

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ
ของพื้นที่นาข้าวในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต จากข้อมูลดาวเทียม
**The Relationships between Land Surface Temperature and NDVI
of Paddy Rice Areas in Stages of Growth from Satellite Data**

วลดา เดชะพงษ์ธนา, สุพรรณ กาญจนสุธรรม, แก้ว นวลฉวี และ นฤมล อินทรวีเชียร
Walada dechaphongthana, Supan Karnchanasutham, Kaew Nualchawee and
Narumon Intarawichian

คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
Faculty of Geoinformatics, Burapha University

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิว และค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI) ของพื้นที่นาข้าวจำนวน 4 ระยะการเจริญเติบโต ประกอบด้วย ระยะกล้า ระยะแตกกอ ระยะตั้งท้อง ระยะน้ำนมและข้าวสุก (ข้าวที่ปลูกตั้งแต่วันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึงวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557) พร้อมกับวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองนี้ ในพื้นที่อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 8 บันทึกภาพวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 จำนวนทั้งสิ้น 11 ช่วงคลื่น แต่ในงานวิจัยนี้นำมาใช้เพียง 4 ช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่น 1 สีแดง ช่วงคลื่น 2 อินฟราเรดใกล้ ช่วงคลื่น 3 อินฟราเรดความร้อน (ช่วงคลื่นที่ 10) และ ช่วงคลื่น 4 อินฟราเรดความร้อน (ช่วงคลื่นที่ 11) ที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตแล้ว พร้อมกับเก็บข้อมูลตัวอย่างพื้นที่นาข้าวแต่ละระยะการเจริญเติบโตในภาคสนาม ณ วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 จากนั้นนำข้อมูล 4 ช่วงคลื่นนี้มาผ่านกระบวนการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยหลักการ Split-Window และคำนวณค่า NDVI แล้วพบว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยของพื้นที่นาข้าวระยะที่ 1 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 32.62° เซลเซียส รองลงมาคือพื้นที่นาข้าวระยะที่ 2, 4 และ 3 มีค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเท่ากับ 31.23 , 30.93 และ 30.15° เซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่ค่า NDVI เฉลี่ยของพื้นที่นาข้าวระยะที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.76 รองลงมาคือพื้นที่นาข้าวระยะที่ 4, 2 และ 1 มีค่า NDVI เฉลี่ยเท่ากับ 0.69 , 0.68 และ 0.25 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิว กับค่า NDVI พบว่าความสัมพันธ์ในทิศทางลบหรือแปรผกผันกัน

คำสำคัญ : ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ; อุณหภูมิพื้นผิว; พื้นที่นาข้าว; ดาวเทียม Landsat 8;

Abstract

The purpose of this research was to estimate the Land Surface Temperature (LST), to estimated Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of paddy rice growing areas in 4 stages of growth :- Seeding Stage, Tillering Stage, Booting stage, Milky and Ripening stage

(growing from August 18, 2014 until November 17, 2014) and analysis relationship between the LST and with NDVI (of paddy rice area in 4 stages of growth) in Bang Nam Priao District, Chachoengsao Province from Landsat 8 data dated on November 17, 2014. There are 11 bands but in this research use 4 bands include Red band, NIR band, Thermal Infrared band 10 and 11 by improving geometric correction with survey samples in paddy rice area in 4 stages of growth dated on November 17, 2014. Then data of 4 bands into LST process by Split-Window Algorithm and NDVI process. The result is LST average of paddy rice area stage 1 highest as 32.62 °C then standing paddy rice area stage 2, 4 and 3 as LST averaged 31.23, 30.93 and 30.15 °C as sequence. While NDVI average of paddy rice area stage 3 highest as 0.76 then standing paddy rice area stage 4, 2 and 1 as NDVI averaged 0.69, 0.68 and 0.25 as sequence. When the regression analysis for correlation found that LST and NDVI show an inverse correlation relationship.

Keywords : normalized difference vegetation index; land surface temperature; paddy rice area; landsat 8;

1. บทนำ

จากคำกล่าวที่ว่า “ข้าวคือชีวิต” สะท้อนให้เห็นถึงวิถีชีวิตของคนไทยที่ผูกพันกับข้าวมาช้านาน โดยข้าวมิใช่เป็นเพียงอาหารหลักที่ใช้บริโภคภายในประเทศเท่านั้น แต่ข้าวยังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญที่นำรายได้เข้าประเทศอย่างสม่ำเสมออีกด้วย (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2556) โดยเฉพาะพื้นที่อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา ถือว่าเป็นแหล่งเพาะปลูกข้าวที่สำคัญอีกแห่งหนึ่ง เนื่องจากมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวมากถึงร้อยละ 90 ของพื้นที่ทำการเกษตรทั้งหมด (ที่ว่าการอำเภอบางน้ำเปรี้ยว, 2558) มีการปลูกข้าวตลอดทั้งปี ประกอบกับในปัจจุบันการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีส่วนหนึ่งของระบบภูมิสารสนเทศ (Geoinformatics) (ชูเดชโลศิริ, 2557) มีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลทางการเกษตร และด้านต่างๆ ดังเช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและคุณภาพของข้าว จากข้อมูลดาวเทียม MODIS ในประเทศ

ญี่ปุ่น พบว่าข้าวมีคุณภาพลดลงเมื่ออุณหภูมิพื้นผิวเพิ่มขึ้น และข้าวจะมีคุณภาพสูงที่สุดเมื่อค่า LST น้อยกว่า 307 K หรือ 33.9 ° เซลเซียส (Kimura et al., 2015) การศึกษาอุณหภูมิพื้นผิว และ NDVI ด้วยข้อมูลดาวเทียม MODIS ในประเทศอินเดีย เพื่อวิเคราะห์ความเครียดของพืชพรรณ (Vegetation Stress) ซึ่งเป็นประโยชน์ในการติดตามความแห้งแล้งทางการเกษตร และระบบเตือนภัยให้กับเกษตรกร โดยผลการศึกษาพบว่า LST มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า NDVI ค่า $r = -0.635$ ในปี ค.ศ. 2002 และ -0.586 ในปี ค.ศ. 2012 (Sruthi & Aslam, 2015) ซึ่งเหมือนกับ (Orhan et al., 2014) ที่มีการใช้ LST จากดาวเทียม Landsat 5 ทำการตรวจสอบหาการเปลี่ยนแปลงค่า LST โดยค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI, VCI, TVX) พร้อมกับการเก็บข้อมูลด้วยเทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรดความร้อนในภาคสนาม ประเมินผลกระทบจากความแห้งแล้งระหว่างปี ค.ศ. 1984 และปี ค.ศ. 2011 ในประเทศตุรกี พบว่าค่าจากการเก็บข้อมูลภาคสนามมีความสัมพันธ์

กับค่าที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม ($R^2 = 0.9$) การวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 พบว่าค่า LST ในรอบ 28 ปี มีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 2° เซลเซียส สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในอากาศที่เพิ่มขึ้น $1.5 - 2^\circ$ เซลเซียส ของช่วงเวลาเดียวกัน และศึกษาการประเมินความแห้งแล้งในพื้นที่อเมริกาเหนือ โดยใช้ NDVI และ LST ด้วยหลักการ Split-Window ซึ่งผลการวิจัยพบว่า LST และ NDVI มีความสัมพันธ์ที่เป็นลบ อย่างไรก็ตามเมื่อพลังงานคือปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืช (ในพื้นที่ที่สูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงต้นของฤดูเพาะปลูก) พบว่ามีค่าความสัมพันธ์เป็นบวกระหว่าง LST กับ NDVI (Karnieli et al., 2010) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง LST กับ NDVI ของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้วยข้อมูลดาวเทียม Landsat 7 ETM+ และภาพถ่ายทางอากาศ ในสาธารณรัฐประชาชนจีน พบว่าค่า LST กับค่า NDVI มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันจากรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินทุกประเภท และหากแยกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินแล้ว ความสัมพันธ์ก็จะแตกต่างออกไปในรูปแบบของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Yue et al., 2007)

