



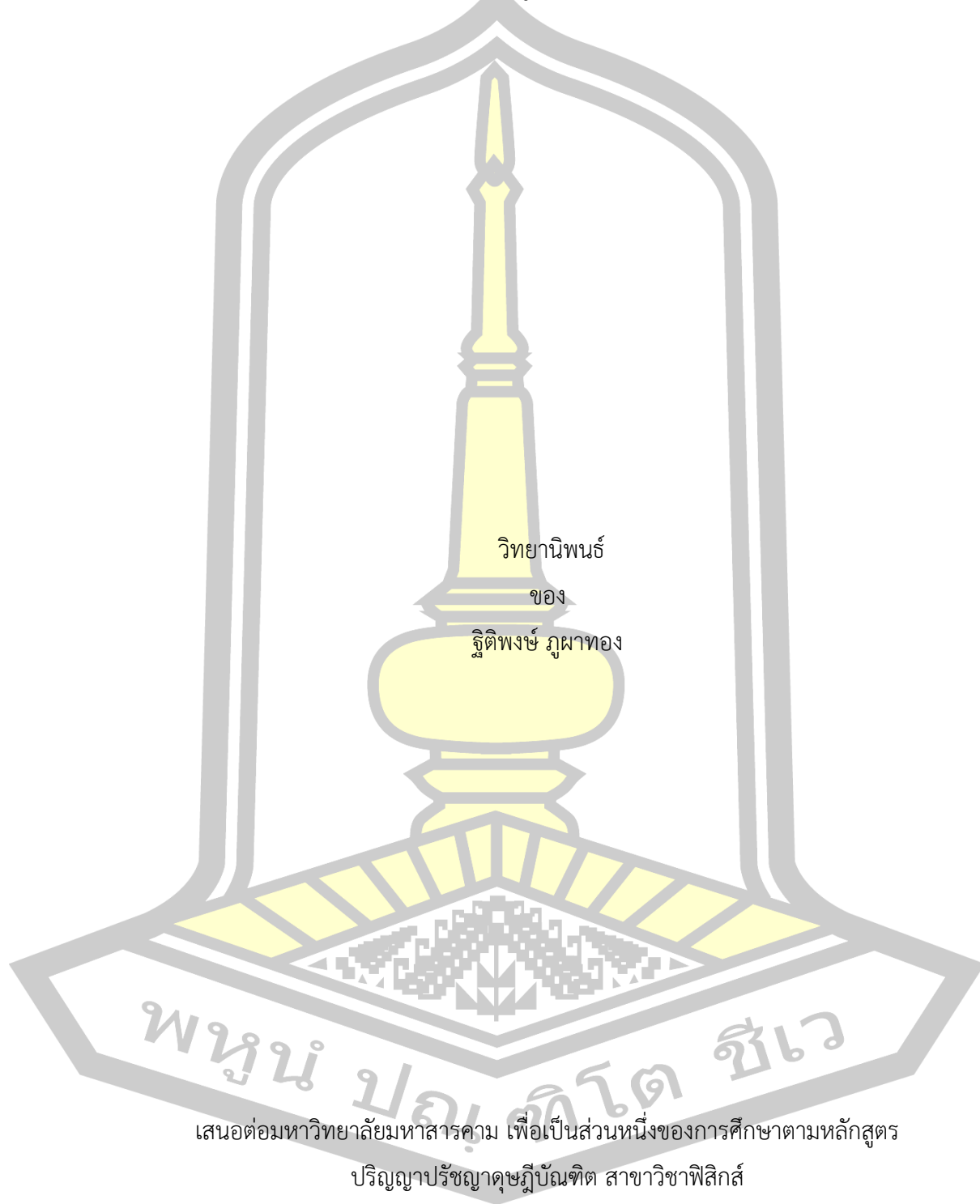
การตรวจสอบและการคาดการณ์เชิงพื้นที่ของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองด้วยธรณีสถิติและการเรียนรู้ของเครื่อง

วิทยานิพนธ์
ของ
ฐิติพงษ์ ภูผาทอง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ธันวาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การตรวจสอบและการคาดการณ์เชิงพื้นที่ของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองด้วยธรณีสถิติและการ
เรียนรู้ของเครื่อง



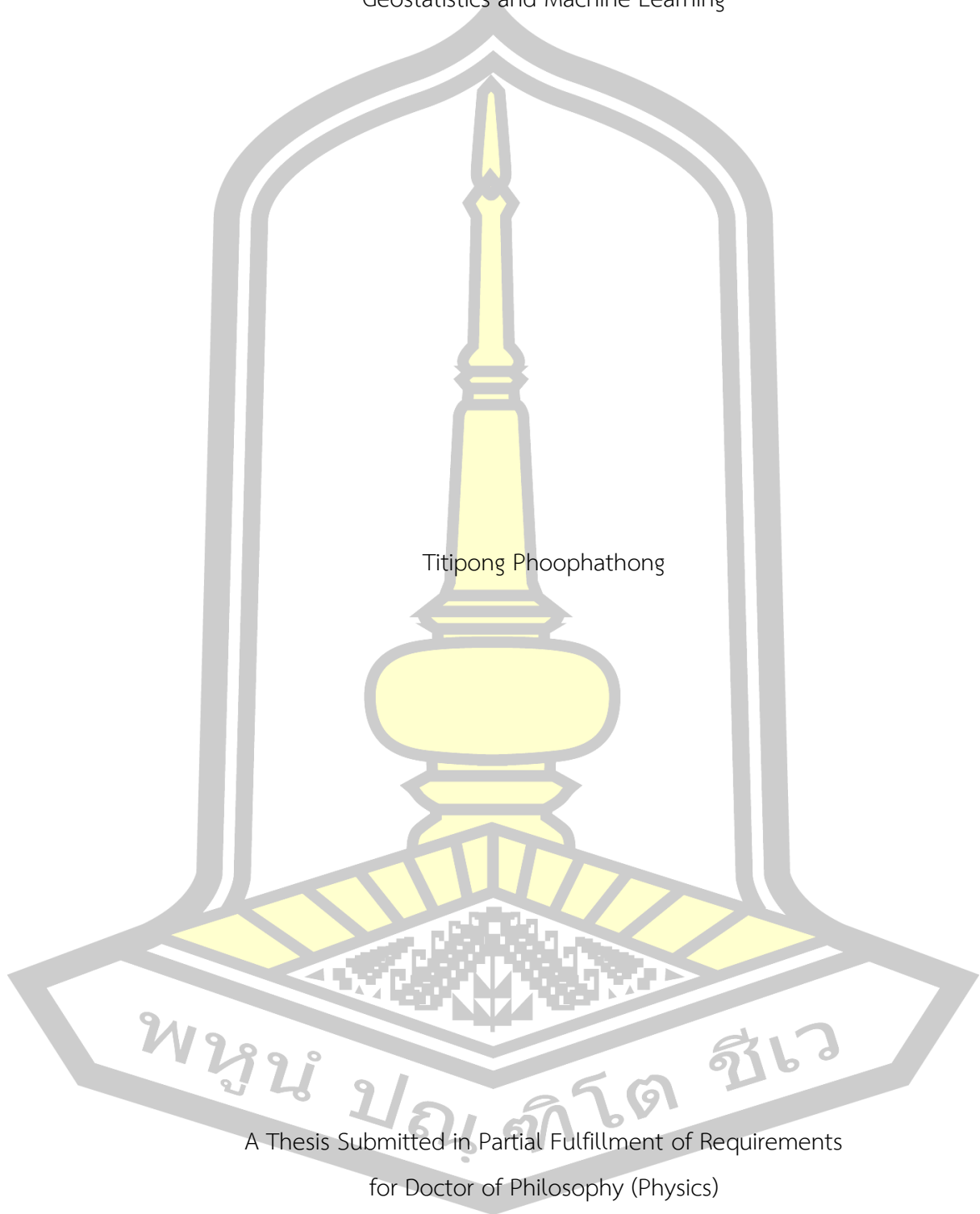
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

ธันวาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Spatial Monitoring and Prediction of Urban Heat Island Phenomena using
Geostatistics and Machine Learning



Titipong Phoophathong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Doctor of Philosophy (Physics)

December 2024

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายฐิติพงษ์ ภูมาทอง แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. ไพศาล จีฟู)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผศ. ดร. สานิต แสงประดิษฐ์)

กรรมการ

(รศ. ดร. สิริยาภรณ์ แสงอรุณ)

กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผศ. ดร. กฤษณาณ อินทร์ตัน)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(ศ. ดร. ไพโรจน์ ประมวล)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

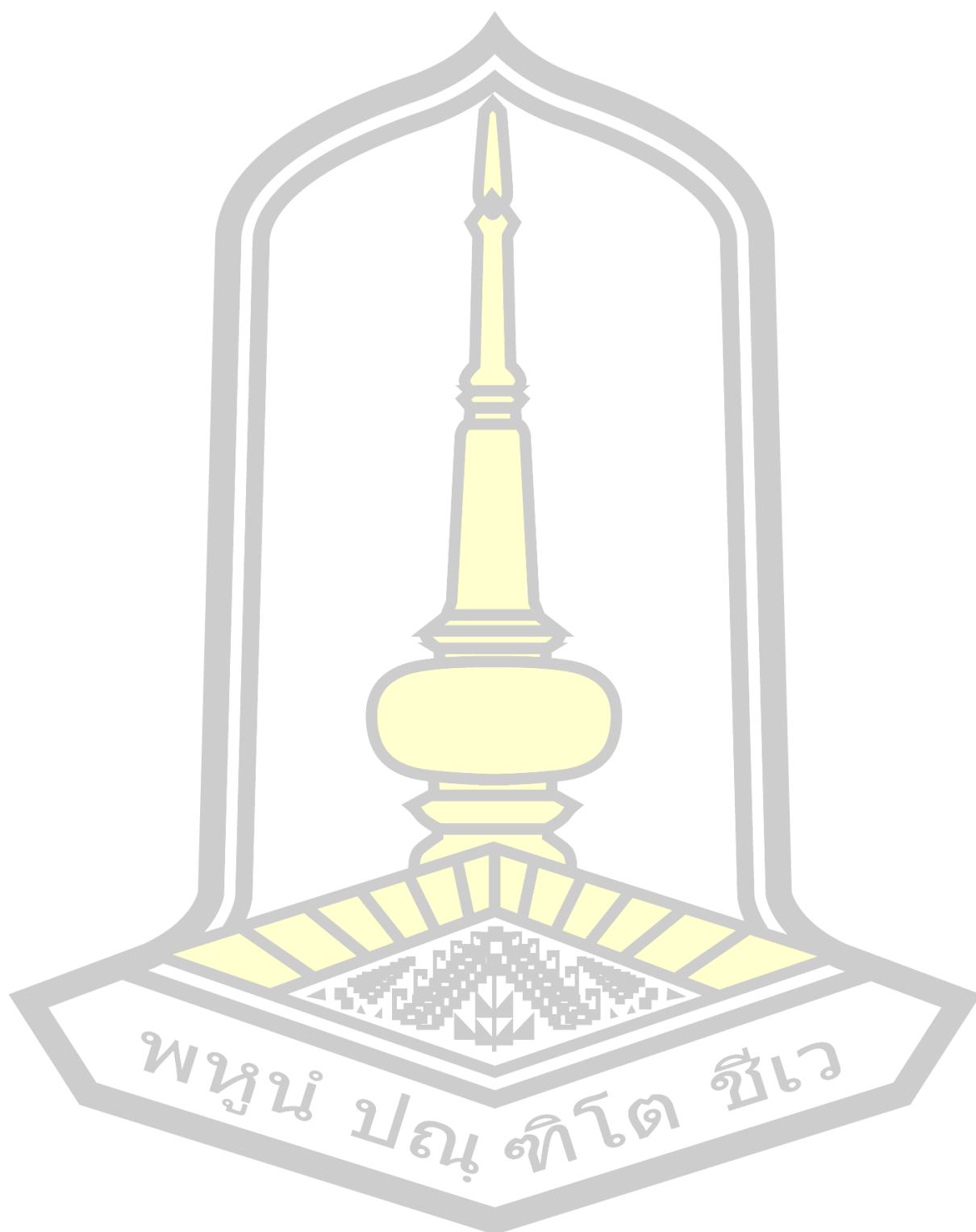
พหุบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การตรวจสอบและการคาดการณ์เชิงพื้นที่ของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองด้วยธรณีสถิติและการเรียนรู้ของเครื่อง		
ผู้วิจัย	ฐิติพงษ์ ภูผาทอง		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาทิต แสงประดิษฐ์		
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต	สาขาวิชา	ฟิสิกส์
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2567

บทคัดย่อ

การประมาณค่าบนช่วงเป็นหนึ่งในระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการเข้าถึงข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่จำเป็นต้องวัดข้อมูลทุกๆ จุดของพื้นที่ เทคนิค IDW และ Kriging เป็นเทคนิคที่พื้นฐานที่สุดสำหรับการประมาณค่าบนช่วงในกลุ่มของธรณีสถิติและไม่ใช้ธรณีสถิติที่มีความน่าเชื่อถือสำหรับการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตาม 2 เทคนิคดังกล่าว IDW และ Kriging เป็นการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้มาจากของมูลเชิงตัวเลขเท่านั้น ซึ่งวิธีดังกล่าวไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยแวดล้อมของตำแหน่งที่ต้องประมาณค่า การเรียนรู้ของเครื่องเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการพัฒนาการคำนวณเชิงตัวเลข รวมทั้งยังเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเข้าใกล้กับค่าความเป็นจริงมากที่สุด การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงและเปรียบเทียบเทคนิคการประมาณค่าบนช่วงแบบดั้งเดิม คือ IDW และ Ordinary Kriging (OK) และเทคนิคการประมาณค่าบนช่วงแบบใหม่ คือ OK + SVM เทคนิคหลังรวมแนวคิดการแก้ไข OK เข้ากับการเรียนรู้ SVM OK + RF เทคนิคหลังรวมแนวคิดการแก้ไข OK เข้ากับการเรียนรู้ RF และ OK + KNN เทคนิคหลังรวมแนวคิดการแก้ไข OK เข้ากับการเรียนรู้ KNN เพื่อจำแนกพื้นที่ปกคลุมและถ่วงน้ำหนักการแก้ไขข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิผิวดิน (LST) ในเขตเมือง การศึกษาพบว่าเทคนิค IDW สร้างค่าของ T_{max} และ T_{min} ที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงมากที่สุด ตามด้วย OK + SVM OK OK + RF และ OK + RF ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อประเมินข้อมูลจากการประมาณค่าแบบช่วงจำนวน 1,650 จุดที่ดึงมาจาก LST โดยใช้แต่ละเทคนิคเทียบกับการทดสอบทางสถิติ เช่น MAE, MSE และ RMSE พบว่า OK + SVM ให้ผลลัพธ์ที่ต่ำสุดและดีกว่า IDW และ OK สรุปได้ว่า OK + SVM ให้ผลลัพธ์การแก้ไขที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการแก้ไขแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ : การประมาณค่าช่วง, ถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน, การเรียนรู้เครื่อง



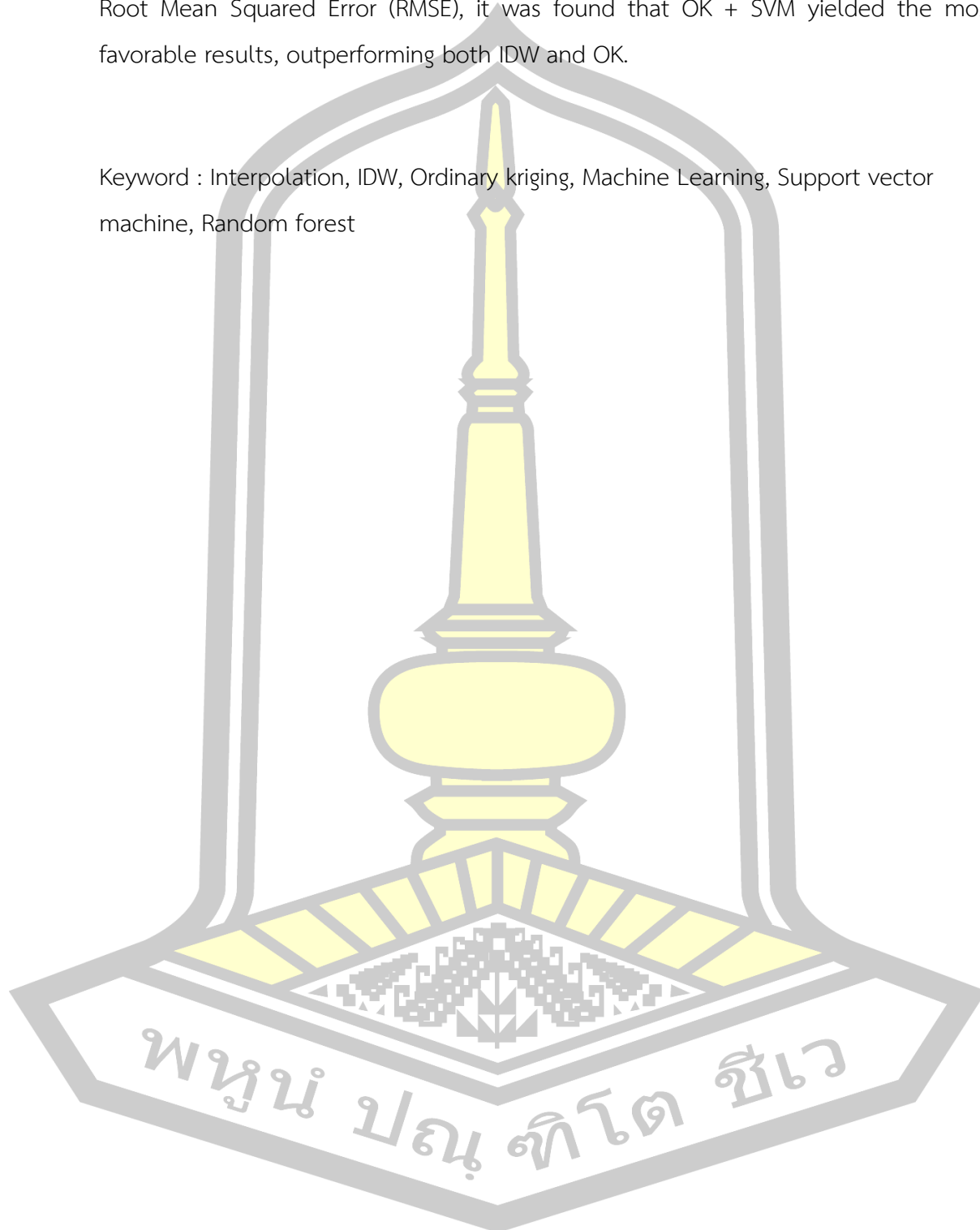
TITLE	Spatial Monitoring and Prediction of Urban Heat Island Phenomena using Geostatistics and Machine Learning		
AUTHOR	Titipong Phoophathong		
ADVISORS	Associate Professor Teerawong Laosuwan , Ph.D. Assistant Professor Satith Saengpreedit , Ph.D.		
DEGREE	Doctor of Philosophy	MAJOR	Physics
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2024

ABSTRACT

Spatial interpolation is a highly effective numerical computation method for efficiently accessing spatial data without the necessity of measuring every point within a given area. The techniques of Inverse Distance Weighting (IDW) and Kriging are among the most fundamental methods for spatial interpolation within both geostatistical and non-geostatistical frameworks, providing reliable means for generating spatial information. However, both IDW and Kriging rely solely on numerical data for spatial information generation, neglecting the environmental factors associated with the locations being estimated. Machine learning algorithms are employed to enhance numerical computations and serve as tools for understanding various factors that influence these computations. This research aims to enhance and compare traditional interpolation techniques, specifically Inverse Distance Weighting (IDW) and Ordinary Kriging (OK), with new interpolation methods such as OK combined with Support Vector Machine (SVM), OK combined with Random Forest (RF), and OK combined with K-Nearest Neighbors (KNN). The latter techniques integrate the correction concept of OK with machine learning approaches to classify coverage areas and weight spatial data related to land surface temperature (LST) in urban regions. The study reveals that the IDW technique produces Tmax and Tmin values that are closest to the actual measured values, followed by OK + SVM, OK, OK + RF, and OK + KNN in that order. Furthermore, when evaluating data from 1,650 LST interpolation points using each technique against

statistical tests such as Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), and Root Mean Squared Error (RMSE), it was found that OK + SVM yielded the most favorable results, outperforming both IDW and OK.

Keyword : Interpolation, IDW, Ordinary kriging, Machine Learning, Support vector machine, Random forest



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร. อีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาทิต แสงประดิษฐ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ พร้อมทั้งคอยให้กำลังใจ อีกทั้งยังให้คำปรึกษาอันมีคุณค่าในการปรับปรุงแก้ไขบทความสำหรับการตีพิมพ์เผยแพร่เนื้อหาที่สัมพันธ์กับวิทยานิพนธ์นี้อีกด้วย

การเรียนและการทำวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนชื่อ “ทุนผลิตกำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย” จากกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว)

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล จีฟู ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษฎา อินทร์ตัน ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก รองศาสตราจารย์ ดร.สิริยาภรณ์ แสงอรุณ กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงอาจารย์ประจำหลักสูตรปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ ทุกๆ ท่าน ที่คอยติดตามความก้าวหน้าวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษาอันมีประโยชน์ซึ่งเกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณบิดาและมารดา รวมถึงครอบครัวที่คอยให้กำลังใจและให้การช่วยเหลือสนับสนุนทั้งด้านการศึกษาและการดำเนินชีวิต และเป็นกำลังใจสูงสุดในการศึกษาระดับปริญญาเอกและการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ฐิติพงษ์ ภูมาทอง

พูน ปรณ ทิโต ชีเว

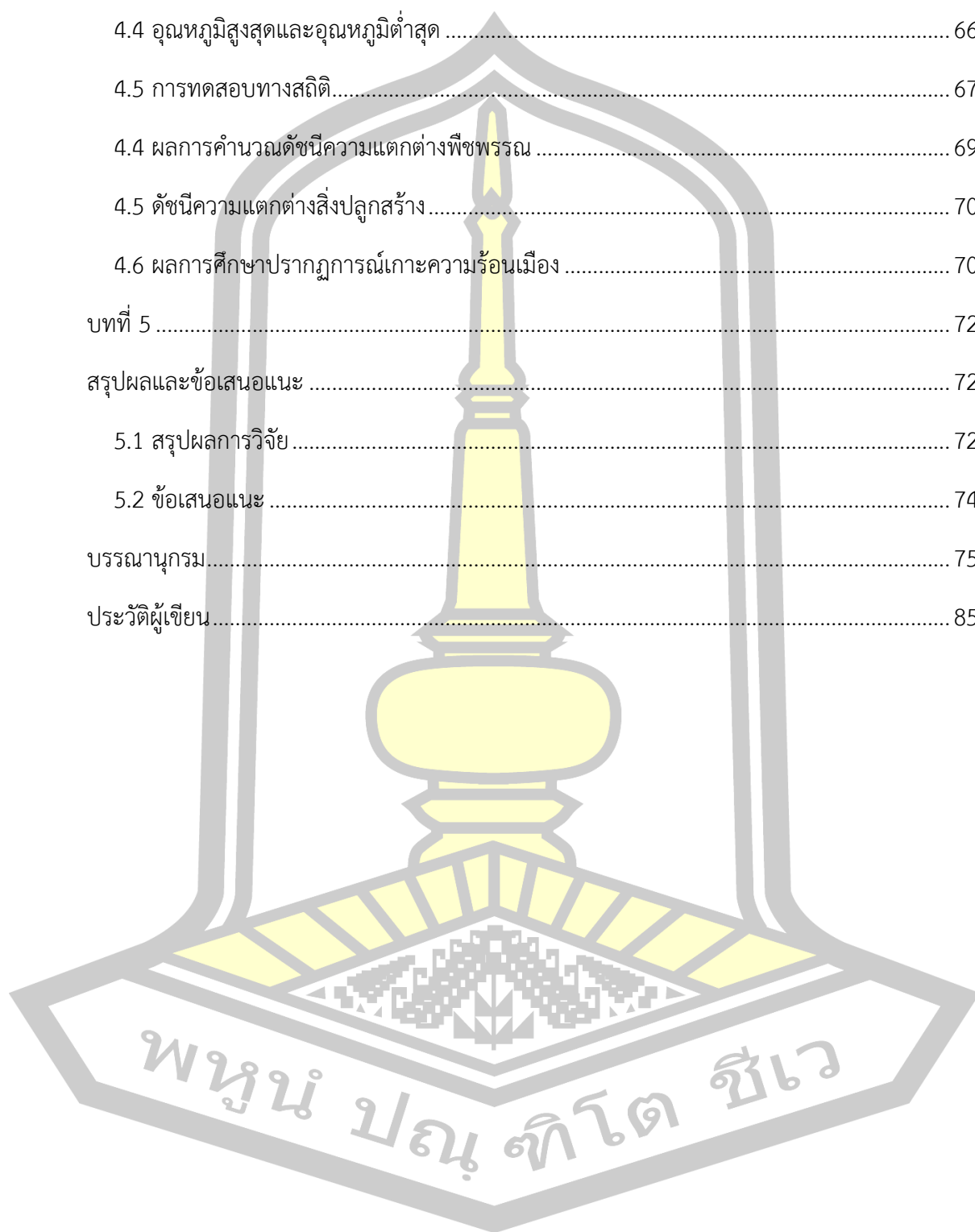
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ฐ
สารบัญตาราง.....	ณ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 สถานที่ทำงานวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2.....	6
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 พลังงานความร้อนและอุณหภูมิพื้นผิว.....	6
2.2 เกาะความร้อน.....	7
2.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	8
2.4 การรับรู้ระยะไกล.....	10
2.4.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum).....	11

2.4.2 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานในชั้นบรรยากาศ (Energy Interaction in the Atmosphere)	12
2.4.3 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับวัตถุบนพื้นผิวโลก (Energy Interaction with Earth Surface Features)	12
2.4.4 การสะท้อนช่วงคลื่น (Spectral Signature) ของพืชพรรณ ดิน และน้ำ	12
2.4.5 ประเภทของการรับรู้ระยะไกล	13
2.5 ดาวเทียม	14
2.5.1 ดาวเทียม Sentinel 2	14
2.5.2 ดาวเทียม LANDSAT 8	16
2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลภูมิพื้นผิวจากดาวเทียม LANDSAT 8	17
2.7 การประมาณค่าช่วงเชิงพื้นที่	18
2.7.1 เทคนิคถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน	19
2.7.2 ออติโนมารีคริกริง	20
2.8 การเรียนรู้เครื่อง	20
2.8.1 การเรียนรู้ด้วยวิธีการซัพพอร์ทเวกเตอร์แมกซิม	20
2.8.2 การเรียนรู้ด้วยวิธีการป่าสุ่ม	21
2.8.1 การเรียนรู้ด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด	22
2.9 เครื่องมือประเมินแบบจำลอง	22
2.9.1 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์	22
2.7.2 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง	23
2.7.3 รากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสอง	23
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3	25
วิธีดำเนินการวิจัย	25

3.1	พื้นที่ศึกษา	25
3.2	การทำงาน	26
3.2.1	การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดิน	27
3.2.2	การคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิคต่าง ๆ	32
3.1.4	ขั้นตอนการวิเคราะห์ดัชนี LST	36
บทที่ 4	47
	ผลการวิจัยและอภิปราย	47
4.1	ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน	47
4.1.1	ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินด้วยการเรียนรู้แบบป่าสุ่ม	50
4.1.2	ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินด้วยการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด	51
4.1.3	ผลการเปรียบเทียบการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินด้วยวิธีการเรียนรู้แบบป่าสุ่มและวิธีการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด	53
4.2	ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดินระหว่างปีพ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2566... ..	54
4.3	ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว	55
4.4.1	ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT-8	56
4.3.2	ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค IDW	58
4.3.3	ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค OK	59
4.3.4	ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค OK+SVM	60
4.3.5	ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค OK+RF	61
4.3.6	ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค OK+KNN	62

4.3.7 ผลการเปรียบเทียบการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวแต่ละเทคนิค.....	63
4.4 อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด.....	66
4.5 การทดสอบทางสถิติ.....	67
4.4 ผลการคำนวณดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ.....	69
4.5 ดัชนีความแตกต่างสิ่งปลูกสร้าง.....	70
4.6 ผลการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง.....	70
บทที่ 5.....	72
สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	72
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
บรรณานุกรม.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	85

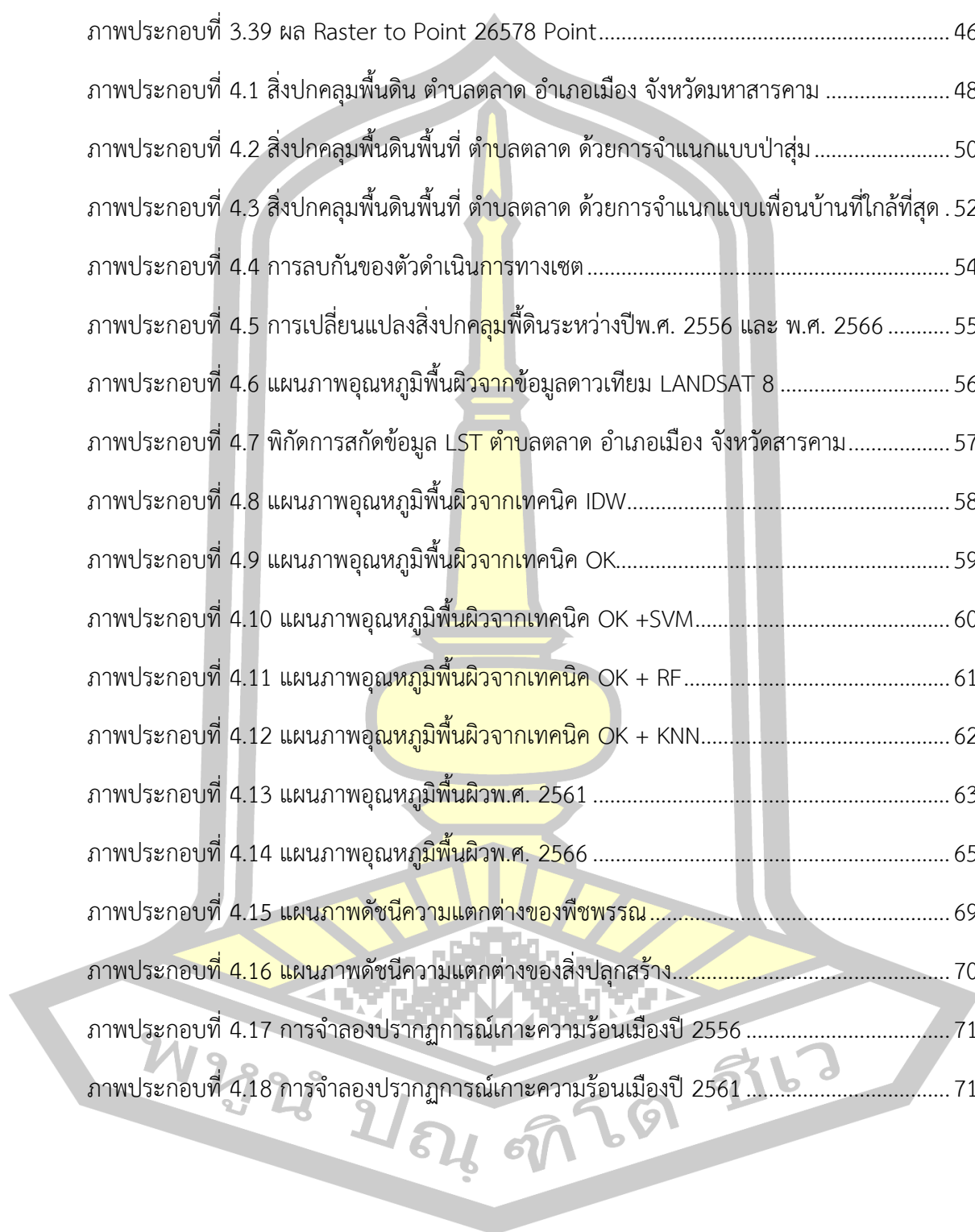


สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 1.1 ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม	4
ภาพประกอบที่ 2.1 เกาะความร้อน.....	7
ภาพประกอบที่ 2.2 การรับรู้ระยะไกลแบบ Active และ Passive	14
ภาพประกอบที่ 2.3 ดาวเทียม Sentinel 2	14
ภาพประกอบที่ 2.4 ดาวเทียม LANDSAT 8	16
ภาพประกอบที่ 2.5 การแบ่งแยกด้วยวิธี SVM	21
ภาพประกอบที่ 2.6 การเรียนรู้ด้วยวิธีการป่าสุ่ม	21
ภาพประกอบที่ 2.7 การเรียนรู้ด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด	22
ภาพประกอบที่ 3.1 พื้นที่ตำบลตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม	25
ภาพประกอบที่ 3.2 การทำงาน.....	26
ภาพประกอบที่ 3.3 การทำงานของการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดิน.....	27
ภาพประกอบที่ 3.4 เว็บไซต์ SEA.....	28
ภาพประกอบที่ 3.5 Download product.....	28
ภาพประกอบที่ 3.6 train ของ Class.....	29
ภาพประกอบที่ 3.7 ComputImagesStatistics	30
ภาพประกอบที่ 3.8 TrainImagesClassifier.....	30
ภาพประกอบที่ 3.9 ImagesClassifier.....	31
ภาพประกอบที่ 3.10 ผลการวิเคราะห์แบบ RF	31
ภาพประกอบที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์แบบ KNN	32
ภาพประกอบที่ 3.12 เพจ USGS	33
ภาพประกอบที่ 3.13 ภาพ Select Your Data Set(s)	34

ภาพประกอบที่ 3.14 ภาพ Additional Criteria (Optional)	34
ภาพประกอบที่ 3.15 ภาพ Show Browser Overlay	34
ภาพประกอบที่ 3.16 ภาพ Product Option	35
ภาพประกอบที่ 3.17 ภาพ Product Download Option	35
ภาพประกอบที่ 3.18 ภาพ โปรแกรม ArcMap	36
ภาพประกอบที่ 3.19 ข้อมูลภาพ “B10”	36
ภาพประกอบที่ 3.20 การวิเคราะห์ TOA	37
ภาพประกอบที่ 3.21 ผลการวิเคราะห์ Top of Atmosphere (TOA)	37
ภาพประกอบที่ 3.22 การวิเคราะห์ Brightness Temperature (BT)	38
ภาพประกอบที่ 3.23 ผลการวิเคราะห์ Brightness Temperature (BT)	38
ภาพประกอบที่ 3.24 Add Data ข้อมูลภาพดาวเทียม	39
ภาพประกอบที่ 3.25 การวิเคราะห์ Normalized Difference Vegetation Index	39
ภาพประกอบที่ 3.26 ผลการวิเคราะห์ Normalized Difference Vegetation Index	40
ภาพประกอบที่ 3.27 การวิเคราะห์ Proportion of Vegetation	40
ภาพประกอบที่ 3.28 ผลการวิเคราะห์ Proportion of Vegetation	41
ภาพประกอบที่ 3.29 การวิเคราะห์ Land Surface Emissivity	41
ภาพประกอบที่ 3.30 ผลการวิเคราะห์ Land Surface Emissivity	41
ภาพประกอบที่ 3.31 วิเคราะห์ Land Surface Temperature	42
ภาพประกอบที่ 3.32 ผลการวิเคราะห์ Land Surface Temperature	42
ภาพประกอบที่ 3.33 การ Add Data ข้อมูลพื้นที่ศึกษา	43
ภาพประกอบที่ 3.34 ผลการ Clip ข้อมูลพื้นที่ศึกษา	43
ภาพประกอบที่ 3.35 การเพิ่มชุดข้อมูล 550 จุดเพื่อคำนวณการประมาณค่าช่วง	44
ภาพประกอบที่ 3.36 การเทรน LULC สำหรับการเรียนรู้แบบต่างๆ	44
ภาพประกอบที่ 3.37 แบบประเมินกราฟ virogram	45

ภาพประกอบที่ 3.38 ผลการวิเคราะห์ SVM	45
ภาพประกอบที่ 3.39 ผล Raster to Point 26578 Point.....	46
ภาพประกอบที่ 4.1 สิ่งปกคลุมพื้นดิน ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม	48
ภาพประกอบที่ 4.2 สิ่งปกคลุมพื้นดินพื้นที่ ตำบลตลาด ด้วยการจำแนกแบบป่าสุ่ม	50
ภาพประกอบที่ 4.3 สิ่งปกคลุมพื้นดินพื้นที่ ตำบลตลาด ด้วยการจำแนกแบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด .	52
ภาพประกอบที่ 4.4 การลบก้นของตัวดำเนินการทางเซต.....	54
ภาพประกอบที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมพื้นดินระหว่างปีพ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2566	55
ภาพประกอบที่ 4.6 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8	56
ภาพประกอบที่ 4.7 พิกัดการสกัดข้อมูล LST ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม.....	57
ภาพประกอบที่ 4.8 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวจากเทคนิค IDW.....	58
ภาพประกอบที่ 4.9 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวจากเทคนิค OK.....	59
ภาพประกอบที่ 4.10 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวจากเทคนิค OK +SVM.....	60
ภาพประกอบที่ 4.11 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวจากเทคนิค OK + RF.....	61
ภาพประกอบที่ 4.12 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวจากเทคนิค OK + KNN.....	62
ภาพประกอบที่ 4.13 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวพ.ศ. 2561	63
ภาพประกอบที่ 4.14 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวพ.ศ. 2566	65
ภาพประกอบที่ 4.15 แผนภาพดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ.....	69
ภาพประกอบที่ 4.16 แผนภาพดัชนีความแตกต่างของสิ่งปลูกสร้าง.....	70
ภาพประกอบที่ 4.17 การจำลองปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองปี 2556	71
ภาพประกอบที่ 4.18 การจำลองปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองปี 2561	71



