

การสร้างสมการเพื่อทำนายผลผลิตอ้อยด้วยค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษา อำเภอไชยวาน จังหวัดอุดรธานี

The development of equation of sugarcane yield prediction using vegetation index from Sentinel-2 satellite imagery: A case study in Chaiwan District, Udon Thani Province

คมปกรณ์ ไทยเจริญ¹, จิระเดช มาจันแดง^{2*}

Kompakorn Thaicharoen¹, Jiradech Majandang^{2*}

Received: 31 March 2022 ; Revised: 20 May 2022 ; Accepted: 14 June 2022

บทคัดย่อ

การทำนายผลผลิตอ้อยช่วยในการประมาณวัตถุดิบเข้าสู่โรงงาน รวมถึงคาดการณ์ปริมาณน้ำตาลทรายที่สามารถผลิตได้ ส่งผลต่อการวางแผนจัดการผลผลิตที่จะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายในการทำนายผลผลิตอ้อย ด้วยค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษา อำเภอไชยวาน จังหวัดอุดรธานี ค่าดัชนีพืชพรรณที่ใช้ประกอบด้วย Ratio Vegetation Index (RVI) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI) Ashburn Vegetation Index (AVI) Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) Transformation Vegetation Index (TVI) และ Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI) ร่วมกับข้อมูลผลผลิตอ้อยจากแปลงตัวอย่างขนาด 20x20 เมตร ทั้งหมด 100 แปลง แบ่งเป็นข้อมูลที่ใช้สร้างสมการ 70 แปลง และใช้ตรวจสอบความถูกต้อง 30 แปลง ผลการศึกษาพบว่า สมการถดถอยจากดัชนีพืชพรรณ NDVI NRVI SAVI TVI และ IPVI ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด เท่ากับ 0.88 และสมการถดถอยจากดัชนีพืชพรรณ NDVI NRVI และ SAVI มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย เท่ากับ 1.82 สมการที่ได้สามารถนำไปประเมินผลผลิตอ้อย เพื่อใช้ในการวางแผนบริหารจัดการผลผลิตที่เกิดขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ค่าดัชนีพืชพรรณ การทำนายผลผลิตอ้อย

Abstract

Predictions of sugarcane production can estimate the amount of raw product prior to it entering the factory and the final amount of cane sugar produced. Thus, the prediction can help the efficient management of cane sugar manufacturing. The objective of this study is to create a simple linear regression equation to predict sugarcane production by using vegetation indices from Sentinel-2 satellite images in Chai Wan district, Udon Thani province and the data of sugarcane production from sample fields. The vegetation indices included Ratio Vegetation Index (RVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI), Ashburn Vegetation Index (AVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Transformation Vegetation Index (TVI) and Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI). A total of 100 sample fields (20x20 meter each) were used in this study: 70 of them were used to create the equation and 30 of them were used to check the accuracy. The results revealed that the linear regression equation from NDVI, NRVI, SAVI, TVI, and IPVI has the highest coefficient of determination and equals to 0.88. The linear regression equation from NDVI, NRVI, and SAVI had the mean absolute percentage error equal to 1.82. The equations can further be utilized to determine sugarcane production and manage cane sugar manufacturing in the future.

Keywords: Sentinel-2 satellite images, vegetation indices, prediction of sugarcane production

¹ นิสิตปริญญาตรี, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

¹ Bachelor degree student., Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150

² Assist. Prof., Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150

* Corresponding author; Jiradech Majandang, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150, Thailand. Jiradech.m@msu.ac.th

