การประเมินภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการติดตามและทำแผนที่ความเค็มของดิน

วิทยานิพนธ์

ของ

อภิสิทธิ์ ภูละมุล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

กุมภาพันธ์ 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การประเมินภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการติดตามและทำแผนที่ความเค็มของดิน

วิทยานิพนธ์

ของ

อภิสิทธิ์ ภูละมุล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

กุมภาพันธ์ 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Evaluation of UAV-RGB Imagery and machine learning algorithms for monitoring and mapping of soil salinity

Aphisit Phoolamool

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Civil Engineering)
February 2023
Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายอภิสิทธิ์ ภูละมุล แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(อ. ดร. ชัยโชค ไวภาษา)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. ศิวา แก้วปลั่ง)

....กรรมการ

(ผศ. ดร. รัตนา หอมวิเชียร)

....กรรมการ

(ศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

....	....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)	(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

พหูนํ ปณฺฑิโต ชีเว

ชื่อเรื่อง การประเมินภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการติดตามและทำแผนที่ความเค็มของดิน
ผู้วิจัย อภิสิทธิ์ ภูละมุล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวา แก้วปลั่ง
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2566

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อทำการประเมินภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการติดตามและทำแผนที่ความเค็มของดิน โดยใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ที่ติดตั้งกล้อง RGB โดยใช้ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่น Red, Green, Blue เพื่อศึกษาการประมาณค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากเกลือที่มีอยู่ในดิน โดยแบ่งออกเป็น 2 ความลึก คือที่ผิวดิน (ลึก 0 เซนติเมตร) และที่ความลึกใต้ดิน (ลึก 30 เซนติเมตร) และใช้ระยะพื้นต่อพิกเซลขนาด 5, 25, 50, และ 100 เซนติเมตร นำมาประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี แบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป แบบจำลอง Random forest และแบบจำลอง Support vector machine ผลการศึกษาพบว่า การประมาณค่าการนำไฟฟ้าที่ผิวดิน (ลึก 0 เซนติเมตร) แบบจำลอง Support vector machine ระยะพื้นต่อพิกเซลขนาด 25 เซนติเมตร ให้ผลการประมาณค่าได้ดีที่สุด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.561 และ RMSE เท่ากับ 16.698 และการประมาณค่าการนำไฟฟ้าที่ความลึกใต้ดิน (ลึก 30 เซนติเมตร) แบบจำลอง Random forest ระยะพื้นต่อพิกเซลขนาด 50 เซนติเมตร ให้ผลการประมาณค่าได้ดีที่สุด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.448 และ RMSE เท่ากับ 1.588

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่ราคาต่ำหรือราคาที่ทุกๆคนก็สามารถจับต้องได้ ก็สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบ ประเมิน และสำรวจ พื้นที่ที่คาดว่าน่าจะเป็นพื้นที่ดินเค็มในเบื้องต้นได้

คำสำคัญ : อากาศยานไร้คนขับ, ดินเค็ม, ค่าการนำไฟฟ้า, ระยะพื้นต่อพิกเซล

TITLE	Evaluation of UAV-RGB Imagery and machine learning algorithms for monitoring and mapping of soil salinity		
AUTHOR	Aphisit Phoolamool		
ADVISORS	Assistant Professor Siwa Kaewplang , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	**MAJOR**	Civil Engineering
UNIVERSITY	Mahasarakham University	**YEAR**	2023

ABSTRACT

The purpose of this study is to help you get an assessment of unmanned flatland photographs. And learning algorithms to help you visualize and map soil salinity. Drive the RGB camera setup to get the recording value of the Red, Green, Blue wavelengths to learn about the calculation of the electric charge caused by the salt from the soil. He comes from a 2nd source, which is the surface (depth 0 anyway) and this laser (depth 30), which gives you a spacing per size 5, 25, 50, and 100 that haven't yet. Efficiency was evaluated by matte metal with a general linear model. In addition, the support vector machine, the results of the ground-surface conductivity measurement (0 depth forward) measurement study, will help the 25 wavelength ground-distance vector machine to provide good retrospective values. The most This will make the failure coefficient (R^2) equal to 0.561 and RMSE equal to 16.698. The best comparison result was compared with the coefficient of decision (R^2) of 0.448 and RMSE of 1.588.

Research shows that the use of images from UAVs at low prices or prices that everyone can afford. It can be used to inspect, evaluate and survey the area that is expected to be a preliminary saline soil area.

Keyword : unmanned aerial vehicle (UAV), saline soil, electrical conductivity, ground sampling distance (GSD)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับบนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้ความช่วยเหลือแนะนำของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวา แก้วปลั่ง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำข้อคิดเห็น ตรวจสอบและแก้ไขร่างวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ผู้เขียนจึงขอกราบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจราย์ ดร. ชัยโชค ไวภาษา ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธานโดยมี ศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัตนา หอมวิเชียร เป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้เขียนขอขอบคุณบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยได้ นางสาวนภาพร จันทะแพน นางสาวจุฬาวัลย์ นนตะพันธ์ นายดลยฤทธิ์ บัวด้วง และนายธราดล คำโพนทัน ที่สนับสนุนเรื่องพื้นที่การศึกษาและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคสนาม เจ้าหน้าที่บัณฑิตมหาวิทยาลัยมหาสารคามทุกท่านที่ให้ความสะดวกด้านอำนวยการ และประสานงาน ในการทำวิทยานิพนธ์ให้ผู้เขียนมาโดยตลอดจนค้นคว้าหาข้อมูลในการจัดทำวิทยานิพนธ์ของผู้เขียนครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้ผู้เขียนขอน้อมลำลึกถึงอำนาจบารมีของคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้เขียนมีสติปัญญาในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอให้เป็นกตเวทิตาแด่บิดา มารดา ครอบครัวของผู้เขียน ตลอดจนผู้เขียนหนังสือ และบทความต่าง ๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้เขียนจนสามารถให้ความรู้แก่ผู้เขียนจนสามารถให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

อภิสิทธิ์ ภูละมุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของการทำการศึกษา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 5