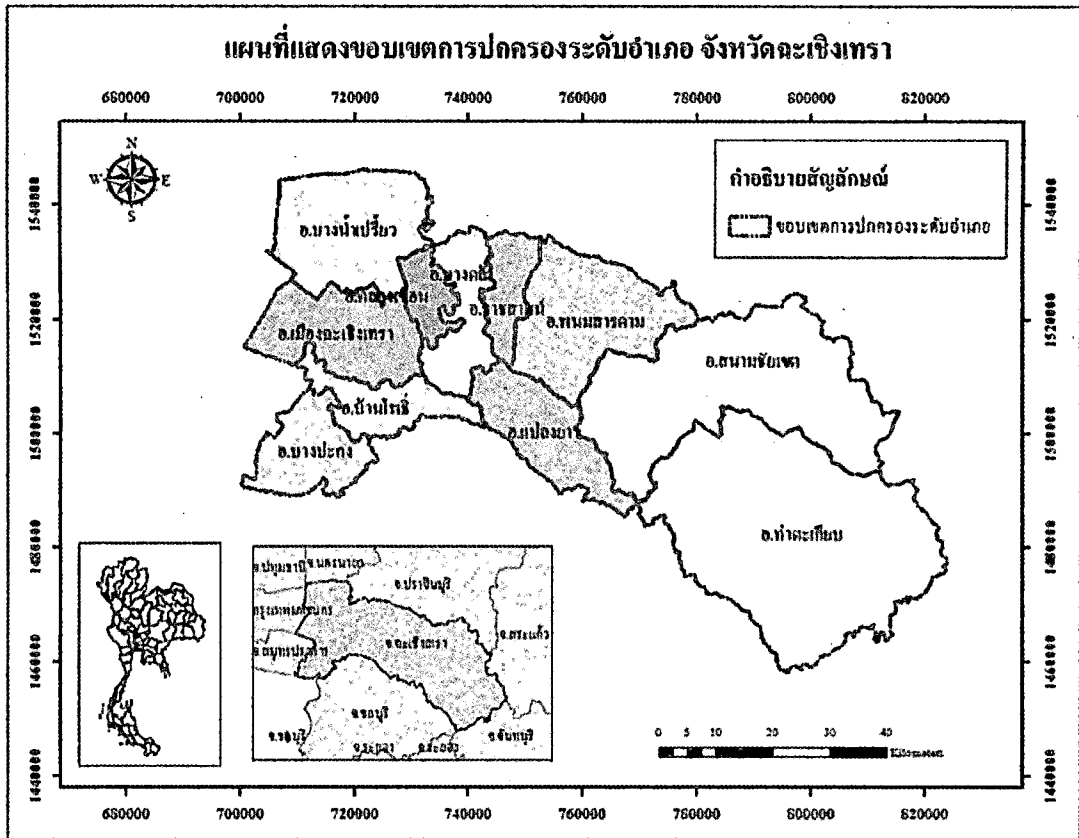
และเนื่องจากมีสมการเพื่อหาค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้วยกันหลายสมการ เช่น Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm, Single Channel Algorithm (Yu et al., 2014) โดยบางสมการจะทำการคำนวณด้วยช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนเพียง 1 ช่วงคลื่น แต่เนื่องด้วยปัจจุบันข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 มีช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน จำนวน 2 ช่วงคลื่น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้หลักการ Split-window ที่นำ 2 ช่วงคลื่นมาคำนวณร่วมกันในสมการเพื่อหาอุณหภูมิพื้นผิว (Rajeshwari & Mani, 2014) และหาค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณของพื้นที่

นาข้าว 4 ระยะการเจริญเติบโต พร้อมกับหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิว และค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณของพื้นที่นาข้าว 4 ระยะการเจริญเติบโตของอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา ด้วยข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 โดยสามารถนำรูปแบบการคำนวณ รวมถึงค่าของอุณหภูมิพื้นผิว ค่าดัชนีพืชพรรณของพื้นที่นาข้าว 4 ระยะการเจริญเติบโตนี้ไปเปรียบเทียบกับความแตกต่างของค่าอุณหภูมิพื้นผิวเมื่อข้าวเกิดโรค หรือนำไปติดตามความแห้งแล้งในพื้นที่ได้ต่อไป

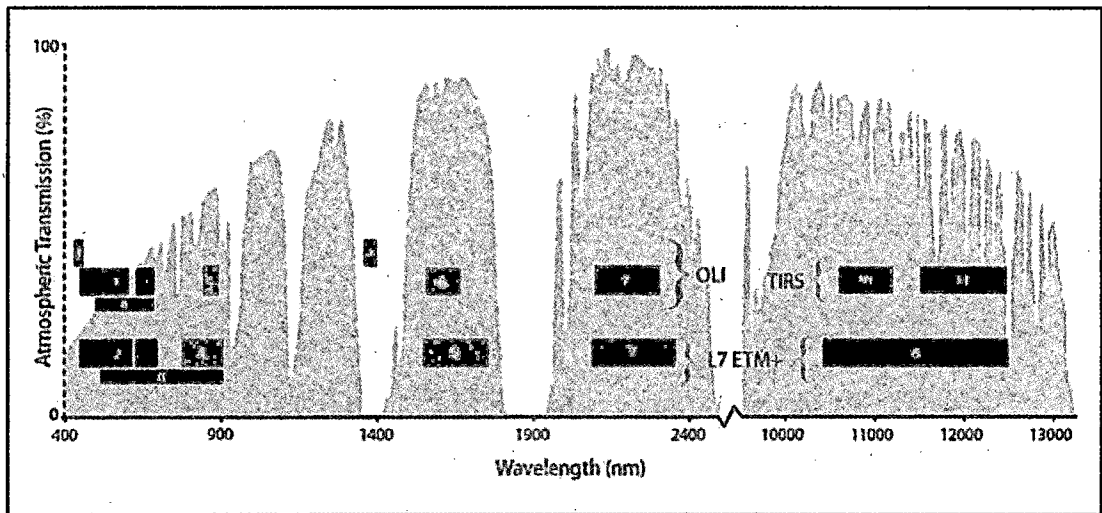
2. ข้อมูลและวิธีการ

2.1 พื้นที่ศึกษา

อำเภอบางน้ำเปรี้ยว (ภาพที่ 1) เป็นอำเภอหนึ่งของจังหวัดฉะเชิงเทรา ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือสุดของจังหวัด (วิกิพีเดีย, 2559) บริเวณระบบพิกัดกริด UTM หมุดหลักฐานอ้างอิง WGS 1984 โซน 47 1531782N 721929E (GeoHack, 2559) มีพื้นที่ 498.659 ตารางกิโลเมตร หรือ 311,661.875 ไร่ อยู่ห่างจากจังหวัด 19 กิโลเมตร และห่างจากกรุงเทพมหานคร 70 กิโลเมตร สภาพพื้นที่เป็นที่ราบลุ่มมีความสูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1-9 เมตร พื้นที่ทั้งหมดตั้งอยู่ในเขตชลประทาน มีแม่น้ำและลำคลองไหลผ่านหลายสาย เช่น แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำนครนายก คลองแสนแสบ และคลองบางขนาก ประกอบด้วยพื้นดินมีความอุดมสมบูรณ์ เหมาะแก่การทำเกษตรกรรม จึงทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่มีอาชีพทำนา (ที่อำเภอบางน้ำเปรี้ยว, 2558) โดยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าว 90% ของพื้นที่การเกษตรทั้งหมด มีการทำนาตลอดทั้งปีและไม่พร้อมกัน ดังนั้นพื้นที่นี้จึงมีความเหมาะสมในการเลือกเป็นพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงขอบเขตการปกครองระดับอำเภอ จังหวัดฉะเชิงเทรา



ภาพที่ 2 ช่วงคลื่น และความยาวคลื่นข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 7 และ Landsat 8 (Geographic Information Systems, 2015)