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ระบบการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	9
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2.....	15
ตารางที่ 2.3 รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8.....	17
ตารางที่ 2.4 คำจำกัดความของแถบ TIRS และขีดจำกัดที่อนุญาตสำหรับ ข้อผิดพลาดในการแผ่รังสี.....	18
ตารางที่ 3.1 ตัว train สำหรับจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดิน.....	29
ตารางที่ 4.1 การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินพื้นที่ตำบลตลาด ระดับที่ 1 และระดับที่ 2.....	49
ตารางที่ 4.2 การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินพื้นที่ตำบลตลาด ระดับที่ 1 และ ระดับที่ 2 ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบป่าสุ่ม.....	51
ตาราง 4.3 การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินพื้นที่ตำบลตลาด ระดับที่ 1 และ ระดับที่ 2 ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด.....	52
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินของพื้นที่ตำบลตลาด ด้วยการเรียนรู้.....	53
ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดของแต่ละเทคนิค.....	66
ตารางที่ 4.6 สถิติทดสอบสำหรับการคำนวณค่าอุณหภูมิพื้นผิว.....	67

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ความร้อนเป็นปัจจัยพื้นฐานทางกายภาพที่ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุก ๆ ชนิดบนโลก เนื่องจากสิ่งมีชีวิตจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้จำเป็นต้องอยู่ภายใต้สมดุลความร้อนที่เหมาะสม หากสิ่งมีชีวิตได้รับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมมากเกินไปหรือในทางกลับกันหากสิ่งมีชีวิตสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมมากเกินไป จะส่งผลให้สิ่งมีชีวิตไม่สามารถอยู่ภายในสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นๆ ได้ ปริมาณความร้อนและสมดุลความร้อนจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ บนโลก [1-5] โดยทั่วไป ปริมาณความร้อนจะถูกระบุหรือถูกกำหนดด้วยคำว่า “อุณหภูมิ” ระดับของอุณหภูมิจึงถูกใช้เป็นมาตรวัดของปริมาณความร้อนในระบบต่าง ๆ รวมทั้งความร้อนภายในสิ่งแวดล้อม ในการศึกษาทางกายภาพของปริมาณอุณหภูมิจากทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์ พบว่า ปริมาณความร้อนหรืออุณหภูมิเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ขึ้นตรงกับขนาดหรือที่เรียกว่า Intensive Variable [6] ดังนั้น การศึกษาความร้อนในแต่ละจุดหรือตำแหน่งสังเกตจึงมีจำเพาะต่อการศึกษา ณ ที่ตำแหน่งนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม การศึกษาและตรวจวัดปริมาณความร้อนในสิ่งแวดล้อมนั้นส่วนมากจะถูกอธิบายได้ด้วยค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ ซึ่งเป็นตัวแทนของอุณหภูมิต่าง ๆ บนพื้นที่ที่ศึกษา อุณหภูมิเฉลี่ยอาจเป็นพารามิเตอร์ที่กว้างเกินไปสำหรับการศึกษาและตรวจวัดความร้อนในแต่ละจุดทุกจุดบนพื้นที่ เนื่องจากในแต่ละพื้นที่ย่อมมีความแตกต่างของพลังงานความร้อนตามสภาพแวดล้อมรวมถึงสิ่งต่างๆ ที่ปกคลุมอยู่บนพื้นที่ตำแหน่งนั้น ๆ ดังนั้น เพื่อให้ได้ข้อมูลความร้อนทุก ๆ จุดบนพื้นที่เพื่อการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิเชิงพื้นที่ให้เด่นชัด จึงได้มีการศึกษาพารามิเตอร์หนึ่งที่เรียกว่า อุณหภูมิพื้นผิว (Land surface temperature) [7-10]

อุณหภูมิพื้นผิวเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์เชิงพื้นที่ที่ถูกศึกษาอย่างกว้างขวาง เนื่องจากพารามิเตอร์ดังกล่าวจะสะท้อนต่ออุณหภูมิและสภาพอากาศบริเวณนั้นๆ ได้ตามตำแหน่งที่ต้องการศึกษา อุณหภูมิพื้นผิวจึงเป็นพารามิเตอร์ที่ถูกศึกษาอย่างแพร่หลาย [11-15] การประเมินและจัดการอุณหภูมิพื้นผิวจึงมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ การคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวร่วมกับกระบวนการประมาณค่าช่วงเป็นหนึ่งในวิธีที่ทำให้สามารถเข้าถึงพารามิเตอร์อุณหภูมิพื้นผิวได้อย่างแท้จริง [16-20] ถึงแม้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลจะมีความก้าวหน้าและสามารถทำให้คำนวณและประมาณค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิพื้นผิวนี้ได้ก็ตาม แต่วิธีดังกล่าวเป็นเพียงการประมาณค่าซึ่งอาศัยหลักการการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุและถูกตรวจวัดด้วยเซนเซอร์ของดาวเทียมแต่ละชนิด [21,22] วิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับปริมาณเมฆปกคลุมและปอดโปร่งของท้องฟ้า [23,24]

รวมทั้งการคำนวณจะต้องอาศัยค่าคงที่ที่มีความจำเพาะต่อดาวเทียมในการปรับแต่งค่าการคำนวณ [25] ดังนั้น การตรวจวัดอุณหภูมิบนพื้นโลกแบบไม่ต่อเนื่องร่วมกับการประมาณค่าช่วงจึงยังเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการศึกษาเพื่อให้ได้ซึ่งพารามิเตอร์อุณหภูมิพื้นผิว อย่างไรก็ตาม ถึงแม้วิธีการประมาณค่าช่วงจะได้รับความนิยมสำหรับการศึกษาพารามิเตอร์อุณหภูมิพื้นผิว แต่จำนวนสถานีวัดหรือจำนวนเซนเซอร์ที่จะใช้วัดตัวพารามิเตอร์มีจำนวนจำกัด ทำให้จำนวนข้อมูลที่จะนำมาคำนวณด้วยวิธีการประมาณค่าช่วงมีจำนวนน้อยเช่นกัน ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลให้การประมาณค่าช่วงมีประสิทธิภาพลดลง [26,27] ดังนั้น การพัฒนากระบวนการประมาณค่าช่วงจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับการศึกษาและพัฒนาการได้มาซึ่งพารามิเตอร์อุณหภูมิพื้นผิว [28-32]

การเลือกใช้การประมาณค่าช่วงในปัจจุบัน โดยทั่วไปจะถูกเลือกจากการกระจายตัวของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้รับมาแล้วใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ทางสถิติร่วมในการตัดสินใจ [33-35] ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์และประเมินแบบจำลองการประมาณค่าช่วงด้วยกระบวนการอดินารีคริกริง (Ordinary kriging) ร่วมกับการตัดสินใจ โดยการเลือกใช้โมเดลการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟ Variogram แต่อย่างไรก็ตาม การพิจารณาเฉพาะการกระจายตัวของข้อมูลที่ต้องการประมาณค่าช่วงในเชิงสถิติอาจจะยังไม่เพียงพอ เนื่องจากวิธีดังกล่าวเป็นเพียงการตัดสินใจผ่านระเบียบวิธีการดำเนินการเชิงตัวเลขเท่านั้น แต่ยังคงละเลยอิทธิพลร่วมเชิงพื้นที่ของตำแหน่งการประมาณค่าช่วงบริเวณนั้นๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลจากการประมาณค่าช่วงอย่างแท้จริง ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิพื้นผิว ที่มีปัจจัยร่วมแวดล้อมที่เกิดจากสิ่งปกคลุมพื้นดิน [36-40] เพื่อให้ได้มาซึ่งการประมาณค่าช่วงของข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวที่ครบถ้วนและถูกต้องสำหรับกระบวนการประมาณค่าช่วง ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการเพิ่มปัจจัยแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อค่าที่ถูกแทรกวมกับการคำนวณการประมาณค่าช่วงเชิงตัวเลข เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของการประมาณค่าช่วงที่ใกล้เคียงกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติอย่างแท้จริง

ข้อมูลต่อเนื่องเชิงพื้นที่หรือข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นข้อมูลที่มีบทบาทสำคัญต่อการวางแผน การประเมินความเสี่ยง และการตัดสินใจในการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม [41-43] เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงสถานภาพต่าง ๆ บนตำแหน่งทุก ๆ ตำแหน่งของพื้นที่ที่ต้องการศึกษาและจะถูกนำมาวิเคราะห์และประเมินสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในทุก ๆ ตำแหน่งของพื้นที่ในแต่ละช่วงเวลา แต่การได้มาซึ่งข้อมูลเหล่านั้นนั้นไม่สามารถตรวจวัดได้จากตำแหน่งทุกตำแหน่งของพื้นที่ได้โดยตรง ด้วยปัจจัยทางด้านของกำลังคน จำนวนเครื่องมือ งบประมาณ รวมทั้งพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่เข้าถึงได้ยาก ทำให้การศึกษาและการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่เหล่านี้มักจะใช้กระบวนการแทรกค่าเชิงพื้นที่ร่วมกับระเบียบวิธีทางธรณีสถิติ [44,45] การสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่จากข้อมูลไม่ต่อเนื่องที่วัดได้บนพื้นที่ในแต่ละจุดได้ถูกศึกษาและพัฒนาสำหรับงานวิจัยในเรื่องต่าง ๆ อย่างหลากหลาย [48-50] ทั้งทางด้านของการศึกษาตัวแปรเชิงพื้นที่และทางด้านการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณการประมาณค่าช่วง ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการประมาณค่าช่วงเชิง

พื้นที่โดยมีการคำนวณแบบจำลองการประมาณค่าช่วงทั้งแบบดั้งเดิม (IDW, OK) และแบบใหม่ โดยแบบจำลองการประมาณค่าช่วงเชิงพื้นที่แบบใหม่เป็นการพัฒนาแนวคิดของการประมาณค่าช่วงเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Ordinary kriging ร่วมกับ Machine learning ที่เรียกว่า ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมกซิม (Support vector machine; SVM) การเรียนรู้แบบป่าสุ่ม (Random forest; RF) และการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbors; KNN) เพื่อใช้ในการเรียนรู้ปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อตัวแปรเชิงพื้นที่ที่เรียกว่าอุณหภูมิพื้นผิว โดยปัจจัยดังกล่าวจะเป็นการเรียนรู้สิ่งปกคลุมพื้นดินที่ส่งผลต่อการแทรก ค่าอุณหภูมิพื้นผิวโดยการเรียนรู้ทั้ง 3 รูปแบบ ผ่านทางโปรแกรม ArcGIS

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อรูปแบบของอุณหภูมิของประเทศไทย
2. เพื่อระบุวิธีการธรณีสถิติที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าของอุณหภูมิเฉลี่ย
3. เพื่อสกัดและคาดการณ์อุณหภูมิพื้นผิวจากช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนจากข้อมูลดาวเทียมสำหรับการ ศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง
4. เพื่อประเมินและคาดการณ์ปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเขตเมืองและการเปลี่ยนแปลงระหว่างปีพ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2566

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ข้อมูลศึกษา งานวิจัยนี้ใช้ชุดข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม 2 ดวง คือ
 - 1.1 ในการศึกษาสิ่งปกคลุมพื้นดิน (LULC) ใช้ชุดข้อมูลดาวเทียม Sentinel 2
 - 1.2 ในการศึกษาอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ใช้ชุดข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8
2. ช่วงเวลาของข้อมูลศึกษา งานวิจัยนี้เลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม 2 ช่วงเวลา คือ เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2561 และ ธันวาคม พ.ศ. 2566
3. พื้นที่ศึกษา งานวิจัยนี้เลือกพื้นที่ของตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคามตั้งอยู่ที่ ดังที่แสดงในภาพประกอบ 1.1 มีเนื้อที่ที่ประมาณ 24.14 ตารางกิโลเมตร โดยมีพิกัดทางภูมิศาสตร์อยู่ที่ $16^{\circ}10'38.1''N$ และ $103^{\circ}18'3.5''E$

พูน ปณ ทิโต ชิว



ภาพประกอบที่ 1.1 ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

4. วิธีที่ใช้ในการศึกษา

4.1 การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินโดยใช้การเรียนรู้แบบป่าสุ่ม (Random forest; RF)

4.2 การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินโดยใช้การเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (K-nearest neighbors; KNN)

4.3 การคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวจากชุดข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8

4.4 การประมาณค่าช่วงอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค Inverse distance weight; IDW

4.5 การประมาณค่าช่วงอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค Ordinary kriging; OK

4.6 การประมาณค่าช่วงอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค Ordinary kriging ร่วมกับการเรียนรู้แบบ Support vector machine; SVM หรือที่เรียกว่า OK + SVM

4.7 การประมาณค่าช่วงอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค Ordinary kriging ร่วมกับการเรียนรู้แบบ Random forest หรือที่เรียกว่า OK + RF

4.8 การประมาณค่าช่วงอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค Ordinary kriging ร่วมกับการเรียนรู้แบบ K-nearest neighbors หรือที่เรียกว่า OK + KNN

5. โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา

5.1 โปรแกรม ArcGIS

5.2 โปรแกรม QGIS

6. เครื่องมือสำหรับประเมินแบบจำลอง คือ

6.1 Coefficient of determination; R^2

6.2 Mean absolute error; MAE

6.3 Mean square error; MSE

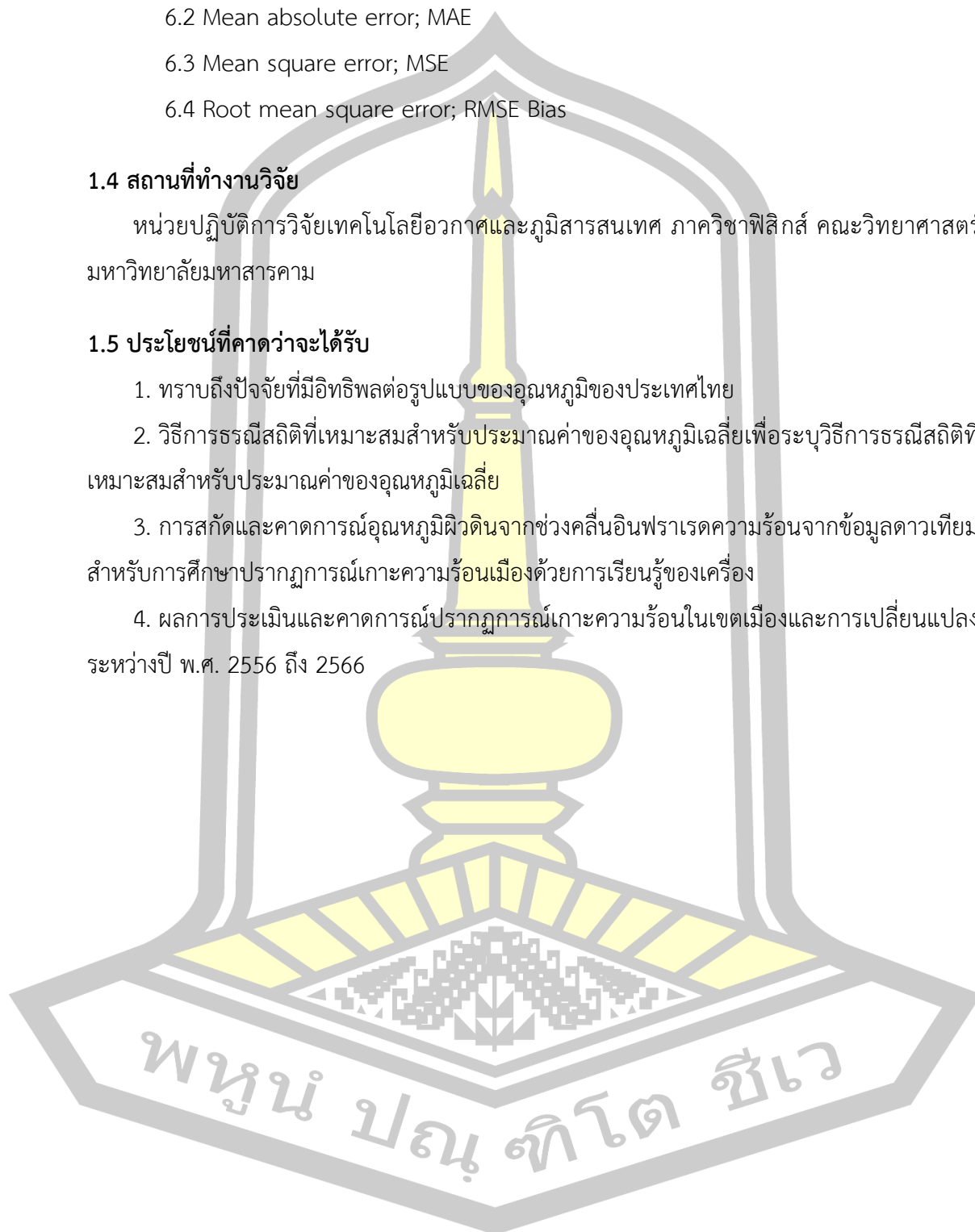
6.4 Root mean square error; RMSE Bias

1.4 สถานที่ทำงานวิจัย

หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อรูปแบบของอุณหภูมิของประเทศไทย
2. วิธีการธรณีสถิติที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยเพื่อระบุวิธีการธรณีสถิติที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าของอุณหภูมิเฉลี่ย
3. การสกัดและคาดการณ์อุณหภูมิผิวดินจากช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนจากข้อมูลดาวเทียม สำหรับการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง
4. ผลการประเมินและคาดการณ์ปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเขตเมืองและการเปลี่ยนแปลง ระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง 2566



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานจำเป็นสำหรับการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองบนพื้นที่ศึกษาของตำบลตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ผ่านทางตัวแปรเชิงพื้นที่คือ อุณหภูมิพื้นผิว (LST) ด้วยวิธีการประมาณแบบช่วง (Interpolation) ทั้งแบบดั้งเดิม คือ เทคนิค IDW และ เทคนิค Ordinary kriging และแบบใหม่ที่ใช้เทคนิค Ordinary kriging ร่วมกับวิธีการเรียนรู้ของเครื่องรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติมากที่สุด

2.1 พลังงานความร้อนและอุณหภูมิพื้นผิว

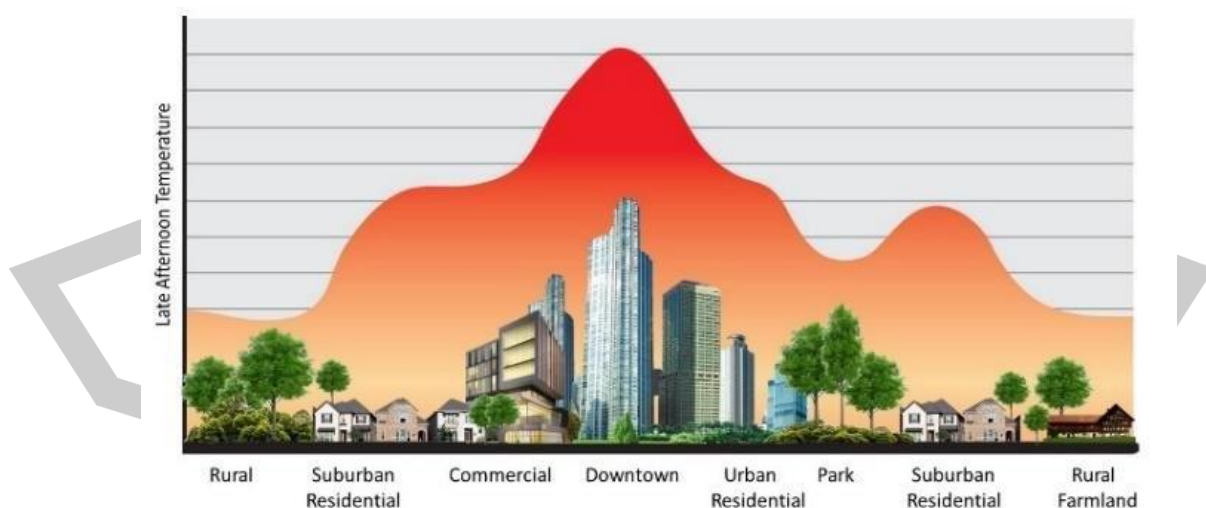
ความร้อน (Heat) เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่สามารถถูกเก็บสะสมภายในโครงสร้างวัสดุต่างๆ ได้ แต่จะต้องอยู่ภายใต้สิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงกว่า หากสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น ๆ มีความอุณหภูมิต่ำกว่าระบบความร้อนจะถูกถ่ายเทให้สิ่งแวดล้อมตามหลักสมดุลความร้อนของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งพลังงานความร้อนจะสามารถสะสมได้เร็วหรือช้าจะขึ้นกับคุณสมบัติของวัตถุที่ถูกแทนด้วยค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacitor) พลังงานความร้อนยังเป็นปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกๆ ชนิดบนโลก โดยทั่วไป ปริมาณความร้อนจะถูกระบุหรือถูกกำหนดด้วยคำว่า “อุณหภูมิ” ระดับของอุณหภูมิจึงถูกใช้เป็นมาตรวัดของปริมาณความร้อนในระบบต่างๆ รวมทั้งความร้อนภายในสิ่งแวดล้อม ในการศึกษาทางกายภาพของปริมาณอุณหภูมิจากทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์ พบว่า ปริมาณความร้อนหรืออุณหภูมิเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ขึ้นตรงกับขนาดหรือที่เรียกว่า Intensive Variable ดังนั้น การศึกษาความร้อนในแต่ละจุดหรือตำแหน่งสังเกตจึงมีจำเพาะต่อการศึกษา ณ ที่ตำแหน่งนั้นๆ อย่างไรก็ตาม การศึกษาและตรวจวัดปริมาณความร้อนในสิ่งแวดล้อมนั้นส่วนมากจะถูกอธิบายได้ด้วยค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ ซึ่งเป็นตัวแทนของอุณหภูมิตามจุดต่างๆ บนพื้นที่ที่ศึกษา อุณหภูมิเฉลี่ยอาจเป็นพารามิเตอร์ที่กว้างเกินไปสำหรับการศึกษาและตรวจวัดความร้อนในแต่ละจุดทุกจุดบนพื้นที่ เนื่องจากในแต่ละพื้นที่ย่อมมีความแตกต่างของพลังงานความร้อนตามสภาพแวดล้อมรวมถึงสิ่งต่างๆ ที่ปกคลุมอยู่บนพื้นที่ตำแหน่งนั้นๆ ดังนั้น เพื่อให้ได้ข้อมูลความร้อนทุกๆ จุดบนพื้นที่เพื่อการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิเชิงพื้นที่ให้เด่นชัดจึงได้มีการศึกษาพารามิเตอร์หนึ่งๆ ที่เรียกว่า อุณหภูมิพื้นผิว (Land surface temperature; LST)

อุณหภูมิพื้นผิว หมายถึง อุณหภูมิหรือค่าพลังงานความร้อนที่ถูกเก็บสะสมไว้ในวัตถุหรือสิ่งต่างๆ ที่ปกคลุมไว้บนพื้นผิวของโลกเมื่อวัตถุต่างๆ เหล่านั้นได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ในสถานะที่สิ่งแวดล้อมโดยรอบมีอุณหภูมิที่สูงกว่าวัตถุเหล่านั้น ความร้อนดังกล่าวจะยังถูกเก็บสะสมไว้

ในโครงสร้างหรือเนื้อสารของวัสดุตามหลักของสมดุลเทอร์โมไดนามิกส์ แต่เมื่อบริเวณแวดล้อมมีอุณหภูมิลดต่ำลง พลังความร้อนที่ถูกสะสมไว้ในวัตถุเหล่านั้นก็จะเริ่มถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเป็นสมบัติพื้นฐานของการแผ่รังสีของวัตถุดำ (Black body radiation) โดยความร้อนดังกล่าวจะถูกปลดปล่อยออกมาจนกระทั่งอุณหภูมิของวัตถุนั้นๆ มีค่าเท่ากับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม จากปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าปริมาณของอุณหภูมิพื้นผิวจะสูงหรือต่ำจะขึ้นอยู่กับสิ่งปกคลุมพื้นที่ ณ บริเวณนั้นๆ เนื่องจากวัตถุแต่ละชนิดมีสมบัติการกักเก็บและสะท้อนความร้อนได้แตกต่างกัน โดยมากวัตถุที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ปูน หิน ทราย จะมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนได้ดีและคายความร้อนได้ช้าจะนำไปสู่อุณหภูมิพื้นผิวที่สูงกว่าวัตถุที่สารอินทรีย์ เช่น ต้นไม้ พืชพรรณ ดังนั้น บริเวณใจกลางเมืองที่มีพื้นที่ต้นปกคลุมเพียงเล็กน้อยและพื้นที่ส่วนมากปกคลุมไปด้วยตึกรางบ้านช่องเมื่อเทียบกับบริเวณชานเมืองที่มีพื้นที่ปกคลุมของต้นไม้มากกว่า บริเวณใจกลางเมืองจึงมีแนวโน้มที่จะเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

2.2 เกาะความร้อน

เกาะความร้อน (Urban heat island) ถูกเขียนครั้งแรกในรายงานของ Gordon Monley ในปี ค.ศ. 1953 ซึ่งถูกตีพิมพ์ในวารสาร Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society โดยคำว่า “เกาะความร้อน” เป็นชื่อเรียกของลักษณะภูมิอากาศที่แสดงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิสองบริเวณที่ถูกเขียนแทนด้วยเส้นโค้งเพื่อแบ่งขอบเขตของความแตกต่างทางด้านภูมิศาสตร์ของอุณหภูมิซึ่งมีความคล้ายคลึงกันกับรูปเกาะดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.1 โดยแสดงถึงขอบเขตการแบ่งแยกของอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิที่ต่ำที่อยู่โดยรอบเมืองในเขตชนบท



ภาพประกอบที่ 2.1 เกาะความร้อน

เกาะความร้อนเมืองเป็นปรากฏการณ์ที่พื้นที่ในเมืองส่วนใหญ่มักจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณโดยรอบอย่างมีนัยสำคัญ โดยความแตกต่างของอุณหภูมิดังกล่าวจะชัดเจนในตอนกลางคืนมากกว่าตอนกลางวันและในฤดูหนาวมากกว่าฤดูร้อน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดินที่เมื่อก่อนบริเวณพื้นที่ในเมืองอาจจะถูกปกคลุมไปด้วยพื้นที่สีเขียวหรือต้นไม้ แต่ต้องกลับกลายมาถูกปกคลุมด้วยสิ่งปลูกสร้าง ทำให้การดูดซับและการสะท้อนของปริมาณความร้อนเปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดการสะสมความร้อนบริเวณนั้นๆ จึงเป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนขึ้น รวมทั้งการขยายตัวของเมืองโดยไม่มีกรวางแผน ทั้งนี้สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดเกาะความร้อนเมือง คือการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของแผ่นดินจาก บริเวณที่เป็นต้นไม้เป็นพื้นลาดแข็ง โดยใช้วัสดุที่ทำให้เกิดการสะสมของความร้อน ก่อให้เกิดการดูดซับรังสีความร้อนของตึกและอาคาร ถนน และวัสดุปูพื้นในช่วงกลางวัน นอกจากนี้ปรากฏการณ์เกาะความร้อนยังเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้เครื่องปรับอากาศ การใช้ยานพาหนะ และกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อเปรียบเทียบสมดุลของการใช้พลังงานระหว่างพื้นที่ เขตเมืองกับพื้นที่รอบนอกพบว่าในเขตเมืองมีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมามากกว่า ค่าความเข้มของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองสามารถถูกแสดงได้ดังสมการที่ 1

$$\Delta T_{u-r} = T_u - T_r \quad (1.1)$$

โดยที่ ΔT_{u-r} คือ ความเข้มของปรากฏการณ์เกาะความร้อน
 T_u คือ อุณหภูมิบริเวณในเมือง
 T_r คือ อุณหภูมิบริเวณนอกเมือง

2.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน หมายถึง การนำที่ดินมาใช้ประโยชน์และจัดสรรเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ในด้านต่างๆ เช่น เกษตรกรรม อุตสาหกรรม แหล่งน้ำ และที่อยู่อาศัย เป็นต้น โดยทั่วไป ระบบการจำแนกการใช้ที่ดินในประเทศไทยเป็นระบบที่ปรับปรุงมาจากระบบของกรมทรัพยากรธรณีประเทศสหรัฐอเมริกา (USGS) โดยได้แบ่งการจำแนกออกเป็น 3 ระดับ คือ

ระดับที่ 1 แบ่งเป็นพื้นที่ชุมชนและสร้างสิ่งปลูกสร้าง (U) พื้นที่เกษตรกรรม (A) พื้นที่ป่าไม้ (F) พื้นที่น้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M)

ระดับที่ 2 จำแนกรายละเอียดพื้นที่แต่ละประเภทในระดับ 1 ตัวอย่างเช่น พื้นที่ชุมชน และสิ่งก่อสร้าง แบ่งย่อยเป็น ตัวเมืองและย่านการค้า หมู่บ้าน สถานที่ราชการ สถานีสานานาคม

ระดับที่ 3 จำแนกรายละเอียดพื้นที่แต่ละประเภทในระดับที่ 2

ตาราง 2.1 ระบบการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

Level I	Code	Level II	Code
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (Urban and built-up land)	U	เมืองและย่านการค้า (Urban and Commercial area)	U1
		ที่อยู่อาศัย (Residential area)	U2
		สถานที่ราชการและสถาบัน (Governmental and Institutional land)	U3
		สถานีคมนาคม การสื่อสาร และสาธารณูปโภค (Transportation, Communications and Utilities)	U4
		ย่านอุตสาหกรรม (Industrial land)	U5
		สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ (Other Built-up land)	U6
		สนามกอล์ฟ (Golf Course)	U7
พื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural Land)	A	พื้นที่นา (Paddy field)	A1
		พืชไร่ (Field crop)	A2
		ไม้ยืนต้น (Perennial)	A3
		ไม้ผล (Orchard)	A4
		พืชสวน (Horticulture)	A5
		ไร่หมุนเวียน (Swidden cultivation)	A6
		ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือน (Pasture and Farm house)	A7
		พืชน้ำ (Aquatic plant)	A8
		สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Aqua cultural land)	A9
		เกษตรผสมผสาน (Integrated farm)	A0
3 พื้นที่ป่าไม้ (Forest Land)		ป่าไม้ผลัดใบ (Evergreen forest)	F1
		ป่าไม้ผลัดใบ (Evergreen forest)	F2
		ป่าผลัดใบ (Deciduous forest)	F3
		ป่าชายเลน (Mangrove forest)	F4
		ป่าพรุ (Swamp forest)	F5

		ป่าปลูก (Forest plantation)	F6	
		วนเกษตร (Agro – forestry)	F7	
4	พื้นที่แหล่งน้ำ (Water)	W	แหล่งน้ำตามธรรมชาติ (Natural water body)	W1
			แหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น (Artificial water body)	W2
5	พื้นที่เบ็ดเตล็ด (Miscellaneous land)	M	ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะ (Rangeland and Scrub)	M1
			พื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและพื้นที่น้ำขัง (Marsh and Swamp)	M2
			เหมืองและบ่อขุด (Mine and pit)	M3
			พื้นที่เบ็ดเตล็ดอื่นๆ (Other Miscellaneous land)	M4
			นาเกลือ (Salt flat)	M5
			หาดทราย (Beach)	M6
			ที่ทิ้งขยะ (Garbage dump)	M7

ที่มา: (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

2.4 การรับรู้ระยะไกล

การรับรู้จากระยะไกล (Remote sensing) คือ ศาสตร์ทางวิทยาศาสตร์กายภาพแขนงหนึ่งที่ใช้ประยุกต์ใช้สมบัติเชิงคลื่นประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของการได้มาซึ่งข้อมูลทางกายภาพของวัตถุหรือแม้แต่สภาพแวดล้อมที่ต้องการศึกษาผ่านสมบัติเชิงคลื่น โดยการได้มาซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะต้องผ่านกระบวนการบันทึก การตรวจวัดและการแปลตีความภาพถ่ายเชิงคลื่นและข้อมูลเชิงตัวเลขที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับพลังงานและความยาวคลื่นที่ถูกปลดปล่อยออกจากวัตถุและถูกบันทึกไว้โดยไม่จำเป็นต้องสัมผัสวัตถุ การสำรวจข้อมูลจากระยะไกลคือการศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่หรือพื้นผิวโลกด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากอวกาศ เพื่อให้ได้ข้อมูลข่าวสารพื้นผิวโลกด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูลบนดาวเทียมการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลโดยอาศัยพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพาหะในการสื่อสาร เพราะวัตถุต่างๆที่ผิวโลกมีคุณสมบัติทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างกัน การบันทึกข้อมูลด้วยภาพถ่ายหรือเทปบันทึกแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อได้ข้อมูลมา 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น รูปทรงสัญญาณ และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของสิ่งต่างๆ บนผิวโลก นำไปวิเคราะห์ด้วยสายตาหรือคอมพิวเตอร์จะได้ข้อมูลในลักษณะที่แท้จริงของทรัพยากรในพื้นที่หรือบริเวณที่ศึกษาได้ สำหรับ

องค์ประกอบที่สำคัญของรีโมทเซนซิงทั้งธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น คือคลื่นแสงพลังงานจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่ช่วงคลื่นสั้นที่สุดคือรังสีเหนือม่วง ถึงคลื่นยาวที่สุดคือรังสีใต้แดงและรังสีความร้อน เมื่อพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์มาถึงผิวโลก เกิดปฏิกิริยาหลัก 3 อย่าง คือการสะท้อนพลังงาน การดูดกลืนพลังงานและการส่งผ่านพลังงาน อุปกรณ์บันทึกข้อมูลบนดาวเทียมจะส่งภาพถ่ายสีขาวดำ และแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบันทึกไว้ในแถบเทป ส่งมายังสถานีภาคพื้นดินด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีกระบวนการการสำรวจข้อมูลระยะไกล ประกอบด้วยสองกระบวนการหลัก คือ

1) การรับข้อมูลและ บันทึกสัญญาณข้อมูล (Data acquisition) โดย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum) จากแหล่งกำเนิดพลังงาน (ดวงอาทิตย์) โดยเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศแล้วเกิดปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณ์พื้นผิวโลกและเดินทางเข้าสู่อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Sensor) ที่ติดตั้งในตัวยาน (Airborne or Spaceborne) แล้วถูกบันทึกเป็นข้อมูลในรูปแบบภาพ หรือรูปแบบเชิงตัวเลข (Digital Form)

2) การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ประกอบด้วยการแปลความข้อมูลด้วยสายตา (Visual Interpretation) และการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Digital Analysis)

2.4.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานต่อเนื่องที่มีค่าความยาวของช่วงคลื่นหลายเมตรโดยมีดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในรูปแบบแม่เหล็กไฟฟ้าทางธรรมชาติที่สำคัญและยังเป็นพลังงานหลักในทางการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล ซึ่งดวงอาทิตย์จะแผ่พลังงานไปตามทฤษฎีของคลื่น (Wave Theory) ที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก (Harmonic) มีช่วงซ้ำและจังหวะเท่ากันในเวลาหนึ่งมีความเร็วเท่าแสง (c) ระยะทางจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่นถัดไปเรียกว่าความยาวคลื่น (λ) และจำนวนยอดคลื่นที่เคลื่อนผ่านจุดคงที่จุดหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า ความถี่คลื่น (f) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความถี่คลื่น คือ

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.2)$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่น (เมตร)

c คือ ความเร็วของแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตร/วินาที

f คือ ความถี่ของคลื่น (เฮิร์ตซ์)

โดยช่วงคลื่นที่ใช้ประกอบในการสำรวจข้อมูลระยะไกลแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ 1. ช่วงคลื่นเชิงแสง (Optical Wavelength) อยู่ระหว่าง 0.4 - 14 ไมครอน ซึ่งสามารถ ถ่ายภาพและบันทึกภาพด้วยฟิล์ม ถ่ายรูปและอุปกรณ์บันทึกภาพ (Sensor) โดยประกอบไปด้วยช่วงคลื่นแสงสว่าง (Visible light) อยู่ ระหว่าง 0.4 - 0.7 ไมครอน แบ่งเป็น 3 ช่วงคือ น้ำเงิน เขียว และแดง ถัดมาเป็น

ช่วงคลื่นอินฟราเรด ช่วงใกล้ (Near Infrared) ระหว่าง 0.7-3 ไมครอน และอินฟราเรดช่วงความร้อน (Thermal Infrared) ระหว่าง 3-15 ไมครอน 2. ช่วงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Wavelength) อยู่ระหว่าง 1 มม. - 1 ม. ช่วงคลื่นในกลุ่มนี้จะเรียกหน่วยนับเป็นหน่วยความถี่ ที่รู้จักกันดีก็คือระบบเรดาร์ (RADAR) ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นความถี่ระหว่าง 3-12.5 GHz