1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัย 5

1.4 สถานที่ทำการวิจัย 5

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 ดินเค็ม 6

2.2 การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Remote sensing) 8

2.3 ความหมายและกระบวนการ (Remote Sensing) 9

2.4 การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (Photogrammetry) 10

2.5 ชนิดของภาพถ่าย 10

2.6 ดัชนีสเปกตรัม 16

2.7 แบบจำลอง Generalized linear models (GLM) 17

2.8 การสุ่มป่าไม้ Random forest (RF) 18

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

2.9 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชิน Support vector machine (SVM) 19
2.10 ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย Root mean square error (RMSE)....... 20
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 24
3.1 แผนการดำเนินการศึกษา........ 24
3.2 พื้นที่ศึกษา 25
3.3 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา 26
3.4 การเก็บข้อมูลสนาม 27
3.5 การวิเคราะห์ในห้องทดลอง........ 28
3.6 คุณสมบัติกล้องที่ใช้ในการศึกษา (Sensor) 29
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 29
3.8 แผนการศึกษา........ 29
3.9 งบประมาณ 30
บทที่ 4 ผลการศึกษา........ 31
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความเค็มของดิน 32
4.2 แผนที่การติดตามความเค็มของดิน (ฤดูร้อน-ฤดูฝน)........ 41
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ 44
5.1 อภิปรายผลการศึกษา 44
5.2 สรุปผลการวิจัย........ 47
5.3 ข้อเสนอแนะ 48
บรรณานุกรม........ 49
ภาคผนวก........ 53
ประวัติผู้เขียน........ 87

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การจำแนกระดับความเค็มที่มีผลกระทบต่อพืช 8

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ดัชนีสเปกตรัมตาม UAV 16

ตารางที่ 3 ตัวอย่างความแปรปรวนของการแจกแจงที่อยู่ในวงศ์ชี้กำลัง (Exponential family) 18

ตารางที่ 4 แสดงการบินของโดรนในการเก็บข้อมูล 28

ตารางที่ 5 แผนการดำเนินงานศึกษา ปี 2564 ช่วงต้น 29

ตารางที่ 6 แผนการดำเนินงานศึกษา ปี 2564-2565 ช่วงปลาย 30

ตารางที่ 7 ตารางแสดงงบประมาณในงานวิทยานิพนธ์ 30

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ความลึกผิวดิน (Ec0) 34

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ความลึกใต้ดิน (Ec30) 34

ตารางที่ 10 R^2 และ RMSE ของการประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec0) 35

ตารางที่ 11 R^2 และ RMSE ของการประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec30) 38

ตารางที่ 12 การศึกษาและเปรียบเทียบผลงานวิจัย 45

ตารางที่ 13 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 5 เซนติเมตร (Ec0) 53

ตารางที่ 14 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 5 เซนติเมตร (Ec30) 57

ตารางที่ 15 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 25 เซนติเมตร (Ec0) 61

ตารางที่ 16 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 25 เซนติเมตร (Ec30) 65

ตารางที่ 17 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 50 เซนติเมตร (Ec0) 69

ตารางที่ 18 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 50 เซนติเมตร (Ec30)........ 73

ตารางที่ 19 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 100 เซนติเมตร (Ec0)........ 78

ตารางที่ 20 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 100 เซนติเมตร (Ec30)........ 82

สารบัญรูป

หน้า

ภาพที่ 1 ตัวอย่างดินเค็ม 6

ภาพที่ 2 กระบวนการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล 9

ภาพที่ 3 ชนิดภาพถ่ายภาพแนวดิ่ง ภาพเฉียงต่ำ ภาพเฉียงสูง 11

ภาพที่ 4 ส่วนซ้อนบริเวณที่เหลื่อมกันของภาพ 12

ภาพที่ 5 ส่วนเกยของแนวบิน 12

ภาพที่ 6 ภาพถ่ายออร์โท (Orthophoto Map) 13

ภาพที่ 7 ตัวอย่างแบบจำลองความสูงเชิงเลข Digital elevation model (DEM) 14

ภาพที่ 8 ตัวอย่างผลผลิตที่เป็นข้อมูลแบบจุดพิกัด 16

ภาพที่ 9 หลักการทำ Random Forest 18

ภาพที่ 10 ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM บนข้อมูลขนาด 2 มิติ 19

ภาพที่ 11 การคำนวณ Maximum Margin 20

ภาพที่ 12 แผนผังขั้นตอนวิธีการศึกษา 25

ภาพที่ 13 แสดงจุดเก็บข้อมูล 26

ภาพที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ค่าการนำไฟฟ้าที่ฤดูร้อน กับข้อมูลลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบ Correlation Heatmap 32

ภาพที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ค่าการนำไฟฟ้าที่ฤดูฝน กับข้อมูลลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบ Correlation Heatmap 33

ภาพที่ 16 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์จากการวัดค่าการนำไฟฟ้าที่ความลึกผิวดิน (Ec0) และจากการประมาณของข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB 37

ภาพที่ 17 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์จากการวัดค่าการนำไฟฟ้าที่ความลึกใต้ดิน (Ec30) และจากการประมาณของข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB 40

ภาพที่ 18 แสดงแผนที่การประมาณการติดตามความเค็มของดิน (ฤดูร้อน) 41

ภาพที่ 19 แสดงแผนที่การประมาณการติดตามความเค็มของดิน (ฤดูฝน)....................................... 42

ภาพที่ 20 แสดงตำแหน่งที่สุ่มเก็บดินมาวัดค่าการนำไฟฟ้า จำนวน 85 จุด 43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการทำการศึกษา

ดินเค็ม (Saline soil) คือดินที่มีเกลือที่ละลายได้ในสารละลายดินปริมาณมาก จนกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การสังเกตโดยดูจากคราบเกลือจะเห็นคราบเกลือเป็นหย่อมๆ โดยเฉพาะในฤดูแล้ง พืชมักจะแสดงอาการใบไหม้ ลำต้นแคระแกร็น เนื่องจากพืชจะขาดน้ำและความเป็นพิษจากธาตุโซเดียม (Na) และคลอไรด์ (Cl) จึงเกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหาร ดินเค็มเป็นดินที่มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ปัญหาดินเค็มนอกจากจะส่งผลกระทบต่อการเกษตรแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม ปัญหาดินเค็มในประเทศไทยพบทั้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและพื้นที่ชายทะเล (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2564)