2.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

2.2.1 ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 Path-129 Row-50 ครอบคลุมพื้นที่อำเภอ บางน้ำเปรี้ยว ที่ผ่านการปรับแก้เชิงเรขาคณิตแล้ว ประกอบด้วย 11 ช่วงคลื่น (Geographic Information Systems, 2015) แต่นำมาใช้เพียง 4 ช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่นสีแดง (ช่วงคลื่นที่ 4) มีความยาวคลื่น 636 - 673 นาโนเมตร (nm) รายละเอียดภาพ 30 เมตร, ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (ช่วงคลื่นที่ 5) มีความยาวคลื่น 851 - 879 nm รายละเอียดภาพ 30 เมตร, ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน 1 (ช่วงคลื่นที่ 10) มีความยาวคลื่น 10600 - 11190 nm รายละเอียดภาพ 100 เมตร และช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน 2 (ช่วงคลื่นที่ 11) มีความยาวคลื่น 11500 - 12510 nm รายละเอียดภาพ 100 เมตร (ภาพที่ 2)

2.2.2 การวางแผนทดสอบ เนื่องจากพื้นที่อำเภอ บางน้ำเปรี้ยว อยู่ในเขตพื้นที่ชลประทาน จึงทำให้เกษตรกรสามารถเพาะปลูกข้าวได้เกือบตลอดทั้งปี ส่งผลให้มีช่วงเวลาปลูกข้าวไม่พร้อมกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้รับคำแนะนำจากเจ้าหน้าที่เกษตรอำเภอ บางน้ำเปรี้ยว และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยข้าวจะเขียงเทรา ทำการคัดเลือกตัวอย่างเกษตรกรจำนวน 22 ราย ที่เพาะปลูกข้าวด้วยวิธีนาหว่าน ตั้งแต่วันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึงวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 ใน 4 ช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต (ภาพที่ 3) และมีเนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 3 - 30 ไร่/ตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทนในการเก็บข้อมูลการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่อำเภอ บางน้ำเปรี้ยว จังหวัดจะเขียงเทรา ดังนี้

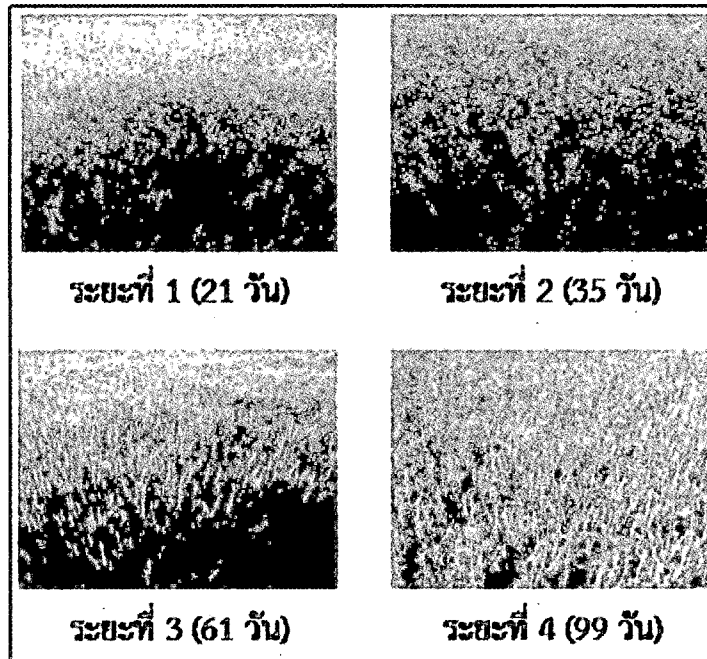
- พื้นที่เพาะปลูกข้าวระยะที่ 1 ระยะกล้า หมายถึง ข้าวที่ปลูกตั้งแต่วันที่ 23 ตุลาคม พ.ศ. 2557 ถึง วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 (ข้าวอายุ 0 - 25 วัน) เป็นช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น โดยลำต้นจะมีความสูงประมาณ 10 - 30

เซนติเมตร ระดับน้ำขังประมาณ 3 - 10 เซนติเมตร ลักษณะลำต้นในช่วงระยะนี้ยังมีขนาดเล็ก ทำให้มองเห็นพื้นดิน และน้ำที่ขังอยู่ในแปลงนา

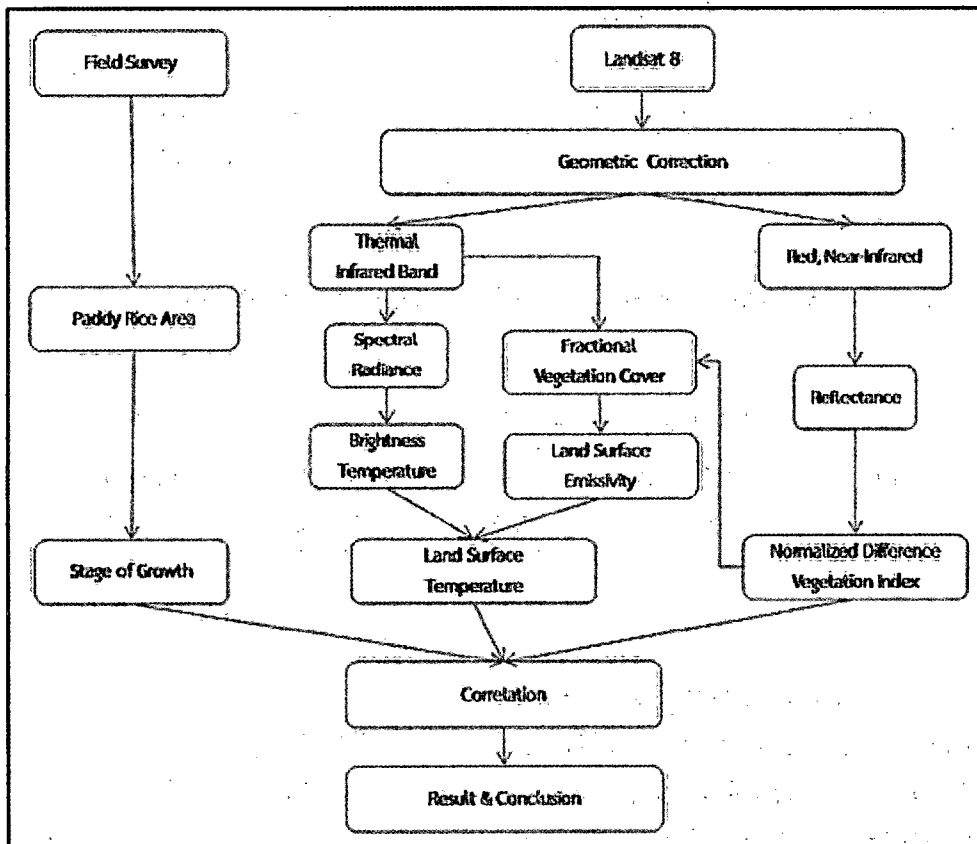
- พื้นที่เพาะปลูกข้าวระยะที่ 2 ระยะแตกกอ หมายถึง ข้าวที่ปลูกตั้งแต่วันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2557 ถึงวันที่ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2557 (ข้าวอายุ 26-60 วัน) ซึ่งเป็นช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น โดยลำต้นจะมีความสูงประมาณ 30 - 60 เซนติเมตร ระดับน้ำขังประมาณ 7 - 10 เซนติเมตร หรือบางครั้งจะพบพื้นดินเปียก เนื่องจากมีการนำน้ำออกจากแปลงนาในช่วงอายุ 55 วัน ลักษณะพื้นที่ที่จะเห็นต้นข้าวที่มีขนาดสูงขึ้น แต่ยังไม่ปกคลุมดินทั้งหมด จึงทำให้มองเห็นพื้นดินและน้ำขังอยู่บางส่วน