2.4.2 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานในชั้นบรรยากาศ (Energy Interaction in the Atmosphere)

เป็นคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ แล้วสะท้อนกลับสู่บรรยากาศ ก่อนที่จะถูกบันทึกด้วยอุปกรณ์สำรวจบรรยากาศของโลก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นพลังงาน ในด้าน ทิศทาง ความเข้ม ตลอดจนความยาวและความถี่ของช่วงคลื่น ทำให้เกิดปฏิกิริยากับคลื่นพลังงาน 3 กระบวนการคือ การกระจัดกระจาย (Scattering) การดูดซับ (Absorption) และการหักเห (Refraction) ทำให้ปริมาณพลังงานตกกระทบผิวโลกลดลง

2.4.3 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับวัตถุบนพื้นผิวโลก (Energy Interaction with Earth Surface Features)

เมื่อพลังงานจากดวงอาทิตย์หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกส่งผ่านชั้นบรรยากาศลงมาถึงกระทบวัตถุบนพื้นผิวโลกจะเกิดปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ขึ้น 3 ปรากฏการณ์ตามสมบัติของการส่งผ่านพลังงานของคลื่น [55] คือ การสะท้อนพลังงาน (Energy reflection = $E_R(\lambda)$) การดูดซับพลังงาน (Energy absorption = $E_A(\lambda)$) และการส่งผ่านพลังงาน (Energy transmission = $E_T(\lambda)$) ซึ่งความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ทั้ง 3 ปรากฏการณ์จะอยู่ภายใต้หลักอนุรักษพลังงาน (Energy conservation) ทำให้สามารถเขียนความสัมพันธ์ของทั้ง 3 ปรากฏการณ์ภาพได้สมการสมดุลพลังงาน (Energy Balance Equation) ได้ดังสมการที่

$$E_T(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

(2.3)

อย่างไรก็ตาม สำหรับการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลเป็นการวัดคุณสมบัติสัดส่วนในการสะท้อนพลังงานของวัตถุบนพื้นผิวโลก ณ ช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่งเรียกว่า Spectral Reflectance ดังนั้น พลังงานที่วัดได้โดยตัวรับสัญญาณ (Sensor) จึงประกอบด้วยพลังงานที่สะท้อนจากพื้นผิววัตถุ บางส่วนจากปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศ พลังงานที่สะท้อนกลับโดยตรงจากก้อนเมฆ ค่าที่วัดได้นี้จะน้อยหรือมากขึ้นอยู่กับสถานะของบรรยากาศและการส่งผ่านพลังงาน

2.4.4 การสะท้อนช่วงคลื่น (Spectral Signature) ของพืชพรรณ ดิน และน้ำ

- พืชพรรณ ในช่วงคลื่นมองเห็นคลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 0.45-0.65 ไมครอนซึ่งเป็นช่วงคลื่นสีน้ำเงินและสีแดง สะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่น 0.5 ไมครอน ดังนั้นดวงตามนุษย์จึงมองเห็นใบพืชเป็นสีเขียว ระบบการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลที่

สามารถบันทึก ค่าสะท้อนของช่วงคลื่นนี้ได้ สามารถใช้สำรวจอาการผิดปกติของพืชได้ในช่วงคลื่นที่มีความยาวสูงกว่า 1.3 ไมครอน

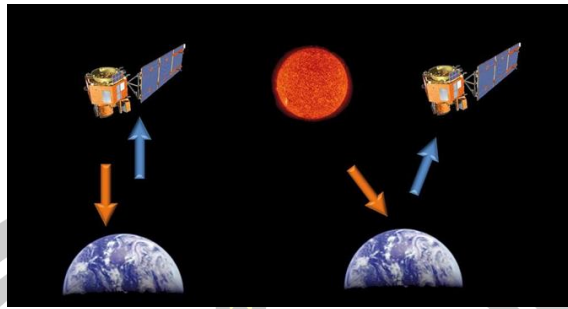
- ดิน การสะท้อนพลังงานของดินกับความยาวคลื่นมีความแปรปรวนน้อย ปัจจัยหลักที่มีผล ต่อการสะท้อนพลังงานของดิน คือ ความชื้นในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ เนื้อดิน ปริมาณเหล็ก ออกไซด์และความขรุขระของผิวดิน (Roughness) ปัจจัยดังกล่าวมีความซับซ้อน ดินทรายหยาบมีการระบายน้ำดีจะสะท้อนพลังงาน สูง ดินละเอียดมีการระบายน้ำเร็วจะสะท้อนพลังงานต่ำ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจะมีสีคล้ำ ดูดกลืนพลังงานสูง ในช่วงสายตามองเห็น ดินที่มีผิวขรุขระมากก็จะทำให้การสะท้อนของพลังงานลดลง

- น้ำ การสะท้อนพลังงานของน้ำมีลักษณะต่างจากวัตถุอื่นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วง คลื่นอินฟราเรด น้ำใสจะดูดกลืนพลังงานเล็กน้อย การส่งผ่านพลังงานเกิดขึ้นสูงในช่วงแสงสีน้ำเงิน เขียว แต่น้ำที่มีตะกอนหรือสิ่งเจือปน การสะท้อนและการส่งผ่านพลังงานได้มากกว่าน้ำใส ถ้ามีสาร คลอโรฟิลล์ในน้ำมากขึ้น การสะท้อนช่วงคลื่นสีน้ำเงินจะลดลงและจะเพิ่มขึ้นในช่วงคลื่นสีเขียว ซึ่ง อาจใช้เป็น ประโยชน์ในการติดตามและคาดคะเนปริมาณสาหร่าย

2.4.5 ประเภทของการรับรู้ระยะไกล

ประเภทของการรับรู้ระยะไกลแบ่งตามแหล่งกำเนิดพลังงานที่ก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มี 2 กลุ่มดังนี้ 1. ระบบการรับรู้ข้อมูลจากระยะไกลโดยอาศัยพลังงานแสงธรรมชาติ (Passive Remote Sensing) เป็นระบบที่ใช้แหล่งพลังงานที่เกิดตามธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ระบบนี้จะรับและบันทึกข้อมูลได้ในเวลากลางวัน และมีข้อจำกัดด้านสภาพภูมิอากาศ จึงไม่สามารถ รับข้อมูลได้ในฤดูฝน หรือในเวลามีเมฆ หมอก ฝน 2. ระบบการรับรู้ข้อมูลจากระยะไกลโดยอาศัย พลังงานที่สร้างขึ้น (Active Remote Sensing) เป็นระบบที่มีแหล่งพลังงานเกิดจากการสร้างขึ้นใน ตัวของเครื่องมือสำรวจเอง เช่น ช่วงคลื่นไมโครเวฟที่สร้างขึ้นในระบบเรดาร์แล้วส่งพลังงานนั้นไปยัง พื้นที่เป้าหมายระบบนี้สามารถทำการรับและบันทึกข้อมูลได้โดยไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาหรือด้าน สภาพะภูมิอากาศ คือ สามารถรับส่งสัญญาณได้ทั้งกลางวันและกลางคืน อีกทั้งยังสามารถทะลุผ่าน กลุ่มเมฆ หมอกและฝนได้ในทุกฤดูกาล

พูน ปณ ทิโต ชีเว



ภาพประกอบที่ 2.2 การรับรู้ระยะไกลแบบ Active และ Passive

ดังนั้น การสำรวจจากระยะไกลจึงเป็นทั้งวิทยาศาสตร์ ศิลปะ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการบันทึก ข้อมูลด้วยเครื่องมือที่ใช้วัดค่าพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนหรือ แผ่ออกจากวัตถุ (Sensor) เช่น กล้องถ่ายรูป (Camera) หรือเครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral scanner) ที่ถูกติดตั้งบนยานพาหนะหรือยานสำรวจ (Platform) เช่น เครื่องบินหรือดาวเทียม หลังจากนั้นข้อมูลที่ถูกบันทึกจะถูกนำมาแปลตีความ จำแนก และวิเคราะห์ เพื่อให้เข้าใจถึงวัตถุและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จากลักษณะเฉพาะตัวของการสะท้อนแสงหรือแผ่พลังงาน แม่เหล็กไฟฟ้า อย่างไรก็ตามตัวกลางอื่น ๆ เช่น ความโน้มถ่วง คลื่นเสียง หรือ สนามแม่เหล็ก ก็อาจนำมาใช้ในศาสตร์ของการสำรวจจากระยะไกลได้เช่นกัน

2.5 ดาวเทียม

2.5.1 ดาวเทียม Sentinel 2



ภาพประกอบที่ 2.3 ดาวเทียม Sentinel 2

ชุดดาวเทียม Sentinel-2 ประกอบไปด้วยดาวเทียม 2 ดวง ได้แก่ ดาวเทียม Sentinel-2A และดาวเทียม Sentinel-2B ดังที่แสดงในภาพ 2.5 ถูกปล่อยเข้าสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2558 และ 7 มีนาคม พ.ศ. 2560 เกิดจากความร่วมมือของคณะกรรมการอวกาศยุโรป (European Commission; EC) และองค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency; ESA) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการสังเกตการณ์สิ่งแวดล้อมบนผิวโลก อาทิ พืชพรรณและสิ่งแวดล้อม ดาวเทียม Sentinel 2 จัดเป็นดาวเทียมในช่วงคลื่นแสง (Optical remote sensing) ที่ให้ข้อมูลความละเอียด

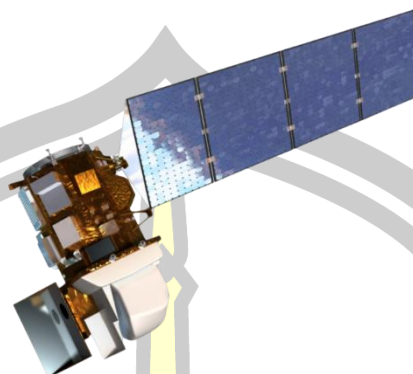
เชิงพื้นที่ตั้งแต่ 10-60 เมตร ประกอบด้วยความยาวคลื่นที่ตรวจวัดได้ 13 แบนด์ดังที่แสดงในตารางที่ 3 ระหว่างช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) อินฟราเรดใกล้ (Near-Infrared; NIR) ไปจนถึงอินฟราเรดคลื่นสั้น (Short wave infrared; SWIR) โดยจะโคจรเคลื่อนที่กลับมาถ่ายภาพที่บริเวณเดิมทุกๆ 10 วัน ภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel 2 มีระดับการประมวลผล (Processing Level) ได้แก่ Level-0, Level-1A, Level-1B, Level-1C และ Level-2A โดยที่ Level-0, Level-1A, Level-1B เป็นภาพที่ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี (Radiometric correction) แล้ว ภาพ Level-1C เป็นภาพที่ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสีและความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) และในลำดับสุดท้ายภาพ Level-2A เป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ที่เป็นข้อมูลที่ผ่านการจำแนกข้อมูลมาเบื้องต้น (Scene Classification) และทำการปรับแก้ค่าการสะท้อนจากชั้นบรรยากาศ (Atmospheric correction) ในระดับ Top-of-Atmosphere (TOA) ไปสู่ระดับ Bottom-of-Atmosphere

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2

ช่วงคลื่น	ค่ากึ่งกลางช่วงคลื่น (ไมโครเมตร)	รายละเอียดจุดภาพ (เมตร)
Band 1 – Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 – Blue	0.490	10
Band 3 – Green	0.560	10
Band 4 – RED	0.665	10
Band 5 – Vegetation red edge	0.708	20
Band 6 – Vegetation red edge	0.740	20
Band 7 – Vegetation red edge	0.783	20
Band 8 – NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation red edge	0.865	20
Band 9 – Water vapour	0.945	60
Band 10 – SWIR – Cirrus	1.375	60
Band 11 – SWIR	1.610	20
Band 12 – SWIR	2.190	2

ที่มา Satellite Imaging Corporation 2022

2.5.2 ดาวเทียม LANDSAT 8



ภาพประกอบที่ 2.4 ดาวเทียม LANDSAT 8

ชุดดาวเทียม LANDSAT เป็นชุดดาวเทียมที่ถูกพัฒนาและให้บริการมาอย่างยาวนานทำให้สามารถศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนโลกได้อย่างต่อเนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ข้อมูลภาพที่ได้จากดาวเทียม LANDSAT มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร และขอบเขตเชิงพื้นที่ 185 ตารางกิโลเมตรต่อภาพ และได้ถูกพิสูจน์แล้วว่ามีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สิ่งปกคลุมพื้นดินและระบบนิเวศวิทยา แต่อย่างไรก็ตามความละเอียดเชิงเวลาของดาวเทียมชนิดนี้มีค่าค่อนข้างต่ำคือ 16 วัน กล่าวคือ จะต้องใช้เวลาถึง 16 วันในการกลับมาถ่าย ณ ตำแหน่งเดิมอีกครั้ง ทำให้ยากที่จะบันทึกภาพเหตุการณ์ในบางเวลาที่ต้องการ สำหรับการจำแนกการใช้ที่ดินในประเทศไทยซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมนุษย์เป็นผู้กำหนดลักษณะการใช้ที่ดินว่าจะไปในลักษณะใด เช่น การทำเกษตรกรรม การก่อสร้างอาคารบ้านเรือน หรือการสร้างสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ เป็นต้น ข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ ถูกนำมาโดยกรมพัฒนาที่ดินในการศึกษาและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน ตลอดจนการจัดการทำแผนที่แสดงของเขตการใช้ที่ดินแต่ละประเภทมาอย่างยาวนาน การนำข้อมูลดาวเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพที่ดินสามารถทำได้สองวิธีคือ การแปลด้วยสายตา และการใช้คอมพิวเตอร์ช่วย ชุดดาวเทียม LANDSAT ได้เริ่มต้นขึ้นและให้บริการข้อมูลมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ พ.ศ. 2515 ซึ่งดาวเทียมดวงแรกในชุดคือ ERTS-1 (Earth resources technology satellite) ซึ่งต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น LANDSAT 1 สำหรับดาวเทียม LANDSAT 8 ดังที่แสดงในภาพที่ 2.6 เริ่มปฏิบัติการเมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 ภายใต้การบริหารจัดการของ USGS โคจรสูงเหนือพื้นโลก 705 กิโลเมตร ดาวเทียม LANDSAT 8 มีอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบ LANDSAT 8 Operational Land Imager (OLI) และ Thermal Infrared Sensor (TIRS) ประกอบด้วย 11 แบนด์ ดังที่แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8

ช่วงคลื่น	ช่วงคลื่น (ไมโครเมตร)	รายละเอียดจุดภาพ (เมตร)
Band 1 – Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
Band 2 – Blue	0.45 – 0.51	30
Band 3 – Green	0.53 – 0.59	30
Band 4 – RED	0.64 - 0.67	30
Band 5 – Near Infrared NIR	0.85 – 0.88	30
Band 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Band 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Band 8 – Panchromatic	0.50 – 0.68	15
Band 9 – Cirrus	1.36 – 1.38	30
Band 10 – Thermal Infrared –	10.60 – 11.19	100
TIRS 1 Band 11 – Thermal Infrared – TIRS 2	11.50 – 12.51	100

2.6 การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียม LANDSAT 8

ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-8 OLI/TIRS ที่บันทึกในเดือนธันวาคม ปี 2018 และ 2023 ได้ถูกใช้เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature: LST) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ เซนเซอร์ LANDSAT-8 OLI/TIRS ประกอบด้วยแถบคลื่น 9 แถบในช่วง Operational Land Imager (OLI) และ 2 แถบในช่วง Thermal Infrared Sensor (TIRS) ได้แก่ แถบ 10 และแถบ 11 เซนเซอร์ TIRS ได้พัฒนาขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีฟิสิกส์ควอนตัมใหม่เพื่อตรวจจับรังสีความร้อน TIRS ตรวจจับความยาวคลื่นแสงที่ยาวจากโลก ซึ่งความเข้มข้นนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิพื้นผิว ความยาวคลื่นเหล่านี้เรียกว่าอินฟราเรดความร้อน ซึ่งอยู่เหนือสเปกตรัมที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ รายละเอียดของเซนเซอร์ TIRS แสดงในตารางที่ 2.4 ข้อมูลจาก TIRS (แถบ 10) ที่แสดงในตัวเลขดิจิทัล (DN) ถูกแปลงเป็นความเข้มคลื่นสเปกตรัมที่ขอบบรรยากาศ (TOA) โดยใช้ปัจจัยการปรับขนาดความเข้มที่ระบุในไฟล์เมตาตาต้า ตามที่แสดงในสมการที่ 2.4 นอกจากนี้ข้อมูล TIRS (แถบ 10) ยังสามารถแปลงจากความเข้มคลื่นสเปกตรัมเป็นอุณหภูมิความสว่างที่ขอบบรรยากาศโดยใช้ค่าคงที่ความร้อนที่พบในไฟล์ MTL ตามที่แสดงในสมการที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 คำจำกัดความของแถบ TIRS และขีดจำกัดที่อนุญาตสำหรับข้อผิดพลาดในการแผ่รังสี.

Landsat Channel	Thermal Band	50% Lower	50% Upper	Center	NEdL
		Band Edge	Band Edge	Wavelength	Maximum Allowed Radiance Error
		(μm)	(μm)	(μm)	$\text{W}/(\text{m}^2\text{sr}\mu\text{m})$
10	1	10.6	11.2	10.9	0.059 (0.4 K at 300 K)
11	2	11.5	12.5	12	0.049 (0.4 K at 300 K)

$$L_\lambda = M_L \cdot Q_{cal} + A_L \quad (2.4)$$

โดยที่

L_λ = TOA spectral radiance ($\text{Watts}/(\text{m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \mu\text{m})$)

M_L = Band-specific multiplicative rescaling factor from the metadata

A_L = Band-specific additive rescaling factor from the metadata

Q_{cal} = Quantized and calibrated standard product pixel values (DN)

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left[\left(\frac{K_1}{L_\lambda}\right) + 1\right]} - 273.15 \quad (2.5)$$

โดยที่

BT = Top of atmosphere brightness temperature (K)

L_λ = TOA spectral radiance ($\text{Watts}/(\text{m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \mu\text{m})$)

K_1, K_2 = Band-specific thermal conversion constant from the metadata

2.7 การประมาณค่าช่วงเชิงพื้นที่

การประมาณค่าช่วง (interpolation) เป็นหนึ่งในวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการเข้าถึงข้อมูลเชิงพื้นที่อย่างทั่วถึงโดยไม่จำเป็นต้องตรวจวัดข้อมูลในทุกๆ ตำแหน่งของพื้นที่ การประมาณค่าช่วงสำหรับกระบวนการประมาณค่าช่วงเชิงพื้นที่ทั้งแบบที่เป็นวิธีทางธรณีสถิติ (Geostatistical) และแบบที่ไม่ใช่วิธีทางธรณีสถิติ (Non-geostatistical) ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาความไม่ต่อเนื่องเชิงพื้นที่ของข้อมูลที่ทราบค่าบนตำแหน่งเชิงพื้นที่ อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะใช้กระบวนการประมาณค่าช่วงเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิคใดๆก็ตาม แนวคิดของการประมาณค่าช่วงเชิงพื้นที่มีรากฐานมาจากสมการ (2.6) ซึ่งได้อธิบายถึงการคำนวณและประมาณค่าข้อมูลของตำแหน่งที่ไม่ทราบ

ค่าบนพื้นที่จากตำแหน่งที่ทราบค่าบนพื้นที่นั้นๆ ผ่านทางตัวแปรถ่วงน้ำหนัก λ_i เมื่อตัวห้อย i คือ การรันของจำนวนตำแหน่งที่ทราบค่าบนพื้นที่ ซึ่งตัวแปรถ่วงน้ำหนักจะเป็นตัวแปรที่สะท้อนถึงปัจจัยข้างเคียงของข้อมูลที่ทราบค่าและถ่วงน้ำหนักให้ข้อมูลที่เกิดจากการประมาณค่าช่วงมีความเหมาะสมด้วยเทคนิคและวิธีการต่างๆ

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (2.6)$$

จากสมการที่ (2.6) จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ได้จากกระบวนการประมาณค่าช่วง $Z(x_0)$ เกิดจากผลรวมของข้อมูลที่ทราบค่าบนพื้นที่แต่ละตำแหน่ง $Z(x_i)$ คูณกับตัวแปรถ่วงน้ำหนักในแต่ละตำแหน่งของบริเวณนั้นๆ

2.7.1 เทคนิคถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน

Inverse distance weighting; IDW เป็นหนึ่งในวิธีการการประมาณค่าช่วงเชิงพื้นที่ที่มีแนวคิดที่พื้นฐานและมีความตรงไปตรงมามากที่สุดถึงแม้ว่าวิธีดังกล่าวไม่ใช่กระบวนการประมาณค่าช่วงที่เป็นกลุ่มของการประมาณค่าช่วงที่เป็นวิธีทางทฤษฎี เนื่องจากแนวคิดพื้นฐานของการประมาณค่าช่วงมาจากการคำนวณและประมาณค่าข้อมูลของตำแหน่งที่ไม่ทราบค่าจากข้อมูลของตำแหน่งที่ทราบค่า ซึ่งตำแหน่งต้องการประมาณค่าช่วงใกล้กับค่าใดๆ บนพื้นที่นั้น ข้อมูลของค่าๆ นั้นจะมีอิทธิพลต่อการแทรกของการประมาณค่าช่วงมากที่สุด ดังนั้น ด้วยวิธีการนี้จึงมองระยะทางระหว่างตำแหน่งของข้อมูลที่จะแทรกค่ากับตำแหน่งของข้อมูลที่ทราบค่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการประมาณค่าช่วงและถูกแสดงในสมการของตัวแปรถ่วงน้ำหนักในสมการที่ (2.7) เพื่อใช้ในการคำนวณการประมาณค่าช่วงร่วมกับสมการที่ (2.6) สำหรับการพิจารณากระบวนการประมาณค่าช่วงด้วยวิธีการนี้

$$\lambda_i = \frac{d_{ij}^{-p}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-p}} \quad (2.7)$$

เมื่อ d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างตำแหน่งที่ทราบค่าที่ตำแหน่ง i และตำแหน่งที่ต้องการประมาณค่าช่วงที่ตำแหน่ง j

p คือ The total number of predictions for each validation case.

ด้วยวิธีการนี้ สมการสุทธิของกระบวนการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค IDW สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.8)

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i d_{ij}^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_{ij}^{-n}} \quad (2.8)$$

2.7.2 ออตินารีคริกกิ้ง

Ordinary kriging; OK เป็นหนึ่งในวิธีพื้นฐานที่สุดสำหรับกระบวนการ Kriging และเป็นกระบวนการประมาณค่าช่วงด้วยวิธีทางธรณีสถิติ แต่ยังคงอยู่ภายใต้แนวคิดของสมการการประมาณค่าช่วงแบบทั่วไปที่ถูกแสดงในสมการที่ (2.6) แต่วิธีการนี้จะใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแบบจำลองทางสถิติผ่านค่าความแปรปรวนผ่านจุด 2 จุดที่แสดงในสมการ (2.9) โดยรูปแบบของการคำนวณในสมการ (2.9) เป็นสมการพื้นฐานการคำนวณ Semivariance ที่แสดงในสมการที่ (2.10) เพื่อสร้างเป็นแบบจำลอง Variogram model ซึ่งแบบจำลอง Variogram model ที่สร้างขึ้นจะมีจะสามารถฝึกเคิบตามการกระจายตัวของข้อมูลที่คำนวณได้ในเชิงสถิติ ตัวอย่างเช่น spherical, exponential, linear and Gaussian

$$\gamma(X_i, X_0) = \gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var}[(Z(X_i) - Z(X_0))] \quad (2.9)$$

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (Z(X_i) - Z(X_i + h))^2 \quad (2.10)$$

เมื่อ n คือ จำนวนคู่ของระยะทางที่ถูกค้นด้วยความยาว h จากสมการพื้นฐานการประมาณค่าช่วงในสมการ (2.10) และแนวคิดของการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง สมการการประมาณค่าช่วงด้วยวิธีการ kriging สามารถแสดงได้ดังสมการ (2.11)

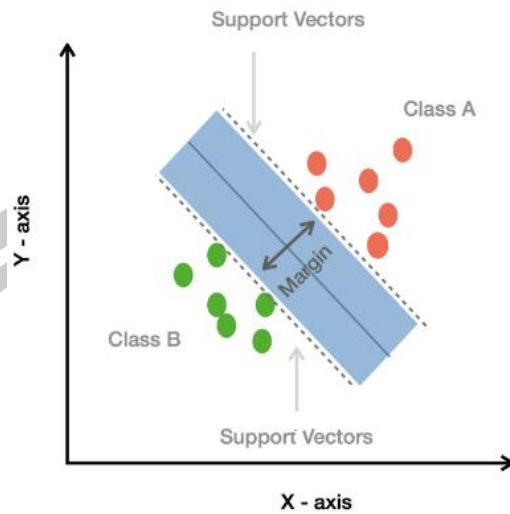
$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) + \left[1 - \sum_{i=1}^N \lambda_i\right] \mu \quad (2.11)$$

โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ย สำหรับ Ordinary kriging สมการที่ (2.11) จะถูกใช้บนเงื่อนไข $\left[1 - \sum_{i=1}^N \lambda_i\right] = 0$ นั่นคือ $\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$ เป็นสมบัติที่ง่ายที่ได้ในการกำหนดเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการนี้

2.8 การเรียนรู้เครื่อง

2.8.1 การเรียนรู้ด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมกซิม

Support vector machine; SVM เป็นเครื่องช่วยเรียนรู้ (Machine learning tasks) ประเภท ซึ่ง Supervised Learning ที่มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีการเรียนรู้จากสถิติ (Statistical learning theory) ที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มข้อมูลผ่านระนาบ Hyperplane ใน N-dimensional Space โดยที่ N คือ จำนวน Features เพื่อใช้ในการ Classify Data Points ดังภาพที่ 2.5

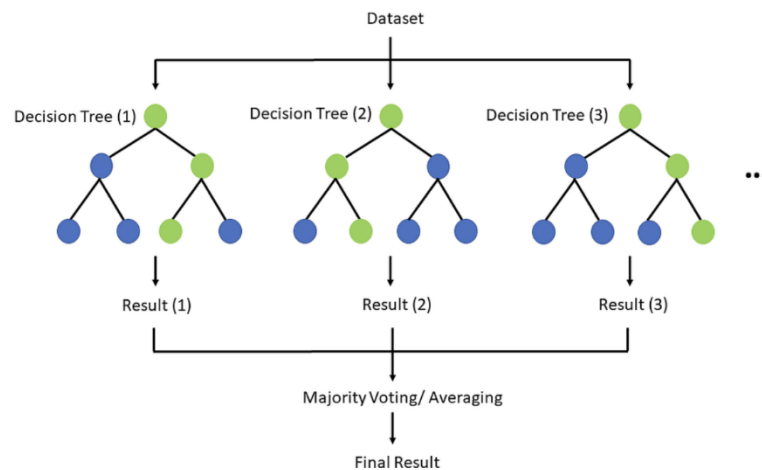


ภาพประกอบที่ 2.5 การแบ่งแยกด้วยวิธี SVM

สำหรับเครื่องมือ SVM ในงานวิจัยนี้จะใช้เพื่อสร้างการเรียนรู้ในการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินซึ่งเป็นอิทธิพลร่วมในการศึกษาการประมาณค่าช่วงเชิงที่ของตัวแปรเชิงพื้นที่ LST

2.8.2 การเรียนรู้ด้วยวิธีการป่าสุ่ม

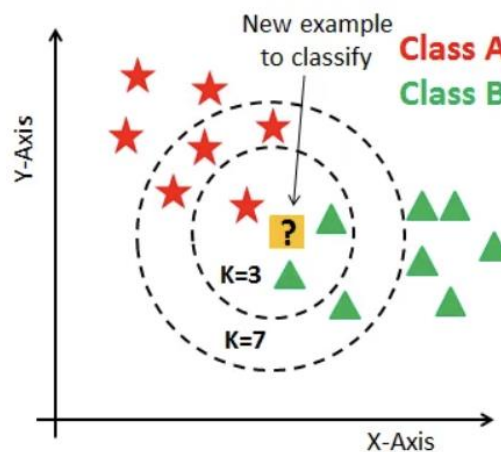
วิธีป่าสุ่ม (Random forrest; RF) เป็นโมเดลของ Machine Learning ประเภทหนึ่งที่ถูกพัฒนามาจากวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) ต่างกันที่วิธีป่าสุ่มเป็นการเพิ่มจำนวนต้นไม้เป็นหลายๆ ต้น ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.6 ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น แม่นยำมากขึ้น ซึ่งโมเดลป่าสุ่มเป็นโมเดลที่ได้รับความนิยมไปอย่างมากในการใช้ Machine Learning



ภาพประกอบที่ 2.6 การเรียนรู้ด้วยวิธีการป่าสุ่ม

2.8.1 การเรียนรู้ด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (K-nearest neighbor; KNN) เป็นวิธีการแบ่งคลาสสำหรับใช้จัดหมวดหมู่ข้อมูล (Classification) ใช้หลักการเปรียบเทียบข้อมูลที่สนใจกับข้อมูลอื่นว่ามีความคล้ายคลึงมากน้อยเพียงใดดังภาพประกอบ 2.7 หากข้อมูลที่กำลังสนใจนั้นอยู่ใกล้ข้อมูลใดมากที่สุดระบบจะให้คำตอบเป็นเหมือนคำตอบของข้อมูลที่อยู่ใกล้ที่สุดนั้นลักษณะการทำงานแบบไม่ได้ใช้ข้อมูลชุดเรียนรู้ (training data) ในการสร้างแบบจำลองแต่จะใช้ข้อมูลนี้มาเป็นตัวแบบจำลองเลย



ภาพประกอบที่ 2.7 การเรียนรู้ด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

2.9 เครื่องมือประเมินแบบจำลอง

2.9.1 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error; MAE) คือ ค่าประเมินความผิดพลาดของแบบจำลองที่เป็นบวก กล่าวคือ ค่า MAE เป็นการนำผลลัพธ์ของค่าสัมบูรณ์มาช่วยทำให้ค่าความผิดพลาดกลายเป็นบวก ซึ่งค่าความผิดพลาดดังกล่าวเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณจากผลต่างของผลต่างของค่าที่จากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 และค่าที่ได้จากแบบจำลอง ดังนั้นสมการการคำนวณจึงเป็นการนำค่าความผิดพลาดมาใส่สัมบูรณ์ก่อนที่จะนำมาหาค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดดังที่แสดงในสมการ

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y - y_i|$$

(2.12)

โดยที่ y คือ ค่าที่จากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8

y_i คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.7.2 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง

ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Squared Error; MSE) เป็นการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองโดยการขยายค่าความผิดพลาดโดยการนำค่าความผิดพลาด “ผลต่างของค่าที่จากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 และค่าที่ได้จากแบบจำลอง” มายกกำลังสอง เพื่อให้เห็นค่าความผิดพลาดเด่นชัดขึ้น ค่าที่ได้ยิ่งน้อยยิ่งจะแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก โดยค่า MSE คำนวณได้จากการนำค่าความคลาดเคลื่อนมายกกำลังแล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย ดังที่แสดงในสมการ

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - y_i)^2 \quad (2.13)$$

โดยที่ y คือ ค่าที่จากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8
 y_i คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลอง
 n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.7.3 รากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสอง

รากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสอง (Root Mean Squared Error; RMSE) เป็นการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองโดยการขยายค่าความผิดพลาดโดยการนำค่าความผิดพลาด “ผลต่างของค่าที่จากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 และค่าที่ได้จากแบบจำลอง” มายกกำลังสองเพื่อให้เห็นค่าความผิดพลาดเด่นชัดขึ้น และนำค่าที่ได้มาหาค่าลงเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเข้าใกล้หนึ่งมากที่สุด ค่าที่ได้ยิ่งน้อยยิ่งจะแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก โดยค่า RMSE คำนวณได้จากการนำค่าความคลาดเคลื่อนมายกกำลังแล้วนำไปหาค่าเฉลี่ยดังที่แสดงในสมการ

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - y_i)^2} \quad (2.14)$$

โดยที่ y คือ ค่าที่จากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8
 y_i คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลอง
 n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zhang et al. [60] ได้ศึกษาการประยุกต์การประมาณค่าช่วงใช้การเรียนรู้ของเครื่อง Support Vector Machine: SVM) มาใช้ในการสอดแทรกเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี หลายปีในแอ่ง Three Gorges Region ด้วยการรวมเข้ากับการถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผันและวิธีการคริกกิงแบบธรรมดา เราได้สร้างการถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผันที่เหลือของ SVM เช่นเดียวกับ

แบบจำลองการสอดแทรกปริมาณน้ำฝนคริกกิงแบบธรรมดา และเปรียบเทียบกับการถ่วงน้ำหนัก ระยะทางผกผัน คริกกิงแบบธรรมดา การถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผันของการถดถอยเชิงเส้น และวิธีการสอดแทรกปริมาณน้ำฝนคริกกิงแบบถดถอยเชิงเส้น ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากดาวเทียม TRMM 3B43 V7 ซึ่งประมวลผลโดยอัลกอริทึมการแก้ไขล่าสุด ใช้เป็นตัวแปรเสริมสำหรับการสอดแทรก ปริมาณน้ำฝนที่บริเวณพื้นดินร่วมกับละติจูดและระดับความสูง ผลของการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า

(1) การเพิ่มข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากดาวเทียม TRMM 3B43 V7 เป็นตัวแปรเสริมช่วยปรับปรุง ความแม่นยำของการสอดแทรกของสมการการถดถอยเชิงเส้นและแบบจำลอง SVM ได้อย่างมี นัยสำคัญ

(2) วิธีการสอดแทรกไฮบริดของเครื่องจักรเวกเตอร์สนับสนุนให้ผลสอดแทรกที่เหนือกว่าเมื่อ เปรียบเทียบกับวิธีการถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน วิธีการคริกกิงทั่วไป และวิธีการสอดแทรกไฮบริด การถดถอยเชิงเส้น

(3) ความแม่นยำของการสอดแทรกของวิธีการสอดแทรกไฮบริด SVM ขึ้นอยู่กับระดับความ พอดีของ SVM ดังนั้น เราควรเลือกความแม่นยำในความพอดีที่เหมาะสมมากกว่าความแม่นยำใน ความพอดีสูงสุด

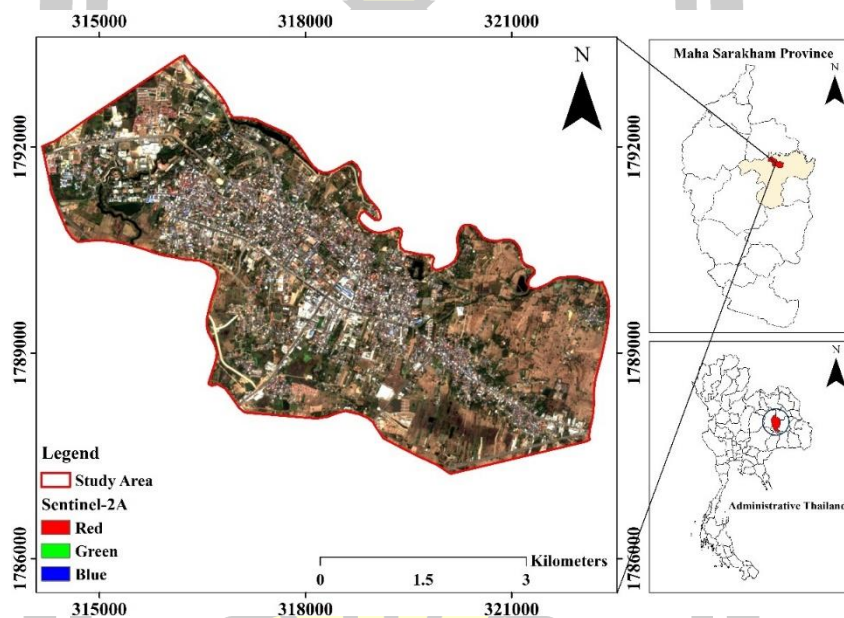
(4) สมการการถดถอยเชิงเส้นมีระดับการพึ่งพาข้อมูล TRMM มากกว่า SVM SVM ยอมรับ ข้อมูล TRMM ในขณะที่รักษาความเป็นอิสระได้ดีกว่า โดยค่านิ่งว่าวิธีการสอดแทรกไฮบริดการ ถดถอยเชิงเส้นและการถดถอยเชิงเส้นของข้อมูล TRMM ไม่เหมาะสำหรับการประเมินข้อมูล TRMM



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับการศึกษาการตรวจสอบและการคาดการณ์เชิงพื้นที่ของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองภายในพื้นที่ของเทศบาลเมืองมหาสารคาม ตำบลตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ผ่านตัวแปรเชิงพื้นที่ คือ อุณหภูมิพื้นผิว รวมถึงการศึกษาปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อการประมาณค่าแบบช่วงโดยใช้วิธีการการเรียนรู้ของเครื่องแบบต่าง ๆ ซึ่งจะนำไปสู่การได้มาซึ่งแบบจำลองของเกาะความร้อนเมือง