งานวิจัยดินเค็มในประเทศหลายรายงานการวิจัยมีการศึกษาดินเค็มที่มีผลกะทบต่อการเพาะปลูกข้าวในปัจจุบันเกษตรกรได้ประสบกับปัญหาเกี่ยวกับสภาพดินเค็มโดยเฉพาะพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งมีค่าความเค็มอยู่ระหว่าง 2-16 เดซิเซเมนต่อเมตร (dS/m) (คู่มือเกษตรกร, 2552) ซึ่งส่งผลต่อการเพาะปลูกเป็นบริเวณกว้าง ดินเค็มเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นทั่วโลก ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่แห้งแล้งหรือพื้นที่ชุ่มชื้น ทั้งในเขตชลประทานและเขตอาศัยน้ำฝน พื้นที่ดินเค็มในประเทศไทยพบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และพื้นที่ชายทะเล (อรุณี ยูวะนิยม, 2536) ปัญหาดินเค็มมีผลกระทบโดยตรงต่อการเกษตรทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต คุณภาพของพืชลดลง สำหรับการปลูกข้าวในพื้นที่ดินเค็มจะสังเกตเห็นได้จากต้นข้าวมีการเจริญเติบโตที่ไม่สม่ำเสมอ มีการแตกกอน้อย ลำต้นแคระแกร็น ปลายใบไหม้และม้วนงอ ในพื้นที่ดินเค็มจัด ต้นข้าวจะตายเป็นหย่อมๆ ในช่วงฝนทิ้งช่วง พื้นดินจะแห้ง ถ้าเป็นระยะที่ ข้าวกำลังออกดอก ออกรวงจะทำให้ข้าวเมล็ดลีบและให้ผลผลิตต่ำ (สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2563)

ขั้นตอนการตรวจวัดดินเค็มของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์จะแบ่งออกเป็นการเก็บดินชั้นบน (ผิวดิน) และการเก็บดินชั้นล่าง (ใต้ผิวดินลึกประมาณ 30 เซนติเมตร) โดยการเก็บในแต่ละพื้นที่นั้นต้องทำการเก็บแบบสุ่มในอัตรา 10-20 ไร่ ต่อ 15-25 จุด หลังจากทำการเก็บตัวอย่างแล้วเสร็จให้นำทุกตัวอย่างมาคลุกรวมกันโดยแบ่งเป็น ดินชั้นบนก็คลุกกับดินชั้นบน ดินชั้นล่างก็คลุกกับดินชั้นล่าง จากนั้นผึ่งไว้ในที่ร่มอากาศถ่ายเทสะดวก เพื่อรอให้ดินแห้ง จากนั้นนำดินมาผึ่งเป็นรูปวงกลม และแบ่งให้เป็น 4 ส่วน เท่าๆ กันแล้วนำ 1 ส่วน (ประมาณ 0.5-1 กิโลกรัม) ไปทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เมื่อดินมาถึงห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่จะทำการ ตากดินให้แห้งอีก 1

รอบ ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ เมื่อแห้งแล้วก็นำมาบดให้ละเอียด จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (ช่องเปิดของตะแกรง 2 มิลลิเมตร) ขั้นตอนตั้งแต่เก็บดินดังกล่าวจนถึงขั้นตอนการร่อนเสร็จใช้เวลา 7-14 วัน (ขึ้นอยู่กับความชื้นของดิน) จากนั้นจึงนำดินเข้าสู่กระบวนการหาค่านำไฟฟ้าของดิน หรือที่เรียกว่าค่า Electrical conductivity (Ec) (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2564)

วิธีวัดค่าความเค็มของดิน วิธีวัดค่าความเค็มของดินมีหลายวิธี แต่ที่นิยมกันโดยทั่วไป ดูจากความเข้มข้นของความเค็มที่วัดได้ ซึ่งมักจะใช้การนำไฟฟ้าของดิน Electrical conductivity (Ec) มีหน่วยความเข้มข้นเป็น เดซิเซเมนต่อเมตร (dS/m) ค่าการนาไฟฟ้าของดินที่สกัดได้จากดินวัดจากการละลายขณะที่อิ่มตัวด้วยน้า Electrical conductivity at saturation extract (Ece) ที่ 25 องศาเซลเซียส มาใช้ประเมินปริมาณเกลือและอิทธิพลของเกลือในดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2564) ปัญหาของวิธีแบบเดิม คือ ใช้ทรัพยากรและแรงงานจำนวนมาก สิ้นเปลือง ข้อมูลปรับให้เป็นปัจจุบันได้ยาก ยิ่งหากต้องมีการปรับให้เป็นปัจจุบัน ของข้อมูลบ่อยๆ และติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในพื้นที่ขนาดใหญ่จะมีปัญหา

อย่างไรก็ตามในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมามีการใช้การสำรวจระยะไกลไม่ว่าจะเป็นภาพถ่ายจากดาวเทียม หรือแม้กระทั่งภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned aerial vehicle, UAV) ได้ถูกนำมาประยุกต์ในการใช้งานด้านต่างๆ เนื่องจากให้ความละเอียดเชิงพื้นที่และเวลาได้สูง เนื่องจากสามารถเก็บข้อมูลภาพถ่ายได้ทุกเมื่อ จากรายงานการศึกษาของ (ศิวา แก้วปลั่ง, 2561) ใช้ UAV เป็นเครื่องมือสำคัญในประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นหม่อน และมีการใช้ภาพถ่ายจาก UAV สำหรับการรับรู้ระยะไกลใช้งานได้สำเร็จในหลายสาขา เช่น การตรวจวัดแบบไม่ทำลายเพื่อทำนายผลผลิตของหัวมันสำปะหลังอย่างรวดเร็ว (Selvaraj et al., 2020) การใช้ภาพถ่ายจาก UAV ที่มีเซนเซอร์ช่องสัญญาณหลายช่องมากกว่า 100 ช่องสัญญาณ มีความละเอียดมากเป็นพิเศษ (Hyperspectral imaging system) และภาพถ่ายจากดาวเทียม มาประมานปริมาณค่าความเค็มของดิน (Hu et al., 2019) การใช้ภาพถ่ายจาก UAV ที่มีเซนเซอร์ช่องสัญญาณ 4 ช่องสัญญาณ ประกอบด้วยย่านสีน้าเงิน ย่านสีเขียว ย่านสีแดง และย่านอินฟราเรดใกล้ เป็นต้น (Multispectral imaging system) มาตรวจจับค่าความร้อนของแปลงผัก (Bendig et al., 2019)