- พื้นที่เพาะปลูกข้าวระยะที่ 3 ระยะตั้งท้อง หมายถึง ข้าวที่ปลูกตั้งแต่วันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึง วันที่ 17 กันยายน พ.ศ. 2557 (ข้าวอายุ 61-90 วัน) ซึ่งเป็นช่วงการเจริญเติบโตทางสปีพันธุ โดยลำต้นจะมีความสูงประมาณ 60 - 90 เซนติเมตร ระดับน้ำขังประมาณ 10 เซนติเมตร หรือบางครั้งจะพบพื้นดินเปียก ลักษณะพื้นที่ของข้าวระยะนี้จะมียอดที่สูงมากปกคลุมพื้นดินทั้งหมด ต้นข้าวเป็นสีเขียวเข้ม ไม่สามารถเห็นพื้นดินและน้ำที่ขังอยู่ได้

- พื้นที่เพาะปลูกข้าวระยะที่ 4 ระยะน่านมและข้าวสุก หมายถึง ข้าวที่ปลูกตั้งแต่วันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2557 ถึงวันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (ข้าวอายุ 91-120 วัน) ซึ่งเป็นช่วงการเจริญเติบโตทางสปีพันธุ โดยลำต้นจะมีความสูงประมาณ 90 - 120 เซนติเมตร ระดับน้ำขังประมาณ 10 เซนติเมตร จนถึงพื้นดินเปียก หรือบางครั้งจะพบพื้นดินแห้ง เนื่องจากถึงช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแล้ว ลักษณะพื้นที่ของข้าวระยะนี้จะมียอดที่สูงมากที่สุดปกคลุมพื้นดินทั้งหมด มียอดข้าวที่โน้มเอียง และรวงข้าวเป็นสีเหลืองทอง



ภาพที่ 3 ระยะการเจริญเติบโตของพื้นที่เพาะปลูกข้าว



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่าง LST และ NDVI ของพื้นที่นาข้าวในแต่ละการเจริญเติบโต

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล สามารถแสดง รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ (ภาพที่ 4) ดังนี้

2.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม เพื่อบันทึกพิกัดจุดตัวอย่างด้วยเครื่องกำหนด ตำแหน่งบนโลก GPS ยี่ห้อ Garmin รุ่น eTrex, ข้อมูลการเพาะปลูก ความสูงของต้นข้าว ระดับน้ำ ในนาข้าว และจำแนกระยะการเจริญเติบโตของข้าว ณ วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 ทั้ง 4 ระยะ การเจริญเติบโต ได้แก่ ระยะที่ 1 ระยะกล้า (ข้าว อายุ 0-25 วัน), ระยะที่ 2 ระยะแตกกอ (ข้าวอายุ 26-60 วัน), ระยะที่ 3 ระยะตั้งท้อง (ข้าวอายุ 61-90 วัน) และระยะที่ 4 ระยะน้ำนมและข้าวสุก (ข้าวอายุ 91-120 วัน) (สำนักส่งเสริมการผลิตข้าว, 2551) ระยะละ 25 ตัวอย่าง รวม 100 ตัวอย่าง

2.3.2 การคำนวณค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) และค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI) ของอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา จาก ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 จำนวน 4 ช่วงคลื่น ด้วยหลักการ Split-Window มีขั้นตอน ดังนี้

1) การประมาณค่าการแผ่รังสีเชิง

คลื่น (Top of Atmosphere Spectral Radiance) โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 ช่วงคลื่น อินฟราเรดความร้อน (ช่วงคลื่นที่ 10 และ 11) มา แปลงค่าจากตัวเลขดิจิทัล (Digital Number) เป็น ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น ด้วยสูตรการคำนวณที่ 1 (USGS, 2015) และค่าคงที่ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ดังตารางที่ 1 ดังนี้

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \tag{1}$$

โดยที่ L_λ = ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น (Top of Atmosphere Spectral Radiance) มีหน่วยเป็น (Watts / (m² * srad * μm))

M_L = ค่าการคูณสำหรับการแปลงค่าเฉพาะแบนด์ นั้น จากข้อมูลที่ให้มา (RADIANCE_MULT_BAND_X , โดยที่ X คือ จำนวนแบนด์)

A_L = ค่าการเพิ่มสำหรับการแปลงค่าเฉพาะแบนด์ นั้น จากข้อมูลที่ให้มา (RADIANCE_ADD_BAND_X , โดยที่ X คือ จำนวนแบนด์)

Q_{cal} = ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ (Digital Number)

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ Metadata สำหรับข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 (ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน)

Band	Radiance		K ₁	K ₂
	Mult_band	Add_band		
10	0.0003342	0.1	774.89	1321.08
11	0.0003342	0.1	480.89	1201.14

2) การประมาณค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Brightness Temperature) จากค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น ด้วยสูตรการคำนวณที่ 2 และค่าคงที่ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ดังตารางที่ 1 ดังนี้

$$TB = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273.15 \tag{2}$$

โดยที่

TB = ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสีเชิงคลื่น โดยปกติแล้วจะมีหน่วยเป็นเคลวิน แต่เนื่องจากในสมการมีการแปลงหน่วยแล้ว จึงทำให้มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

L_{λ} = ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น (TOA Spectral radiance) มีหน่วยเป็น (Watts / (m² * srad * μ m))

K_1 = ค่าคงที่ในการแปลงของช่วงคลื่นอินฟราเรด ความร้อนจากข้อมูลที่ให้มา ($K1_CONSTANT_BAND_x$ โดยที่ x คือ ช่วงคลื่นที่ 10 หรือ 11)

K_2 = ค่าคงที่ในการแปลงของช่วงคลื่นอินฟราเรด ความร้อนจากข้อมูลที่ให้มา ($K2_CONSTANT_BAND_x$ โดยที่ x คือ ช่วงคลื่นที่ 10 หรือ 11)

$MULT_BAND_X$, โดยที่ X คือ จำนวน ช่วงคลื่น)

A_p = ค่าการเพิ่มสำหรับการแปลงค่าเฉพาะช่วงคลื่น นั้น จากข้อมูลที่ให้มา (REFLECTANCE_ADD_BAND_X , โดยที่ X คือ จำนวน ช่วงคลื่น)

Q_{cal} = ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ (Digital Number)

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ Metadata สำหรับข้อมูล ดาวเทียม Landsat 8 ช่วงคลื่นที่ 4 และ 5

Band	Reflectance	
	Mult_band	Add_band
4 (RED)	0.00002	-0.1
5 (NIR)	0.00002	0.1

3) การประมาณค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI) โดยใช้ ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 ช่วงคลื่นที่ 4 และ 5 ซึ่งทั้ง 2 ช่วงคลื่น นี้จะถูกนำค่าจากตัวเลขดิจิทัล (Digital Number) มาแปลงเป็นค่าการสะท้อน (Reflectance) ที่ผ่านการปรับแก้ด้วยมุมของความสูงดวงอาทิตย์ (Sun Elevation) ด้วยสูตรการคำนวณที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ (USGS, 2015) พร้อมค่าคงที่ของ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ดังตารางที่ 2 โดย ค่า NDVI ที่ได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 ดังนี้

$$P\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p \quad (3)$$

โดยที่

$P\lambda'$ = ค่าการสะท้อนรังสี (TOA Planetary Reflectance) โดยที่ค่านี้อย่างไม่ได้ถูกปรับแก้ ด้วยมุมของดวงอาทิตย์

M_p = ค่าการคูณสำหรับการแปลงค่าเฉพาะช่วงคลื่น นั้น จากข้อมูลที่ให้มา (REFLECTANCE_

$$P\lambda = \frac{P\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{P\lambda'}{\cos(\theta_{SE})} \quad (4)$$

โดยที่

$P\lambda$ = ค่าการสะท้อนรังสี (TOA Planetary Reflectance)

θ_{SE} = ค่ามุมของความสูงดวงอาทิตย์ จากข้อมูล Metadata (SUN_ELEVATION)