3.1 พื้นที่ศึกษา



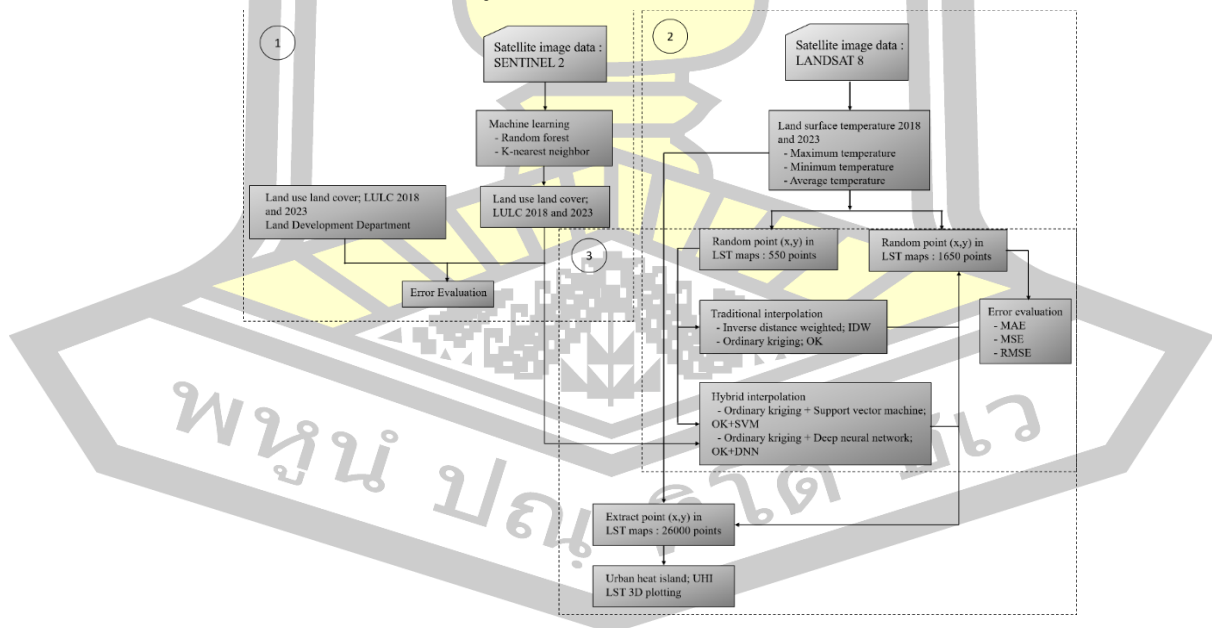
ภาพประกอบที่ 3.1 พื้นที่ตำบลตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ตำบลตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม ตั้งอยู่ในพื้นที่ใจกลางตัวเมืองจังหวัดมหาสารคามซึ่งเป็นจังหวัดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยโดยอยู่ห่างจากเมืองหลวงของประเทศไทย “กรุงเทพมหานคร” ประมาณ 455 กิโลเมตร มีเนื้อที่ที่ประมาณ 24.14 ตารางกิโลเมตร โดยมีพิกัดทางภูมิศาสตร์อยู่ที่ $16^{\circ}10'38.1''N$ และ $103^{\circ}18'3.5''E$ หรือในตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ระบบ UTM โดยมีพิกัด x อยู่ที่ 313300 ถึง 321700 และพิกัด y อยู่ที่ 1788200 ถึง 1793100 ดังที่แสดงในภาพที่ 3.1 ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ตำบลตลาด เป็นพื้นที่ราบสูงกระทะคว่ำ ซึ่งพื้นที่โดยทั่วไปมีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 130-230 เมตร ตามข้อมูล พ.ศ. 2565 พบว่าประชากรในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคามมีจำนวนทั้งสิ้น 40,161 คน ซึ่งมีความหนาแน่นของประชากร 1,660 คน/ตารางกิโลเมตร (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่ง, 2565)

และข้อมูลในปี พ.ศ. 2565 มีอัตราความแน่นของประชากรที่เพิ่มขึ้นเป็น 2,096 คน/ตารางกิโลเมตร (เทศบาลเมืองมหาสารคาม, 2565) แสดงว่าเขตเทศบาลเมืองมหาสารคามมีการขยายตัวของประชากรสูง เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการเป็นเมืองศูนย์กลางบริการทางการศึกษา ลักษณะสภาพอากาศตลอดปี ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาปี พ.ศ.2566 พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ย (สูงสุด-ต่ำสุด) อยู่ที่ 33.37°C และ 22.12°C ตามลำดับ และมีอาณาเขตติดต่อกับตำบลข้างเคียง ดังนี้

- ทิศเหนือ ติดต่อกับตำบลเก็ง อำเภอเมืองมหาสารคาม
- ทิศใต้ ติดต่อกับตำบลเวียง อำเภอเมืองมหาสารคาม
- ทิศตะวันออก ติดต่อกับตำบลเขวา อำเภอเมืองมหาสารคาม
- ทิศตะวันตก ติดต่อกับตำบลท่าสองคอน อำเภอเมืองมหาสารคาม

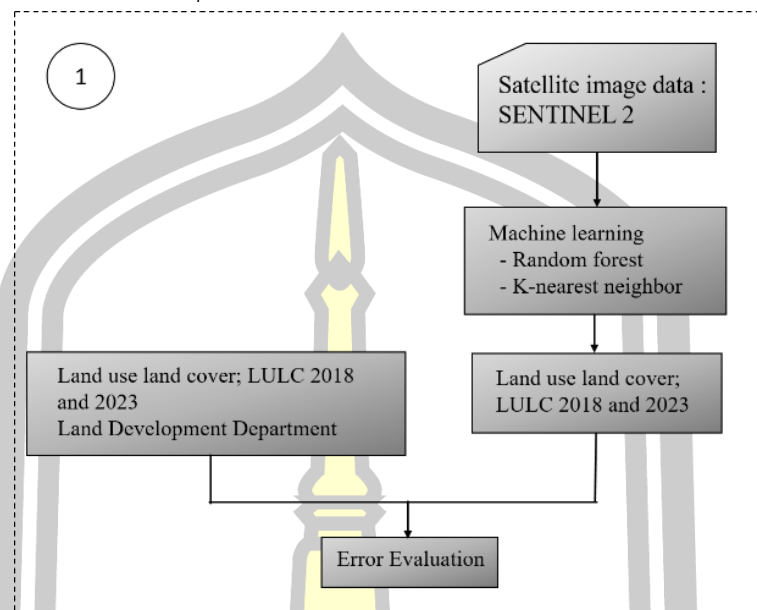
3.2 การทำงาน

การดำเนินการวิจัยของงานวิจัยจะแบ่งงานออกเป็น 3 ส่วนดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 3.2 คือ ส่วนแรกเป็นการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินของพื้นที่ศึกษาตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม โดยใช้ข้อมูลของดาวเทียม Sentinel 2 ร่วมกับวิธีการเรียนรู้แบบป่าสุ่มและการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด ส่วนที่สองเป็นการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่ศึกษาโดยใช้ดาวเทียม LANDSAT 8 แล้วสกัดข้อมูลเพื่อมาทำการคำนวณการประมาณค่าช่วงผ่านเทคนิคต่างๆ ได้แก่ IDW, OK, OK + SVM, OK + RF และ OK + KNN และส่วนสุดท้าย จะเป็นแนวคิดของการแสดงพื้นที่บริเวณเกาะความร้อนที่มีแนวโน้มสูงสุดที่อาจจะเกิดขึ้นบนพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบที่ 3.2 การทำงาน

3.2.1 การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดิน



ภาพประกอบที่ 3.3 การทำงานของการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดิน

จากภาพประกอบที่ 3.2 หากพิจารณาการทำงานเฉพาะส่วนแรกคือการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินจะสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 3.3 และมีลำดับและกระบวนการดำเนินงานดังนี้

การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินจะใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ในช่วงของเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2565 ที่พิกัดทางภูมิศาสตร์ $16^{\circ}10'38.1''N$ และ $103^{\circ}18'3.5''E$ โดยมีขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมภาพถ่าย Sentinel 2

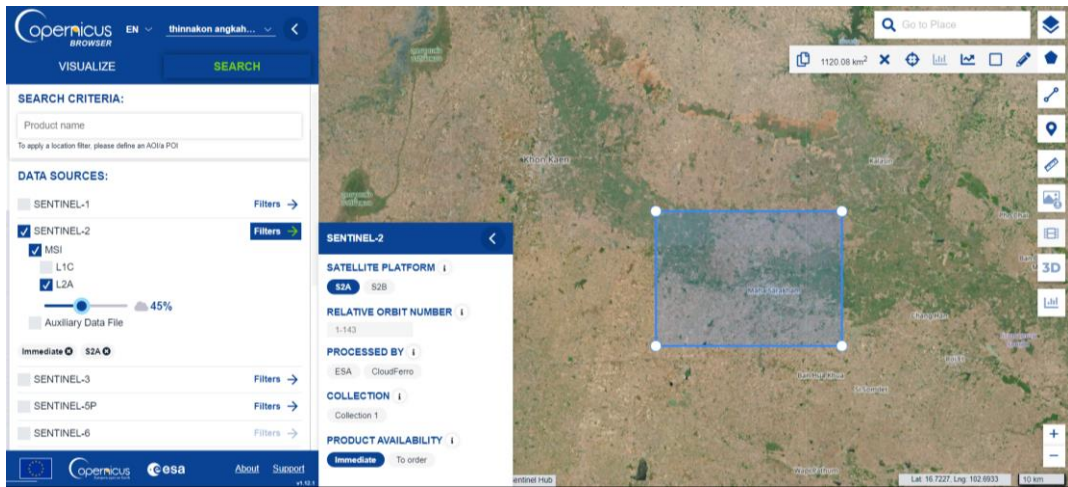
- เข้าเว็บไซต์ของ Copernicus คือ <https://dataspace.copernicus.eu>
- Create an area of interest ของพื้นที่ศึกษา ผู้วิจัยเลือกแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม
- ไปที่ SEARCH ---> DATA SOURCES โดยเลือก SENTINEL-2 ---> MSE --->

L2A

- Filters ---> SENTINEL-2 ---> SATELLITE PLATFORM เลือก S2A

THME-RANGE กำหนดช่วงเวลา ผู้วิจัยทำการศึกษาของ ช่วงเดือนธันวาคม ของปี พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2565

- Search ดังที่แสดงในภาพประกอบ 3.4

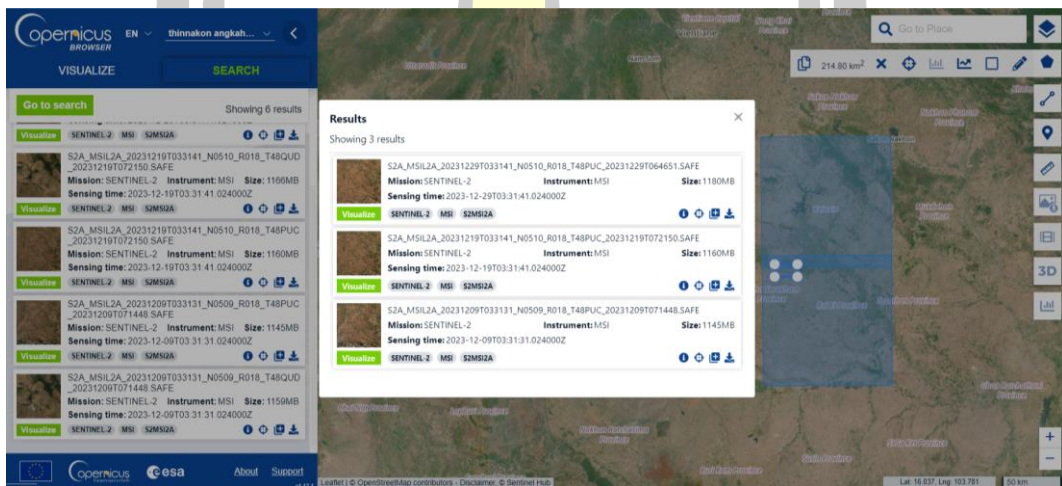


ภาพประกอบที่ 3.4 เว็บไซต์ SEA

- คลิก Area ของภาพ ---> Results ---> Download product เครื่องหมาย



ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 3.5



ภาพประกอบที่ 3.5 Download product

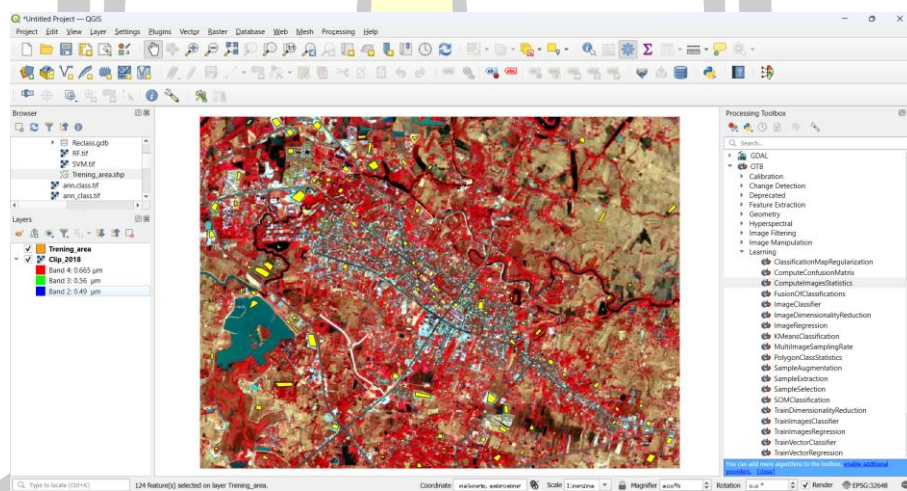
2. ขั้นตอนการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน LULC

- ผู้วิจัยจำแนกรูปแบบประเภทกึ่งอัตโนมัติ เป็นปลั๊กอินโอเพ่นซอร์ส QGIS ที่ช่วยให้สามารถจำแนกภาพจากการสำรวจระยะไกลแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยมีขั้นตอนการจำแนกดังต่อไปนี้

- โปรแกรม QGIS ---> “add data” SENTINEL-2A ---> Composite Bands ---> สร้างตัว train ของ Class ในรูปของ Polygon ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 3.6 แล้วสร้างตัวเทรนดังที่แสดงในตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัว train สำหรับจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดิน

ลำดับ	Class	Code label	จำนวน
1	A1	7	10
2	F1	8	10
3	M1	9	10
4	M2	10	10
5	M3	11	10
6	R1	6	10
7	U1	3	10
8	U3	4	10
9	U4	5	10
10	W1	1	10



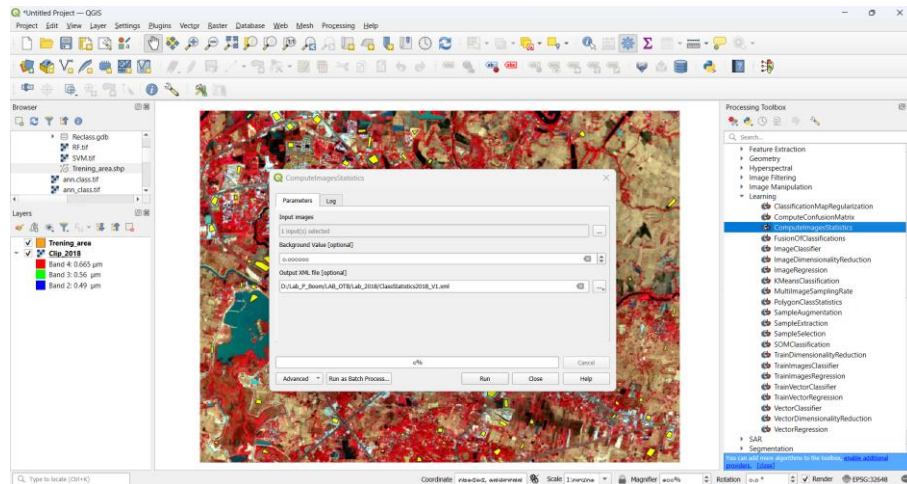
ภาพประกอบที่ 3.6 train ของ Class

เมื่อสร้างตัวเทรนเสร็จแล้ว จะตรวจสอบค่าทางสถิติที่ตัวเทรนสร้างขึ้น เพื่อตรวจสอบโอกาสที่จะพบสิ่งที่เหมือนหรือคล้ายกับสิ่งที่ผู้วิจัยได้เทรนมาดังคำสั่งต่อไปนี้

- เครื่องมือ Orfeo ToolBox ---> OTB ---> Learning --->

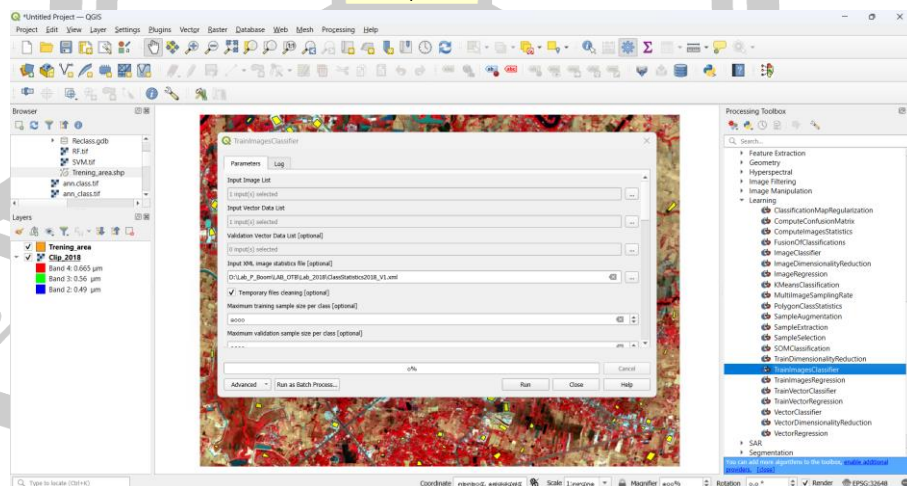
ComputelImagesStatistics

- Parameters ---> Input Images “ภาพดาวเทียม SENTINEL-2A” ---> Output XML file [optional] “สร้าง Statistics ของภาพดาวเทียม” นามสกุลของไฟล์ คือ “XML”



ภาพประกอบที่ 3.7 ComputeImagesStatistics

- Learning ---> TrainImagesClassifier
- Input Image List “ภาพดาวเทียม SENTINEL-2A”
- Input Vector DATA List “ข้อมูล Polygon train class”
- Input XML image Statistics file [optional] ---> “ข้อมูล ComputeImagesStatistics สกุลไฟล์ XML”
- Input containing the class integer label for supervision [optional] ---> “Code label”
- Classifier elevation [optional] ผู้วิจัย วิเคราะห์ RF และ KNN
- Output model ---> “สกุลไฟล์ XML”



ภาพประกอบที่ 3.8 TrainImagesClassifier

- Learning ---> ImagesClassifier
- Input Image List “ภาพดาวเทียม SENTINEL-2A”
- Model file ---> จาก “ข้อมูล TrainImagesClassifier”

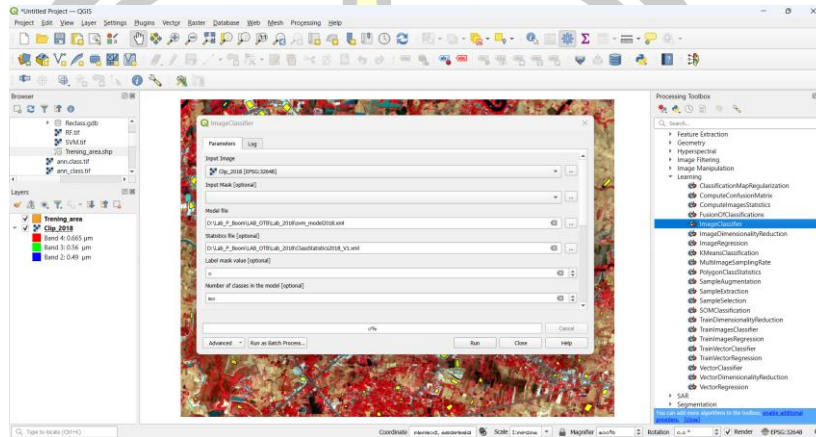
XML”

- Statistics file [optional] ---> “ข้อมูล ComputelImagesStatistics สกกุลไฟล์

- Output Image ---> “สกกุลไฟล์ .tif”

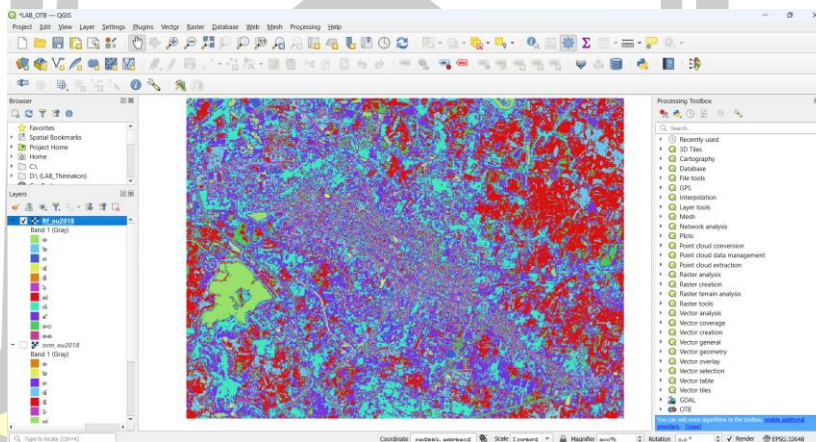
- confidence map [optional] ---> “สกกุลไฟล์ .tif”

- Probability map [optional] ---> “สกกุลไฟล์ .tif”



ภาพประกอบที่ 3.9 ImageClassifier

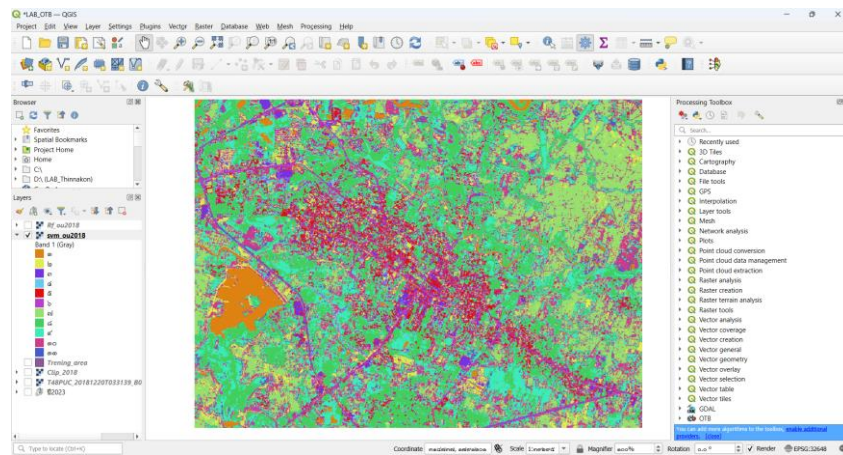
ผลการวิเคราะห์แบบ RF แสดงดังภาพประกอบ 3.10



ภาพประกอบที่ 3.10 ผลการวิเคราะห์แบบ RF

พหุบัน ปณ ติโต ชเว

ผลการจำแนกด้วยการเรียนรู้แบบ KNN แสดงดังภาพประกอบ 3.11



ภาพประกอบที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์แบบ KNN

3.2.2 การคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิคต่าง ๆ

จากภาพประกอบที่ 3.2 หากพิจารณาการทำงานเฉพาะส่วนที่สองคือการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่ศึกษาและสกัดจุดข้อมูล 550 จุดเพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่ IDW, OK, OK + SVM, OK + RF และ OK + KNN จะสามารถแสดงการทำงานได้ดังภาพประกอบ 3.12 และมีลำดับและกระบวนการดำเนินงานดังนี้

1. ข้อมูลภาพถ่ายทางดาวเทียม Landsat8 ข้อมูลช่วงของธันวาคม ปี 2561 และ 2565 พิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ Lat 16.185434, Long 103.302631 โดยมีขั้นตอนการดาวโหลดภาพถ่ายดาวเทียม ดังนี้

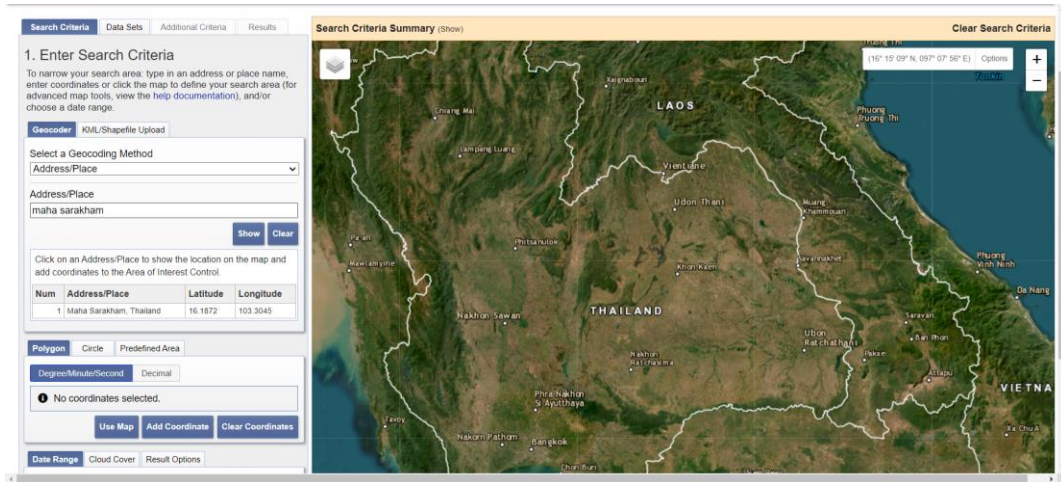
- เข้าเว็บไซต์ของ USGS คือ <https://earthexplorer.usgs.gov>

- Search Criteria

1.1. Enter Search Criteria

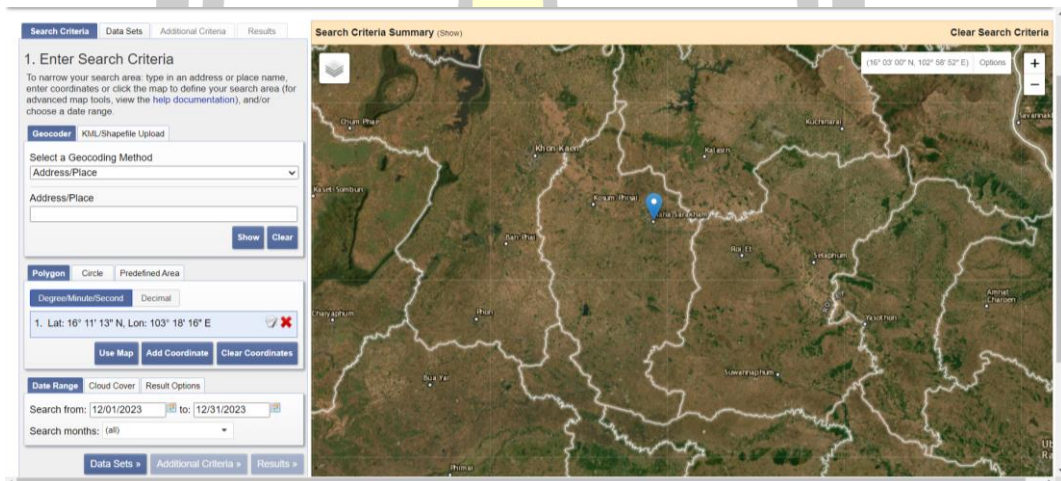
- Geocoder ---> Select a Geocoding Method ---> “Address/Place” ---> Address/Place ---> “ระบุพื้นที่ศึกษาผู้วิจัย คือ Maha Sarakham” ---> Show ---> คลิก ---> Maha Sarakham, Thailand

จากการคลิก ---> Maha Sarakham, Thailand จะเป็นการแสดงพื้นที่ของพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบที่ 3.12 เพลจ USGS

- Date Range ---> Search from “ระบุช่วงเวลา”
- Cloud Cover ---> Cloud Cover Range: 0% - 50% ---> Data Sets

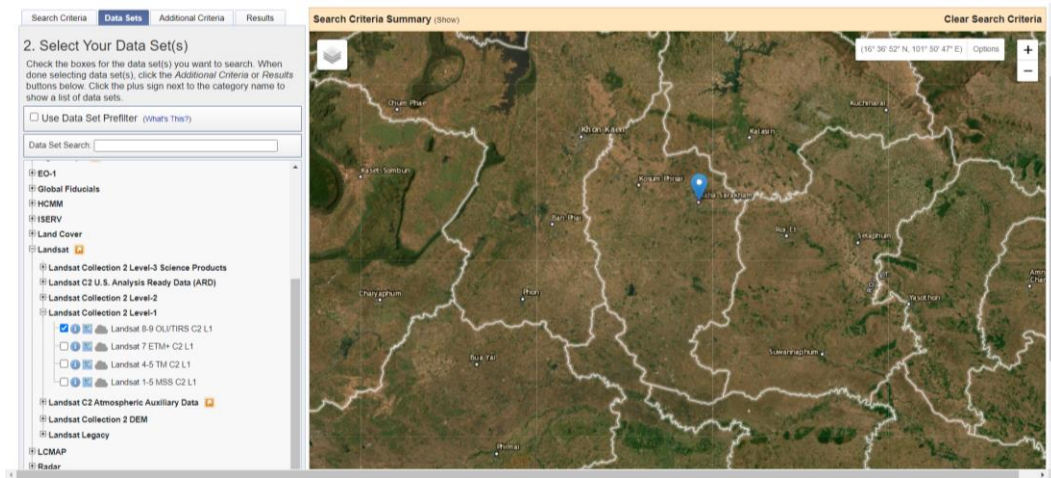


ภาพประกอบที่ 3.1 ภาพ Cloud Cover Range

2. Select Your Data Set(s)

- Landsat ---> Landsat Collection 2 Level-1 ---> “Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L1” ---> Additional Criteria

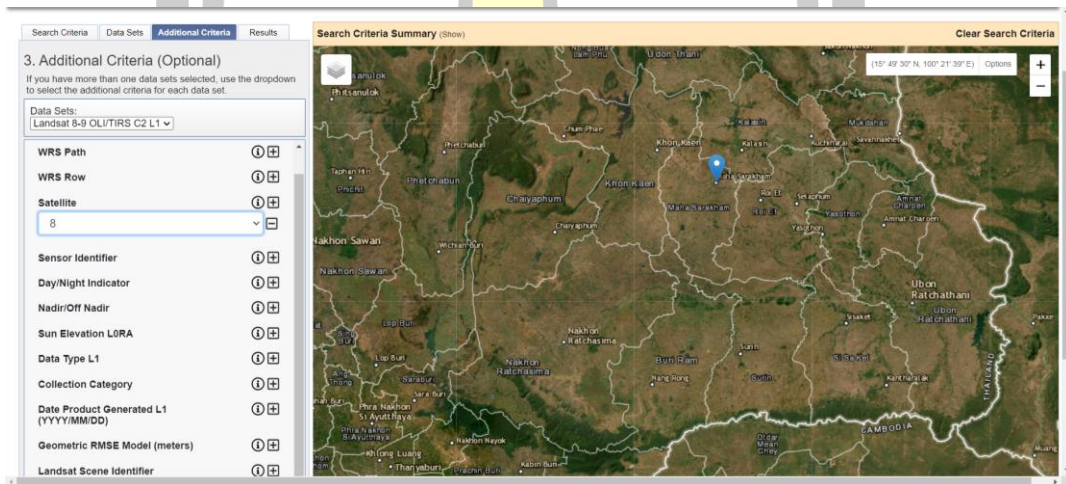




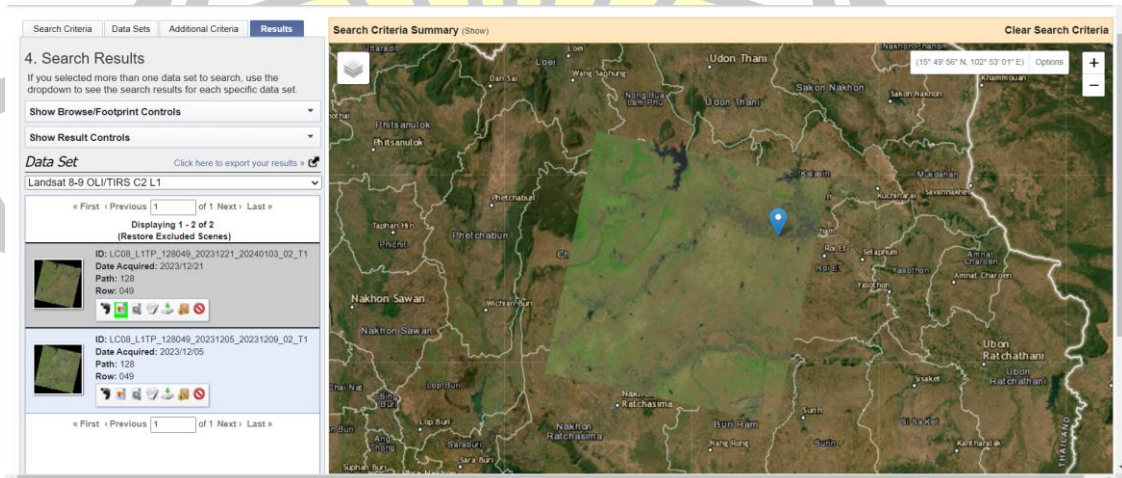
ภาพประกอบที่ 3.13 ภาพ Select Your Data Set(s)

3. Additional Criteria (Optional) ---> Satellite ---> เลือกดาวเทียม “8” --->

Results

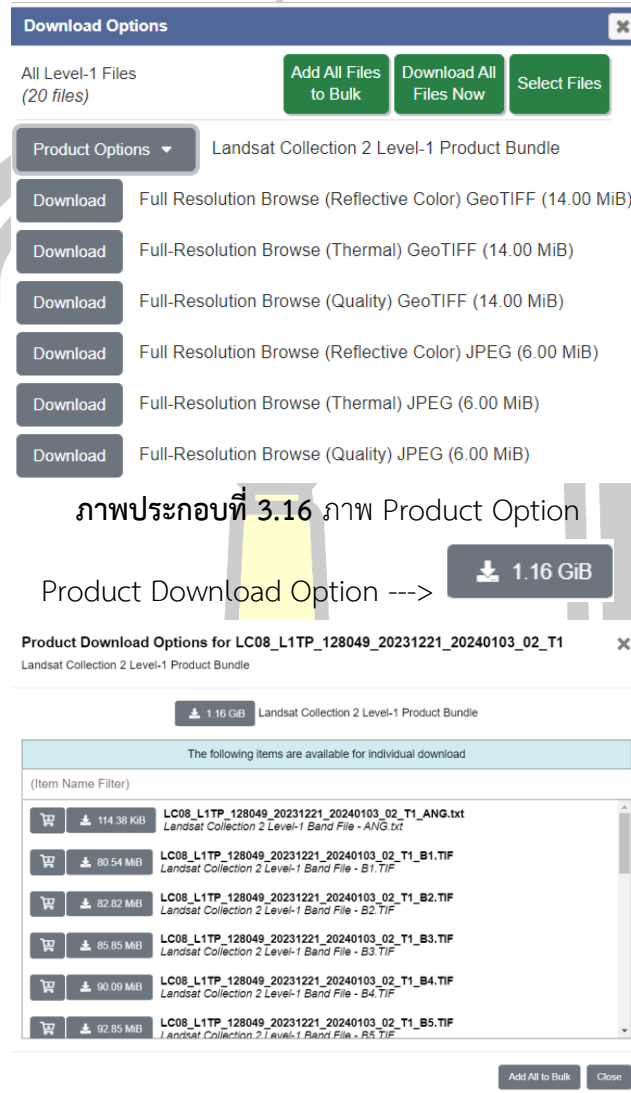


ภาพประกอบที่ 3.14 ภาพ Additional Criteria (Optional)



ภาพประกอบที่ 3.15 ภาพ Show Browser Overlay

คลิก ---> “” Download Option ---> Product Option



Download Options

All Level-1 Files
(20 files)

Add All Files to Bulk **Download All Files Now** **Select Files**

Product Options ▾ Landsat Collection 2 Level-1 Product Bundle

- Download** Full Resolution Browse (Reflective Color) GeoTIFF (14.00 MiB)
- Download** Full-Resolution Browse (Thermal) GeoTIFF (14.00 MiB)
- Download** Full-Resolution Browse (Quality) GeoTIFF (14.00 MiB)
- Download** Full Resolution Browse (Reflective Color) JPEG (6.00 MiB)
- Download** Full-Resolution Browse (Thermal) JPEG (6.00 MiB)
- Download** Full-Resolution Browse (Quality) JPEG (6.00 MiB)

ภาพประกอบที่ 3.16 ภาพ Product Option

Product Download Option ---> **1.16 GiB**











Product Download Options for LC08_L1TP_128049_20231221_20240103_02_T1

Landsat Collection 2 Level-1 Product Bundle

1.16 GiB Landsat Collection 2 Level-1 Product Bundle

The following items are available for individual download

(Item Name Filter)

	 114.38 KiB	LC08_L1TP_128049_20231221_20240103_02_T1_ANG.txt Landsat Collection 2 Level-1 Band File - ANG.txt
	 80.54 MB	LC08_L1TP_128049_20231221_20240103_02_T1_B1.TIF Landsat Collection 2 Level-1 Band File - B1.TIF
	 82.82 MB	LC08_L1TP_128049_20231221_20240103_02_T1_B2.TIF Landsat Collection 2 Level-1 Band File - B2.TIF
	 85.85 MB	LC08_L1TP_128049_20231221_20240103_02_T1_B3.TIF Landsat Collection 2 Level-1 Band File - B3.TIF
	 90.09 MB	LC08_L1TP_128049_20231221_20240103_02_T1_B4.TIF Landsat Collection 2 Level-1 Band File - B4.TIF
	 92.85 MB	LC08_L1TP_128049_20231221_20240103_02_T1_B5.TIF Landsat Collection 2 Level-1 Band File - B5.TIF