(Zhang and Zhao 2019) ทำการศึกษาความเค็มของดินส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตและการผลิตพืชด้วยข้อมูลจากภาพถ่าย Hyperspectral ที่ติดตั้งกล้องบันทึกภาพบน UAV ภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2A โดยการใช้ค่าการสะท้อนแสง และค่าการนำไฟฟ้าในดิน (EC) เป็นพารามิเตอร์ในการศึกษาความเค็มของดินส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตและการผลิตพืช สร้างแบบจำลองด้วยสมการถดถอยที่หลากหลาย และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย R-squared (R^2) ผลการศึกษาพบว่าข้อมูลภาพถ่าย RGB และ Near infrared มีความสัมพันธ์ที่ดีกับ

ความเค็มของดินและพารามิเตอร์สเปกตรัมปรับปรุงความสัมพันธ์นี้ได้ดี ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อรวมพารามิเตอร์สเปกตรัมเข้ากับช่วงคลื่นที่ละเอียดอ่อนด้วยความแม่นยำในการสร้างแบบจำลองและความแม่นยำในการตรวจสอบของแบบจำลองที่ดีที่สุดคือ 0.743 และ 0.809 ตามลำดับ การค้นพบเหล่านี้พิสูจน์ให้เห็นว่าการใช้แบบจำลองที่ใช้ UAV เพื่อสะท้อนภาพ Sentinel-2A ที่เป็นปกติให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับสถานการณ์จริง นอกจากนี้ผลการเปลี่ยนแปลงสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะการกระจายของความเค็มของดินในพื้นที่ที่ทำการทดสอบและพื้นที่การศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

MA et al. (2020) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความเค็มของดินอย่างแม่นยำและรวดเร็ว โดยใช้การผสมผสานของการสำรวจระยะไกลแบบหลายแหล่ง ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการบำบัดและการใช้ประโยชน์ของดินเค็มเท่านั้น แต่ยังเป็นแนวโน้มหลักในการพัฒนาการตรวจจับระยะไกลของความเค็มในดินเชิงปริมาณด้วย โดยใช้สมการถดถอยเชิงตัวเลขเพื่อรวมกับดัชนีสเปกตรัมโดยใช้ภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับที่มีความละเอียดสูงเชิงพื้นที่ UAV และภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดต่ำเชิงพื้นที่ เพื่อประเมินความสัมพันธ์ภายในระหว่างการรับรู้จากระยะไกลเภทต่างๆ อย่างลึกซึ้ง แบบจำลองการผกผันของปริมาณเกลือในดิน (SSC) สร้างขึ้นจากภาพ UAV ที่มีความละเอียดสูงเชิงพื้นที่ และเลือกดัชนีสเปกตรัมที่เกี่ยวข้องกับการหลอมรวมจากแบบจำลองจากนั้น ใช้ฟังก์ชันฟิวชั่นพหุนามกำลังสองที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสเปกตรัมตามภาพทั้งสองถูกสร้างขึ้นเพื่อแก้ไขดัชนีสเปกตรัมตามภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำ (จาก Sentinel-2A) จากนั้น สถานการณ์ที่ 1 (โมเดลที่ดีที่สุดตาม Sentinel-2A ที่ใช้สำหรับดัชนีสเปกตรัม Sentinel-2A ที่ยังไม่ได้เชื่อม), สถานการณ์ที่ 2 (โมเดลการผกผันที่ดีที่สุดตาม UAV ที่ใช้สำหรับดัชนีสเปกตรัมแบบ Sentinel-2A ที่ยังไม่ได้เชื่อม) และสถานการณ์ที่ 3 (แบบจำลองการผกผันที่ดีที่สุดตาม UAV ที่ใช้สำหรับดัชนีสเปกตรัมที่ใช้ Sentinel-2A ที่หลอมรวม) ถูกเปรียบเทียบและวิเคราะห์และได้รับแผนที่การกระจาย SSC ผ่านสถานการณ์ที่ 3 ผลลัพธ์ระบุว่าสถานการณ์ที่ 3 มีความแม่นยำสูงสุด โดยการปรับเทียบ R^2 ดีขึ้น 0.078-0.111 ค่าความผิดพลาดของค่าเฉลี่ยรากที่สอง (RMSE) ลดลง 0.338-1.048 การตรวจสอบ R^2 ดีขึ้น 0.019-0.079 ค่า RMSE ลดลง 0.517-1.030 และอัตราส่วนของประสิทธิภาพต่อการเบี่ยงเบน (RPD) ดีขึ้น 0.185-0.423 ดังนั้น วิธีการนี้สามารถปรับปรุงความถูกต้องของการผกผันของการตรวจจับระยะไกล SSC ซึ่งเอื้อต่อการตรวจสอบ SSC ที่แม่นยำและรวดเร็ว

(Hu, Peng et al. 2019) ทำการศึกษาการประมาณปริมาณความเค็มของดินด้วยข้อมูลจากภาพถ่าย Hyperspectral ที่ติดตั้งกล้องบันทึกภาพบน UAV ภาพถ่ายจากดาวเทียม GF-2 โดยนำค่าสะท้อนแสงจากภาพที่ระยะพื้นต่อพิกเซล (GSD) ขนาด 0.01 เมตร และค่าการนำไฟฟ้าของดินที่ได้จากอุปกรณ์เหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า Electromagnetic induction (EMI) การรวบรวมตัวอย่างดิน