บทนำ

อ้อยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum* L. แหล่งกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในเกาะนิวกีนิ ประเทศอินโดนีเซีย โดยชาวพื้นเมืองปลูกอ้อยไว้สำหรับเคี้ยวมาตั้งแต่โบราณ การปลูกอ้อยในประเทศไทยไม่ปรากฏหลักฐานว่าเริ่มปลูกในสมัยใด แต่อ้อยได้เข้ามามีบทบาทต่อชนบทร่มเย็นประเพณีของไทยมาช้านาน (คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2535) อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายของไทยมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันประเทศไทยส่งออกน้ำตาลประมาณ 7 ล้านตันต่อปี จัดเป็นอันดับสองของประเทศที่ส่งออกน้ำตาลมากที่สุดในระดับโลก รองจากบราซิล (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2562) ในปี พ.ศ.2563 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยทั่วประเทศประมาณ 12 ล้านไร่ โดยอ้อยที่ได้รับความนิยมในการเพาะปลูกคือ พันธุ์ขอนแก่น 3 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 5,701,344 ไร่ และพันธุ์ LK92-11 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 3,520,813 ไร่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2563)

จากรายงานสถานการณ์การปลูกอ้อยในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2563 พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกมากที่สุด ประมาณ 5,229,405 ไร่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2563) โดยจังหวัดอุดรธานี เป็นจังหวัดที่มีการปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีการตั้งโรงงานมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือถึง 5 แห่ง ทำให้มีความต้องการอ้อยส่งเข้าโรงงานถึง 4,674,002 ตันต่อปี ส่งผลให้เกษตรกรมีการปลูกอ้อยจำนวนมาก ในปี พ.ศ. 2563 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 748,540 ไร่ (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอุดรธานี, 2563) อำเภอไชยวานเป็นอีกอำเภอของจังหวัดอุดรธานีที่มีการปลูกอ้อยอย่างแพร่หลาย ในปี พ.ศ.2562 มีเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยในพื้นที่ถึง 1,478 ครัวเรือน (สำนักงานเกษตรอำเภอไชยวาน, 2562) อย่างไรก็ตามโรงงานน้ำตาลทรายในพื้นที่ยังเผชิญปัญหาเกี่ยวกับปริมาณที่เป็นวัตถุดิบเข้าสู่โรงงาน ที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการในการผลิตน้ำตาลทราย เนื่องจากผลผลิตอ้อยจากเกษตรกรที่ส่งเข้าสู่โรงงานลดลง โรงงานน้ำตาลทรายต้องประเมินพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มวัตถุดิบสำหรับทำน้ำตาลทราย (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2563) ดังนั้น การประเมินผลผลิตอ้อยจึงมีความสำคัญเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการผลผลิตในอนาคต

ปัจจุบันการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลเพื่อการเกษตรได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการทำนายผลผลิตพืชผลชนิดต่างๆ เช่น ข้าว (สมศิริ สวัสดิ์เฉลิม, 2550 ; ภราดร กาญจนสุธรรม, 2557 ; วลดา เดชะพงศ์ธนา, 2559) อ้อย (จิรวัดน์ โนดโรสง และคณะ, 2562) และมันสำปะหลัง (วลัยพร ศะติประภา, 2555) เป็นต้น การทำนาย

ผลผลิตพืชทางการเกษตรด้วยการวิเคราะห์ถดถอยเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีความนิยมอย่างแพร่หลาย การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับค่าดัชนีพืชพรรณ (Vegetation indices) และใช้สมการความสัมพันธ์ที่ได้มาทำนายผลผลิตที่จะเกิดขึ้น ดัชนีพืชพรรณเป็นค่าที่บอกถึงความสมบูรณ์ของพืช จากการดูคลื่นช่วงคลื่นแสงสีแดงของคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณชนิดต่างๆ และสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ทำให้สามารถใช้ในการตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืชพรรณได้ดี (Noureldin *et al.*, 2013) การเลือกใช้ดัชนีพืชพรรณให้เหมาะสม ต้องคำนึงถึงความแตกต่างของสภาพแวดล้อมทั้งในส่วนของความหลากหลาย และคุณลักษณะของพืชพรรณแต่ละชนิด (Xue & Su, 2017)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญในการทำนายผลผลิตอ้อยล่วงหน้า เพื่อประเมินความเพียงพอของปริมาณวัตถุดิบอ้อยที่จะเข้าสู่โรงงานน้ำตาล การศึกษาในครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกล เพื่อคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กับข้อมูลผลผลิตอ้อยที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม เพื่อสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายในการทำนายผลผลิตอ้อยใน อำเภอไชยวาน จังหวัดอุดรธานี