$\theta_{SZ} = 90^{\circ} - \theta_{SE}$

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (5)$$

4) การประมาณค่า Fractional Vegetation Cover (FVC) จากค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI) ด้วยสูตรการคำนวณที่ 6 ดังนี้

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI(SOIL)}{NVDI(VEGETATION) - NDVI(SOIL)} \quad (6)$$

โดยที่

$NDVI(SOIL)$ = ค่าต่ำที่สุดของ NDVI
 $NVDI(VEGETATION)$ = ค่าสูงที่สุดของ NDVI

5) การประมาณค่า Land Surface Emissivity (LSE) จากค่า FVC ด้วยสูตรการคำนวณที่ 7 และค่าคงที่ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ดังตารางที่ 3 ดังนี้

$$LSE = \epsilon_s * (1 - FVC) + \epsilon_v * FVC \quad (7)$$

โดยที่

ϵ_s = Emissivity for soil
 ϵ_v = Emissivity for vegetation

ตารางที่ 3 ค่าการเปล่งรังสี (Emissivity) ของช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนที่ 10 และ 11

Emissivity	Band 10	Band 11
ϵ_s	0.971	0.977
ϵ_v	0.987	0.989

6) การประมาณค่าเฉลี่ยและค่าผลต่างของ LSE ด้วยสูตรการคำนวณที่ 8 และ 9 ดังนี้

$$m = \frac{LSE_{10} + LSE_{11}}{2} \quad (8)$$

$$\Delta m = LSE_{10} - LSE_{11} \quad (9)$$

7) การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้วยหลักการ Split-Window (Rajeshwari & Mani, 2014) จากค่าคำนวณที่ได้จากข้อ 1-6 นำมาเข้าสู่สูตรการคำนวณที่ 10 พร้อมกับค่าคงที่ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ดังตารางที่ 4 ดังนี้

$$LST = TB_{10} + C_1(TB_{10} - TB_{11}) + C_2(TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4 W)(1 - m) + (C_5 + C_6 W)\Delta m \quad (10)$$

โดยที่

TB_{10}, TB_{11} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Brightness Temperature) ของช่วงคลื่นที่ 10 และ 11

$C_0 - C_6$ = ค่าคงที่สำหรับหลักการ Split-Window

W = ค่าคงที่ไอน้ำในชั้นบรรยากาศ (Latif, 2014) (Atmospheric water-vapour content)

m = ค่าเฉลี่ยของ LSE

Δm = ผลต่างของค่า LSE

LSE = ค่า Land Surface Emissivity

8) ทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิพื้นผิวและค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ ตามพิกัดที่ได้ทำการเก็บข้อมูลระยะการเจริญเติบโตของพื้นที่นาข้าวไว้แล้วจำนวน 10 ตัวอย่าง แล้วทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ ตามระยะการเจริญเติบโตของพื้นที่นาข้าว

ตารางที่ 4 ค่าคงที่สำหรับสูตรการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิว หลักการ Split-Window

ค่าคงที่	ค่าของค่าคงที่
C_0	-0.268
C_1	1.378
C_2	0.183
C_3	54.300
C_4	-2.238
C_5	-129.200
C_6	16.400

3. ผลการวิจัย และอภิปราย

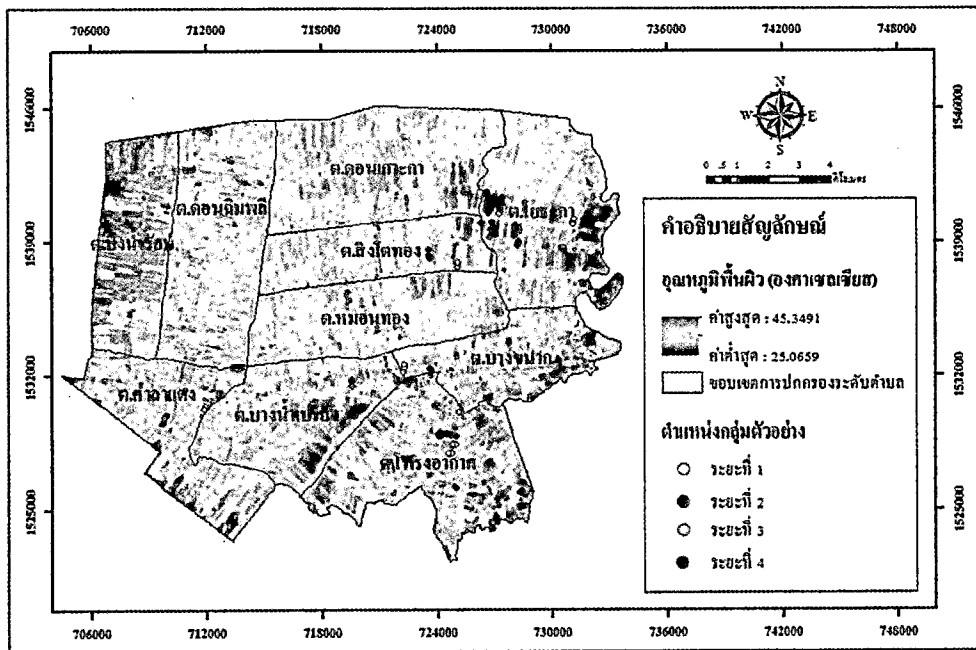
3.1 ผลการตรวจวัดค่าอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่นาข้าว 4 ระยะการเจริญเติบโต ด้วยหลักการ Split-Window ของอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา

พบว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวของอำเภอบางน้ำเปรี้ยวมีค่าอยู่ระหว่าง 25.07 ถึง 45.35 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 5 จึงได้ทำการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิพื้นผิวตามจุดตัวอย่าง จำนวน 100 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่นาข้าวอยู่ระหว่าง 29.46 ถึง 34.88 มีค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย 31.23° เซลเซียส ซึ่งหากแบ่งตามระยะการเจริญเติบโตแล้ว พบว่าพื้นที่นาข้าวระยะที่ 1 มีค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 32.62° เซลเซียส ถัดมาคือพื้นที่นาข้าวระยะที่ 2 เท่ากับ 31.23° เซลเซียส พื้นที่นาข้าวระยะที่ 4 เท่ากับ 30.93° เซลเซียส และพื้นที่นาข้าวระยะที่ 3 มีค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 30.15° เซลเซียส ดังตารางที่ 5 และ

ภาพที่ 6 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ที่พบว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT TM แปรผันไปตามลักษณะ และคุณสมบัติของพื้นที่ที่ปกคลุมด้วย โดยพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมหนาแน่น และมีความชื้นของเรือนยอดมาก จะส่งผลให้มีค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่ต่ำกว่าบริเวณที่มีพืชปกคลุมเบาบาง และมีความชื้นของเรือนยอดน้อยด้วย

ตารางที่ 5 ค่าอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่นาข้าว 4 ระยะการเจริญเติบโต ณ วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557