จากภาคสนามมาเข้าห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลองทำนายปริมาณความเค็มของดิน สร้างแบบจำลองด้วยสมการถดถอย Random forest และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย Lin's Concordance coefficient (Cc), Ratio of performance to deviation (RPD) และ Root mean square error (RMSE) พบว่าที่ดินเปล่า (สนาม A) แสดงความเค็มที่รุนแรงที่สุด ตามด้วยพื้นที่พืชหนาแน่น (สนาม C) และพื้นที่พืชพรรณเบาบาง (สนาม B) แบบจำลองการทำนายปริมาณความเค็มของดินที่ใช้ข้อมูลจาก UAV มีประสิทธิภาพเหนือกว่าการทำนายปริมาณความเค็มของดินที่ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม GF-2 สนาม A มีค่า RMSE, CC และ RPD ที่ 1.40 dS/m, 0.94 และ 2.98 ตามลำดับ ผลลัพธ์ของเราระบุว่าทำการศึกษาการประมาณปริมาณความเค็มของดินด้วยข้อมูลจากภาพถ่ายแบบหลายช่วงคลื่น ที่ติดตั้งกล้องบันทึกภาพบน UAV เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการตรวจสอบและการทำแผนที่ความเค็มของดินในระดับสนาม ด้วยความช่วยเหลือของเทคนิค EMI การประมาณเชิงปริมาณของความเค็มของดินผิวเป็นสิ่งสำคัญในการตัดสินใจในการจัดการพื้นที่ดินเค็ม

จากหลายรายงานการศึกษาที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่ามีงานวิจัยที่ใช้การสำรวจระยะไกลในการศึกษาผลกระทบของดินเค็ม ทั้งในรูปแบบของข้อมูลจากภาพถ่าย Hyperspectral ที่ติดตั้งกล้องบันทึกภาพบน UAV และภาพถ่ายจากดาวเทียม แต่เนื่องจากคุณภาพกล้องที่จะสามารถถ่ายภาพ Hyperspectral ได้นั้นมีราคาที่สูงมาก และเข้าถึงได้ยาก สำหรับภาพถ่ายจากดาวเทียมนั้นก็จะได้ข้อมูลในบริเวณกว้างๆ ไม่เฉพาะเจาะจง และยังมีความละเอียดของภาพที่ต่ำกว่า UAV ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการประเมินภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการติดตามและทำแผนที่ความเค็มของดิน โดยนำข้อมูลจากภาพถ่ายในช่วงคลื่น RGB ที่ติดตั้งกล้องบันทึกภาพบน UAV โดยนำค่าสะท้อนแสงจากภาพ และค่าการนำไฟฟ้าของดิน มาสร้างแบบจำลองโดยใช้แบบจำลอง Generalized linear models (GLM) Random forest (RF) และ Support vector machine (SVM) และทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และรากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (RMSE)

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทำการประเมินภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการติดตามและทำแผนที่ความเค็มของดิน

1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัย

1. หาสมการความสัมพันธ์ ระหว่างการนำไฟฟ้าของดิน กับค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสี RGB มาสร้างแบบจำลองโดยใช้แบบจำลอง Generalized linear models (GLM) Random forest (RF) และ Support vector machine (SVM) และทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และรากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (RMSE)

2. ข้อมูลภาพถ่ายความละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับแบบใบพัดหมุน Mavic Air 1 แต่ภาพถ่ายที่ได้จะเป็นภาพถ่ายที่อยู่ในช่วงคลื่น RGB เท่านั้น

3. วิธีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินที่ก่อนนำมาเข้าห้องปฏิบัติการ เพื่อตรวจหาค่าการนำไฟฟ้าที่อยู่ในดินของแต่ละตัวอย่างการทดลอง วิธีที่ใช้คือวิธีที่กรมพัฒนาที่ดินใช้ในปัจจุบัน

4. วิธีที่ใช้ในการตรวจหาค่าการนำไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ คือวิธีที่กรมพัฒนาที่ดินใช้ในปัจจุบัน แต่จะมีความแตกต่างในขั้นตอนการวัดค่าการนำไฟฟ้า โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า คือ EC-138 Conductivity Meter

1.4 สถานที่ทำการวิจัย

1. ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

2. บริเวณกลางทุ่งนา บ้านโพนสิม ตำบลหัวนาคำ อำเภอยางตลาด กาฬสินธุ์ 46120 อยู่ที่พิกัด 16°23'53.1" เหนือ และ 103°16'47.0" ตะวันออก

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถทำอุปกรณ์สำหรับการติดตาม และทำแผนที่ความเค็มของดิน ที่มีความแม่นยำ โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องเพื่อทำการประเมินภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการติดตามและทำแผนที่ความเค็มของดินผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นกรอบแนวคิดในการศึกษา ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ดินเค็ม

ดินเค็ม (Saline soil) คือ ดินที่มีปริมาณเกลือชนิดต่างๆ ที่ละลายน้ำได้ปะปนในเนื้อดินสูงจนเป็นอันตรายต่อพืช ทั้งนี้เนื่องจากไม่สามารถดูดน้ำเขาสู่ระบบรากได้สะดวกหรือเกิดสภาพที่เป็นพิษกับพืช ดังนั้นบริเวณที่เป็นดินเค็มจะมีลักษณะเป็นพื้นที่ว่างเปล่าไม่มีพืชขึ้นหรือ มีวัชพืชขึ้นอยู่เพียงเบาบางและในกรณีที่ดินเค็มจัดจะเห็นคราบเกลือสีขาวบนผิวดินเป็นบริเวณกว้าง ส่วนในฤดูฝนแม้จะไม่เห็นคราบเกลือแต่ก็จะสังเกตเห็นว่าพื้นที่ไม่มีพืชปกคลุมเหมือนเช่นที่พบในบริเวณใกล้เคียง

ภาพที่ 1 ตัวอย่างดินเค็ม

ที่มา : ดินเค็ม กับปัญหาการแพร่กระจายที่เพิ่มมากขึ้น (arda.or.th)