วิธีการศึกษา

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ดาวินโหลดจากเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov/> เป็นข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ โดยเลือกภาพที่บันทึกในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2563 ตามระยะการเก็บผลผลิตอ้อย ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี (Radiometric correction) และตัดภาพตามขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลผลผลิตอ้อยจากการสำรวจภาคสนาม ได้จากแปลงตัวอย่าง (Plot sampling) โดยการสุ่มตัวอย่างแปลงอ้อยแบบเจาะจงจากเกษตรกรที่ยินยอมให้สามารถตัดและชั่งน้ำหนักอ้อยภายในแปลงได้ และอ้อยภายในแปลงมีการเจริญเติบโตเต็มที่ กำหนดแปลงตัวอย่างทั้งหมด 100 แปลง มีขนาด 20x20 เมตร โดยคำนวณผลผลิตรายแปลงได้จาก น้ำหนักต่อแถวคูณด้วยจำนวนแถวต่อแปลง โดยน้ำหนักต่อแถวหาจากน้ำหนักต่อพุ่มคูณด้วยจำนวนพุ่มต่อแถว และน้ำหนักต่อพุ่มหาจากน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นคูณด้วยจำนวนต้นต่อพุ่ม

2. การคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ

ค่าดัชนีพืชพรรณที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ ใช้การคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ 7 ดัชนี โดยแต่ละวิธีมีการคำนวณจากข้อมูลช่วงคลื่น (แบนด์) ที่บันทึกจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ดังนี้

1) Ratio Vegetation Index (RVI) เป็นดัชนีที่ใช้ในการประเมินและติดตามการปกคลุมของพืชพรรณ คำนวณได้ง่ายไม่ซับซ้อน เป็นอัตราส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้กับช่วงคลื่นสีแดง โดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึงไม่มีที่สิ้นสุด ค่า RVI สูงแสดงว่าบริเวณนั้นมีพืชหนาแน่น (Jordan, 1969) มีสูตรดังนี้

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \quad (1)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง

2) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) เป็นดัชนีที่นิยมนำมาใช้ศึกษาเกี่ยวกับพืช ทั้งในส่วนของการเจริญเติบโต ความสมบูรณ์ รวมถึงจำแนกชนิดพืช โดยเป็นสัดส่วนระหว่างค่าความต่างของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้กับช่วงคลื่นสีแดง กับผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่น ทำให้มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 หากมีค่าเป็นลบแสดงถึงพื้นที่ที่ไม่ใช่พืชพรรณ ค่า 0 แสดงว่าไม่มีพืชปกคลุมในพื้นที่ และถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมสูง (Rouse *et al.*, 1974) มีสูตรดังนี้

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (2)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง

3) Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI) เป็นดัชนีที่พัฒนามาจาก RVI และที่มีลักษณะคล้าย NDVI ในการปรับให้ค่าดัชนีมีการกระจายตัวแบบปกติ ช่วยลดผลกระทบจากสภาพภูมิประเทศ และชั้นบรรยากาศ ค่าที่น้อยกว่า 0.0 แสดงว่าเป็นพื้นที่พืชพรรณ ส่วนค่ามากกว่า 0.0 ไม่ใช่พื้นที่พืชพรรณ (Baret & Guyot, 1991) มีสูตรดังนี้

$$NRVI = (RVI-1)/(RVI+1) \quad (3)$$

เมื่อ

RVI คือ ค่าดัชนี RVI

4) Ashburn Vegetation Index (AVI) เป็นดัชนีที่ใช้วัดการเจริญเติบโตของพืช ในช่วงฤดูแล้ง หรือในพื้นที่ที่มีความแห้งแล้ง ค่า AVI สูงแสดงว่าบริเวณนั้นมีพืชเจริญเติบโตหนาแน่น (Ashburn, 1978) มีสูตรดังนี้

$$AVI = 2.0NIR-RED \quad (4)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง

5) Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) พัฒนาเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากค่าสะท้อนของพื้นดินที่พบในดัชนี NDVI โดยในพื้นที่ที่มีค่า SAVI สูงแสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมสูง (Huete, 1988) มีสูตรดังนี้

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{(NIR+RED+L)} (1+L) \quad (5)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง

L คือ เป็นค่ากลางความหนาแน่นพืชพรรณ โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 0.5

6) Transformation Vegetation Index (TVI) พัฒนามาจาก NDVI เพื่อให้ค่าดัชนีที่ได้มีค่าเป็นบวกทั้งหมด นิยมใช้ประเมินในพื้นที่ทุ่งหญ้า สามารถรวมกลุ่มจุดภาพที่มีค่าสะท้อนใกล้เคียงกัน แล้วตีความปริมาณพืชพรรณ ค่า TVI สูงแสดงว่าบริเวณนั้นมีพืชเจริญเติบโตหนาแน่น (Deering *et al.*, 1975) มีสูตรดังนี้

$$TVI = \sqrt{\frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}} + 0.5 \quad (6)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง

7) Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI) พัฒนามาจาก NDVI เพื่อให้ค่าดัชนีที่ได้มีค่าเป็นบวกทั้งหมด โดยนำช่วงคลื่นสีแดงในตัวเองออก มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ค่า 0 แสดงว่าไม่มีพืชปกคลุมในพื้นที่ และถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมสูง (Crippen, 1990) มีสูตรดังนี้

$$IPVI = \frac{\left(\frac{NIR}{NIR+RED} \right)}{2} (NDVI+1) \quad (7)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ค่าสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง

NDVI คือ ค่าดัชนี NDVI

3. การสร้างสมการทำนายผลผลิตอ้อย

แบ่งข้อมูลผลผลิตอ้อยที่ได้จากแปลงตัวอย่างเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 จำนวน 70 แปลงใช้ในการสร้างสมการทำนายผลผลิต ส่วนที่ 2 จำนวน 30 แปลง ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการทำนาย

สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อใช้ทำนายผลผลิตอ้อย โดยข้อมูลผลผลิตอ้อยที่ได้จากแปลงตัวอย่างเป็นตัวแปรตาม (y) และค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ทั้ง 7 ดัชนี เป็นตัวแปรอิสระ (x) มีรูปแบบสมการดังนี้

$$y = \beta_0 + b_1x + \varepsilon \quad (8)$$

เมื่อ

y คือ ผลผลิตอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้จากแปลงตัวอย่าง (กิโลกรัมต่อแปลง)

x คือ ค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

β_0 คือ พารามิเตอร์แสดงค่าคงที่

β_1 คือ พารามิเตอร์แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

ε คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random Error)

โดยกำหนดความเชื่อมั่นทางสถิติที่ $P < 0.05$

การคัดเลือกสมการในการทำนายผลผลิตอ้อยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) เป็นค่าที่บอกถึงความเชื่อมั่นของสมการถดถอยเชิงเส้น (Cheng *et al.*, 2014) โดยพิจารณาจากสัดส่วน

ที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่ามาก แสดงว่าตัวแปรอิสระของสมการถดถอยสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้มาก มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 มีสูตรดังนี้

$$R^2 = \frac{\left(n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \right)^2}{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \times \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]} \quad (9)$$

เมื่อ

y_i คือ ผลผลิตอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้จากแปลงตัวอย่างที่ i (กิโลกรัมต่อแปลง)

x_i คือ ค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ของแปลงตัวอย่างที่ i

n คือ จำนวนแปลงตัวอย่าง

4. การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการทำนาย

ค่าที่ใช้ในการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการทำนายประกอบด้วย ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) โดยแต่ละค่ามีสูตรคำนวณดังนี้

1) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2}{n}} \quad (10)$$

เมื่อ

A_i คือ ผลผลิตอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้ของแปลงตัวอย่างที่ i

F_i คือ ผลผลิตอ้อยของแปลงตัวอย่างที่ i ที่ทำนายได้จากสมการถดถอย

n คือ จำนวนแปลงตัวอย่าง

2) ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE)

$$MAPE(\%) = \left(\frac{100}{n} \right) \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \quad (11)$$