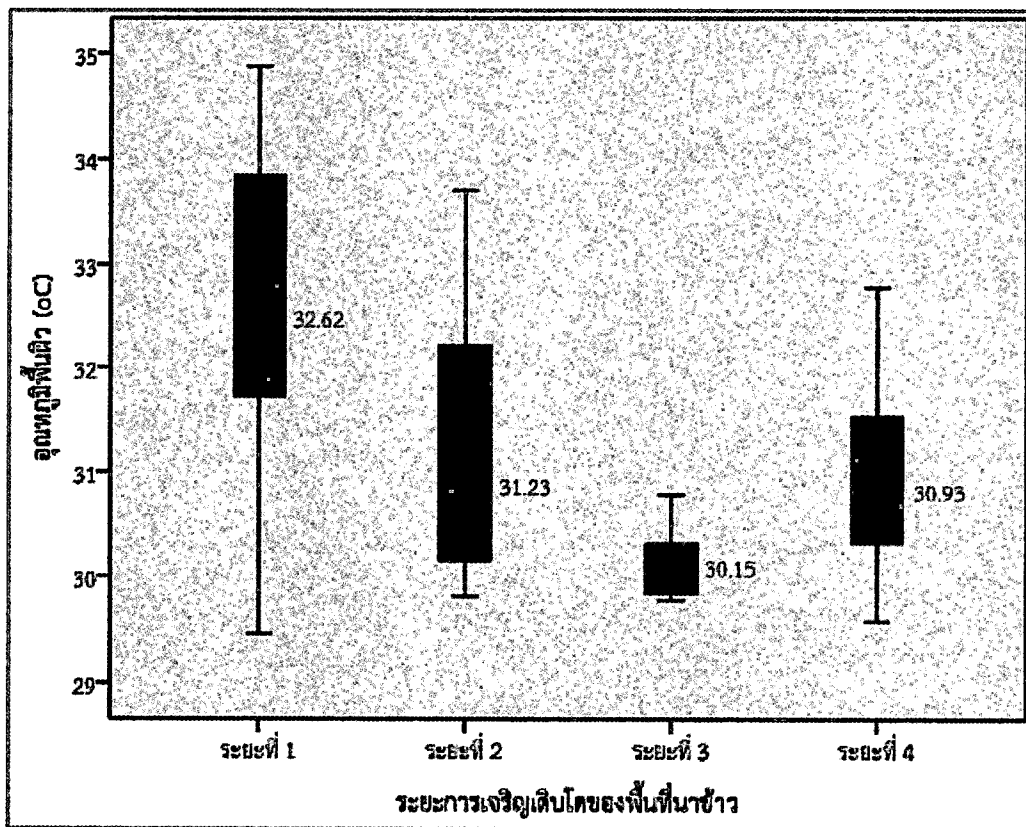
Stage	LST (°C)		
	Min	Max	Avg
ระยะที่ 1	29.46	34.88	32.62
ระยะที่ 2	29.82	33.70	31.23
ระยะที่ 3	29.76	30.78	30.15
ระยะที่ 4	29.58	32.78	30.93



ภาพที่ 5 แผนที่แสดงอุณหภูมิพื้นผิว บันทึกข้อมูล วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา

จากตารางที่ 5 พบว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่ได้ ทำจากการวิเคราะห์ผลของข้อมูลนั้น พื้นที่นาข้าว ระยะที่ 1 (ระยะกล้า) มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 32.62 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระยะการเจริญเติบโตที่มีน้ำขังอยู่ในนาข้าวเป็นจำนวนมาก และต้นข้าวยังมีขนาดเล็ก ส่งผลให้ปริมาณพืชปกคลุมน้อย จึงทำให้มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือพื้นที่นาข้าวระยะที่ 2 (ระยะแตกกอ) มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเท่ากับ 31.23 องศาเซลเซียส ระยะนี้ต้นข้าวเจริญเติบโตขึ้นกว่าระยะที่ 1 จึงเป็น ระยะการเจริญเติบโตที่มีปริมาณพืชปกคลุมพื้นดิน บางส่วน ยังไม่ครอบคลุมทั้งหมด และมีน้ำขังใน พื้นที่นาข้าวด้วย ทำให้มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย

ต่ำกว่าระยะที่ 1 และถัดมาเป็นพื้นที่นาข้าวระยะ ที่ 4 (ระยะน้ำนมและข้าวสุก) มีอุณหภูมิพื้นผิว เฉลี่ยเท่ากับ 30.93 องศาเซลเซียส เป็นระยะข้าว สุกใกล้เก็บเกี่ยว ความเข้มของเรือนยอดจึงมีสีเหลือง หรือเขียวอ่อน และมีปริมาณพืชปกคลุมทั่วทั้งแปลง จึงมีอุณหภูมิพื้นผิวสูงกว่าพื้นที่นาข้าวที่เป็นสีเขียว ทั่วบริเวณ ส่วนพื้นที่นาข้าวระยะที่ 3 (ระยะตั้งท้อง) มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 28.03 องศา เซลเซียส เนื่องจากระยะการเจริญเติบโตนี้มี ปริมาณพืชปกคลุมพื้นดินหนาแน่นทั้งแปลง และ มีความเข้มของเรือนยอดเป็นสีเขียว จึงส่งผลให้มี ค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยต่ำที่สุด

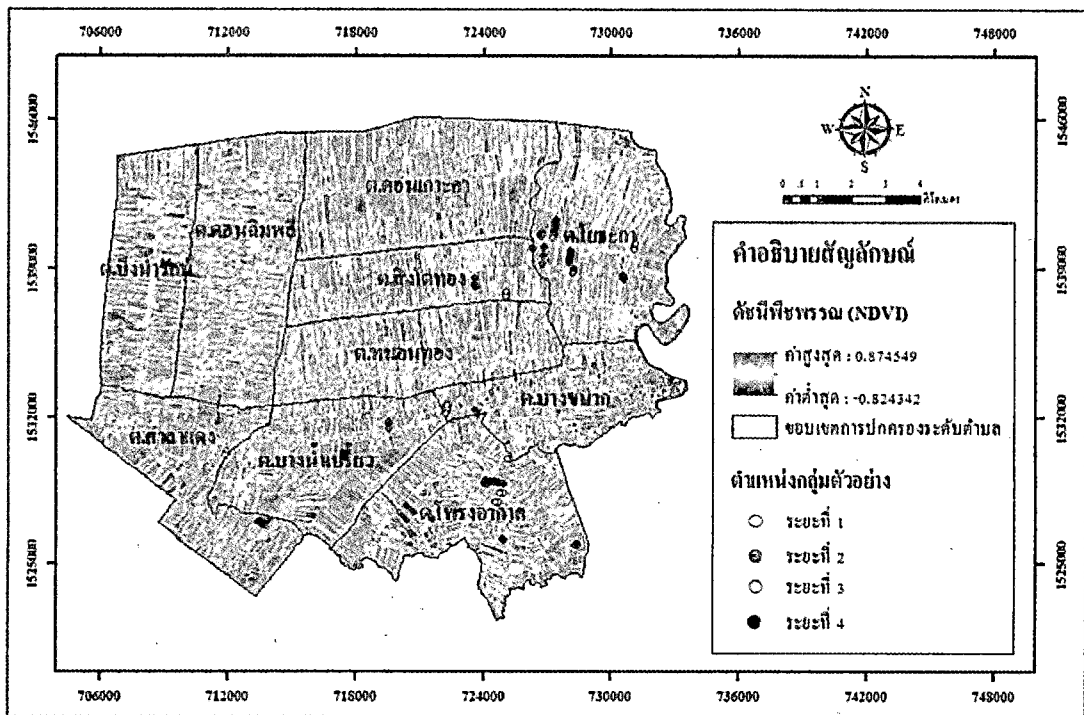


ภาพที่ 6 กราฟแสดงอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่นาข้าว 4 ระยะการเจริญเติบโต อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา

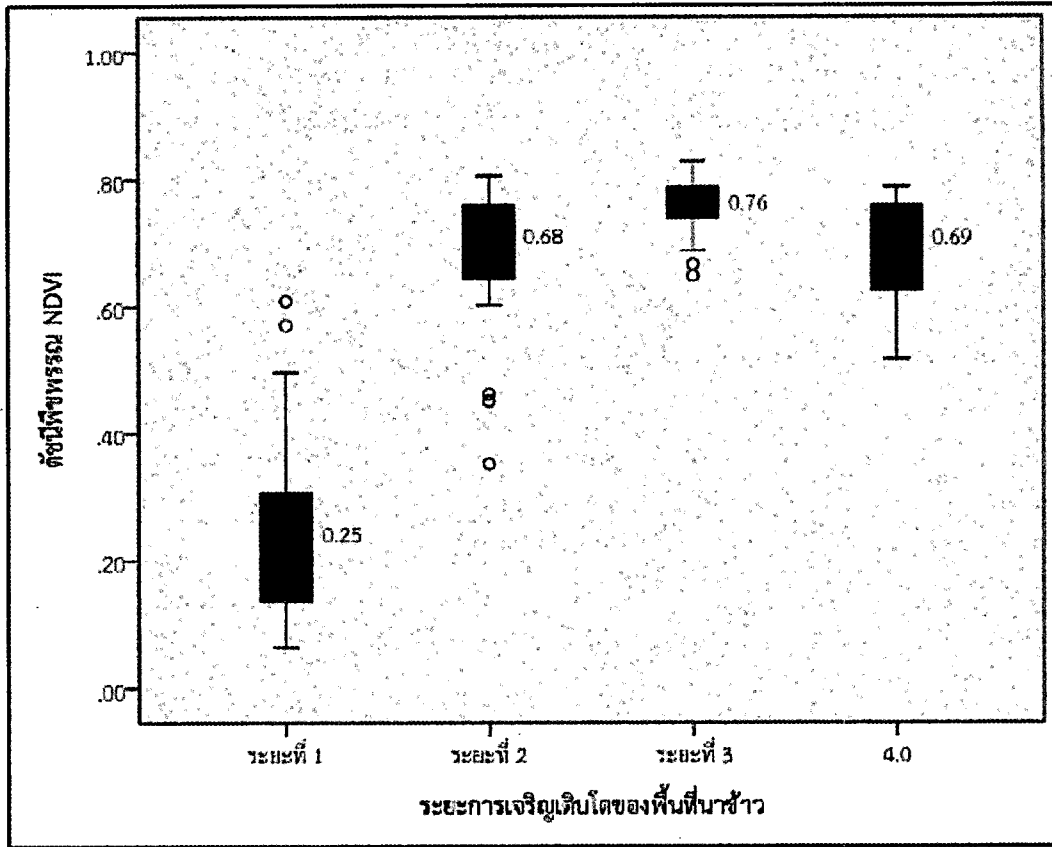
3.2 ผลการตรวจวัดค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI) ของพื้นที่นาข้าว 4 ระยะการเจริญเติบโต ของอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา

พบว่าค่า NDVI ของอำเภอบางน้ำเปรี้ยวมีค่าอยู่ระหว่าง -0.82 ถึง 0.87 ดังภาพที่ 7 จึงได้ทำการวิเคราะห์หาค่า NDVI ตามจุดตัวอย่าง จำนวน 100 ตัวอย่าง พบว่ามีค่า NDVI เฉลี่ย 0.59 ซึ่งหากแบ่งตามระยะการเจริญเติบโตแล้ว พบว่า พื้นที่นาข้าวระยะที่ 3 มีค่า NDVI เฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.76 ถัดมาคือพื้นที่นาข้าวระยะที่ 4 เท่ากับ 0.69 พื้นที่นาข้าวระยะที่ 2 เท่ากับ 0.68 และพื้นที่นาข้าวระยะ

ที่ 1 เท่ากับ 0.25 ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 8 ซึ่งผลการวิจัยสอดคล้องกับงานวิจัย ที่นำข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม SMMS มาคำนวณหาค่า NDVI พร้อมกับนำผลลัพธ์เปรียบเทียบกับข้อมูลสำรวจภาคพื้นดินติดตามการเจริญเติบโตของพื้นที่ปลูกข้าวนาปรัง พบว่าเมื่อข้าวอายุ 30 วัน (วันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2554), 60 วัน (วันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2555), 90 วัน (วันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555) และ 120 วัน (วันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2555) ได้ค่า NDVI เฉลี่ย เท่ากับ 0.3286, 0.4041, 0.4734 และ 0.4565 ตามลำดับ



ภาพที่ 7 แผนที่แสดงค่า NDVI อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557



ภาพที่ 8 กราฟแสดงค่า NDVI ของพื้นที่นาข้าว 4 ระยะการเจริญเติบโต อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัด ฉะเชิงเทรา

ตารางที่ 6 ค่า NDVI ของพื้นที่นาข้าว 4 ระยะการเจริญเติบโต ณ วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557

Stage	NDVI		
	Min	Max	Avg
ระยะที่ 1	0.06	0.61	0.25
ระยะที่ 2	0.35	0.81	0.68
ระยะที่ 3	0.65	0.83	0.76
ระยะที่ 4	0.52	0.79	0.69

3.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI) ของพื้นที่นาข้าว 4 ระยะการเจริญเติบโต

โดยนำค่าเฉลี่ยของทั้งอุณหภูมิพื้นผิว กับค่า NDVI จำนวน 100 ตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) (ศรุติพงษ์ ภูวิชรวรานนท์, 2559) พบว่าอุณหภูมิพื้นผิว กับค่า NDVI มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.769

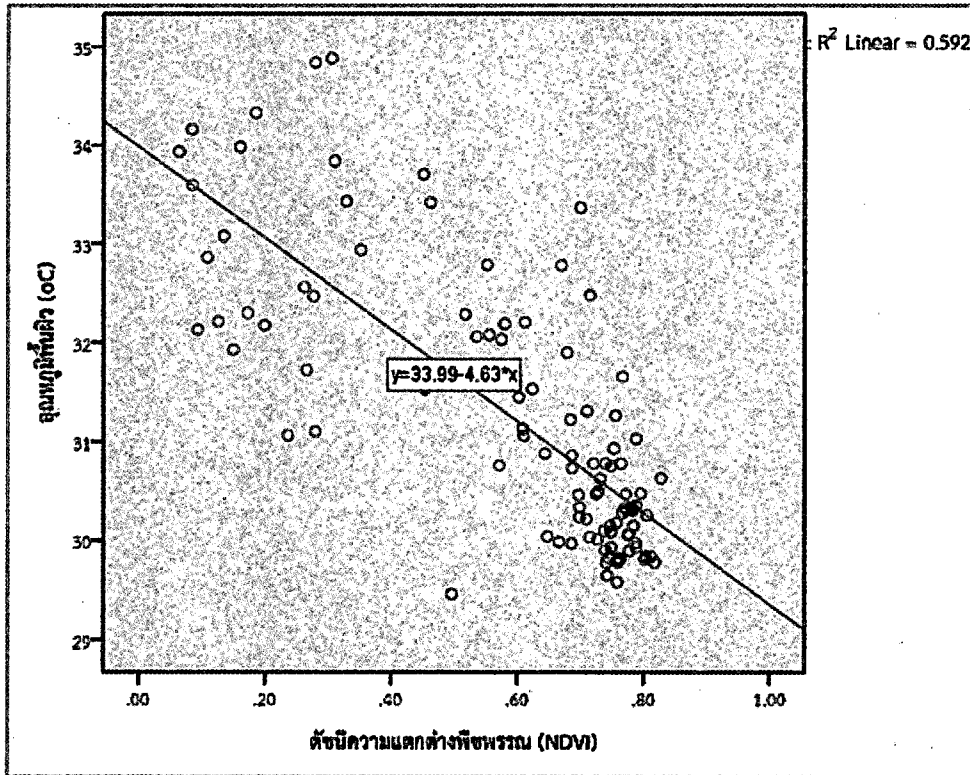
อยู่ในความสัมพันธ์ระดับปานกลาง ในทิศทางลบ หรือแปรผกผันกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (2 ด้าน) (ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์, 2559) และได้สมการถดถอย $Y = -4.63X + 33.99$ พร้อมกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.592 (ภาพที่ 9) ซึ่งสอดคล้องกับหลายงานวิจัย (Yue et al., 2007) ที่นำข้อมูลดาวเทียม LANDAT 7 มาหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิว และค่า NDVI พบว่ามีความสัมพันธ์ในรูปแบบที่แปรผกผันกันของทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และเมื่อแยกตามประเภทการใช้ที่ดินก็ยังคงพบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงแปรผกผันอยู่แต่ค่าความสัมพันธ์จะแตกต่างกันออกไปในแต่ละการใช้ประโยชน์ที่ดิน และงานวิจัย ได้นำข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 5 มาหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิว กับค่าดัชนีพืชพรรณ 2 ประเภท คือ NDVI และ NDWI (Normalized Difference Water Index) พบว่าอุณหภูมิพื้นผิว และ NDVI มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ หรือแปรผกผันกัน ส่วนอุณหภูมิพื้นผิว และ NDWI มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก หรือแปรตามกัน