Add All to Bulk **Close**

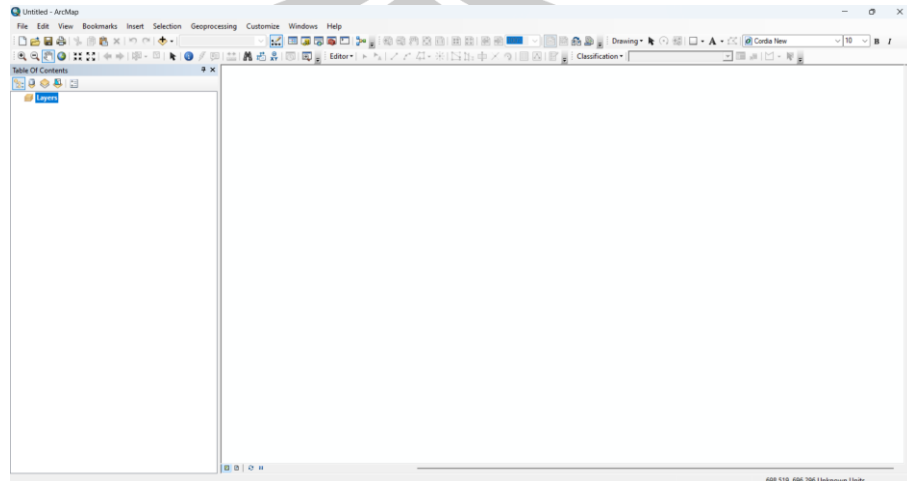
ภาพประกอบที่ 3.17 ภาพ Product Download Option

พหุ ประถมศึกษา

3.1.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ดัชนี LST

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ Top of Atmosphere (TOA)

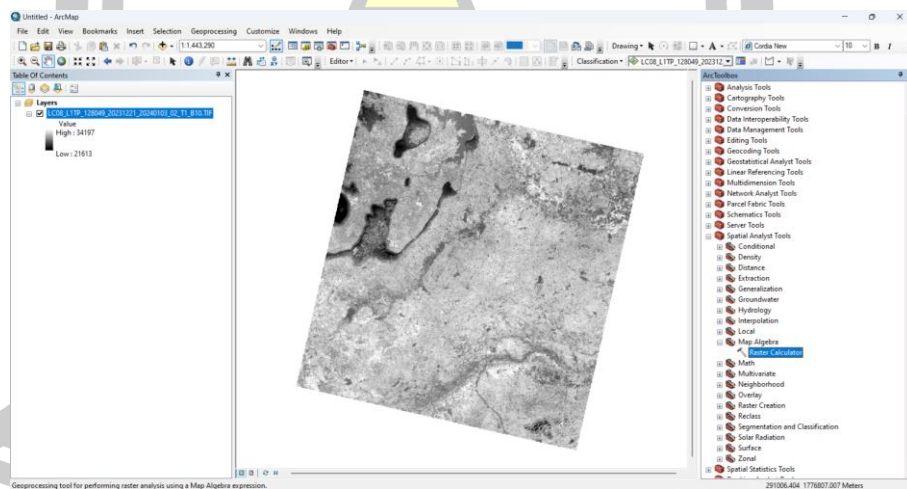
- โปรแกรม ArcMap



ภาพประกอบที่ 3.18 ภาพ โปรแกรม ArcMap

- Add Data ---> ข้อมูลภาพ

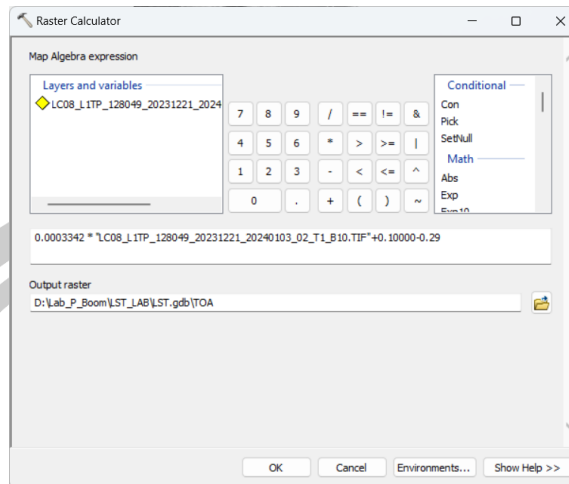
“LC08_L1TP_128049_20231221_20240103_02_T1_B10.TIF”



ภาพประกอบที่ 3.19 ข้อมูลภาพ “B10”

- Arc toolbox ---> Spatial Analyst Tools ---> Map Algebra ---> “Raster Calculation”

พูน ปณ ทิโต ชู

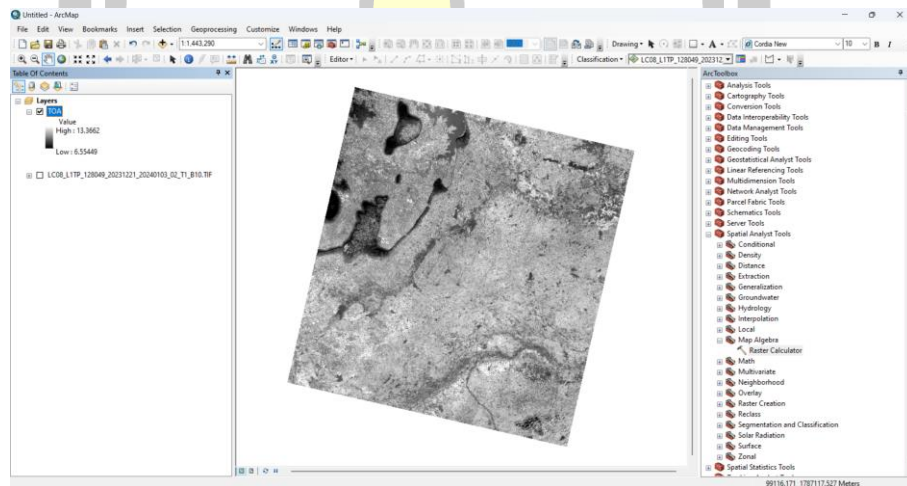


ภาพประกอบที่ 3.20 การวิเคราะห์ TOA

หมายเหตุ 0.0003342 *

"LC08_L1TP_128049_20231221_20240103_02_T1_B10.TIF"+0.10000-0.29

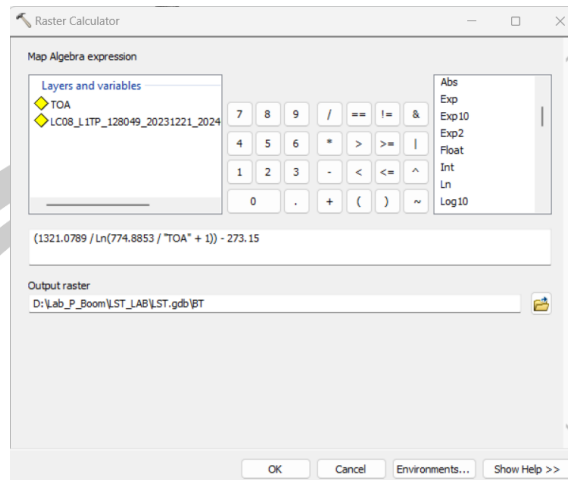
- ผลการวิเคราะห์ Top of Atmosphere (TOA)



ภาพประกอบที่ 3.21 ผลการวิเคราะห์ Top of Atmosphere (TOA)



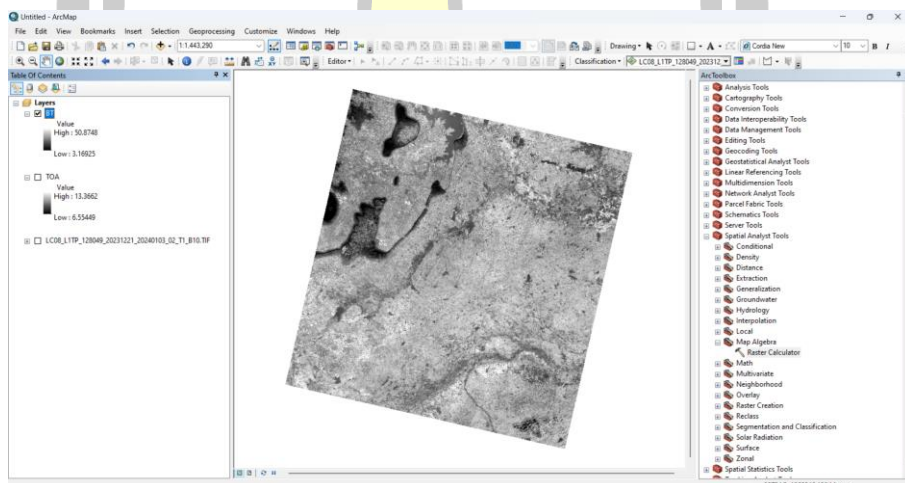
2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ Brightness Temperature (BT)



ภาพประกอบที่ 3.22 การวิเคราะห์ Brightness Temperature (BT)

หมายเหตุ $(1321.0789 / \ln(774.8853 / \text{"TOA"} + 1)) - 273.15$

- ผลการวิเคราะห์ Brightness Temperature (BT)



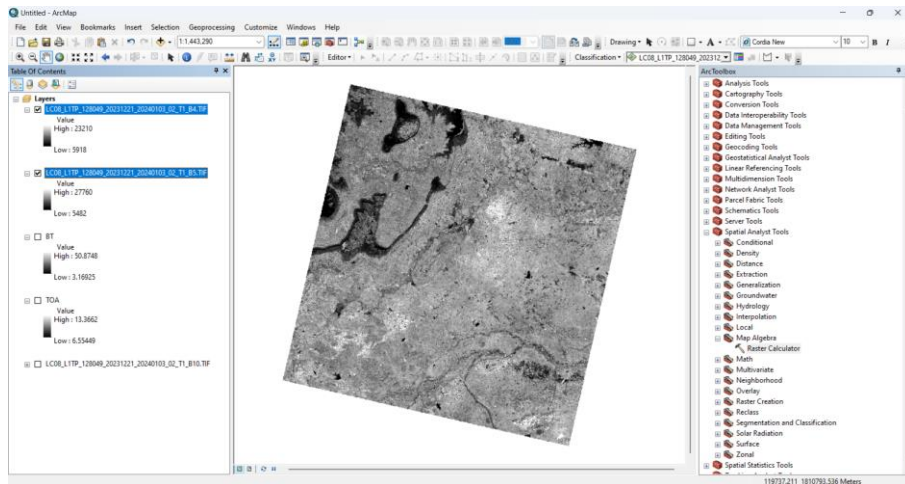
ภาพประกอบที่ 3.23 ผลการวิเคราะห์ Brightness Temperature (BT)

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

- Add Data ---> ข้อมูลภาพ

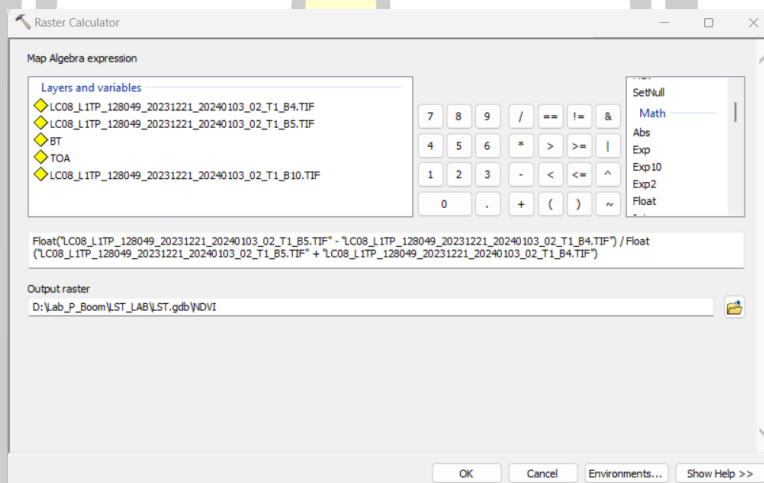
“LC08_L1TP_128049_20231221_20240103_02_T1_B4.TIF” และ

“LC08_L1TP_128049_20231221_20240103_02_T1_B5.TIF”



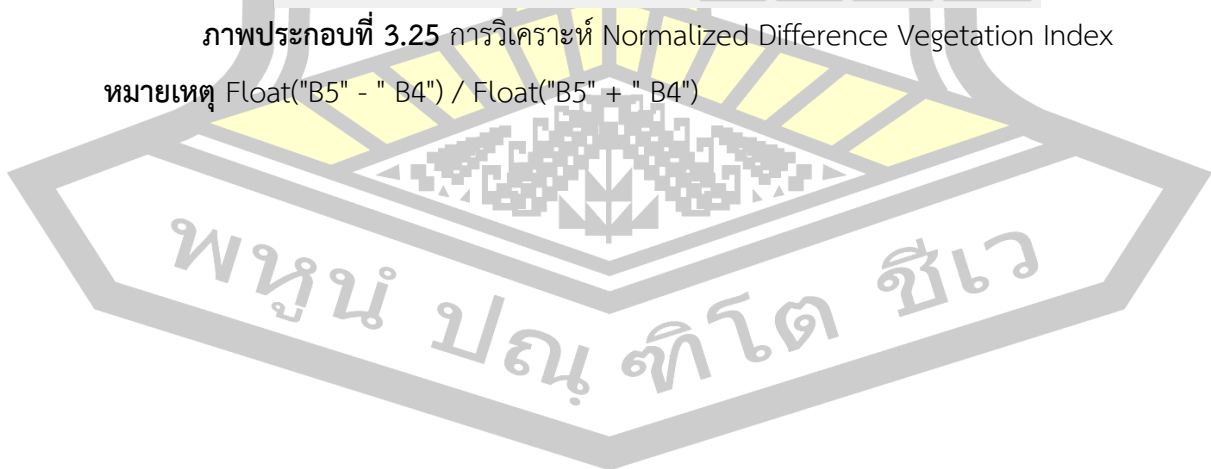
ภาพประกอบที่ 3.24 Add Data ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

- Arc toolbox ----> Spatial Analyst Tools ----> Map Algebra ----> “Raster Calculation”

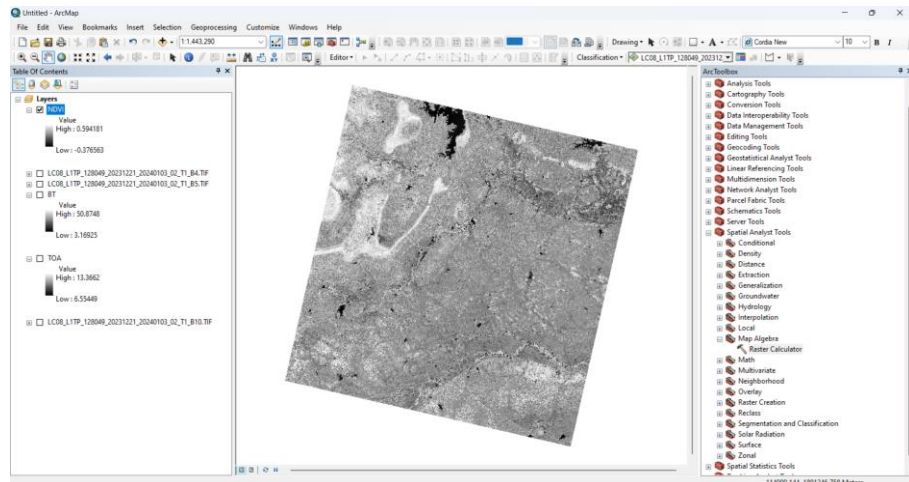


ภาพประกอบที่ 3.25 การวิเคราะห์ Normalized Difference Vegetation Index

หมายเหตุ Float("B5" - "B4") / Float("B5" + "B4")



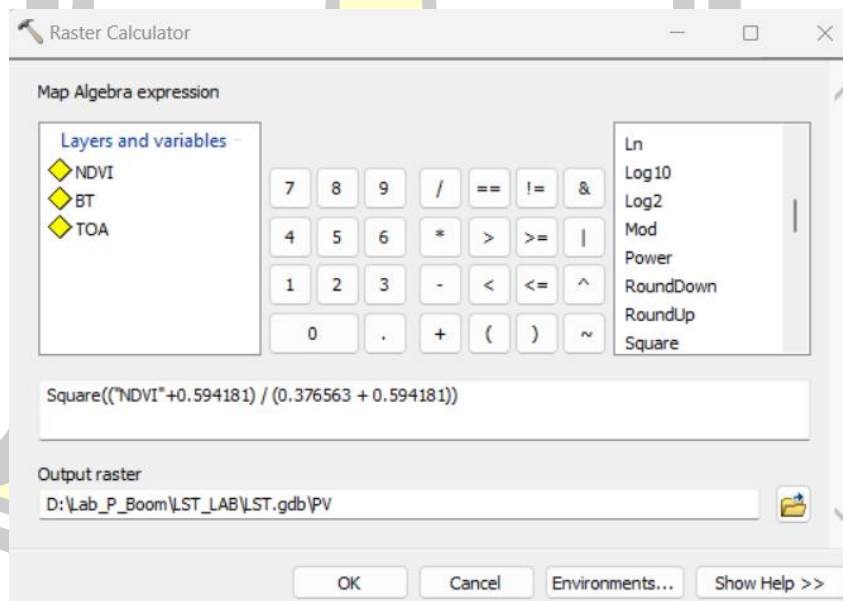
- ผลการวิเคราะห์ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



ภาพประกอบที่ 3.26 ผลการวิเคราะห์ Normalized Difference Vegetation Index

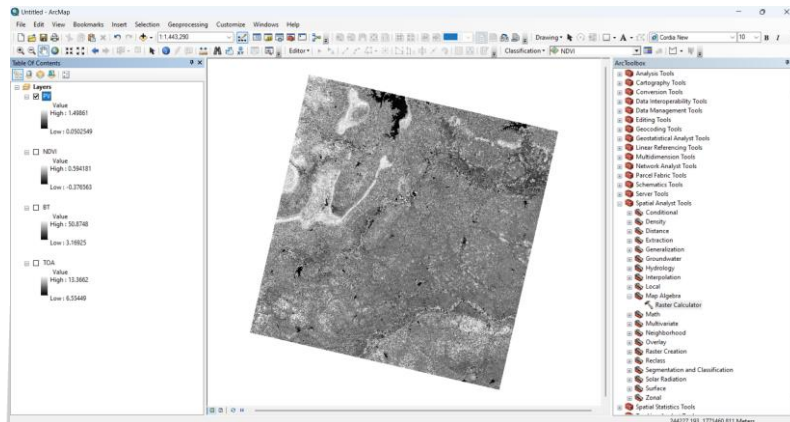
4. ขั้นตอนการวิเคราะห์ Land Surface Emissivity (LSE)

- วิเคราะห์ Proportion of Vegetation : PV ---> Arc toolbox ---> Spatial Analyst Tools ---> Map Algebra ---> “Raster Calculation”



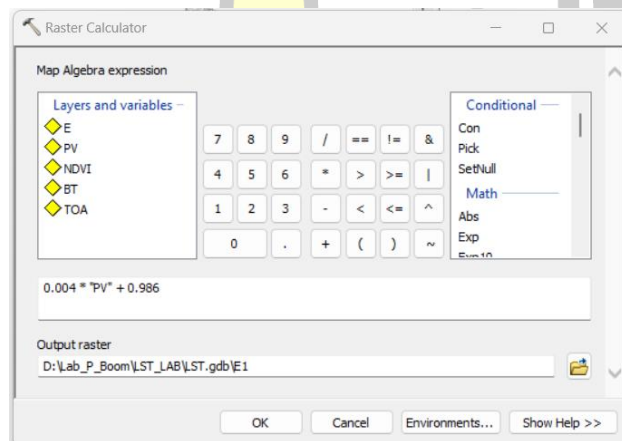
ภาพประกอบที่ 3.27 การวิเคราะห์ Proportion of Vegetation
หมายเหตุ Square(("NDVI"+0.594181) / (0.376563 + 0.594181))

- ผลการวิเคราะห์ Proportion of Vegetation



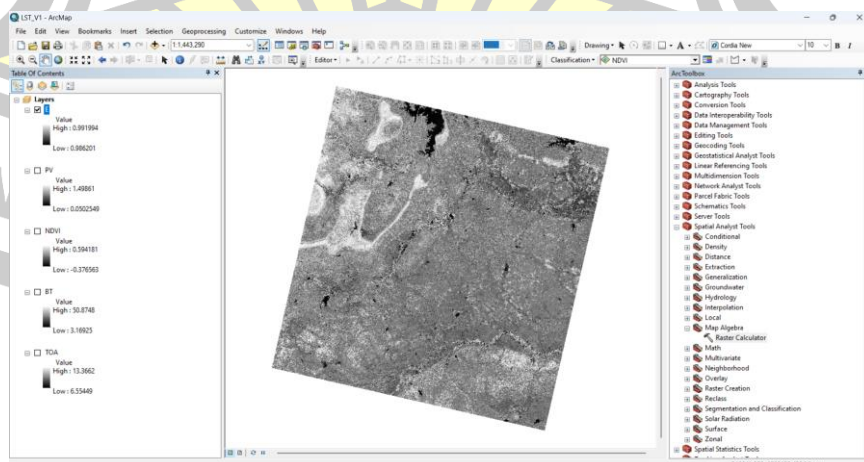
ภาพประกอบที่ 3.28 ผลการวิเคราะห์ Proportion of Vegetation

- วิเคราะห์ Land Surface Emissivity ---> Arc toolbox ---> Spatial Analyst Tools ---> Map Algebra ---> “Raster Calculation”



ภาพประกอบที่ 3.29 การวิเคราะห์ Land Surface Emissivity

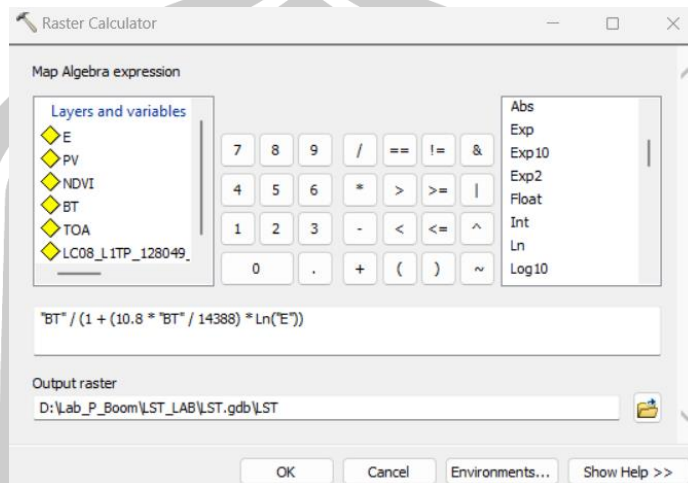
- ผลการวิเคราะห์ Land Surface Emissivity



ภาพประกอบที่ 3.30 ผลการวิเคราะห์ Land Surface Emissivity

5. ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล Land Surface Temperature (LST)

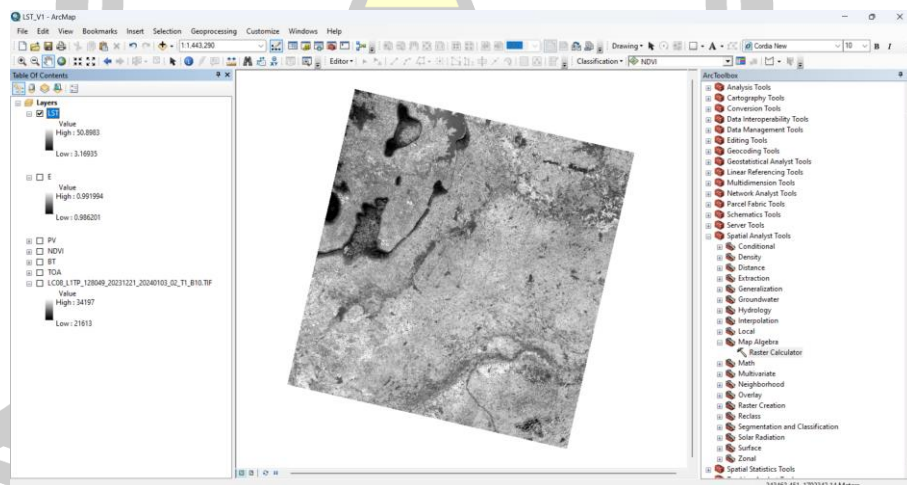
- วิเคราะห์ Land Surface Temperature ---> Arc toolbox ---> Spatial Analyst Tools ---> Map Algebra ---> “Raster Calculation”



ภาพประกอบที่ 3.31 วิเคราะห์ Land Surface Temperature

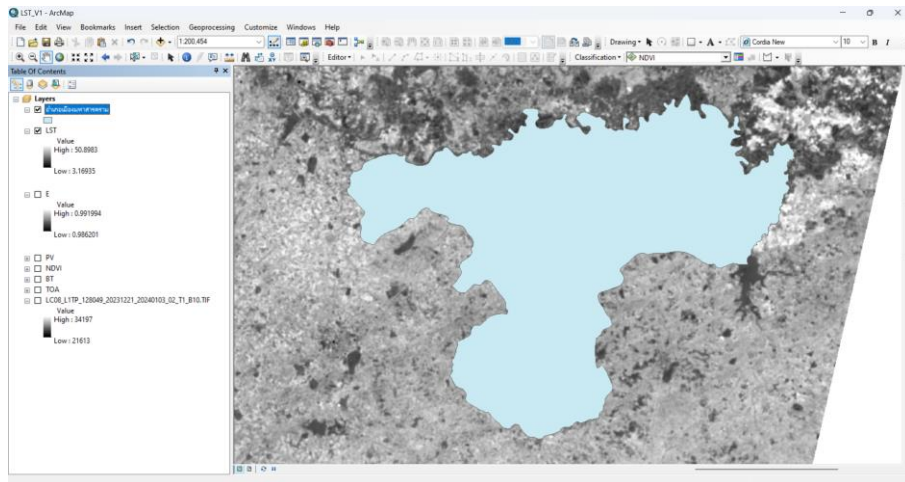
หมายเหตุ "BT" / (1 + (10.8 * "BT" / 14388) * Ln("E"))

- ผลการวิเคราะห์ Land Surface Temperature



ภาพประกอบที่ 3.32 ผลการวิเคราะห์ Land Surface Temperature

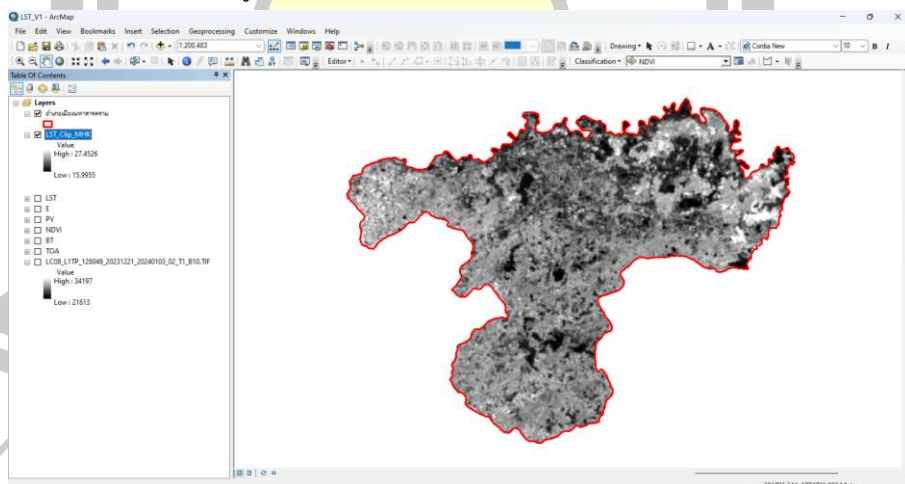
จากนั้น ---> Add Data ---> ข้อมูลพื้นที่ศึกษา “Shapefile” เพื่อทำการ Clip ข้อมูล Land Surface Temperature



ภาพประกอบที่ 3.33 การ Add Data ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

Clip ข้อมูล Land Surface Temperature ---> Arc toolbox ---> Data Management Tools ---> Raster ---> Raster Procession ---> “Clip”

- Input ---> ข้อมูล LST
 - Output Extent (optional) ---> ข้อมูลพื้นที่ศึกษา “Shapefile”
 - คลิก “Use Input Features for Clipping Geometry (optional)”
 - Output Raster Dataset ---> พื้นที่บันทึกข้อมูล “Clip” ---> OK
- ผลการ Clip ข้อมูลพื้นที่ศึกษา “Shapefile”



ภาพประกอบที่ 3.34 ผลการ Clip ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

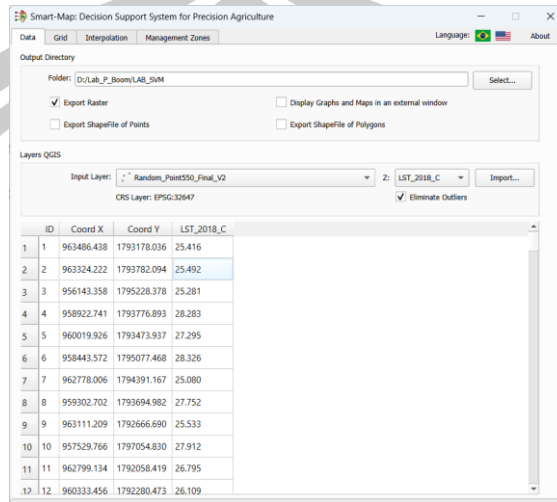
การทำ Interpolation

จากเครื่องของโปรแกรม QGIS วิเคราะห์ tool ---> Smart-Map : Decision Support System for Precision Agriculture ---> Data

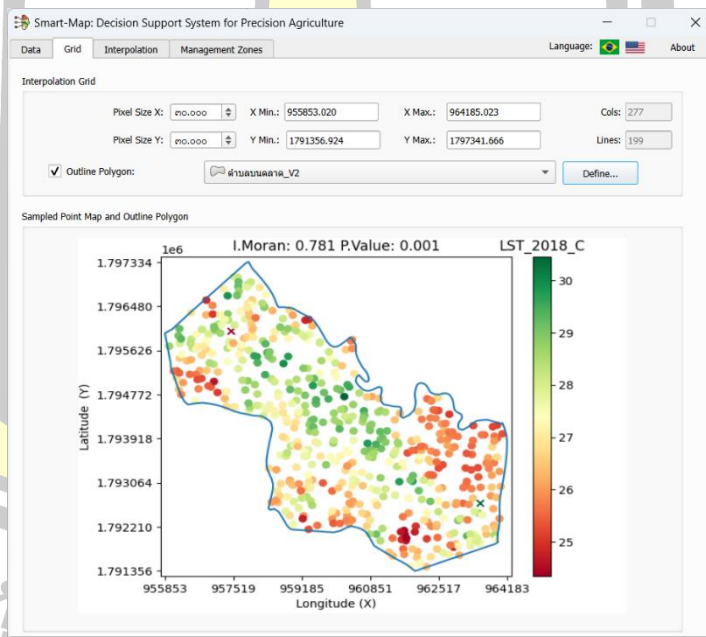
- Output Directory ---> Folder “พื้นที่บันทึก” ---> Export Raster

- Layers QGIS ----> “ไฟล์ข้อมูลทำการวิเคราะห์” ค่า Z ระบุ “ค่า LST” ---->

Import

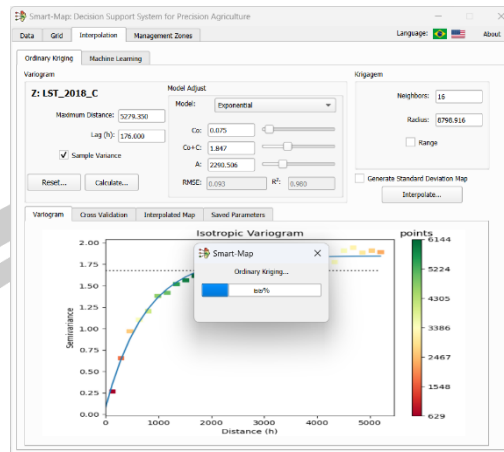


ภาพประกอบที่ 3.35 การเพิ่มชุดข้อมูล 550 จุดเพื่อคำนวณการประมาณค่าช่วง Grid ----> Interpolation Grid ----> Pixel Size X, Y “30 x 30”



ภาพประกอบที่ 3.36 การเทรน LULC สำหรับการเรียนรู้แบบต่างๆ

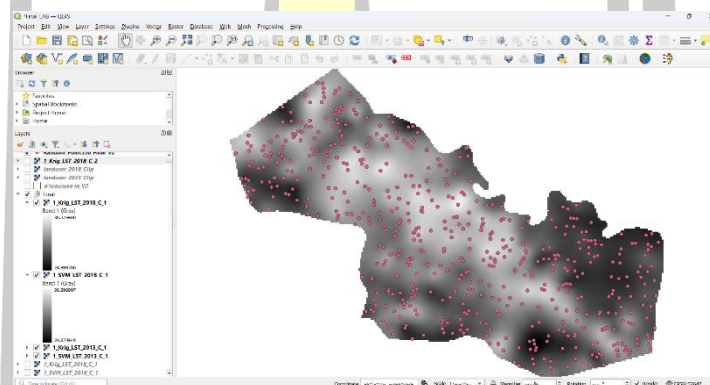
Interpolation ----> Ordinary Kriging ----> Variogram “ค่า Z” ----> Calculate -
--> Interpolation



ภาพประกอบที่ 3.37 แบบประเมินกราฟ viogram

Machine Learning ---> Selection Covariates ---> Source “Attributer Table” ---> Interpolation

ผลการวิเคราะห์ SVM



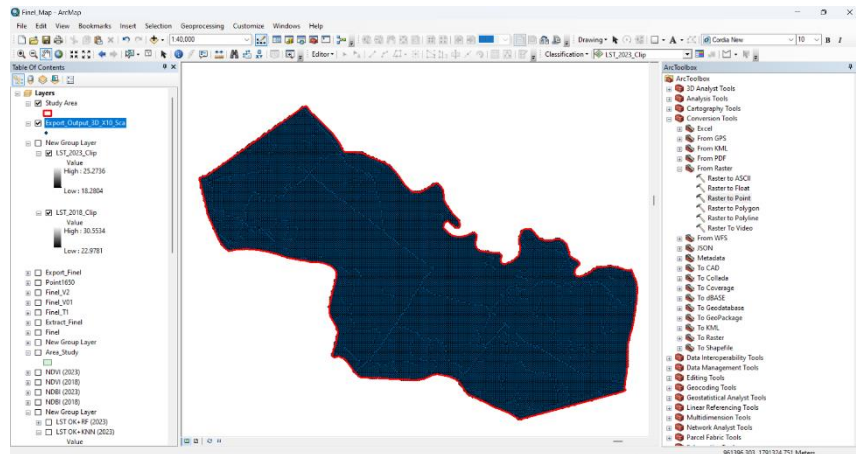
ภาพประกอบที่ 3.38 ผลการวิเคราะห์ SVM

จากนั้น สร้าง Point ชุดตัวอย่าง จากโปรแกรม ArcGis ด้วยเทคนิค Random Points จากขอบเขตพื้นที่ศึกษา ทั้งหมดได้ 1650 Point

- นำผล Point 1650 Point สลัดค่าผลด้วย Extract Multi Values to Points toolbox

- วิเคราะห์การประมาณค่าด้วยเทคนิค Interpolation ไปที่ ---> Spatial Analyst Tool ---> Interpolation ---> IDW "Input poinr" point รัน ---> z value field "การประมาณค่า"

- Raster to Point ไปที่ Arc Toolbox ---> Conversion Tool ---> From Raster ---> Raster to Point ผลได้ ทั้งหมด 26578 Point



ภาพประกอบที่ 3.39 ผล Raster to Point 26578 Point
 จากนั้น นำผล Point 26578 Point สกัดค่าผล Extract Multi Values to Points จาก
 การประมาณค่าด้วยเทคนิค IDW ของผล เพื่อนำไปแสดงผลแผนที่