เมื่อ
 A_i คือ ผลผลิตย่อยที่เก็บเกี่ยวได้ของแปลงตัวอย่าง
 ที่ i
 F_i คือ ผลผลิตย่อยของแปลงตัวอย่างที่ i ที่ทำนาย
 ได้จากสมการถดถอย
 n คือ จำนวนแปลงตัวอย่าง

ผลการศึกษา

การสำรวจผลผลิตย่อยจากแปลงตัวอย่าง เลือกแปลง
 ตัวอย่างภายใต้การยินยอมของเกษตรกรเจ้าของแปลง ให้
 ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา (Figure 1) โดยเลือกแปลงทั้งในส่วนของ
 อ้อยโต และอ้อยปลูกใหม่ รวมถึงแปลงที่มีความสมบูรณ์ และ
 ไม่สมบูรณ์คละกัน พบว่าผลผลิตย่อยจากแปลงตัวอย่างมีค่า
 อยู่ระหว่าง 1.04 ถึง 12.53 กิโลกรัม เมื่อนำข้อมูลผลผลิตย่อย
 จากแปลงตัวอย่างมาสร้างกราฟการกระจาย โดยแบ่งน้ำหนัก
 ของผลผลิตย่อยเป็น 7 ช่วงค่า ช่วงค่าละ 2 กิโลกรัม พบว่า
 ส่วนใหญ่มีน้ำหนักระหว่าง 4 ถึง 6 กิโลกรัม จำนวน 29 แปลง
 (Figure 2) น้ำหนักระหว่าง 2 ถึง 4 กิโลกรัม จำนวน 27 แปลง
 และน้ำหนักระหว่าง 6 ถึง 8 กิโลกรัม จำนวน 25 แปลง

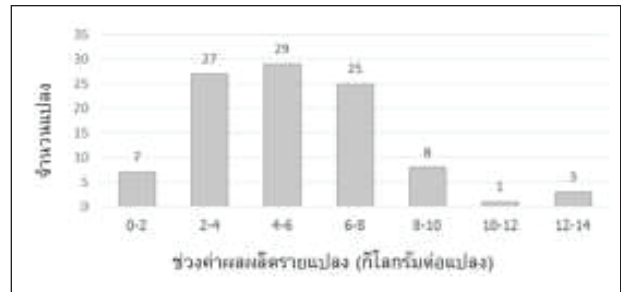


Figure 2 Frequency distribution of the sugarcane yield form Plot sampling

จากการสร้างสมการทำนายผลผลิตย่อย ด้วยดัชนีพืช
 พรณทั้ง 7 ดัชนี ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 พบ
 ว่าสมการที่ได้จากดัชนีพืชพรณ NDVI NRVI TVI IPVI และ
 SAVI ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุดเท่ากัน คือ 0.88
 (Table 1) รองลงมาคือสมการจากค่า RVI มีค่าสัมประสิทธิ์การ
 ตัดสินใจ เท่ากับ 0.85 และสมการจากค่า AVI มีค่าสัมประสิทธิ์
 การตัดสินใจต่ำที่สุดคือเท่ากับ 0.52 โดยดัชนีพืชพรณทั้ง 7
 ดัชนี สามารถทำนายผลผลิตย่อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่
 ระดับ 0.05