2.1.1 สาเหตุที่ทำให้เกิดดินเค็มสาเหตุการแพร่กระจายดินเค็ม คือเกลือเกิดขึ้นเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ดี น้ำจึงเป็นตัวกลางหรือพาหนะในการพาเกลือไปสะสมในที่ต่างๆ ที่น้ำไหลผ่านซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดการแพร่กระจายดินเค็ม

1. สาเหตุจากธรรมชาติ คือหินหรือแร่ที่มีเกลืออยู่เมื่อสลายตัวหรือผุพังไป โดยกระบวนการทางเคมีและทางกายภาพก็จะปลดปล่อยเกลือต่างๆ ออกมาเกลือเหล่านี้อาจสะสมอยู่กับที่หรือเคลื่อนตัวไปกับน้ำแล้วซึมสู่ชั้นล่าง หรือซึมกลับมาบนผิวดินได้โดยการระเหยของน้ำไปโดยพลังแสงแดดหรือถูกพืชนำไปใช้น้ำใต้ดินเค็มที่อยู่ระดับใกล้ผิวดินเมื่อน้ำนี้ซึมขึ้นบนดิน ก็จะนำเกลือขึ้นมาด้วยภายหลังจากที่น้ำระเหยแห้งไปแล้วก็จะทำให้มีเกลือเหลือสะสมอยู่บนผิวดิน และที่ลุ่มที่เป็นแหล่งรวมของน้ำน้ำบริเวณนี้ส่วนมากจะมีเกลือละลายอยู่เพียงเล็กน้อยก็ได้ เมือเวลาผ่านไปก็เกิดการสะสมของเกลือโดยการระเหยของน้ำ พื้นที่บริเวณนั้นอาจเป็นหนองน้ำหรือทะเลสาบเก่าก็ได้

2. สาเหตุจากการกระทำของมนุษย์ คือการทำนาเกลือทั้งวิธีการสูบน้ำเค็มขึ้นมาตาก หรือวิธีการขูดผิวดินที่มีคราบเกลือมาต้มเกลือในปริมาณมากจนส่งผลทำให้พื้นที่บริเวณใกล้เคียงกลายเป็นพื้นที่ดินเค็ม หรือการสร้างอ่างเก็บน้ำบนพื้นที่ดินเค็ม หรือมีน้ำใต้ดินเค็มทำให้เกิดการยกระดับของน้ำใต้ดินขึ้นมาทำให้พื้นที่โดยรอบและบริเวณใกล้เคียงเกิดเป็นพื้นที่ดินเค็มได้ การชลประทานที่ขาดการวางแผนในเรื่องผลกระทบของดินเค็มมักก่อให้เกิดปัญหาต่อพื้นที่ซึ่งใช้ประโยชน์จากระบบชลประทานนั้นๆ แต่ถ้ามีการคำนึงถึงสภาพพื้นที่และศึกษาเรื่องปัญหาดินเค็มเข้าร่วมด้วยจะเป็นการช่วยแก้ไขปัญหาดินเค็มได้วิธีหนึ่งและการตัดไม้ทำลายป่าทำให้ สภาพการรับน้ำของพื้นที่ไม่มีประสิทธิภาพทำให้ เกิดปัญหาตามมาอย่างมากมายจากสภาพทางอุทกธรณีของน้ำเปลี่ยนแปลงไปแทนที่พืชจะใช้ประโยชน์กลับไหลลงไปในระบบส่งน้ำใต้ดินเค็มทำให้เกิดปัญหาดินเค็มตามมา (ประจักษ์ บุญอารีย์, 2544)

2.1.2 วิธีการตรวจวัดดินเค็ม วิธีการตรวจวัดค่าความเค็มมีหลายวิธี แต่ที่นิยมกันโดยทั่วไปคือดูจากความเข้มข้นของความเค็มที่วัดได้ ซึ่งมักจะใช้การนำไฟฟ้าของดิน Electrical conductivity (Ec) มีหน่วยความเข้มข้นเป็น เดซิเซเมนต่อเมตร (dS/m) ค่าการนาไฟฟ้าของดินที่สกัดได้จากดินวัดจากการละลายขณะที่อิ่มตัวด้วยน้ำ Electrical conductivity at Saturation extract (Ece) ที่ 25 องศาเซลเซียส มาใช้ประเมินปริมาณเกลือและอิทธิพลของเกลือในดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2564)

ตารางที่ 1 การจำแนกระดับความเค็มที่มีผลกระทบต่อพืช

ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ระดับความเค็ม	ผลต่อการเพาะปลูก
น้อยกว่า 2	ไม่เค็ม	ไม่มีผลกระทบต่อพืช
2-4	เค็มน้อย	มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่ทนเค็ม
4-8	เค็มปานกลาง	มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด
8-16	เค็มมาก	เฉพาะพืชทนเค็มเท่านั้นจึงจะเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้
มากกว่า 16	เค็มที่สุด	เฉพาะพืชที่ทนเค็มที่สุดจึงเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้

ที่มา : (U.S. Soil Salinity Laboratory Staff, 1992)

2.2 การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Remote sensing)

เทคโนโลยีในการสำรวจทรัพยากรจากภาพถ่ายดาวเทียม หรือการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลในประเทศไทยได้เริ่มต้นขึ้นในปี พ.ศ.2514 โดยได้มีการแต่งตั้งคณะกรรมการแห่งชาติเพื่อประสานงานกับกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม ซึ่งมีผู้ทรงคุณวุฒิจากหน่วยงานต่างๆ ได้อนุมัติให้เข้าร่วมโครงการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) ในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลดาวเทียมเพื่อสำรวจทรัพยากรต่างๆ ภายในประเทศ ดาวเทียมดวงแรก ได้แก่ LANDSAT-1 โดยใช้เป็นโครงการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมภายใต้ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ต่อมาได้มีการยกระดับขึ้นเป็นกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมในปี พ.ศ. 2522 โดยมีหน่วยงานต่างๆ ได้นำเอาข้อมูลดาวเทียมไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ดังนั้นคณะรัฐมนตรีจึงได้อนุมัติให้ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ขึ้นมาในปี พ.ศ. 2523 มีหน้าที่ในการรับและผลิตข้อมูลดาวเทียม ซึ่งเป็นสถานีรับสัญญาณแห่งแรกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในปัจจุบันได้โอนไปอยู่ในหน่วยงาน “สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ” ตั้งขึ้น เมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน พ.ศ.2543