บทที่ 4

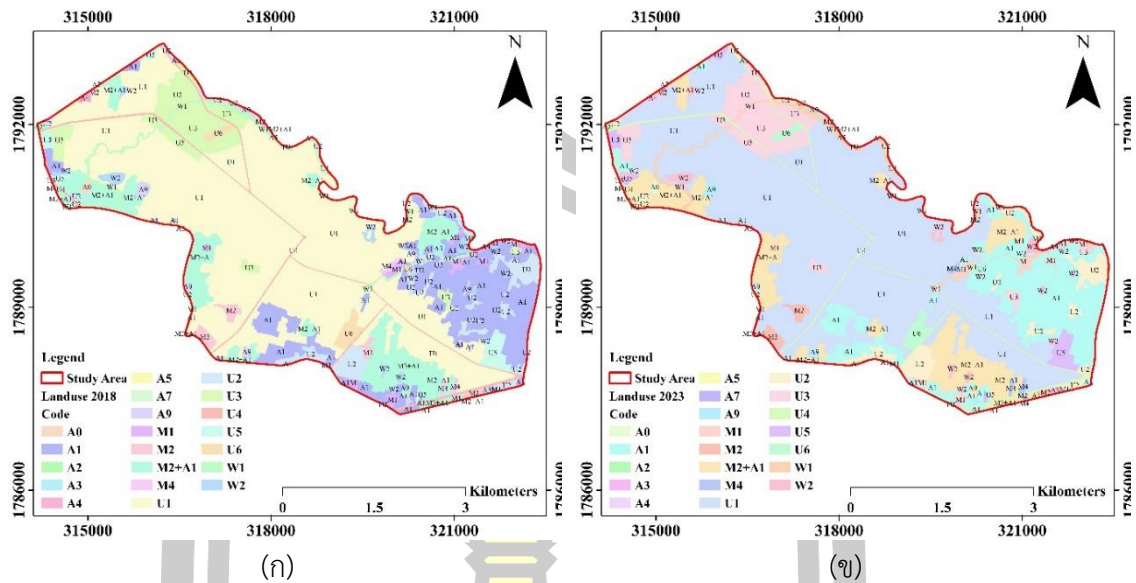
ผลการวิจัยและอภิปราย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัยจากการศึกษาการประมาณค่าช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ คือ อุณหภูมิพื้นผิว ด้วยเทคนิคของการประมาณค่าช่วงแบบดั้งเดิมและเทคนิคของการประมาณค่าช่วงแบบใหม่ที่ได้ประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องแบบต่างๆ เช่น การเรียนรู้แบบป่าสุ่ม การเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด และการเรียนรู้แบบวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมกซิม ในการสร้างการเรียนรู้ร่วมกับวิธีการประมาณค่าช่วงแบบ ordinary kriging เพื่อให้ได้การประมาณค่าช่วงที่รวมผลของอิทธิพลของปัจจัยแวดล้อมรวมเข้าด้วย นอกจากนี้ ในบทนี้จะแสดงผลของการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินของพื้นที่ศึกษาด้วยการจำแนกด้วยการเรียนรู้แบบป่าสุ่มและการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด เพื่อใช้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการประมาณค่าช่วงในกระบวนการประมาณค่าช่วงแบบใหม่ และในลำดับสุดท้าย ในบทนี้ได้เสนอแนวคิดของการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนโดยการสร้างกราฟจำลองปรากฏการณ์เกาะความร้อนแบบ 3 มิติ

4.1 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน

พื้นที่ของตำบลตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย ตามข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินสามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน (LULC) ได้ออกเป็น 4 ประเภท คือ พื้นที่การเกษตร พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่ชุมชนเมือง และพื้นที่ว่างเปล่า ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 4.1 โดยภาพประกอบดังกล่าวจะถูกแบ่งออกเป็นภาพย่อยสองภาพคือ 4.1(ก) และ 4.1(ข) ซึ่งแสดงการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินของตำบลตลาดในปีพ.ศ. 2561 และปีพ.ศ. 2566 ตามลำดับ เพื่อความชัดเจนและแสดงรายละเอียดการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ตำบลตลาด จังหวัดมหาสารคามได้อย่างเด่นชัด ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินของตำบลตลาดได้ถูกนำเสนอในตารางที่ 4.1

พหุ ประถมศึกษา



ภาพประกอบที่ 4.1 สิ่งปกคลุมพื้นดิน ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

ก. สิ่งปกคลุมพื้นดิน พ.ศ. 2561

ข. สิ่งปกคลุมพื้นดิน พ.ศ. 2566

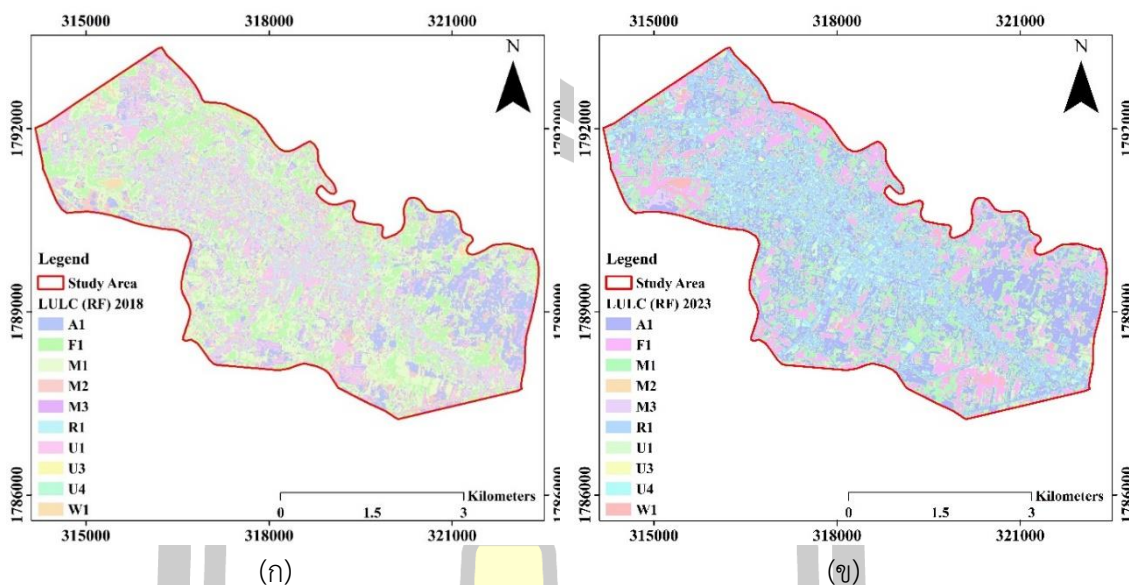
จากภาพประกอบที่ 4.1 พบว่า การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินของพื้นที่ตำบลตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม สามารถถูกจำแนกในระดับที่ 1 แบ่งออกเป็นกลุ่มได้ทั้งหมด 4 กลุ่มคือ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ว่างเปล่า พื้นที่ปลูกสร้างอยู่อาศัย และพื้นที่น้ำ ซึ่งจากภาพดังกล่าวพบว่าพื้นที่ที่ถูกปกคลุมมากที่สุด คือ กลุ่มของสิ่งปลูกสร้างอยู่อาศัย รองลงมา คือ กลุ่มของพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ว่างเปล่า และพื้นที่น้ำตามลำดับ และเพื่อความสะดวกในการศึกษาและจำแนกกลุ่มของสิ่งปกคลุมระดับที่ 2 ผลจากการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดิน ระดับที่ 1 และ ระดับที่ 2 ของตำบลตลาดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 เนื่องจากบริเวณศึกษาส่วนมากเป็นเขตของสังคมเมืองทำให้สิ่งปกคลุมพื้นดินส่วนมากจะประกอบไปด้วยอาคารบ้านเรือน รวมทั้งสิ่งปลูกสร้างในการทำกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งเป็นเหตุให้บริเวณที่ศึกษามีความเสี่ยงในการเกิดของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองมากกว่าบริเวณอื่นๆ พื้นที่ดังกล่าวจึงเป็นพื้นที่เป้าหมายในการศึกษาการเกิดและการพัฒนาของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

ตารางที่ 4.1 การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินพื้นที่ตำบลลาด ระดับที่ 1 และ ระดับที่ 2

ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	คำอธิบาย
พื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural Land; A)	A0	Integrated farm/Diversified farm
	A1	Abandoned paddy field
	A3	Abandoned perennial
	A4	Mango
	A5	Floricultural/Ornamental plant
	A7	Cattle farm house
	A8	Lotus
	A9	Abandoned aquaculture land
	Marsh; M	M1
M2		Marsh and Swamp
M2+A1		Marsh and Swamp + Active paddy field
M4		Landfill
Urban; U	U1	City, Town, Commercial
	U2	Village
	U3	Institutional land
	U4	Road
	U5	Factory
	U6	Resort, Hotel, Guesthouse
Water; W	W1	River, Canal
	W2	Farm pond

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

4.1.1 ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินด้วยการเรียนรู้แบบป่าสุ่ม



ภาพประกอบที่ 4.2 สิ่งปกคลุมพื้นดินพื้นที่ ตำบลตลาด ด้วยการจำแนกแบบป่าสุ่ม

ก. สิ่งปกคลุมพื้นดิน พ.ศ. 2561

ข. สิ่งปกคลุมพื้นดิน พ.ศ. 2566

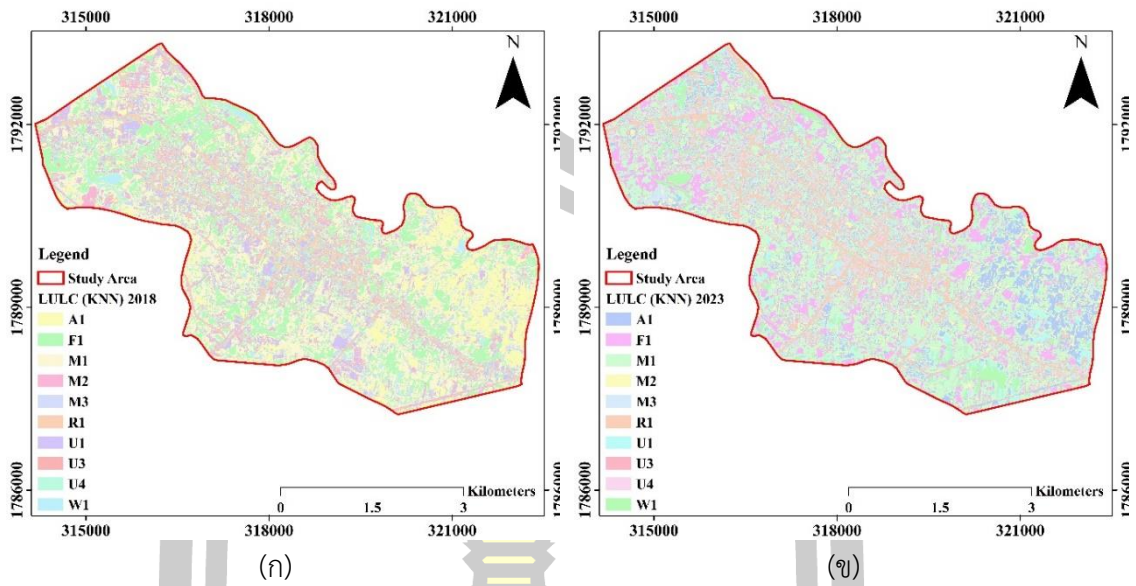
จากภาพประกอบที่ 4.2 แสดงผลของการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินของพื้นที่ตำบลตลาด ด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องแบบป่าสุ่ม โดยภาพนี้ถูกแบ่งออกเป็นภาพประกอบย่อย 2 ภาพ คือ ภาพประกอบที่ 4.2(ก) และ 4.2(ข) ซึ่งเป็นภาพสิ่งปกคลุมพื้นดินของตำบลตลาดในปี พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2566 ตามลำดับ จากภาพประกอบดังกล่าว พบว่า การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินของพื้นที่ตำบลตลาดถูกจำแนกออกเป็นระดับที่ 1 จำนวน 6 กลุ่ม คือ พื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่เกษตร พื้นที่ป่าหรือต้นไม้ พื้นที่ว่างเปล่า พื้นที่น้ำ และพื้นที่ถนน และการจำแนกในระดับที่ 2 จะถูกจำแนกและแสดงในตารางที่ 4.2 จากผลการจำแนกพบว่า จำนวนของกลุ่มการจำแนกจะขึ้นอยู่กับการเรียนรู้ที่ถูกสอนให้กับระเบียบของการเรียนรู้หรือที่ถูกเรียกว่า ตัวเทรน ตัวเทรนจะเป็นสิ่งที่กำหนดจำนวนของกลุ่มการจำแนกซึ่งในการศึกษาการจำแนกสิ่งปกคลุมด้วยการเรียนรู้แบบป่าสุ่มได้ใช้ตัวเทรนซึ่งเป็นตัวแทนของสิ่งปกคลุมพื้นดินทั้งหมด 6 กลุ่ม และแบ่งเป็นกลุ่มย่อยรวมเป็น 10 กลุ่ม ซึ่งจากภาพประกอบดังกล่าว ผลของการจำแนกยังมีความสอดคล้องกับการจำแนกสิ่งปกคลุมที่ดินที่ได้จากกรมที่ดินที่แสดงในภาพประกอบ 4.1 โดยพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมมากที่สุดคือ พื้นที่ปลูกสร้างอยู่อาศัย รองลงมาคือพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ว่างเปล่า และพื้นที่น้ำตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินพื้นที่ตำบลตลาด ระดับที่ 1 และ ระดับที่ 2 ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบป่าสุ่ม

ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	คำอธิบาย
พื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural Land; A)	A1	พื้นที่นา พื้นที่ไร่ พื้นที่สวน
พื้นที่ป่าไม้	F1	พื้นที่ที่มีต้นไม้
พื้นที่ว่างเปล่า/อื่นๆ (Marsh; M)	M1	พื้นที่ว่างเปล่า
	M2	สนามกีฬา
	M3	ลานจอดรถ
พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง (Urban; U)	U1	พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง บ้านเรือน อาคารสำนักงาน
พื้นที่น้ำ (Water; W)	W1	พื้นที่ที่มีน้ำ
	W2	
พื้นที่ถนน (Road; R)	R	ถนน

4.1.2 ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินด้วยการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

จากภาพประกอบที่ 4.3 แสดงผลของการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินของพื้นที่ตำบลตลาด ด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องแบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด โดยภาพนี้ถูกแบ่งออกเป็นภาพประกอบย่อย 2 ภาพ คือ ภาพประกอบที่ 4.3(ก) และ 4.3(ข) ซึ่งเป็นภาพสิ่งปกคลุมพื้นดินของตำบลตลาดในปี พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2565 ตามลำดับ จากภาพพบว่า การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินของพื้นที่ตำบลตลาด ถูกจำแนกออกเป็นระดับที่ 1 จำนวน 6 กลุ่ม คือ พื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่เกษตร พื้นที่ป่าหรือต้นไม้ พื้นที่ว่างเปล่า พื้นที่น้ำ และพื้นที่ถนน เช่นเดียวกันกับการเรียนรู้แบบป่าสุ่มเนื่องจากใช้ตัวเทรนในการจะแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินตัวเดียวกัน และการจำแนกในระดับที่ 2 ถูกแสดงในตารางที่ 4.3 จากผลการจำแนกพบว่า การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุดให้ผลการจำแนกที่ใกล้เคียงกับการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินด้วยวิธีป่าสุ่มหากสังเกตด้วยตาเปล่า หรืออาจจะเป็นเพราะใช้ตัวเทรนตัวเดียวกัน ดังนั้น การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำแนกอาจจะใช้วิธีการสังเกตด้วยตาเปล่าอาจไม่เพียงพอ



ภาพประกอบที่ 4.3 สิ่งปกคลุมพื้นดินพื้นที่ ตำบลตลาด ด้วยการจำแนกแบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

ก. สิ่งปกคลุมพื้นดิน พ.ศ. 2561

ข. สิ่งปกคลุมพื้นดิน พ.ศ. 2566

ตาราง 4.3 การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินพื้นที่ตำบลตลาด ระดับที่ 1 และ ระดับที่ 2 ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	คำอธิบาย
พื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural Land; A)	A1	พื้นที่นา พื้นที่ไร่ พื้นที่สวน
พื้นที่ป่าไม้	F1	พื้นที่ที่มีต้นไม้
พื้นที่ว่างเปล่า/อื่นๆ (Marsh; M)	M1 M2 M3	พื้นที่ว่างเปล่า สนามกีฬา ลานจอดรถ
พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง (Urban; U)	U1	พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง บ้านเรือน อาคารสำนักงาน
พื้นที่น้ำ (Water; W)	W1 W2	พื้นที่ที่มีน้ำ
พื้นที่ถนน (Road; R)	R	ถนน

4.1.3 ผลการเปรียบเทียบการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินด้วยวิธีการเรียนรู้แบบป่าสุ่มและวิธีการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

จากการศึกษาการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินของพื้นที่ตำบลตลาด พบว่า ทั้งผลที่ได้จากการจำแนกด้วยการเรียนรู้แบบป่าสุ่มและการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุดให้ความละเอียดของการจำแนกหรือกลุ่มของการจำแนกที่มากกว่าข้อมูลการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินของกรมที่ดินที่แสดงในหัวข้อ 4.1 แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณากลุ่มย่อยระดับที่ 2 พบว่า การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินของกรมที่ดินได้รวมเอาพื้นที่ของการจำแนกของกลุ่มป่าไม้จากการเรียนรู้ด้วยเครื่องเข้ากับพื้นที่ว่างเปล่า ดังนั้น เพื่อเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ผลการจำแนกด้วยการเรียนรู้เครื่องได้รวมกลุ่มของ F คือ พื้นที่ป่าไม้ เข้ากับกลุ่มของ M คือพื้นที่ว่างเปล่า และในกรณีเดียวกัน ได้รวมกลุ่มของ R คือ พื้นที่ถนน เข้ากับกลุ่มของ U คือ พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง เพื่อให้จำนวนกลุ่มการจำแนกเท่ากันและสามารถเปรียบเทียบกันได้ โดยผลของการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ของการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินและวิธีการเรียนรู้แบบต่างๆ ถูกแสดงในตาราง 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลการจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินของพื้นที่ตำบลตลาดด้วยการเรียนรู้

ระดับที่ 1	กรมที่ดิน	ป่าสุ่ม	เพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด
พื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural Land; A)	6327878	6327878.252	6327878.251
พื้นที่ว่างเปล่า (Marsh; M)	521821	521821.104	521821.104
พื้นที่เมือง (Urban; U)	16356121	16356121.850	16356121.850
พื้นที่น้ำ (Water; W)	710639	710639.111	710639.111
พื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural Land; A)	6327878	6040178.280	6040178.278
พื้นที่ว่างเปล่า (Marsh; M)	521821	606158.1787	606158.1787
พื้นที่เมือง (Urban; U)	16356121	16547824.26	16547824.28
พื้นที่น้ำ (Water; W)	710639	722299.5842	722299.5842

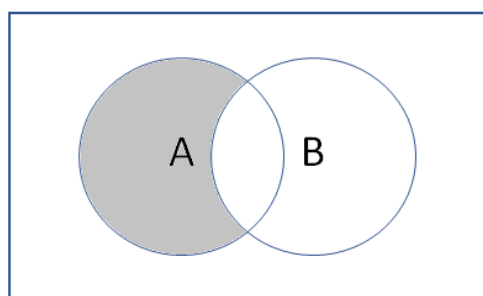
จากตาราง 4.4 พบว่า การจำแนกสิ่งปกคลุมพื้นดินด้วยวิธีการเรียนรู้แบบป่าสุ่ม และวิธีการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุดให้ผลการจำแนกที่สอดคล้องกันและแนวโน้มเดียวกับข้อมูลของการจำแนกของกรมที่ดินจังหวัดมหาสารคาม และการเรียนรู้ทั้งสองยังให้การจำแนกของสิ่งปกคลุมใกล้เคียงกันมาก หรือแทบจะไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ อาจจะเป็นเพราะการเรียนรู้ทั้งสองใช้ตัวแปรชุดเดียวกันซึ่งอาจทำให้ผลของการจำแนกมีความใกล้เคียงกันและแตกต่างกันไม่มาก

4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดินระหว่างปีพ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2566

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของสิ่งปกคลุมพื้นดินของพื้นที่ศึกษาตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ในปีพ.ศ. 2561 และพ.ศ. 2566 ที่แสดงในหัวข้อ 4.1 โดยการศึกษาตัวกล่าวจะใช้วิธีเดียวกับวิธีการคิดของตัวดำเนินการทางเซตดังที่แสดงในสมการ 4.1 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ทราบถึงบริเวณที่เกิดการซ้อนทับกันของพื้นที่และไม่ซ้อนทับกันของพื้นที่ หรือถ้าตีความคือบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดินและบริเวณที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดิน

$$A - B = A \cap B' \quad 4.1$$

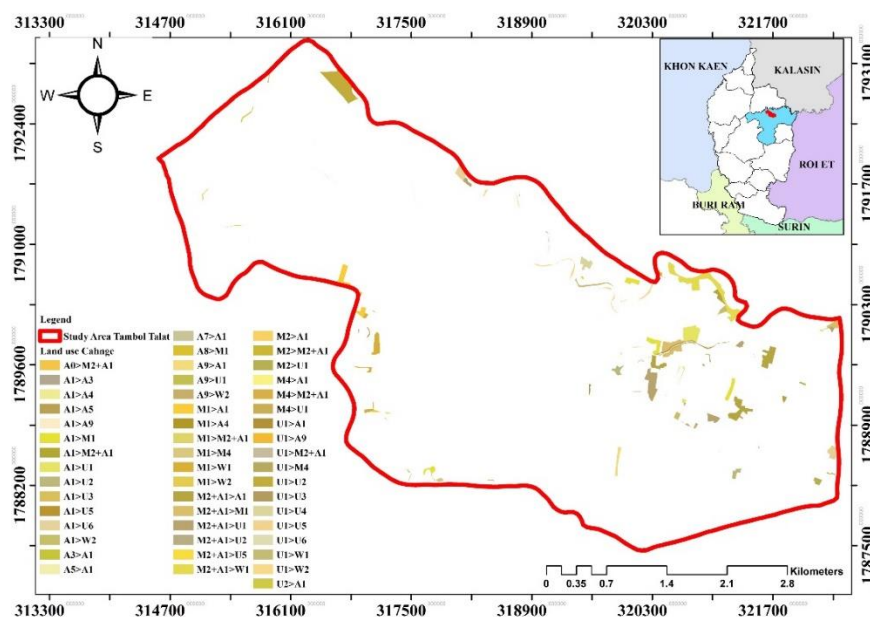
ตัวดำเนินการทางเซตที่แสดงในสมการ 4.1 จะทำให้ทราบและสามารถตีความข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมพื้นดิน กล่าวคือ เมื่อเราแปลงสมการที่ 4.1 ในรูปแบบของแผนภาพแวนน์ออนเลอร์จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



ภาพประกอบที่ 4.4 การลบกันของตัวดำเนินการทางเซต

เมื่อใช้แนวคิดดังกล่าวในการพิจารณาความแตกต่างของสิ่งปกคลุมพื้นดินระหว่างปีพ.ศ. 25561 และ 2566 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของตัวดำเนินการทางเซตดังสมการที่ 4.2 และผลของการดำเนินการจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.5

$$\{[area2566] - [area2561] \cap [area2561] - [area2566]\} \quad (4.2)$$



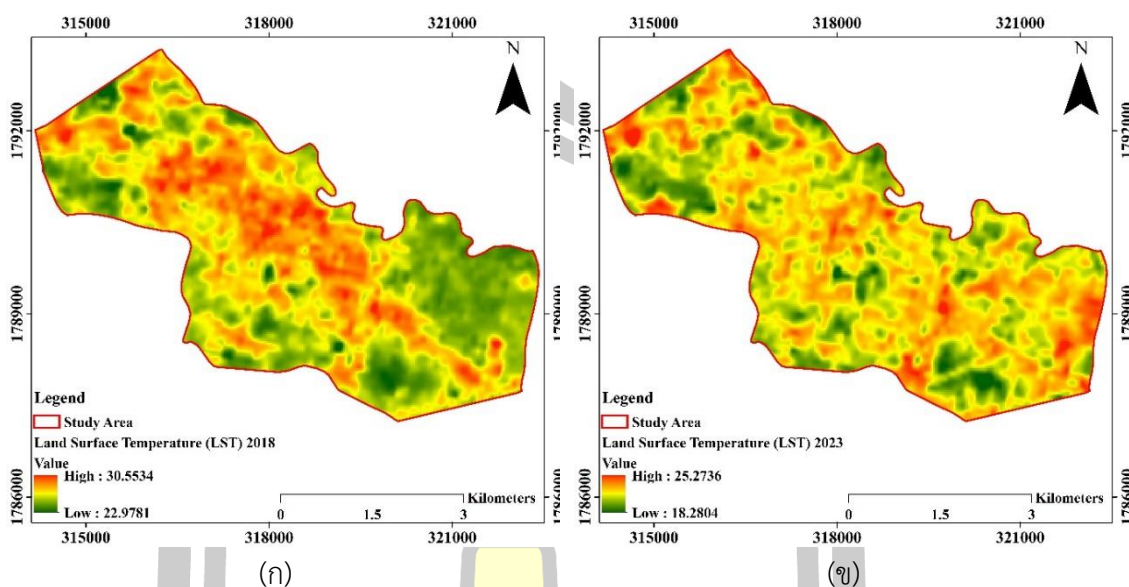
ภาพประกอบที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมที่ดินระหว่างปีพ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2566

จากภาพที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดินระหว่างปีพ.ศ. 2561 ถึงพ.ศ. 2566 มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก หรือคิดเป็น 1.03 % ของพื้นที่ทั้งหมด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีข้อสรุปว่า การเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดินระหว่างพ.ศ. 2561 ถึงพ.ศ. 2566 ไม่มีนัยในการเปลี่ยนแปลง

4.3 ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่ศึกษา โดยจะแบ่งผลการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นผลที่ได้จากการคำนวณจากข้อมูล LANDSAT 8 โดยตรงผ่านสมการที่แสดงในหัวข้อ 2.4 ซึ่งผลการคำนวณจะแสดงในหัวข้อ 4.3.1 และ ส่วนที่สองเป็นผลจากการประมาณค่าช่วงของอุณหภูมิพื้นผิวที่ถูกสกัดออกมาจากผลที่คำนวณได้จากดาวเทียม LANDSAT 8 ในหัวข้อ 4.3.1 จำนวน 550 จุดข้อมูลตามตำแหน่งพิกัด (x,y) ที่ถูกสกัดจากผลการคำนวณจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 จะถูกนำมาคำนวณด้วยวิธีการประมาณค่าช่วงเชิงพื้นที่ผ่านเทคนิคการประมาณค่าช่วงด้วยวิธีการต่างๆ โดยผลของอุณหภูมิพื้นผิวที่ได้จากเทคนิคการประมาณค่าช่วงแบบแบบฉบับด้วยเทคนิค IDW และ OK จะถูกคำนวณและถูกแสดงผลในหัวข้อ 4.3.2 และ 4.3.3 ตามลำดับ และกระบวนการประมาณค่าช่วงแบบใหม่โดยการประยุกต์การประมาณค่าช่วงแบบ OK ร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่องแบบ SVM การเรียนรู้ของเครื่องแบบ RF และการเรียนรู้ของเครื่องแบบ KNN จะถูกคำนวณและถูกแสดงผลในหัวข้อ 4.3.4, หัวข้อ 4.3.5 และหัวข้อ 4.3.6 ตามลำดับ และสำหรับหัวข้อ 4.3.7 จะแสดงผลของการเปรียบเทียบการคำนวณค่าอุณหภูมิพื้นผิวของแต่ละเทคนิคผ่านสถิติทดสอบ

4.4.1 ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT-8

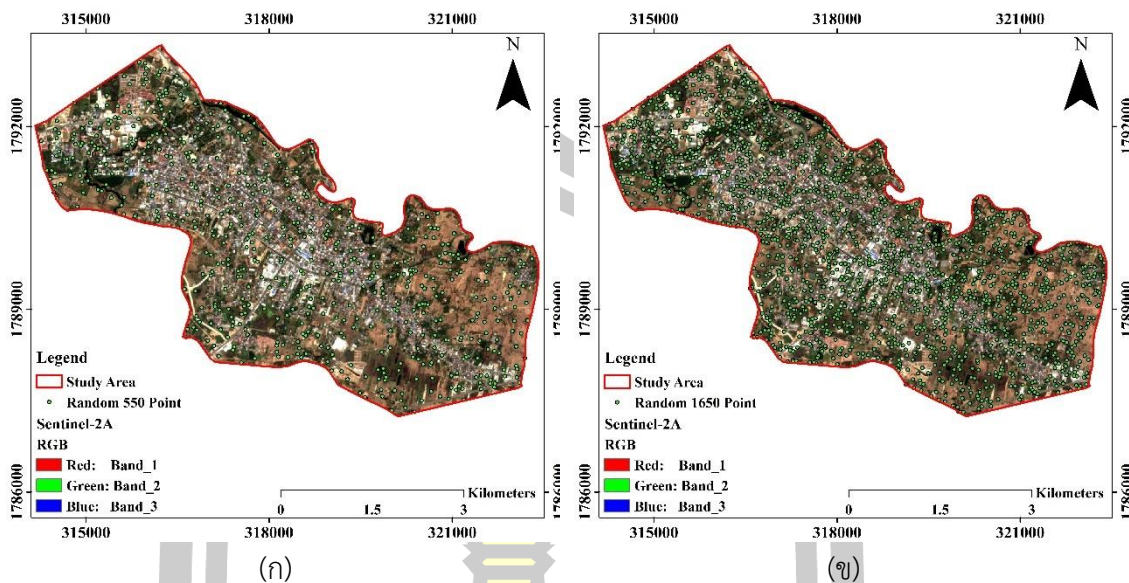


ภาพประกอบที่ 4.6 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8

ก. LST จากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 พ.ศ. 2561

ข. LST จากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 พ.ศ. 2566

ผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูล LANDSAT 8 ถูกแสดงในภาพประกอบที่ 4.6 โดยภาพประกอบที่ 4.6(ก) เป็นผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวในปีพ.ศ. 2561 และภาพประกอบที่ 4.6(ข) เป็นผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวในปีพ.ศ. 2566 การวิเคราะห์พบว่า ค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยอยู่ที่ 30.553°C , 22.978°C และ 27.1608°C ตามลำดับ และสำหรับข้อมูลการคำนวณ LST ในปีพ.ศ. 2566 การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยอยู่ที่ 25.273°C , 18.280°C และ 21.534°C ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า การลดลงอย่างมีนัยสำคัญของอุณหภูมิพื้นผิวดินในปีพ.ศ. 2566 เมื่อเทียบกับปีพ.ศ. 2561 สามารถอธิบายได้จากปริมาณฝนที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยในพื้นที่การศึกษาระหว่างฤดูฝนตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2565 ทำให้เกิดน้ำท่วมในระยะสั้นตั้งแต่ปลายเดือนกันยายนถึงต้นเดือนตุลาคม ส่งผลให้ความชื้นของดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พื้นที่ที่เคยว่างเปล่าก็เริ่มมีพืชพรรณเติบโตเนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยลดค่า LST การสังเกตนี้สอดคล้องกับข้อมูลอุณหภูมิพื้นดินจากกรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดมหาสารคาม ซึ่งบันทึกอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยที่ 32.600°C , 20.220°C และ 26.400°C ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 และ 27.000°C , 18.000°C และ 22.000°C ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 4.7 พิกัดการสกัดข้อมูล LST ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

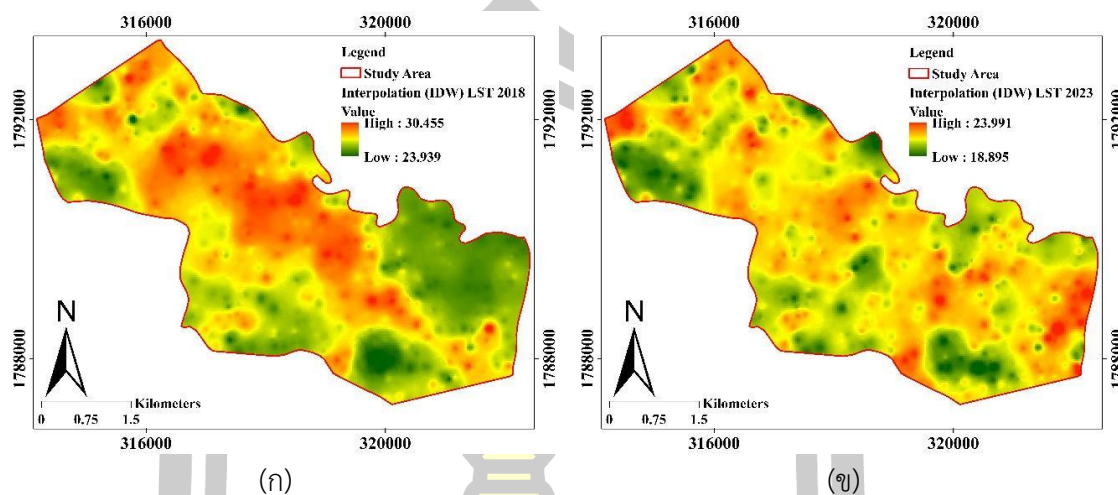
ก. พิกัด 550 จุดข้อมูล

ข. พิกัด 1650 จุดข้อมูล

นอกจากนี้ ข้อมูล LST ที่คำนวณและสร้างจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 ในปีพ.ศ. 2561 และพ.ศ. 2566 เมื่อทำแผนที่เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ LST พบว่ามีจุดข้อมูลประมาณ 25,000 จุด บนระนาบ (x, y) การวิจัยนี้ได้สกัดข้อมูลออกมาเป็นสองชุด: ชุดแรกมี 550 จุดข้อมูลดังที่แสดงในภาพประกอบ 4.7(ก) จะถูกใช้เป็นตัวแปรเริ่มต้นสำหรับสร้างข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิคการประมาณค่าช่วงต่างๆ เช่น IDW, OK, OK+SVM, OK+RF และ OK+KNN ซึ่งผลจากการประมาณค่าช่วงแต่ละเทคนิคจะสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ของแผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวเท่ากับมีจำนวนจุดข้อมูลที่ได้จากแผนที่ LST ที่คำนวณจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 รวม 25,000 จุดข้อมูล อย่างไรก็ตาม เนื่องจากจุดข้อมูล 25,000 จุดอาจมีจำนวนมากเกินกว่าที่จะประเมินและเปรียบเทียบค่าที่ถูกประเมินใหม่จากแต่ละเทคนิคได้ ชุดข้อมูลชุดที่สองมี 1,650 จุดข้อมูลดังที่แสดงในภาพประกอบ 4.7(ข) ซึ่งเป็นสามเท่าของข้อมูลเริ่มต้นก่อนการประเมินค่าใหม่ ถูกสกัดออกมาเพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับการทดสอบทางสถิติเพื่อประเมินความสม่ำเสมอของโมเดลกับการคำนวณ LST โดยตรง

4.3.2 ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค

IDW



ภาพประกอบที่ 4.8 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวจากเทคนิค IDW

ก. LST จากเทคนิค IDW พ.ศ. 2561

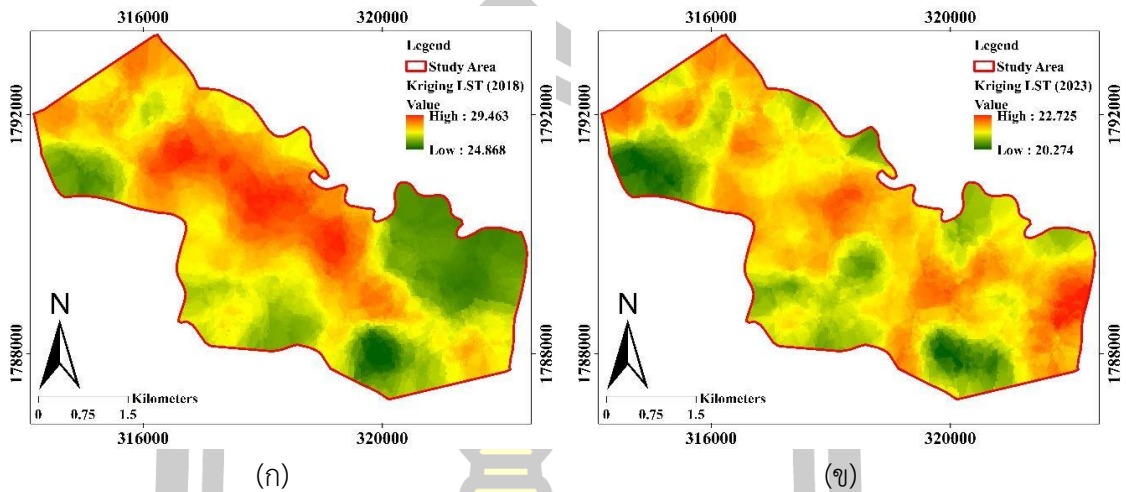
ข. LST จากเทคนิค IDW พ.ศ. 2566

ผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค IDW ถูกแสดงในภาพประกอบที่ 4.8 โดยภาพประกอบที่ 4.8(ก) เป็นผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค IDW ในปีพ.ศ. 2561 และภาพประกอบที่ 4.8(ข) เป็นผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค IDW ในปีพ.ศ. 2566 การวิเคราะห์พบว่า ค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยอยู่ที่ 30.445°C, 23.939°C และ 26.842°C ตามลำดับ และสำหรับข้อมูลการคำนวณ LST ในปีพ.ศ. 2566 การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยอยู่ที่ 23.991°C, 18.895°C และ 21.234°C ตามลำดับ จากผลของการประมาณค่าช่วงของอุณหภูมิพื้นผิวพบว่า มีแนวโน้มเดียวกันกับผลจากการคำนวณจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8

พหุ ประถมศึกษา

4.3.3 ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค

OK



ภาพประกอบที่ 4.9 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวจากเทคนิค OK