Table 1 Equation of sugarcane yield forecasting and coefficient of determination

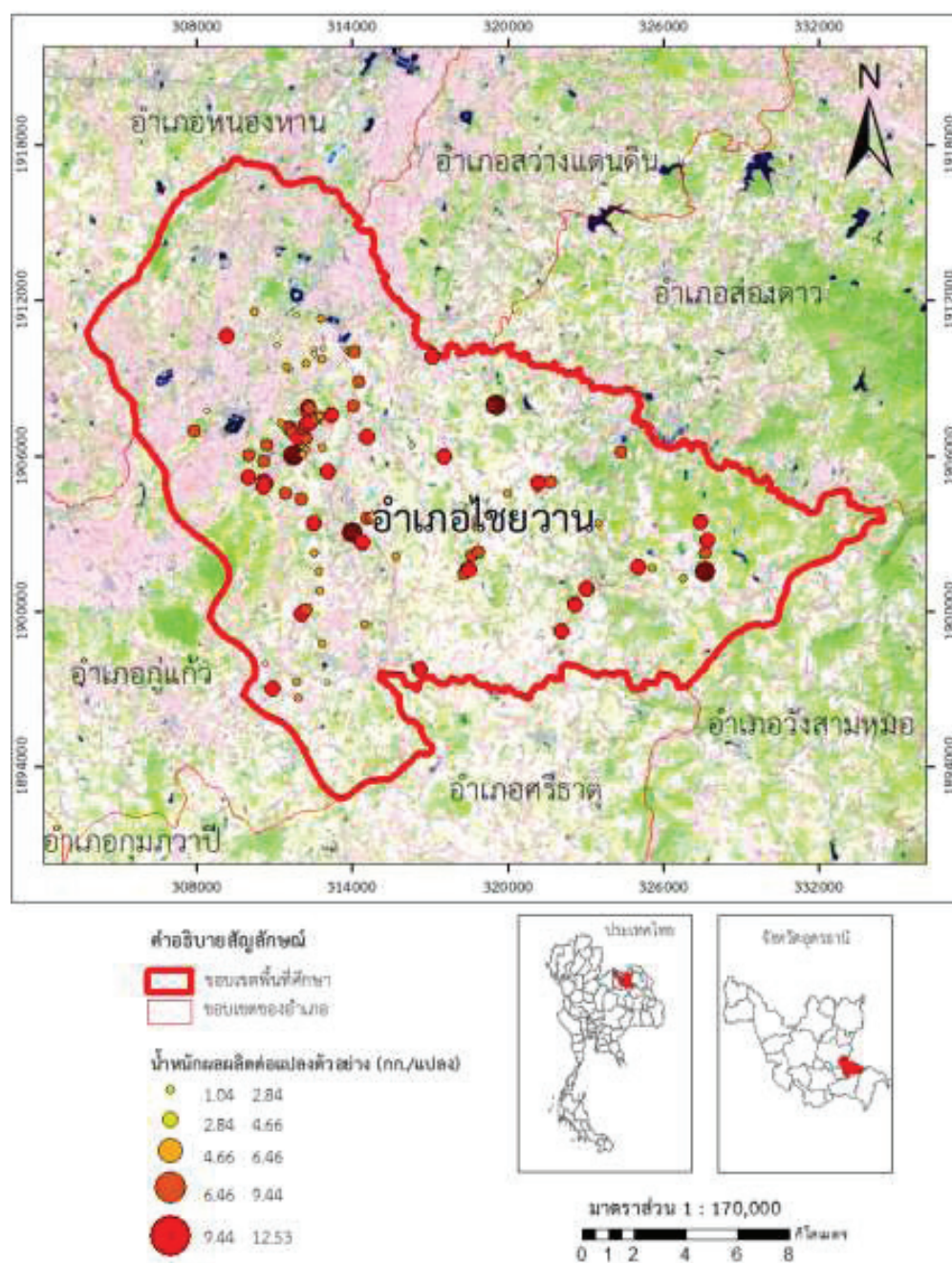
Vegetation Index	Prediction Equation	R ²
RVI	$y = 17.366 - 28.530x$	0.85
NDVI	$y = -7.021 + 29.998x$	0.88
NRVI	$y = -7.021 - 29.998x$	0.88
AVI	$y = -4.392 + 0.002x$	0.52
SAVI	$y = -7.021 + 19.999x$	0.88
TVI	$y = -22.020 + 59.997x$	0.88
IPVI	$y = -37.019 + 59.997x$	0.88

การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการทำนาย
 พบว่าสมการถดถอยจากดัชนีพืชพรณ RVI มีค่าความคลาด
 เคลื่อนต่ำที่สุด มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
 เท่ากับ 0.54 และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์