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติดวงแรกของไทย ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อให้ประเทศมีโอกาสในการเข้าถึงข้อมูลดาวเทียมได้ง่ายขึ้น โดยจะส่งขึ้นวงโคจรในราวต้นปีพ.ศ. 2551 มีอายุการใช้งานอย่างน้อย 5 ปี มีความสามารถในการบันทักข้อมูลภาพได้ทั้งในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น 3 ช่วงคลื่นแสง คือ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และช่วงคลื่นแสงที่ตามองไม่เห็น (อินฟราเรดใกล้) มีรายละเอียดของภาพสี 15 ม. ความกว้างแนวถ่ายภาพ 90 กม. ภาพขาวดำ 2 ม. ความกว้างแนวถ่ายภาพ 22 กม.

สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการวิจัยทางการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับพืชได้ เหมาะสำหรับนำมาศึกษาเกี่ยวกับพืชพรรณ จำแนกชนิด ระยะการเจริญเติบโต และความแข็งแรงสมบูรณ์ของใบพืช ประเทศไทยจึงควรเตรียมพร้อมเพื่อจะได้ใช้ประโยชน์จากโอกาสที่ไทยจะได้เป็นเจ้าของดาวเทียมเอง (วลัยพรศะศิ ประภา, 2007)

2.3 ความหมายและกระบวนการ (Remote Sensing)

Remote Sensing คือข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ ที่ได้จากเครื่องมือบันทึกข้อมูล (Sensor) โดยเราไม่ได้เข้าไปสัมผัสกับตัววัตถุ แต่จะอาศัยคุณสมบัติคลื่นแม่เหล็กของไฟฟ้า (Electromagnetic energy) เป็นสื่อ โดยคำที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นทางการ คือ การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (พิชชาพร อุ่นผาง, 2557)

2.3.1 การรับข้อมูลและบันทึกสัญญาณข้อมูล (Data acquisition) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum) จากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับรูปลักษณ์พื้นผิวโลก และเดินทางเข้าสู่เครื่องมือบันทึกข้อมูล (Sensor) ที่ติดตั้งในดาวเทียม (Airborne or Space borne) ข้อมูลจะถูกบันทึก และผลิตเป็นข้อมูลในรูปแบบภาพ (Sensor data in pictorial หรือ Photograph) หรือรูปแบบเชิงตัวเลข (Digital form)

2.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) จะประกอบด้วยการแปลข้อมูลด้วยสายตา (Visual interpretation) และการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Digital analysis) (สมบัติ อยู่เมือง, 2558)

ภาพที่ 2 กระบวนการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล

ที่มา: http://dc356.4shared.com/doc/8AuUXLWq/preview.html

2.4 การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (Photogrammetry)

การสำรวจด้วยภาพถ่าย เป็นการสำรวจที่ประยุกต์หลักวิชา Photogrammetry มาใช้ในการสำรวจภูมิประเทศ การทำแผนที่ และการสำรวจภาคพื้นดิน (Terrestrial) และทางอากาศ (Aerial)

โฟโตแกรมเมตรีเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำข้อมูลสารสนเทศที่มีความแม่นยำสูงเกี่ยวกับวัตถุภาพและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ โดยผ่านกระบวนการบันทึก การรังวัด และการแปลความหมายจากภาพถ่าย และรูปแบบการแพร่ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และปรากฏการณ์อื่น ๆ ที่ถูกบันทึกไว้ จากคำนิยามของงานทางโฟโตแกรมเมตรี สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1. Photogrammetry ที่เกี่ยวกับการรังวัดภาพ (Metric photogrammetry) ซึ่งรวมการวัดอย่างละเอียดและการคานวณ เพื่อให้ได้ขนาดของวัตถุ

2. Photogrammetry ที่เกี่ยวกับการแปลภาพ (Interpretation photogrammetry) ซึ่งเป็นการปฏิบัติเกี่ยวกับการรับรู้ภาพจากระยะไกล และจำแนกวัตถุต่าง ๆ (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2553)

