดัชนีความต่างพืชพรรณจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 17 และงานวิจัยนี้

เปรียบเทียบสมการสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

Trout & Johnson (2007) ได้ค้นพบสมการเส้นตรง ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชและดัชนีความต่างพืชพรรณ Kc=1.37*NDVI-0.086

เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชโดยสมมติให้ค่า NDVI = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง คือ 9.05 โดยอ้างอิงจาก พลัฏฐ์ ปาจิตร (2562, น. 55) ได้หาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงเฉลี่ยของข้าว(ETo) ในเขตพื้นที่ชลประทานของเขื่อนวังร่มเกล้า ซึ่งเป็นหวัดเดียวกับงานวิจัยฉบับนี้คือ จังหวัดอุทัยธานี แทนสมการของงานวิจัยนี้ และสมการของ(Trout & Johnson, 2007) หลังจากนั้นแทนค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชในสมการ ETc=ETo*Kc จะได้ปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชในพื้นที่ชลประทานโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา 148,531 ไร่/วัน ดังนี้

NDVI	Trout&Johson	My Thesis
0.1	109,687.17	511,636.89
0.2	404,337.03	968,430.20
0.3	698,986.89	1,425,223.51
0.4	993,636.74	1,882,016.81
0.5	1,288,286.60	2,338,810.12

ภาพที่ 18 ตาราง เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของพืช

ภาพที่ 19 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของพืช

จากภาพที่ 19 แสดงถึงความชันของปริมาณการใช้น้ำของพืช จะเห็นได้ว่ายิ่งดัชนีความต่างพืชพรรณมีค่ามากขึ้น ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช ของผู้วิจัยจะยิ่งห่างมากขึ้น โดยกราฟของผู้วิจัยเกิดจากสมการที่มาจากพืช ชนิดข้าว ของพื้นที่ชลประทานโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับสลา จ.อุทัยธานี ประเทศไทย ภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ส่วนของ Trout และ Johnson เป็นสมการที่มาจากพืชไร่หลากหลายชนิด และพื้นที่ภูมิอากาศกึ่งแห้งแล้งในประเทศแคลิฟอร์เนีย โดยตามทฤษฎีปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดข้าว จะมีความต้องการใช้น้ำมากที่สุดในกลุ่มพืช โดยสอดคล้องกับผลวิจัยดังกล่าวที่แสดงให้เห็นว่าสมการของผู้วิจัยมีความต้องการใช้น้ำของพืชที่สูงกว่าสมการของ Trout และ Johnson

สมมุติที่ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณเฉลี่ยตลอดทั้งฤดูการเพาะปลูกข้าวอยู่ที่ 0.3 จะได้ความต้องการใช้น้ำของพืชทั้งโครงการที่ 1,425,223.51 ลบ.ม./วัน ทั้งฤดูการเพาะปลูกข้าวที่ 120 วัน ความต้องการใช้น้ำของข้าวคือ 171,026,821.20 ลบ.ม. โดยไม่นับประสิทธิภาพชลประทานและปริมาณฝนเข้ามาเกี่ยวข้อง

สรุปและเสนอแนะ

ผลการศึกษาสมการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) จากข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 ทำให้ทราบถึงวิธีการตรวจสอบแปลงนาที่อยู่ในช่วงเวลาที่ต้องการ โดยปกติแล้วเป็นปัญหาอย่างมากของหัวหน้าฝ่ายส่งน้ำและผู้รับผิดชอบดูแล รายงาน การปลูกข้าวของเกษตรกร ซึ่งปกติจะใช้พาหนะเดินทางเพื่อตรวจสอบการปลูกข้าว และการเติบโตของข้าวในนา แต่งานวิจัยนี้ ได้ลดปัญหาเรื่องนี้และสามรถตรวจสอบรายสัปดาห์ได้อย่างประหยัดเวลา ประหยัดค่าน้ำมัน และเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์ ส่วนการหาสมการระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชและค่าดัชนีความต่างพืชพรรณนั้นเป็นค่าแบบเฉพาะเจาะจงพื้นที่ชลประทาน ในเขตโครงการส่งน้ำและ

บำรุงรักษาทับเสลา โดยสามารถตรวจวัดจับได้ว่า ข้าวในแปลงนาปลูกอยู่ในระยะไหน และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชเท่าไหร่ โดยแทนค่าดัชนีความต่างพืชพรรณของช่วงเวลาที่ต้องการ ทำให้ทราบค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชแล้ว จะทราบถึงช่วงการเติบโตของข้าวด้วย และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชนำไปใช้หาปริมาณการใช้น้ำของพืชต่อไป สามารถวิเคราะห์ย้อนกลับ เพื่อตรวจสอบความสมเหตุสมผลของการปล่อยน้ำเพื่อการชลประทานได้ต่อไป

การวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชที่แปรผันตรงกับดัชนีความต่างพืชพรรณ จนมีค่าวกกลับ ลดลงมาในระยะตั้งท้องซึ่งข้าวออกรวงเป็นสีเหลือง และความต้องการใช้น้ำขอข้าวก็ลดลงตามไปด้วย หานำวิธีการในงานวิจัยนี้ไปวิเคราะห์ข้าวนอกฤดู หรือข้าวที่ปลูกโดยไม่ใช้น้ำชลประทานด้วยแล้ว จะก่อเกิดประโยชน์กับการบริหารจัดการน้ำเพื่อการชลประทานในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลายิ่งขึ้นด้วย เนื่องด้วยปริมาณน้ำต้นทุนของอ่างทับเสลาไม่เพียงพอ ควรมีอ่างเก็บน้ำในเขตโครงการเพิ่มขึ้นหรือไม่ สามารถวิเคราะห์ได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของงานวิจัยนี้สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช ไปคำนวณเพื่อให้ได้ผล ค่าความต้องการใช้น้ำของพืชต่อไป โดยสามรถใช้ติดตามการเติบโตของพืชในระดับโครงการได้ อีกทั้งยังประยุกต์ใช้กับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น อาทิ อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด เป็นต้น ในพื้นที่ต่อไป โดยหากต้องการต่อยอดเพิ่มเติมควรพิจาณาถึงปริมาณน้ำต้นทุนของอ่างเก็บน้ำทับเสลา เทียบกับพื้นที่เพาะปลูกข้าวโดยใช้วิธีสำรวจดาวเทียมได้

ข้อเสนอแนะ การวิจัยผู้ศึกษาท่านอื่นสามารถเลือกเก็บสถิติในช่วงเวลาการปลูกข้าวหลายฤดูการปลูกข้าวได้ เพื่อสมการที่แม่นยำและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น เลือกใช้ดาวเทียมดวงอื่นในการสำรวจส่วนการปลูกข้าวของเกษตรกรในเขตพื้นที่ชลประทาน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลานั้น มีการปลูกข้าวตลอดทั้งปี ถึงแม้จะเป็นฤดูแล้ง เนื่องจากเกษตรกรใช้การปลูกข้าวนอกเหนือจากการใช้น้ำชลประทานปกติ กล่าวคือแบบรอน้ำฝน และการใช้น้ำจากบ่อบาดาลเพิ่มเติมด้วย ทำให้มีช่วงเวลาเริ่มปลูกไม่ตรงกัน และแปลงที่ได้ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณไม่ต่อเนื่อง โดยอาจเป็นแปลงปลูกข้าวแบบรอฝน ทำให้ข้าวตายเป็นบางช่วง

ทั้งนี้ ในการพัฒนาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชและ ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณควรเป็นพื้นที่ในเขตชลประทานซึ่งมีน้ำตลอดฤดูการเพาะปลูก พื้นที่เพาะปลูกไม่ควรมีพืชชนิดอื่นมาแทรก หรือมีการปลูกแบบผสมผสาน เพราะทำให้ภาพมีความแตกต่างด้านดัชนีความต่างพืชพรรณในแปลงเดียวกัน โดยค่าจะไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือมีลักษณะขาดช่วง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา และสำนักงานชลประทานที่ 12 ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลขอบเขตพื้นที่แปลงนากรรมสิทธิ์

เอกสารอ้างอิง

สำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่ กรมชลประทาน. (2560). **ความหมายประเภทของงโครงการชลประทาน**. แหล่งที่มา: http://lproject.rid.go.th/site/index.php/th/general-information/130-2015-06-22-02-00-53/209-2015-06-22-08-30-08, 5 กุมภาพันธ์ 2563.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์ (Space Technology and Geo-Informatics),4 พฤศจิกายน 2562.

กวิน กิ้มยก.(2560).**First Sentinel-2A Sample Product.** แหล่งที่มา: https://www.gistda.or.th /main/th/node/795, 5 มีนาคม 2563.

กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน กรมชลประทาน. (2562). **ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช**. แหล่งที่มา: http://water.rid.go.th /hwm/cropwater/CWRdata/Kc/index.htm, 15 กุมภาพันธ์ 2563.

ส่วนการใช้น้ำชลประทาน(2555).**ค่าสัมประสิทธิ์พืชโดยวิธี Penman-Monteith**.สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน,5 ธันวาคม 2562

ณัฐธยาน์ นามอินทร์, เกศวรา สิทธิโชค และชูพันธุ์ ชมภูจันทร์. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช(Kc) ของข้าวนาหว่านน้ำตม โดยใช้ดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย, 2562(ฉบับพิเศษ), 331-341, 20 มกราคม 2563.

พลัฏฐ์ ปาจิตร. (2562). หารหาปริมาณการใช้น้ำของพืชเกษตรในเขตพื้นที่ชลประทานฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1(เขื่อนวังร่มเกล้า) โครงการชลประทานอุทัยธานี โดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,วิศวกรรมศาสตร์, วิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหาร, 20 ธันวาคม 2562.

Janelle Montgomery, John Hornbuckle, Iain Hume, Jamie Vleeshouwer. (2015). IrriSAT – weather based scheduling and benchmarking technology. Building Productive, Diverse and Sustainable Landscapes, 17. Retrieved from

http://www.agronomyaustraliaproceedings.org/images/sampledata/2015_Conference/pdf/agronomy2015final00449.pdf

The European Space Agency.**EO Browser**.Available Source: https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?lat=15.4323&lng=99.6982&zoom=12,December 1,2019.