เฉลี่ยเท่ากับ 1.81 แต่ยังไม่ใกล้เคียงกับสมการถดถอยจาก
 ดัชนีพืชพรณ NDVI NRVI และ SAVI โดยมีค่ารากที่สอง
 ของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.55 และเปอร์เซ็นต์
 ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 1.82 (Table 2)

Table 2 Root mean square error and mean absolute percentage error

Vegetation Index	RMSE	MAPE
RVI	0.54	1.81
NDVI	0.55	1.82
NRVI	0.55	1.82
AVI	1.31	4.36
SAVI	0.55	1.82
TVI	2.75	9.16
IPVI	2.75	9.16

**Figure 1** Spatial distribution of Plot sampling

ดังนั้น จากผลการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงเลือกสมการถดถอยจากดัชนีพืชพรรณ NDVI เป็นสมการแนะนำในการทำนายผลผลิตอ้อย เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด และค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้ต่างจากสมการที่ได้จากค่า RVI มากนัก อีกทั้งยังเป็นสมการที่นิยมนำมาใช้ในการศึกษาด้านพืชพรรณ และเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย การคำนวณค่าดัชนีทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และโปรแกรมด้านการรับรู้ระยะไกลบางส่วนก็มีฟังก์ชันการคำนวณหรือมีสมการสำเร็จให้ใช้ได้

วิจารณ์และสรุปผล

จากการสร้างสมการเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อทำนายผลผลิตอ้อยโดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 7 ดัชนีเป็นตัวทำนาย ประกอบด้วยค่า NDVI RVI NRVI AVI SAVI TVI และ IPVI ค่าดัชนีพืชพรรณเหล่านี้คำนวณจากภาพถ่าย ดาวเทียม Sentinel-2 ร่วมกับข้อมูลผลผลิตอ้อยจากแปลงตัวอย่าง ผลจากการศึกษาพบว่าสมการถดถอยที่ใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI เป็นตัวทำนายคือ $y = -7.201 + 29.998x$ เป็นสมการถดถอยที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ทำนายผลผลิตอ้อยมากที่สุด เนื่องจากสมการนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด ถึงแม้ว่าจะไม่ให้ความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด แต่ก็ให้ค่าต่ำใกล้เคียงกับค่าต่ำที่สุด อีกทั้ง NDVI ยังเป็นดัชนีที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการศึกษาด้านพืชพรรณอย่างแพร่หลาย สอดคล้องกับงานวิจัยของรัตนพร กิจโป และรัศมี สุวรรณวีระกำจร (2556) พบว่าค่า NDVI ของพื้นที่ปลูกอ้อย ที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SMMS สามารถนำมาใช้สร้างสมการทำนายผลผลิตได้แม่นยำ อีกทั้งการนำไปใช้ในการทำนายผลผลิตของพืชชนิดอื่นก็ให้ความแม่นยำสูง โดย วรณัฐ สุทธชยานนท์ (2550) ได้ศึกษาการประมาณผลผลิตต่อไร่ของลำไย ด้วยสมการถดถอยอย่างง่าย จากดัชนี RVI NDVI PVI และ SAVI พบว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของค่า NDVI มีค่าสูงสุด คือ 0.848 หรือการคาดการณ์ผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปรังด้วยค่า NDVI ของ ภราดร กาญจนสุธรรม และคณะ (2557) พบว่า บริเวณที่มีค่า NDVI สูง ผลผลิตของข้าวนาปรังจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างสมการเพื่อทำนายผลผลิตทางการเกษตรของพืชชนิดอื่นๆ และองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อภาครัฐ เกษตรกร และผู้ที่เกี่ยวข้อง ในการนำค่าทำนายที่ได้ไปใช้ในการบริหารจัดการ วางแผนการเพาะปลูกที่เหมาะสมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุน และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2535). *พฤกษกรรมและรูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูกอ้อย*. <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/bib8326-อ้อย.pdf>.
- จิรวรรณ โนดโสง, ขวัญตรี แสงประชานารักษ์, Chanreaksa Chea, เจษฎา โพธิ์สม, เสรี วงศ์พิเชษฐ, ศุภสิทธิ์ คนใหญ่, มหิธร ว่องผาติ. (2562). การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI, Cired edge และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข. *แก่นเกษตร*, 47(4), 679-694.
- ภราดร กาญจนสุธรรม, นิพนธ์ ตั้งธรรม, เรืองโร โตกฤษณะ. (2557). การประมาณผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปรังด้วยข้อมูลดาวเทียม SMMS โดยใช้ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI): กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 22(1), 55-66.
- รัตนพร กิจโป และรัศมี สุวรรณวีระกำจร. (2556). การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมและเครื่องมือวัดค่าการสะท้อนแสงเพื่อตรวจวัดค่าดัชนีพืชพรรณ: กรณีศึกษาจังหวัดขอนแก่น. *การประชุมวิชาการด้านภูมิสารสนเทศสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและนักวิจัยรุ่นใหม่ ครั้งที่ 1* (หน้า 231-241). นครราชสีมา.
- วรณัฐ สุทธชยานนท์. (2550). *การประมาณเนื้อที่ยืนต้นและผลผลิตของลำไย โดยใช้ดัชนีพืชพรรณ กรณีศึกษา: ตำบลท่าวังตาล อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่* [ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา].
- วลดา เดชะพงศ์ธนา. (2559). *การตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิวของนาข้าวตามระยะการเจริญเติบโต โดยใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม กรณีศึกษา อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา* [ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา].
- วลัยพร ศะศิประภา, นริลักษณ์ วรรณสาย, สุภาพร ราจันที, และณิชา โปทอง. (2555). ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณผล ต่แบบนอร์แมลไลซ์กับผลผลิตมันสำปะหลังในจังหวัดกำแพงเพชร. *วารสารวิชาการเกษตร*, 30(3), 290-299.
- สมสิริ สวัสดิ์เฉลิม. (2550). *การประมาณผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปรัง จากการสะท้อนพลังงาน กรณีศึกษา จังหวัดสุพรรณบุรี* [ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ].

- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอุดรธานี. (2563). ข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอุดรธานี ประจำปีงบประมาณ ปี พ.ศ. 2563. <https://www.opsmoac.go.th/udonthani-home>.
- สำนักงานเกษตรอำเภอไชยวาน. (2562). ข้อมูลการเกษตรสถิติการปลูกพืช ปี 2562. <http://chaiwan.udonthani.doae.go.th/home1.html>.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2562). รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2561/2562. <http://www.ocsb.go.th/upload/-journal/fileupload/923-9040.pdf>.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2563). รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2562/2563. <http://www.ocsb.go.th/upload/-journal/fileupload/923-1854.pdf>.
- Ashburn, P. (1978). The vegetative index number and crop identification. In Lyndon, B., editor. *The LACIE Symposium, Proceedings of the Technical Session* (pp. 843-856). Houston
- Baret, F. & Guyot, G. (1991). Potential and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35, 161-173.
- Cheng, C.L., Shalabh, & Garg, G. (2014). Coefficient of determination for multiple measurement error models. *Journal of Multivariate Analysis*, 126, 137-152.
- Crippen, R.E. (1990). Calculating the vegetation index faster. *Journal Remote Sensing of Environment*, 34(1), 71-73.
- Deering, D.W., Rouse, J.W. Haas, R.H. & Schell, J.A. (1975). Measuring "Forage Production" of Grazing Units from Landsat MSS Data. *Proceedings of the 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment* (pp. 1169-1178).
- Huete, A.R. (1988). Soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295-309.
- Jordan, C.F. (1969). Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50, 663-666.
- Noureldin, N.A., Aboelghar, M.A., Saudy, H.S., & Ali, A.M. (2013). Rice yield forecasting models using satellite imagery in Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 16(1), 125-131.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. & Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In Stanley, C.F., Enrico P.M. & Margaret A.B. (eds). *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium- Volume I: Technical Presentations. NASA SP-351* (pp. 309-317). Washington, D.C.
- Xue, J. & Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*, 2017, 1-17.