ก. LST จากเทคนิค OK พ.ศ. 2561

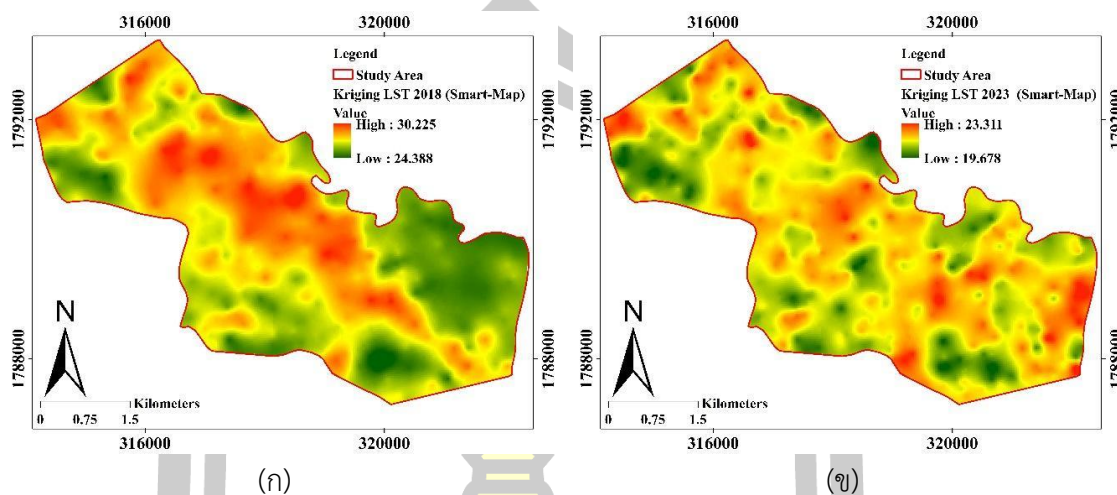
ข. LST จากเทคนิค OK พ.ศ. 2566

ผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค OK ถูกแสดงในภาพประกอบที่ 4.9 โดยภาพประกอบที่ 4.9(ก) เป็นผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค OK ในปีพ.ศ. 2561 และภาพประกอบที่ 4.9(ข) เป็นผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค OK ในปีพ.ศ. 2566 การวิเคราะห์พบว่า ค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยอยู่ที่ 29.463°C, 24.868°C และ 26.842°C ตามลำดับ และสำหรับข้อมูลการคำนวณ LST ในปีพ.ศ. 2566 การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยอยู่ที่ 22.725°C, 20.274°C และ 21.234°C ตามลำดับ จากผลของการประมาณค่าช่วงของอุณหภูมิพื้นผิวพบว่า มีแนวโน้มเดียวกันกับผลจากการคำนวณจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

4.3.4 ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค

OK+SVM



ภาพประกอบที่ 4.10 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวจากเทคนิค OK +SVM

ก. LST จากเทคนิค OK + SVM พ.ศ. 2561

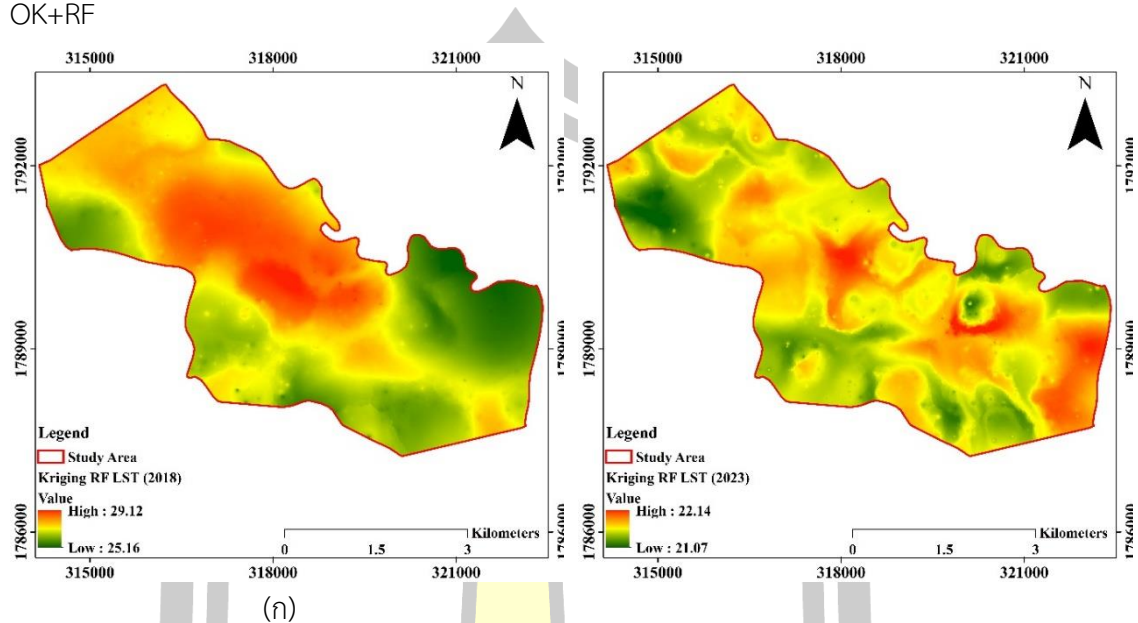
ข. LST จากเทคนิค OK + SVM พ.ศ. 2566

ผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค OK + SVM ถูกแสดงในภาพประกอบที่ 4.10 โดยภาพประกอบที่ 4.10(ก) เป็นผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค OK + SVM ในปีพ.ศ. 2561 และภาพประกอบที่ 4.9(ข) เป็นผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค OK + SVM ในปีพ.ศ. 2566 การวิเคราะห์พบว่า ค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยอยู่ที่ 30.225°C , 24.388°C และ 26.842°C ตามลำดับ และสำหรับข้อมูลการคำนวณ LST ในปีพ.ศ. 2566 การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยอยู่ที่ 23.311°C , 19.678°C และ 21.234°C ตามลำดับ จากผลของการประมาณค่าช่วงของอุณหภูมิพื้นผิวพบว่า มีแนวโน้มเดียวกันกับผลจากการคำนวณจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8

พหุ ประถมศึกษา

4.3.5 ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค

OK+RF



(ก)

(ข)

ภาพประกอบที่ 4.11 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวจากเทคนิค OK + RF

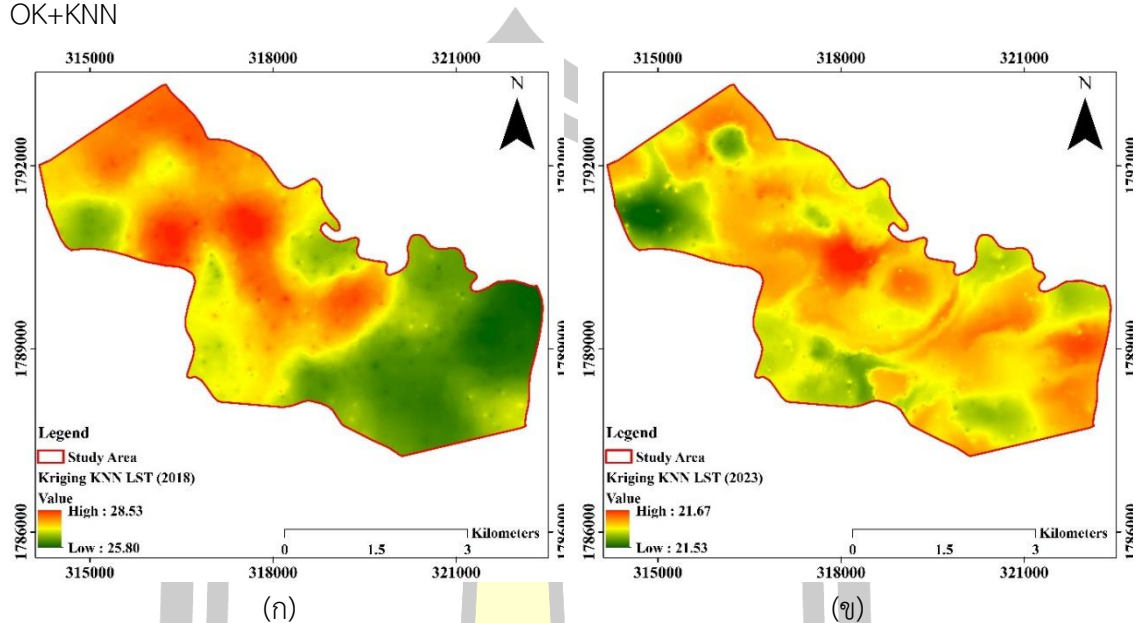
ก. LST จากเทคนิค OK + RF พ.ศ. 2561

ข. LST จากเทคนิค OK + RF พ.ศ. 2566

ผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค OK + RF ถูกแสดงในภาพประกอบที่ 4.11 โดยภาพประกอบที่ 4.11(ก) เป็นผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค OK + RF ในปีพ.ศ. 2561 และภาพประกอบที่ 4.9(ข) เป็นผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค OK + RF ในปีพ.ศ. 2566 การวิเคราะห์พบว่า ค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยอยู่ที่ 29.120°C, 25.160°C และ 26.842°C ตามลำดับ และสำหรับข้อมูลการคำนวณ LST ในปีพ.ศ. 2566 การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยอยู่ที่ 22.140°C, 21.070°C และ 21.234°C ตามลำดับ จากผลของการประมาณค่าช่วงของอุณหภูมิพื้นผิวพบว่า มีแนวโน้มเดียวกันกับผลจากการคำนวณจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8

4.3.6 ผลการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค

OK+KNN



ภาพประกอบที่ 4.12 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวจากเทคนิค OK + KNN

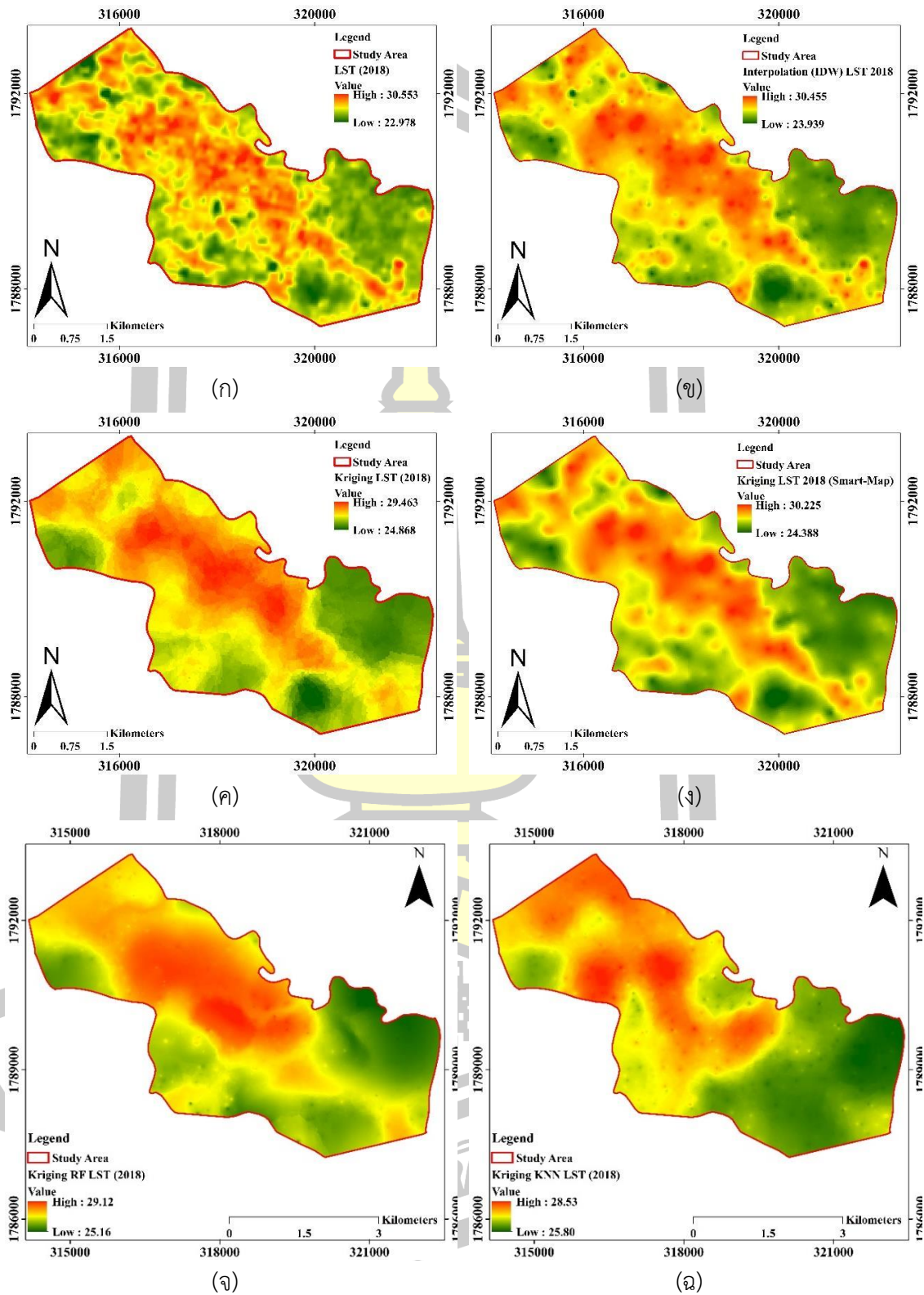
ก. LST จากเทคนิค OK + KNN พ.ศ. 2561

ข. LST จากเทคนิค OK + KNN พ.ศ. 2566

ผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวจากวิธีการประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิค OK + RF ถูกแสดงในภาพประกอบที่ 4.11 โดยภาพประกอบที่ 4.11(ก) เป็นผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค OK + RF ในปีพ.ศ. 2561 และภาพประกอบที่ 4.9(ข) เป็นผลจากการคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยเทคนิค OK + RF ในปีพ.ศ. 2566 การวิเคราะห์พบว่า ค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยอยู่ที่ 28.530°C, 25.800°C และ 26.842°C ตามลำดับ และสำหรับข้อมูลการคำนวณ LST ในปีพ.ศ. 2566 การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยอยู่ที่ 21.670°C, 21.530°C และ 21.234°C ตามลำดับ จากผลของการประมาณค่าช่วงของอุณหภูมิพื้นผิวพบว่า มีแนวโน้มเดียวกันกับผลจากการคำนวณจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8

พหุบัณฑิต ชีวะ

4.3.7 ผลการเปรียบเทียบการคำนวณและประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวแต่ละเทคนิค



ภาพประกอบที่ 4.13 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวพ.ศ. 2561

ก. LANDSAT 8

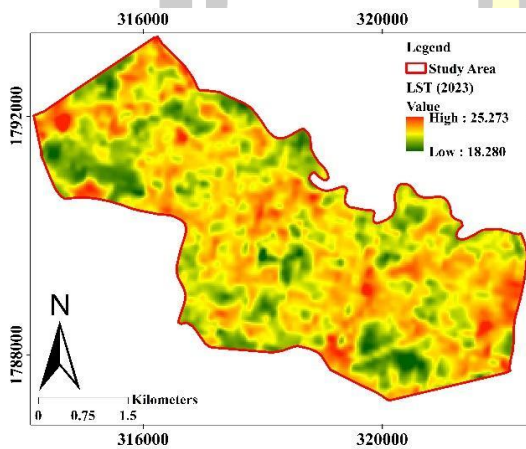
ข. เทคนิค IDW

ค. เทคนิค OK

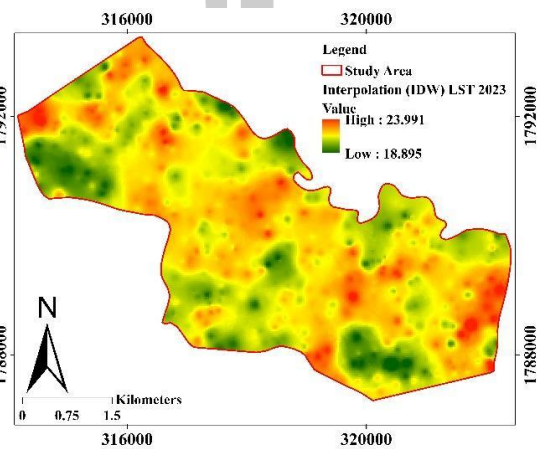
ง. เทคนิค OK + SVM

จ. เทคนิค OK + RF

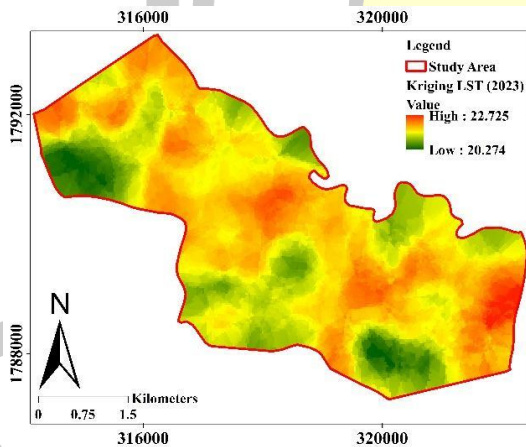
ฉ. เทคนิค OK + KNN



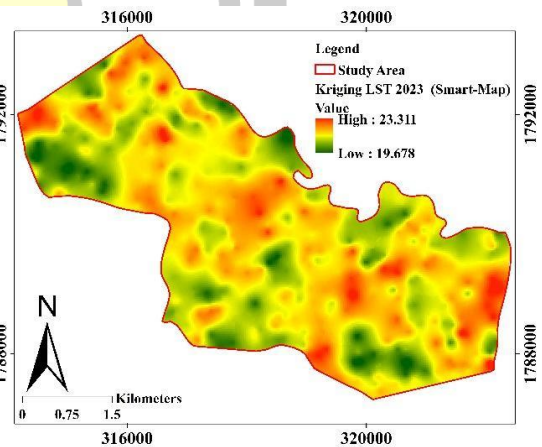
(ก)



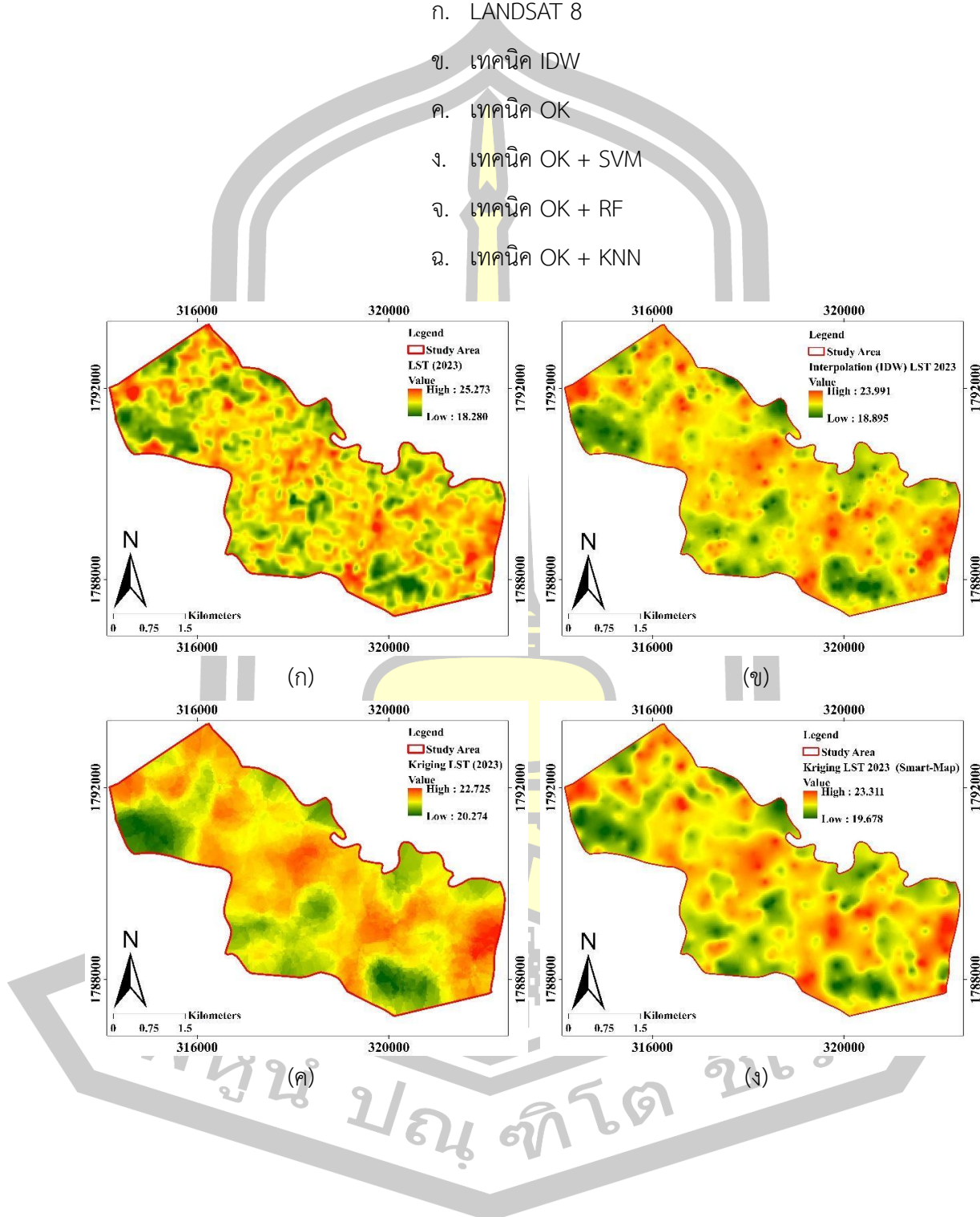
(ข)

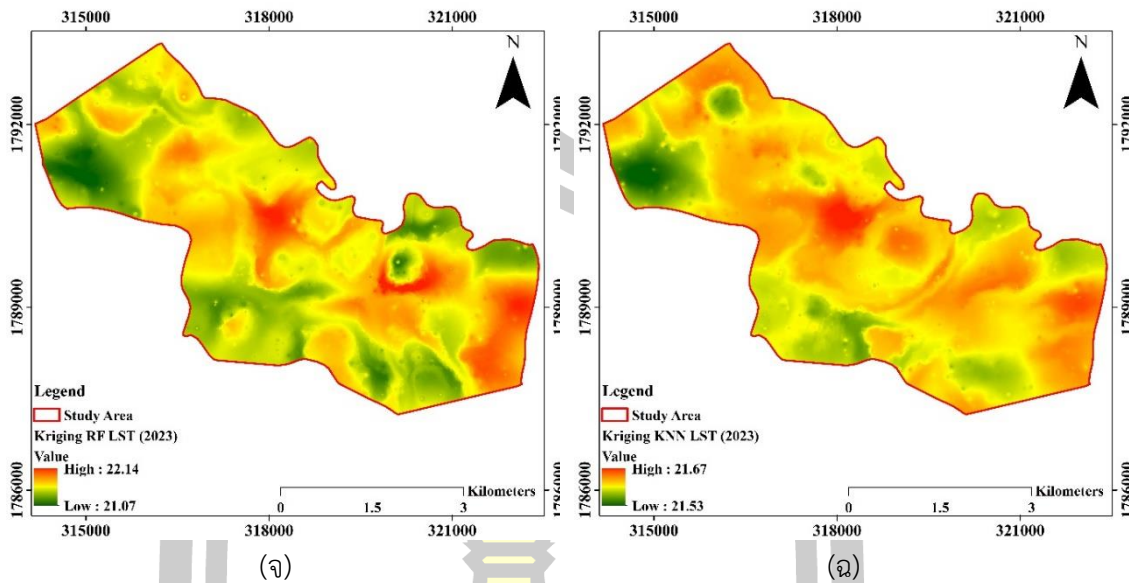


(ค)



(ง)





ภาพประกอบที่ 4.14 แผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวพ.ศ. 2566

- ก. LANDSAT 8
- ข. เทคนิค IDW
- ค. เทคนิค OK
- ง. เทคนิค OK + SVM
- จ. เทคนิค OK + RF
- ฉ. เทคนิค OK + KNN

ผลการวิเคราะห์ LST จากแต่ละเทคนิคในงานวิจัยนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.14 (ก-ฉ) และรูปที่ 4.15 (ก-ฉ) โดยภาพประกอบที่ 4.14 และ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ LST สำหรับปีพ.ศ. 2561 และพ.ศ. 2566 ตามลำดับ โดยมีภาพย่อย ก-ฉ สำหรับแต่ละปี (ก) แสดงผลการวิเคราะห์ LST จากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 (ข) แสดงผลโดยใช้เทคนิค IDW (ค) แสดงผลโดยใช้เทคนิค OK (ง) แสดงผลโดยใช้เทคนิค OK+SVM (จ) แสดงผลโดยใช้เทคนิค OK+RF และ (ฉ) แสดงผลโดยใช้เทคนิค OK+KNN จากการวิเคราะห์ด้วยตาเปล่า พบว่า เทคนิค IDW OK และ OK+SVM ให้แนวโน้มการประมาณค่าช่วงของอุณหภูมิพื้นผิวในปีพ.ศ. 2561 และพ.ศ. 2566 ได้ดีกว่า เทคนิค OK + RF และ OK + KNN

4.4 อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด

ข้อมูล LST ซึ่งถูกดึงออกมาในรูปแบบของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดสำหรับแต่ละเทคนิคถูกนำเสนอในตารางที่ 4.5 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุด

$$\Delta T_{\max} = |T_{\text{LANDSAT8,max}} - T_{\text{Technique,max}}| \text{ และ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิต่ำสุด}$$

$$\Delta T_{\min} = |T_{\text{LANDSAT8,min}} - T_{\text{Technique,min}}| \text{ ถูกคำนวณและแสดงในตารางที่ 4.5 เช่นเดียวกัน}$$

อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเป็นตัวแปรที่ง่ายและตรงไปตรงมามากที่สุดสำหรับการเปรียบเทียบโมเดลการประมาณค่าของแต่ละเทคนิค ความแตกต่างของอุณหภูมิถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินความแม่นยำของโมเดล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ประมาณค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่วัดได้จริงมากน้อยเพียงใดตามที่แสดงในตารางที่ 4.5 ในปีพ.ศ. 2556 ค่า ΔT_{\max} และ ΔT_{\min} สำหรับเทคนิค IDW ใกล้เคียงกับ 0 มากที่สุด ซึ่งบ่งชี้ว่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ประมาณค่าจากเทคนิคนี้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่คำนวณจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 มากที่สุด. เทคนิคที่ใกล้เคียงถัดมาคือ OK+SVM OK OK + RF และ OK + KNN ตามลำดับ. ในปี 2023 แนวโน้มของความแตกต่างในอุณหภูมิสูงสุด ΔT_{\max} และ อุณหภูมิต่ำสุด ΔT_{\min} มีความคล้ายคลึงกับในปี 2018 โดยเทคนิค IDW ผลิตค่า ΔT_{\max} และ ΔT_{\min} ใกล้เคียงกับ 0 มากที่สุด ตามด้วย OK+SVM OK OK + RF และ OK + KNN ตามลำดับ

ตาราง 4.5 อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดของแต่ละเทคนิค

ปี	เทคนิค	T_{average}	T_{max}	T_{min}	ΔT_{\max}	ΔT_{\min}
2561	LANDSAT 8	27.144	30.341	23.872	-	-
	IDW	27.215	29.921	24.463	0.42	0.591
	OK	27.205	29.716	24.406	0.625	0.534
	OK + SVM	27.212	29.883	24.292	0.458	0.544
	OK+ RF	27.181	27.216	27.173	3.125	3.300
	OK + KNN	25.598	27.341	24.597	3.001	0.725
	2566	LANDSAT 8	21.523	25.273	18.280	-
IDW		21.568	23.6893	19.2219	1.583	0.941
OK		21.562	23.204	19.836	2.069	1.556
OK + SVM		21.557	23.368	19.712	1.905	1.432
OK + RF		21.580	21.613	21.584	3.66	3.304
OK + KNN		21.434	21.525	21.416	3.748	3.136

แม้ว่าค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่ได้จากการแปลความหมายของแต่ละเทคนิคจะเป็นพารามิเตอร์ที่ง่ายที่สุดในการประเมินความแม่นยำของแต่ละโมเดล แต่ตัวแปรนี้เป็นเพียงการศึกษาขั้นต้นและการเปรียบเทียบค่าที่แปลความหมายได้เท่านั้น เนื่องจากค่าเหล่านี้แสดงข้อมูลจากจุดเดียวภายในตัวแปรเชิงพื้นที่โดยรวมที่อยู่ระหว่างการศึกษา อย่างไรก็ตาม เทคนิค OK+SVM และ OK ยังได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าของ LANDSAT 8 ด้วย สิ่งที่น่าสังเกตคือ เทคนิค OK+SVM ให้ค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของ LANDSAT 8 ซึ่งบ่งบอกว่าวิธีการเรียนรู้ SVM เมื่อรวมกับการแปลความหมาย OK ที่รวมผลกระทบของ LULC ได้ทำให้ได้ค่าอุณหภูมิที่แปลความหมายได้อย่างแม่นยำมากขึ้นและสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จริงมากขึ้น แต่ในทางกลับกัน การเรียนรู้แบบ RF และ KNN กลับให้ผลการประมาณค่าช่วงที่แย่งลง ซึ่งอาจจะเป็นเหตุผลที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติของการเรียนรู้แบบ 2 ชนิดนี้ ที่พยายามรวมกลุ่มสิ่งที่มีความคล้ายกันเข้าไว้ด้วยกัน ทำแต่ละจุดของการประมาณค่าช่วงมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน ทำให้แนวคิดการประมาณค่าช่วงร่วมกับการเรียนรู้แบบ RF และ KNN อาจจะไม่เหมาะสำหรับการรวมผลของ LULC เข้ากับกระบวนการประมาณค่าช่วง

4.5 การทดสอบทางสถิติ

เพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการประมาณค่าช่วงของแต่ละเทคนิคได้มีการดึงข้อมูลเชิงพื้นที่จำนวน 1,650 จุดที่ตำแหน่ง (x,y) เดียวกันจากข้อมูล LST ของแต่ละเทคนิคเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่คำนวณโดยตรงจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 การทดสอบทางสถิติ MAE, MSE และ RMSE ซึ่งแสดงโดยสมการที่ 2.12 2.13 และ 2.14 ตามลำดับ ที่ถูกแสดงในหัวข้อ 2.8 ถูกใช้ในการประเมิน การวัดทางสถิติทั้งสามนี้ถูกใช้เพื่อประเมินและตรวจสอบแบบจำลอง ผลลัพธ์ทางสถิติที่ดีกว่าจะถูกระบุเมื่อค่าของการวัดเหล่านี้มุ่งไปสู่ 0 ผลการทดสอบทางสถิติสำหรับการศึกษานี้แสดงในตารางที่ 4.6

ตาราง 4.6 สถิติทดสอบสำหรับการคำนวณค่าอุณหภูมิพื้นผิว

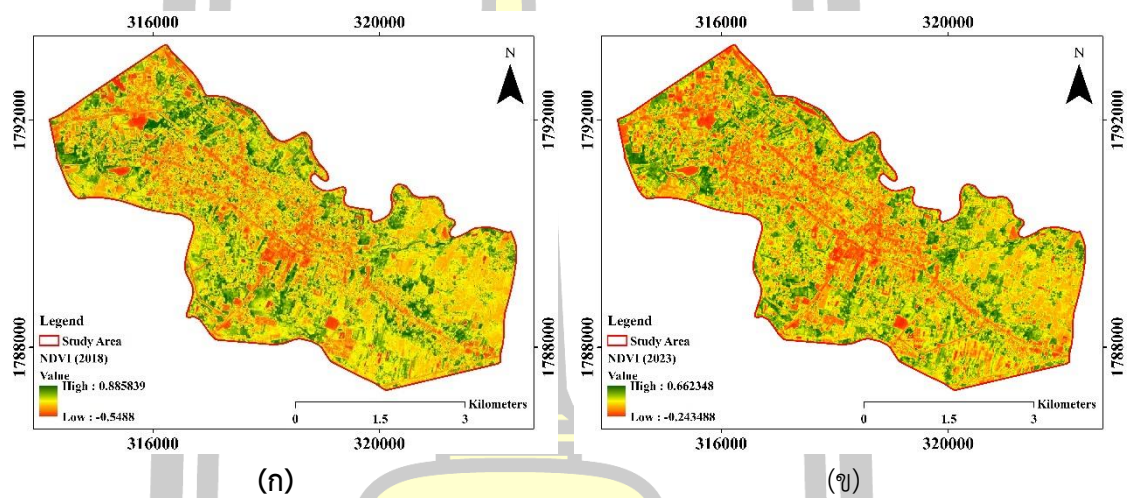
ปี	เทคนิค	สถิติ	ค่าสถิติ
2018	IDW	MAE	0.4554
		MSE	0.4048
		RMSE	0.6362
	OK	MAE	0.6293
		MSE	0.6917
		RMSE	0.8317
OK + SVM	MAE	0.4329	
	MSE	0.3827	

ปี	เทคนิค	สถิติ	ค่าสถิติ
2023	OK + RF	RMSE	0.6186
		MAE	1.100
		MSE	1.692
	OK + KNN	RMSE	1.301
		MAE	1.651
		MSE	3.987
	IDW	RMSE	1.996
		MAE	0.3838
		MSE	0.2788
	OK	RMSE	0.5280
		MAE	0.5201
		MSE	0.4465
	OK + SVM	RMSE	0.6682
		MAE	0.3609
		MSE	0.2522
	OK + RF	RMSE	0.5022
		MAE	0.665
		MSE	0.705
OK + KNN	RMSE	0.839	
	MAE	0.674	
	MSE	0.711	
		RMSE	0.843

จากตารางที่ 4.6 ในปี 2018 ค่าสถิติ MAE สำหรับเทคนิค OK+SVM ให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดต่ำที่สุด ซึ่งอยู่ที่ 0.6682 ตามมาด้วยเทคนิค IDW OK OK+RF และ OK+KNN ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อทดสอบโมเดลการคำนวณด้วยสถิติ MSE และ RMSE พบว่าเทคนิค OK+SVM ยังแสดงการกระจายความผิดพลาดที่น้อยที่สุด โดยมีค่า 0.3827 และ 0.6168 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงการกระจายความผิดพลาดที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับเทคนิค IDW OK OK+RF และ OK+KNN และในปี 2023 ค่าสถิติ MAE สำหรับเทคนิค OK+SVM ยังคงให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่ต่ำที่สุด ซึ่งอยู่ที่ 0.3609 ตามมาด้วยเทคนิค IDW OK OK+RF และ OK+KNN ตามลำดับ สถิติการทดสอบ MSE และ RMSE

สำหรับเทคนิค OK+SVM ยังแสดงถึงการกระจายความผิดพลาดที่น้อยที่สุด โดยมีค่า 0.2522 และ 0.5022 ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกถึงการกระจายความผิดพลาดที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับเทคนิค IDW OK OK+RF และ OK+KNN ผลการเปรียบเทียบข้อมูล LST ที่ได้จากแต่ละเทคนิคการคำนวณกับข้อมูล LST ที่วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 8 แสดงให้เห็นว่าสามสถิติ—MAE, MSE และ RMSE—แสดงให้เห็นว่าเทคนิค OK+SVM ผลิตข้อมูล LST ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลของ LANDSAT 8 มากที่สุด

4.4 ผลการคำนวณดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ



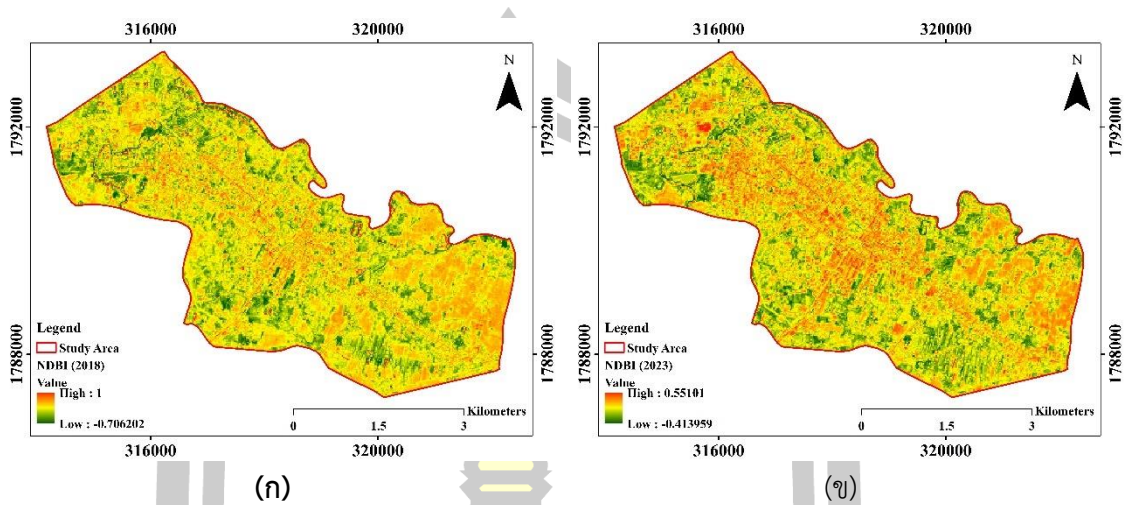
ภาพประกอบที่ 4.15 แผนภาพดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ

ก. NDVI พ.ศ. 2561

ข. NDVI พ.ศ. 2566

จากภาพประกอบ 4.15 พบว่า ดัชนี NDVI ในปีพ.ศ. 2561 มีแนวโน้มที่สูงกว่าปีพ.ศ. 2566 แต่อย่างไรก็ตาม การกระจายตัวของค่า NDVI ต่อพื้นที่กลับพบว่า ในปีพ.ศ. 2566 มีการกระจายตัวของค่า NDVI ต่อพื้นที่ที่สูงกว่าในปีพ.ศ. 2561 อาจจะเป็นเพราะในปีพ.ศ. 2565 เกิดน้ำท่วมระยะสั้นในช่วงเดือน ตุลาคม ถึง ธันวาคม ซึ่งเป็นเหตุให้พื้นที่ศึกษาดังกล่าวเกิดการอุ้มน้ำและส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบแทนที่ จากพื้นที่ที่เคยรกร้างเปลี่ยนเป็นพื้นที่ทุ่งหญ้า เป็นต้น

4.5 ดัชนีความแตกต่างสิ่งปลูกสร้าง



ภาพประกอบที่ 4.16 แผนภาพดัชนีความแตกต่างของสิ่งปลูกสร้าง

ก. NBVI พ.ศ. 2561

ข. NBVI พ.ศ. 2566

จากภาพประกอบ 4.15 พบว่า ดัชนี NDBI ในปีพ.ศ. 2561 มีแนวโน้มที่สูงกว่าปีพ.ศ. 2566 และการกระจายตัวของค่า NDBI ในปีพ.ศ. 2561 มีการกระจายตัวของค่า NDBI ต่อพื้นที่ไม่แตกต่างกับค่า NDBI ในปีพ.ศ. 2561 เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างในปีพ.ศ. 2561 และพ.ศ. 2566 แทบจะไม่มี ความแตกต่างกัน

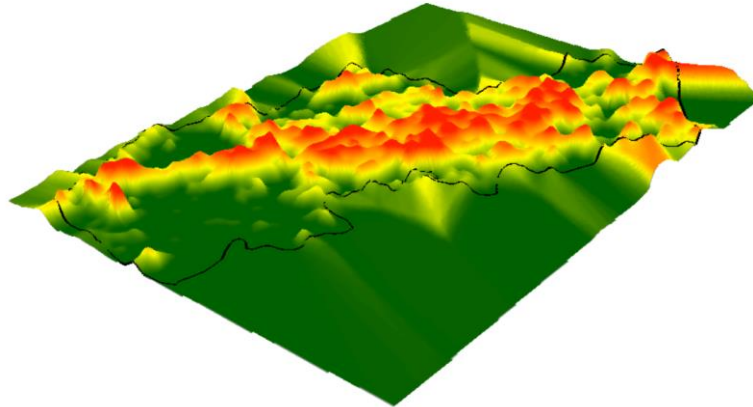
4.6 ผลการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง

ในหัวข้อนี้จะเป็นการเสนอแนวคิดการแสดงผลปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในรูปแบบของการพล็อต 3 มิติ ซึ่งยังอยู่บนหลักการการพิจารณาความเข้มของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในสมการที่ 1.1 กล่าวคือ

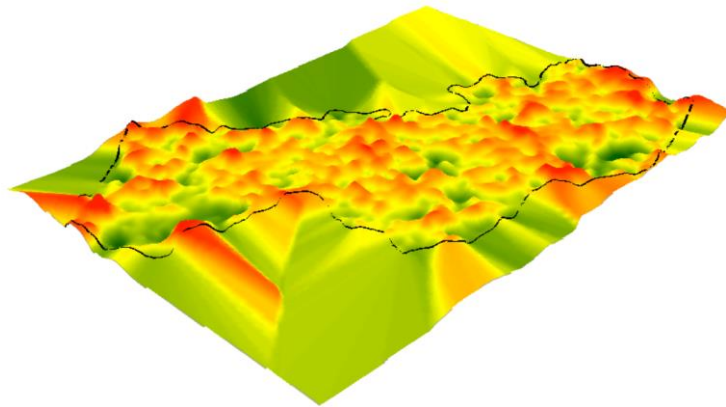
$$\Delta T_{u-r} = T_u - T_r \quad (4.3)$$

โดยสมมติฐานการสร้างกราฟ 3 มิติ จะแทนค่าอุณหภูมิขานเมือง T_r ด้วยอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละปี ซึ่งบริเวณที่มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะถูกจำกัดค่าให้เท่ากับ 0 เนื่องจากผลลบจะทำให้อุณหภูมิตลบและไม่สามารถตีความได้ ซึ่งผลของการพล็อต 3 มิติ จะถูกแสดงในภาพประกอบ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ

ผลการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองปี 2018



ภาพประกอบที่ 4.17 การจำลองปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองปี 2556
ผลการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองปี 2023



ภาพประกอบที่ 4.18 การจำลองปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองปี 2561

พจนานุกรม ปณฺ ทิโต ชิง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะสรุปและอภิปรายผลการศึกษาค้นคว้าที่ได้มาซึ่งตัวแปรเชิงพื้นที่ คือ อุณหภูมิพื้นผิว รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะที่มีประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยครั้งต่อไปในอนาคต ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยและรูปแบบการเกิดขึ้นของพลังงานความร้อนเชิงพื้นที่หรืออุณหภูมิพื้นผิว ซึ่งเป็นสาเหตุให้นำไปสู่ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง รวมทั้งการศึกษาค้นคว้าและเปรียบเทียบวิธีทางธรณีสถิติเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จากการศึกษา พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณความร้อนหรืออุณหภูมิพื้นผิวที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ศึกษาเกิดจากสิ่งปกคลุมพื้นดิน (LULC) กล่าวคือ เมื่อสังเกตแผนภาพอุณหภูมิพื้นผิวที่คำนวณจากข้อมูลของดาวเทียม LANDSAT 8 ในปีพ.ศ. 2561 และพ.ศ. 2566 พบว่า บริเวณที่มีแนวโน้มของอุณหภูมิสูง คือ บริเวณสิ่งปลูกสร้าง สำนักงาน ซึ่งถูกจำแนกในกลุ่มของ U และบริเวณที่มีแนวโน้มของอุณหภูมิต่ำคือ บริเวณที่เป็นพื้นที่สีเขียวหรือบริเวณทำการเกษตร ซึ่งถูกจำแนกในกลุ่มของ A ซึ่งข้อมูลของอุณหภูมิพื้นผิวทั้ง 2 ปีมีแนวโน้มและทิศทางเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากช่วงเวลาที่ทำการศึกษา มีระยะเวลาที่ใกล้กัน ทำให้ผลของการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมพื้นดินของพ.ศ. 2561 และพ.ศ. 2566 มีน้อยไม่มากพอสำหรับการศึกษาค้นคว้าเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดินต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิว รวมทั้ง ในพ.ศ. 2565 พื้นที่ศึกษาเกิดปัญหาน้ำท่วมภายในพื้นที่ระยะสั้น ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่ศึกษาในปีพ.ศ. 2566 มีค่าลดลงจากปีพ.ศ. 2561 อย่างมีนัยสำคัญ อาจจะเนื่องมาจากความชื้นภายในดิน รวมทั้งการเกิดขึ้นของพืชพรรณบริเวณรกร้าง เพื่อเป็นการตรวจสอบสมมติฐานเบื้องต้น งานวิจัยนี้ได้คำนวณดัชนีความแตกต่างของพรรณพืช (NDVI) ของพื้นที่ศึกษาทั้งในปีพ.ศ. 2561 และพ.ศ. 2566 พบว่า ค่า NDVI ในปีพ.ศ. 2566 มีค่าการกระจายตัวที่สูงกว่าค่า NDVI ในปีพ.ศ. 2561 เล็กน้อย แต่การกระจายตัวของพื้นที่สีเขียวหรือบริเวณที่น่าจะพบพืชพรรณมีค่ามากกว่าถึง 35.28 % ซึ่งอาจจะทำให้สรุปได้ว่าเหตุผลที่อุณหภูมิพื้นผิวในปี พ.ศ. 2566 มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิพื้นผิวในปี พ.ศ. 2561

การพัฒนาและระบุวิธีทางธรณีสถิติสำหรับการประมาณช่วงของตัวแปรเชิงพื้นที่ คือ อุณหภูมิพื้นผิว เมื่อทราบปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิพื้นผิวแล้วว่า “สิ่งปกคลุมพื้นดิน” เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิพื้นผิว สำหรับการประมาณค่าช่วงอุณหภูมิพื้นผิว งานวิจัยนี้ได้ใช้กระบวนการประมาณค่าช่วงทั้งที่อยู่ในกลุ่มของธรณีสถิติ คือ Ordinary kriging และกลุ่มที่ไม่ใช่กระบวนการแทรกค่าที่ไม่ใช่วิธีทางธรณีสถิติ คือ Inverse distance weighting ซึ่งวิธีทั้งสองยังเป็นอยู่ภายใต้แนวคิดของการประมาณ

ค่าช่วงแบบดั้งเดิม สำหรับข้อมูลการวิเคราะห์และศึกษา ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ผลจากการคำนวณและการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 เป็นข้อมูลฐานเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับเทคนิคการประมาณค่าช่วงด้วยวิธีต่างๆ โดยข้อมูลดาวเทียมดังกล่าวถูกแบ่งออกเป็นสองชุด: ชุดแรกมีจุดข้อมูล LST 550 จุดที่ถูกสกัดและใช้เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ต่อเนื่องเชิงพื้นที่ในการประมาณค่าช่วงด้วยวิธีการต่างๆ และชุดที่สองมีจุดข้อมูล 1,650 จุดที่ใช้ในการทดสอบและเปรียบเทียบข้อมูล LST ที่ถูกแทรกค่าจากแต่ละเทคนิคโดยใช้การทดสอบทางสถิติ ผลการตรวจสอบแบบจำลองเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในปีพ.ศ. 2561 และ 2566 ที่ได้จากเทคนิค IDW นั้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดจาก LANDSAT 8 มากที่สุด ตามด้วยเทคนิค OK+SVM OK OK+RF และ OK+KNN ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าเทคนิค IDW จะให้ผลลัพธ์อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดใกล้เคียงกับข้อมูลจาก LANDSAT 8 มากที่สุด แต่อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเป็นเพียงข้อมูลจุดเดียวจากการประมาณค่าช่วง และไม่สามารถกล่าวได้อย่างแน่ชัดว่า IDW เป็นเทคนิคที่ดีที่สุด แม้ว่าเทคนิค OK+SVM OK OK+RF และ OK+KNN จะไม่ให้อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่แม่นยำเท่าเทคนิค IDW แต่ทั้งสองเทคนิคยังคงให้อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ใกล้เคียงกับข้อมูล LANDSAT 8 เพื่อประเมินความแม่นยำของข้อมูลที่ถูกแทรกค่าจากแต่ละเทคนิค การวิจัยนี้ได้สกัดจุดข้อมูล 1,650 จุดที่พิกัด (x,y) เดียวกันจากแต่ละเทคนิคและเปรียบเทียบกับข้อมูล LANDSAT 8 โดยใช้การทดสอบทางสถิติ MAE, MSE และ RMSE การทดสอบทางสถิติแสดงให้เห็นว่าทั้งในปี 2018 และ 2023 เทคนิค OK+SVM ให้ผลลัพธ์การทดสอบทางสถิติที่ดีกว่าเทคนิค IDW OK OK+RF และ OK+KNN บ่งบอกว่าค่าที่ได้จากการประมาณค่าช่วง LST ด้วยเทคนิค OK+SVM ในทุกตำแหน่งในพื้นที่ศึกษามีความเบี่ยงเบนจากข้อมูล LANDSAT 8 น้อยที่สุด นอกจากนี้การศึกษาได้พบว่าการเรียนรู้ของเครื่องที่ใช้ SVM ช่วยปรับปรุงกระบวนการประมาณค่าช่วงสำหรับตัวแปรเชิงพื้นที่ LST ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ทางสถิติจากเทคนิค OK แบบดั้งเดิมและเทคนิค OK+SVM ที่พัฒนาขึ้นใหม่ การศึกษานี้สอดคล้องและสนับสนุนผลการวิจัยอื่น ๆ เช่นของ [55-57] ซึ่งสรุปว่าเทคนิค OK+SVM ปรับปรุงกระบวนการประมาณค่าช่วงสำหรับตัวแปรเชิงพื้นที่ LST อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการใช้เทคนิค OK+RF และ OK+KNN จะเป็นการประมาณค่าช่วงด้วยวิธีใหม่เช่นเดียวกับกับ OK+SVM แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าทุกการเรียนรู้จะเหมาะสมกับการนำมาเรียนรู้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการประมาณค่าช่วง ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้ของ 2 วิธีดังกล่าว จึงให้แนวโน้มของการประมาณค่าช่วงที่แย่ง

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวคิดของการจำลองภาพ 3 มิติของปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองจากผลการคำนวณเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิพื้นผิว ซึ่งอยู่ภายใต้แนวคิดของสมการการหาความเข้มของเกาะความร้อนเมืองที่แสดงในสมการ 1.1 ซึ่งแนวคิดนี้อยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่าอุณหภูมิในบริเวณใจกลางเมืองหรือเขตชานเมืองจะถูกแทนด้วยอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูก

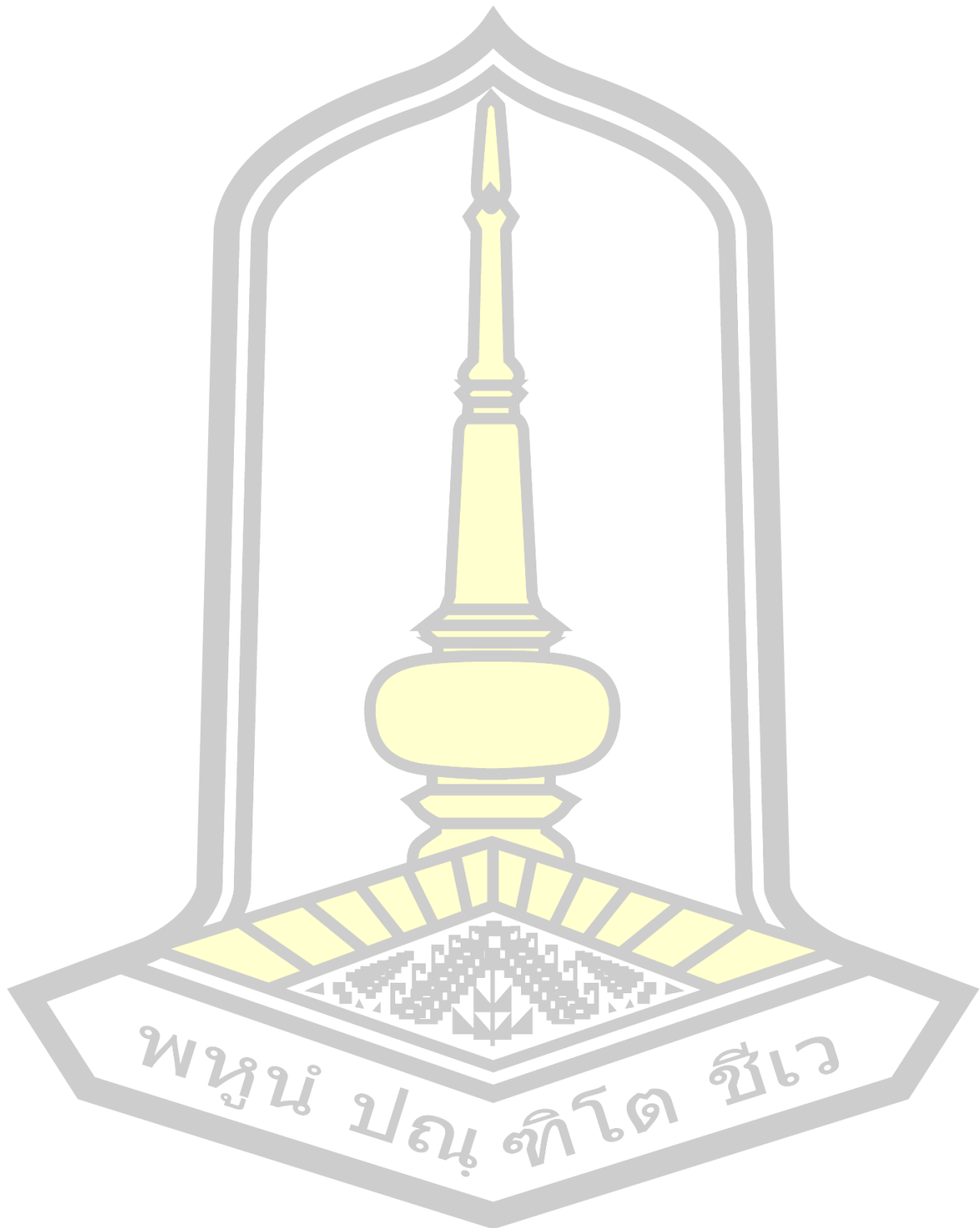
แสดงในภาพประกอบ 4.16 และ 4.17 ซึ่งเป็นภาพจำลองบริเวณที่อาจจะเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองในปีพ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2566 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังเป็นแบบจำลองและแนวคิดเบื้องต้นสำหรับการศึกษาร่วมกับปัจจัยแวดล้อมร่วมกับการประมาณค่าช่วง ซึ่งหากจะให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์อาจจะต้องสร้างสถานีวัดย่อยชั่วคราวเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวแทนการสกัดจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 และนำข้อมูลตรวจวัดที่ได้ดังกล่าวมาคำนวณและประมาณค่าช่วงด้วยเทคนิคต่างๆ แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับชุดข้อมูล 1650 ข้อมูลที่ได้จากข้อมูล LANDSAT 8



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- [1] Kotani, K. Life from the Viewpoint of Information, *Open Journal of Philosophy* 9 (04) (2019) 503-511, <https://doi.org/10.4236/ojpp.2019.94031>.
- [2] M. Dai, X. Song, C. Lin, Z. Liu, W. Zheng, Y. Zeng, Investigation of microstructure changes in Al₂O₃-YSZ coatings and YSZ coatings and their effect on thermal cycle life, *Journal of Advanced Ceramics* 11 (2022) 345-353, <https://doi.org/10.1007/s40145-021-0538-2>
- [3] J. M. Bennett, J. Sunday, P. Calosi, F. Villalobos, B. Martínez, R. Molina-Venegas, M. B. Araújo, A. C. Algar, S. Clusella-Trullas, B. A. Hawkins, S. A. Keith, The evolution of critical thermal limits of life on Earth, *Nature communications* 12 (1) (2021) 1198, <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21263-8>.
- [4] Z. H. Xia, G. S. Jia, Z. D. Ma, J. W. Wang, Y. P. Zhang, L. W. Jin, Analysis of economy, thermal efficiency and environmental impact of geothermal heating system based on life cycle assessments, *Applied energy* 303 (2021) 117671, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117671>.
- [5] S. Ma, M. Jiang, P. Tao, C. Song, J. Wu, J. Wang, T. Deng, W. Shang, Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review, *Progress in Natural Science: Materials International* 28 (6) (2018) 653-666. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2018.11.002>.
- [6] N. A. Thompson, J. P. Higham, M. Heistermann, E. Vogel, M. Cords, Energy balance but not competitive environment corresponds with allostatic load during development in an Old World monkey, *Hormones and Behavior* 119 (2020) 104664, <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2019.104664>
- [7] M. Huang, S. Piao, P. Ciais, J. Peñuelas, X. Wang, T.F. Keenan, S. Peng, J.A. Berry, K. Wang, J. Mao, R. Alkama, Air temperature optima of vegetation productivity across global biomes, *Nature ecology & evolution* 3 (5) (2019) 772-779, <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0838-x>.

- [8] S. B. Duan, Z. L. Li, H. Li, F. M. Göttsche, H. Wu, W. Zhao, P. Leng, X. Zhang, C. Coll, Validation of Collection 6 MODIS land surface temperature product using in situ measurements. *Remote sensing of environment*, 225, (2019) 16-29, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.020>
- [9] Z. S. Venter, O. Brousse, I. Esau, F. Meier, Hyperlocal mapping of urban air temperature using remote sensing and crowdsourced weather data, *Remote Sensing of Environment* 242 (2020) 111791, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111791>.
- [10] Shahfahad, B. Kumari, M. Tayyab, I. A. Ahmed, M. R. I. Baig, M. F. Khan, A. Rahman, Longitudinal study of land surface temperature (LST) using mono-and split-window algorithms and its relationship with NDVI and NDBI over selected metro cities of India, *Arabian Journal of Geosciences* 13 (2020) 1-19, <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06068-1>.
- [11] M. U. Cilek, A. Cilek, Analyses of land surface temperature (LST) variability among local climate zones (LCZs) comparing Landsat-8 and ENVI-met model data, *Sustainable Cities and Society* 69 (2021) 102877, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.1028>
- [12] C. Alexander, Normalised difference spectral indices and urban land cover as indicators of land surface temperature (LST), *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 86 (2020) 102013, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.102013>.
- [13] T. N. Phan, M. Kappas, Application of MODIS land surface temperature data: a systematic literature review and analysis, *Journal of Applied Remote Sensing* 12 (4) (2018) 041501-041501, <https://doi.org/10.1117/1.JRS.12.041501>.
- [14] S. Guha, H. Govil, An assessment on the relationship between land surface temperature and normalized difference vegetation index, *Environment, Development and Sustainability* 23 (2021) 1944-1963, <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00657-6>.

- [15] J. Cristóbal, J. C. Jiménez-Muñoz, A. Prakash, C. Mattar, D. Skoković, J. A. Sobrino, An improved single-channel method to retrieve land surface temperature from the Landsat-8 thermal band, *Remote Sensing* 10 (3) (2018) 431, <https://doi.org/10.3390/rs10030431>.
- [16] H. Xiao, M. Kopecká, S. Guo, Y. Guan, D. Cai, C. Zhang, X. Zhang, W. Yao, Responses of urban land surface temperature on land cover: A comparative study of Vienna and Madrid, *Sustainability* 10 (2) (2018) 260, <https://doi.org/10.3390/su10020260>.
- [17] E. B. Palafox-Juárez, J. O. López-Martínez, J. L. Hernández-Stefanoni, H. Hernández-Nuñez, Impact of urban land-cover changes on the spatial-temporal land surface temperature in a tropical City of Mexico, *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10 (2) (2021) 76, <https://doi.org/10.3390/ijgi10020076>.
- [18] M. H. Edan, R. M. Maarouf, J. Hasson, Predicting the impacts of land use/land cover change on land surface temperature using remote sensing approach in Al Kut, Iraq, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 123 (2021) 103012. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2021.103012>.
- [19] T. Pede, G. Mountrakis, An empirical comparison of interpolation methods for MODIS 8-day land surface temperature composites across the conterminous Unites States, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing* 142 (2018) 137-150, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.06.003>
- [20] S. Kartal, A. Sekertekin, Prediction of MODIS land surface temperature using new hybrid models based on spatial interpolation techniques and deep learning models, *Environmental Science and Pollution Research* 29 (44) (2022) 67115-67134, <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20572-9>.
- [21] Z. L. Li, H. Wu, S. B. Duan, W. Zhao, H. Ren, X. Liu, P. Leng, R. Tang, X. Ye, J. Zhu, Y. Sun, Satellite remote sensing of global land surface temperature:

- Definition, methods, products, and applications, *Reviews of Geophysics* 61 (1) (2023), <https://doi.org/10.1029/2022RG000777>.
- [22] F. Militino, M. D. Ugarte, U. Pérez-Goya, M. G. Genton, Interpolation of the mean anomalies for cloud filling in land surface temperature and normalized difference vegetation index, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 57 (8) (2019) 6068-6078, <https://doi.org/10.1109/TGRS.2019.2904193>
- [23] Y. Chen, Z. Nan, S. Zhao, Y. Xu, A Bayesian approach for interpolating clear-sky MODIS land surface temperatures on areas with extensive missing data, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 14 (2020) 515-528, <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3038188>.
- [24] Y. Khosravi, S. Balyani, Spatial modeling of mean annual temperature in Iran: comparing cokriging and geographically weighted regression, *Environmental Modeling & Assessment* 24 (2019) 341-354, <https://doi.org/10.1007/s10666-018-9623-5>.
- [25] S. Li, D. A. Griffith, H. Shu, Temperature prediction based on a space-time regression-kriging model, *Journal of Applied Statistics* 47 (7) (2020) 1168-1190; <https://doi.org/10.1080/02664763.2019.1671962>.
- [26] F. Giustini, G. Ciotoli, A. Rinaldini, L. Ruggiero, M. Voltaggio, Mapping the geogenic radon potential and radon risk by using Empirical Bayesian Kriging regression: A case study from a volcanic area of central Italy, *Science of the Total Environment* 661 (2019) 449-464, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.146>.
- [27] Shtiliyanova, G. Bellocchi, D. Borrás, U. Eza, R. Martín, P. Carrère, Kriging-based approach to predict missing air temperature data, *Computers and Electronics in Agriculture* 142 (2017) 440-449, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.033>.
- [28] D. J. Rosillon, A. Jago, J. P. Huart, P. Bogaert, M. Journée, S. Dandrifosse, V. Planchon, Near real-time spatial interpolation of hourly air temperature and

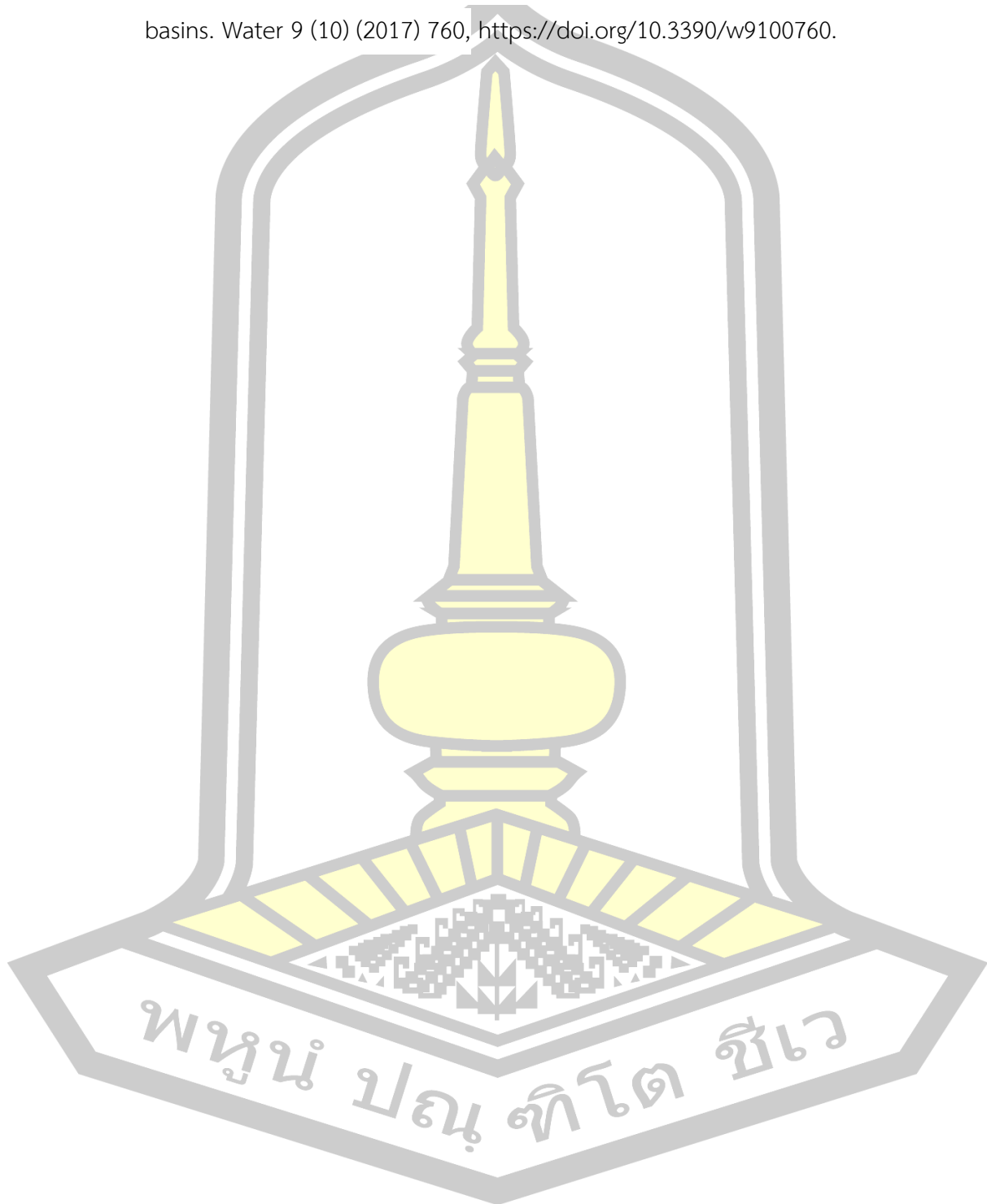
- humidity for agricultural decision support systems, *Computers and Electronics in Agriculture* 223 (2024) 109093, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109093>.
- [29] Z. Zhang, Q. Du, A bayesian kriging regression method to estimate air temperature using remote sensing data, *Remote Sensing* 11 (7) (2019)767, <https://doi.org/10.3390/rs11070767>.
- [30] S. Li, Griffith, D. A., & Shu, H. (2020). Temperature prediction based on a space-time regression-kriging model. *Journal of Applied Statistics*, 47(7), 1168-1190. <https://doi.org/10.1080/02664763.2019.1671962>
- [31] C. Sangüesa, R. Pizarro, B. Ingram, A. Ibáñez, D. Rivera, P. García-Chevesich, J. Pino, F. Pérez, F. Balocchi, F. Peña, Comparing Methods for the Regionalization of Intensity– Duration– Frequency (IDF) Curve Parameters in Sparsely-Gauged and Ungauged Areas of Central Chile, *Hydrology* 10 (9) (2023) 179, <https://doi.org/10.3390/hydrology10090179>.
- [32] J. N. Fuhg, A. Fau, U. Nackenhorst, State-of-the-art and comparative review of adaptive sampling methods for kriging, *Archives of Computational Methods in Engineering* 28 2 (2021) 689-2747, <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09474-6>.
- [33] K. Krivoruchko, A. Gribov, Evaluation of empirical Bayesian kriging, *Spatial Statistics* 32 (2019)100368, <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2019.100368>.
- [34] M. Moustapha, J. M. Bourinet, B. Guillaume, B. Sudret, Comparative study of Kriging and support vector regression for structural engineering applications, *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering* 4 (2) (2018) 04018005, <https://doi.org/10.1061/AJRUA6.0000950>.
- [35] C. B. Karakuş, The impact of land use/land cover (LULC) changes on land surface temperature in Sivas City Center and its surroundings and assessment of Urban Heat Island, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 55 (4) (2019) 669-684, <https://doi.org/10.1007/s13143-019-00109-w>.
- [36] P. Du, X. Bai, K. Tan, Z. Xue, A. Samat, J. Xia, E. Li, H. Su, W. Liu, Advances of four machine learning methods for spatial data handling: A review, *Journal of*

- Geovisualization and Spatial Analysis 4 (2020) 1-25, <https://doi.org/10.1007/s41651-020-00048-5>.
- [37] M. J. Heaton, A. Datta, A. O. Finley, R. Furrer, J. Guinness, R. Guhaniyogi, F. Gerber, R.B. Gramacy, D. Hammerling, M. Katzfuss, F. Lindgren, A case study competition among methods for analyzing large spatial data, *Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics* 24 (2019) 398-425, <https://doi.org/10.1007/s13253-018-00348-w>.
- [38] X. Cai, X. Wang, P. Jain, M. D. Flannigan, Evaluation of gridded precipitation data and interpolation methods for forest fire danger rating in Alberta, Canada. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 124 (1), (2019) 3-17, <https://doi.org/10.1029/2018JD028754>.
- [39] F. Fouedjio, J. Klump, Exploring prediction uncertainty of spatial data in geostatistical and machine learning approaches, *Environmental Earth Sciences* 78 (1) (2019) 38, <https://doi.org/10.1007/s12665-018-8032-z>.
- [40] Q. Hu, Z. Li, L. Wang, Y. Huang, Y. Wang, L. Li, Rainfall spatial estimations: A review from spatial interpolation to multi-source data merging *Water* 11(3) (2019) 579, <https://doi.org/10.3390/w11030579>.
- [41] Sekulić, M. Kilibarda, G. B. Heuvelink, M. Nikolić, B. Bajat, Random forest spatial interpolation, *Remote Sensing*, 12(10) (2020) 1687, <https://doi.org/10.3390/rs12101687>.
- [42] K. F. Fung, K. S. Chew, Y. F. Huang, A. N. Ahmed, F. Y. Teo, J. L. Ng, A. Elshafie, Evaluation of spatial interpolation methods and spatiotemporal modeling of rainfall distribution in Peninsular Malaysia, *Ain Shams Engineering Journal*, 13(2) (2022) 101571, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.09.001>.
- [43] M. R. Subedi, W. Xi, C. B. Edgar, S. Rideout-Hanzak, B. C. Hedquist, Assessment of geostatistical methods for spatiotemporal analysis of drought patterns in East Texas, USA, *Spatial Information Research* 27 (2019) 11-21, <https://doi.org/10.1007/s41324-018-0216-9>.

- [44] P. Singh, A. Sarkar Chaudhuri, P. Verma, V. K. Singh, S. R. Meena, Earth observation data sets in monitoring of urbanization and urban heat island of Delhi, India, *Geomatics Natural Hazards and Risk* 13 (1) (2022) 1762-1779, <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2097452>.
- [45] N. Rashid, J. M. Alam, M. A. Chowdhury, S. L. U. Islam, Impact of land use change and urbanization on urban heat island effect in Narayanganj city, Bangladesh: A remote sensing-based estimation, *Environmental Challenges* 8 (2022) 100571, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100571>.
- [46] S. Guha, H. Govil, P. Diwan, Monitoring LST-NDVI relationship using premonsoon Landsat datasets, *Advances in Meteorology* (1) (2020). 20204539684, <https://doi.org/10.1155/2020/4539684>.
- [47] P. Singh, P. Verma, A comparative study of spatial interpolation technique (IDW and Kriging) for determining groundwater quality, *GIS and geostatistical techniques for groundwater science* (2019): 43-56, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815413-7.00005-5>.
- [48] W. Yang, Y. Zhao, D. Wang, H. Wu, A. Lin, L. He, Using principal components analysis and IDW interpolation to determine spatial and temporal changes of surface water quality of Xin'anjiang river in Huangshan, China, *International journal of environmental research and public health* 17 (8) (2020) 2942, <https://doi.org/10.3390/ijerph17082942>.
- [49] Z. Li, An enhanced dual IDW method for high-quality geospatial interpolation, *Scientific reports* 11 (1) (2021) 9903, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89172-w>.
- [50] M. Khan, M. M. Almazah, A. Ellahi, R. Niaz, A. Y. Al-Rezami, B. Zaman, Spatial interpolation of water quality index based on Ordinary kriging and Universal kriging, *Geomatics Natural Hazards and Risk* 14 (1) (2023) 2190853, <https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2190853>.

- [51] E. Kostopoulou, Applicability of ordinary Kriging modeling techniques for filling satellite data gaps in support of coastal management, *Modeling Earth Systems and Environment* 7 (2), (2021). 1145-1158, <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00940-5>.
- [52] T. Gia Pham, M. Kappas, C. Van Huynh, L. Hoang Khanh Nguyen, Application of ordinary kriging and regression kriging method for soil properties mapping in hilly region of Central Vietnam, *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8 (3) (2019) 147, <https://doi.org/10.3390/ijgi8030147>.
- [53] Y. Li, Z. Baorong, X. Xiaohong, L. Zijun, Application of a semivariogram based on a deep neural network to Ordinary Kriging interpolation of elevation data, *Plos one* 17 (4) (2022) e0266942, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266942>.
- [54] C. Munyati, N. I. Sinthumule, Comparative suitability of ordinary kriging and Inverse Distance Weighted interpolation for indicating intactness gradients on threatened savannah woodland and forest stands, *Environmental and Sustainability Indicators* 12 (2021). 100151, <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100151>.
- [55] G. W. Pereira, D. S. M. Valente, D. M. D. Queiroz, A. L. D. F. Coelho, M. M. Costa, T. Grift, Smart-map: An open-source QGIS plugin for digital mapping using machine learning techniques and ordinary kriging, *Agronomy* 12 (6) (2022) 1350. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061350>.
- [56] H. Han, J. Suh, Spatial Prediction of soil contaminants using a hybrid Random Forest–Ordinary Kriging model, *Applied Sciences* 14 (4) (2024) 1666, <https://doi.org/10.3390/app14041666>.
- [57] M. Achite, O. M. Katipoğlu, M. Javari, T. Caloiero, Hybrid interpolation approach for estimating the spatial variation of annual precipitation in the Macta basin, Algeria, *Theoretical and Applied Climatology* 155 (2) (2024) 1139-1166, <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04685-w>

- [58] X. Zhang, G. Liu, H. Wang, X. Li, Application of a hybrid interpolation method based on support vector machine in the precipitation spatial interpolation of basins. *Water* 9 (10) (2017) 760, <https://doi.org/10.3390/w9100760>.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ฐิติพงษ์ ภูผาทอง
วันเกิด	วันที่ 28 กันยายน พ.ศ.2535
สถานที่เกิด	อำเภอราชสีห์ จังหวัดศรีสะเกษ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	54 หมู่ 7 ตำบลหนองอึ่ง อำเภอ ราชสีห์ จังหวัด ศรีสะเกษ 33160
ประวัติการศึกษา	2554 - 2558 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2558 - 2564 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2564 - ปัจจุบัน วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูนุ่ ปณุ่ ทีโตะ ชีเว