ซึ่งหากทำการแบ่งข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว กับค่า NDVI ตามพื้นที่นาข้าว ระยะที่ 1, 2, 3 และ 4 จำนวนระยะการเจริญเติบโตละ 25 ตัวอย่างเท่าๆ กัน แล้วทำการวิเคราะห์พบว่าพื้นที่นาข้าวทั้ง 4 ระยะมีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิพื้นผิว กับค่า

NDVI ในลักษณะแปรผกผันเหมือนกัน โดยพื้นที่นาข้าวระยะที่ 4 มีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิพื้นผิว กับค่า NDVI มากที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.812 และพื้นที่นาข้าวระยะที่ 3 มีความสัมพันธ์น้อยที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.038 ส่วนพื้นที่นาข้าวระยะที่ 1 และ 2 มีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.517 และ 0.729 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (2 ด้าน) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างอุณหภูมิพื้นผิว และ NDVI ของพื้นที่นาข้าว แบ่งตามระยะการเจริญเติบโต

Stage	r	R ²	Sig.
ระยะที่ 1	-0.517	0.267	0.008
	$(Y = -4.745X + 33.803)$		
ระยะที่ 2	-0.729	0.532	0.000
	$(Y = -8.106X + 36.753)$		
ระยะที่ 3	-0.195	0.038	0.349
	$(Y = -1.431X + 31.238)$		
ระยะที่ 4	-0.812	0.660	0.000
	$(Y = -8.401X + 36.723)$		



ภาพที่ 9 กราฟ Scatter plot ของการถดถอยเชิงเส้นระหว่างค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิว และ NDVI ของพื้นที่นาข้าว 4 ระยะเวลาเจริญเติบโต

4. สรุปผล

จากการเก็บข้อมูลตัวอย่างระยะเวลาเจริญเติบโตของพื้นที่นาข้าวจากภาคสนาม (ข้าวที่ปลูกตั้งแต่วันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึงวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557) พร้อมกับการนำข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 ข้อมูล ณ วันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 ครอบคลุมอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ผ่านการปรับแก้ทางเรขาคณิตแล้ว จำนวน 4 ช่วงคลื่น มาตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิว ด้วยหลักการ Split-window ผลการวิเคราะห์พบว่าอุณหภูมิพื้นผิว ของพื้นที่นาข้าวระยะที่ 1 มีค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ พื้นที่นาข้าวระยะที่ 2, 4 และ 3 ตามลำดับ แต่

เมื่อตรวจวัดค่า NDVI พบว่าพื้นที่นาข้าวระยะที่ 3 มีค่าเฉลี่ย NDVI สูงที่สุด รองลงมา คือ พื้นที่นาข้าวระยะที่ 4, 2 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งตรงกันข้ามกับค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย จึงได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยหลักสถิติจะพบว่า อุณหภูมิพื้นผิวกับค่า NDVI มีความสัมพันธ์กันระดับปานกลางในทิศทางลบหรือแปรผกผันกัน ($r = -0.769$) และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.592 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (2 ด้าน) ทั้งนี้ในงานวิจัยครั้งต่อไปจะต้องเพิ่มปริมาณการเก็บตัวอย่างให้มากขึ้น พร้อมกับเก็บข้อมูลหลายช่วงเวลา เพื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบอื่นต่อไป

5. รายการอ้างอิง

- กนกกร สุขสบาย และกาญจนา นาคะภากร (2557). การตรวจวัดพื้นที่เกิดไฟป่าด้วยช่วงคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรดของภาพดาวเทียมแลนด์เซต : กรณีศึกษาอำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย, *ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 22(4). 462-473.
- จีไอแฮค. (2559). พิกัดที่ตั้งอำเภอบางน้ำเปรี้ยว. เข้าถึงได้จาก https://tools.wmflabs.org/geohack/geohack.php?pagename=อำเภอบางน้ำเปรี้ยว¶ms=13_50_50_N_101_3_12_E_type:admin2nd_region:TH
- ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์. (2559). การใช้ IBM SPSS Statistics เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล. เข้าถึงได้จาก <http://www.watpon.com/th/mod/page/view.php?id=27>
- ชูเดช โลศิริ. (2557). การรับรู้จากระยะไกล. ภูมิศาสตร์เทคนิค. โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. (หน้า 68-85) มูลนิธิ สอวน. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- ที่ว่าการอำเภอบางน้ำเปรี้ยว. (2558). *อำเภอบางน้ำเปรี้ยว*. เอกสารรายงาน. (หน้า 1-13). ที่ว่าการอำเภอบางน้ำเปรี้ยว. ฉะเชิงเทรา. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. (2556). *ข้าวคือชีวิต*. เข้าถึงได้จาก <http://library.stou.ac.th/ODI/rice/P1.html>
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2559). *อำเภอบางน้ำเปรี้ยว*. เข้าถึงได้จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/อำเภอบางน้ำเปรี้ยว>
- ศรุติพงษ์ ภูวัชรวิธานนท์. (2559). *สหสัมพันธ์และการถดถอย*. เข้าถึงได้จาก <http://www.saruthipong.com/port/document/299-705/299-705-4.pdf>
- สำนักส่งเสริมการผลิตข้าว. (2551). *การเจริญเติบโตของต้นข้าว*. เข้าถึงได้จาก <http://brpe.ricethailand.go.th/images/posterbrpe/สสข08การเจริญเติบโตของต้นข้าว.pdf>
- Deepak Kumar and Sulochana Shekhar. (2015). Statistical analysis of land surface temperature-vegetation indexes relationship through thermal remote sensing. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121(2015). 39-44.
- Geographic Informatic Systems. (2015). Difference between Landsat 7 and Landsat 8 TOA reflectance computation. Retrieved from <http://gis.stackexchange.com/questions/183758/difference-between-landsat-7-and-landsat-8-toa-reflectance-computation>
- Karnieli Arnon, Nurit Agam, Rachel T.Pinker, Martha Anderson, Marc L.Imhoff, Garik G.Gutman, Natalya Panov and Alexander Goldberg. (2010). Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment: Merits and Limitations. *Journal of Climate*, 2010(23). 618-633.
- Kimura Reiji, Masao Moriyama and Satoru Bandou. (2015). The relationship between land-surface temperature and rice quality in Tottori prefecture, Japan. *International Journal of Remote Sensing*, 36(22), 5690-5706.

- Latif Md Shahid. (2014). Land Surface Temperature Retrieval of Landsat-8 Data Using Split Window Algorithm - A Case Study of Ranchi District. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2(4). 3840-3849.
- Osman Orhan, Semih Ekercin and Filiz Dadaser-Celik. (2014). Use of Landsat Land Surface Temperature and Vegetation Indices for Monitoring Drought in the Salt Lake Basin Area, Turkey. *The Scientific World Journal*, 2014(142939). 1-11.
- Rajeshwari A and Mani N D. (2014). Estimation of land surface temperature of Dindigul District using LANDSAT 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(5). 122-126.
- Sruthi.S and M.A.Mohammed Aslam. (2015). Agricultural Drought Analysis Using the NDVI and Land Surface Temperature Data; a Case Study of Raichur District. *International conference on water resources, coastal and ocean engineering (ICWRCOE 2015)*, 4(2015). 1258-1264.
- USGS. (2015). *Using the USGS Landsat 8 Product*. Retrieved from http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php
- Yu Xiaolei, Xulin Guo and Zhacong Wu. (2014). Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS - Comparison between Radiative Transfer Equation - Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method. *Remote Sensing*, 2014(6). 9829-9852.
- Yue W, J Xu, W Tan and L Xu. (2007). The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: application to Shanghai Landsat 7 ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 28(15). 3205-3226.