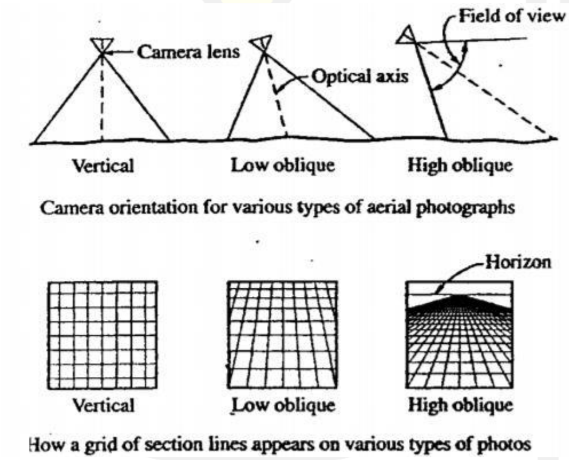
2.5 ชนิดของภาพถ่าย

ภาพถ่ายในงานทาง Photogrammetry แบ่งเป็นภาพที่ถ่ายจากภาคพื้นดิน (Terrestrial) และทางอากาศ (Aerial) ภาพถ่ายภาคพื้นดินถ่ายด้วยกล้องที่อยู่บนพื้น (Ground – based cameras) ซึ่งจะทราบตำแหน่ง (Position) และการเอียงตัว (Orientation) ของกล้อง ทำให้เกิดสาขาของงานPhotogrammetry ที่เรียกว่า “Terrestrial photogrammetry” เป็นการประยุกต์การรังวัดด้วยภาพที่มีการใช้เครื่องมือและดำเนินการรังวัดบนภาคพื้นดิน การรังวัดใช้กล้องที่มีขนาดเล็กลงเพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายในสนามได้สะดวก การรังวัดภาพพื้นดินนิยมใช้กับการทำแผนที่ภูมิประเทศที่ขอบเขตไม่กว้างขวางนัก แต่ภูมิประเทศซับซ้อน เช่น การทำแผนที่ของเหมืองเปิด การทำแผนที่ของภูมิประเทศที่เป็นเนินเขาและหุบเขา และอีกสาขา เรียกว่า “Close-range photogrammetry” เป็นการรังวัดด้วยภาพที่ระยะระหว่างกล้อง อยู่ห่างจากวัตถุที่จะรังวัดไม่มากนัก โดยทั่วไปจะจำกัดในระยะ 1 ถึง 100 เมตร จะมีการใช้กล้องถ่ายภาพพิเศษเพื่อการนี้โดยเฉพาะปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้งานอยู่ทั่วในในท้องตลาด มักจะประยุกต์ใช้งานด้านโบราณสถาน โบราณวัตถุ งานด้านการตรวจสอบทางอุตสาหกรรม ทางด้านการแพทย์ เพื่อใช้หาขนาดและรูปร่างของวัตถุที่ซับซ้อนหรือต้องการประหยัดเวลาในการบันทึก

ภาพถ่ายทางอากาศ โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็นภาพดิ่ง กับ ภาพเฉียง ภาพดิ่ง (Vertical) คือภาพที่ถ่ายโดยให้แกนของกล้องอยู่ในแนวดิ่งมากที่สุด ถ้าแกนของกล้องขณะถ่ายภาพอยู่ ในแนวดิ่งจริง ๆระนาบภาพจะขนานกับระนาบราบของพื้นหลักฐาน และภาพที่ได้เรียกว่า ดิ่งจริง (Truly

vertical) ในการถ่ายภาพดิ่ง อาจจะมีปัญหาเรื่องของแนวกล้องที่จะให้อยู่ในแนวดิ่งอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากสภาพอากาศ ทำให้เครื่องบินเกิดการเอียงในขณะที่ถ่ายภาพ ถ้าแกนของกล้องเอียงไปจากแนวดิ่งเพียงเล็กน้อย ภาพที่ได้เรียกว่า ภาพเอียง (Tilt) ความเอียงของแกนกล้องนี้ปกติจะน้อยกว่า 1° และไม่เกิน 3° ในการทำงานบางครั้งก็ถือเอาภาพเอียงเป็นภาพดิ่งจริง เครื่องมือที่มีความละเอียดถูกต้องและวิธีการในงานโฟโตแกรมเมตรี ได้รับการพัฒนาจนทำให้การใช้ภาพเอียงไม่ทำให้ความถูกต้องของงานที่ได้ลดลง

ภาพเฉียง (Oblique) คือ ภาพที่ถ่ายโดยให้แกนของกล้องเอียงออกจากแนวดิ่ง ภาพเฉียงต่ำ (Low Oblique) จะไม่ปรากฏเส้นขอบฟ้า ส่วนภาพเฉียงสูง (High oblique) จะปรากฏแนวเส้นขอบฟ้า (กิตติศักดิ์ ศรีกลาง, 2559)

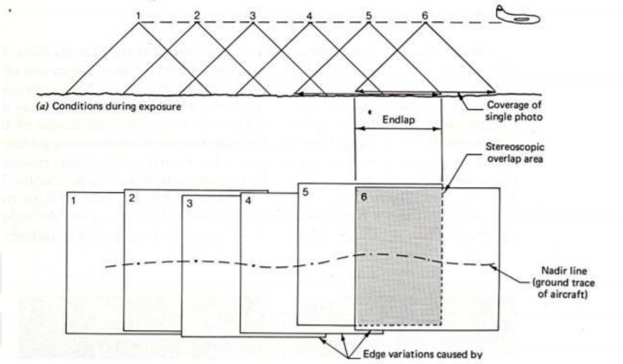


ภาพที่ 3 ชนิดภาพถ่ายภาพแนวดิ่ง ภาพเฉียงต่ำ ภาพเฉียงสูง

ที่มา : (กิตติศักดิ์ ศรีกลาง, 2559)

2.5.1 การบินถ่ายภาพดิ่ง

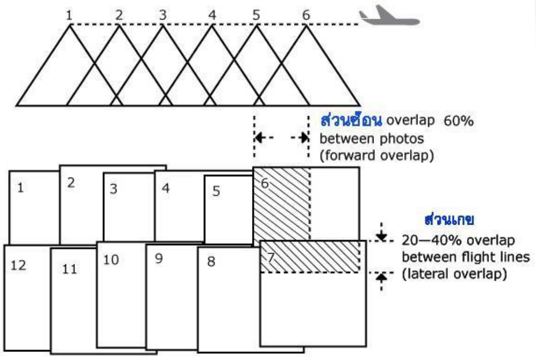
ในการถ่ายภาพดิ่งด้วยกล้องถ่ายภาพทางอากาศแบบกรอบ (Framecamera) ที่ติดตั้งเครื่องบินให้คลุมพื้นที่ จะถ่ายภาพเป็นแนวขนานกัน เรียกว่า “แนวบิน” (Flight strip) ภาพที่อยู่ประชิดกันในแต่ละแนวบินจะครอบคลุมพื้นที่เหลื่อมกันเป็นบางส่วน เรียกว่า “ส่วนซ้อน” (Endlap / Overlap) ตามปกติจะประมาณร้อยละ 55 ถึง 65 บริเวณที่เหลื่อมกันตามแนวบินของภาพคู่หนึ่งเรียกว่า “บริเวณคู่ภาพสามมิติ ” (Stereoscopic overlap area) และเรียกภาพคู่นี้ว่า “คู่ภาพสามมิติ ” (Stereopairs) ตำแหน่งของกล้องขณะถ่ายภาพ เรียกว่า “ ตำแหน่งถ่ายภาพ ” (Exposure station) และ ความสูงของกล้องเรียกว่า “ระดับบิน” (Flying height)



ภาพที่ 4 ส่วนซ้อนบริเวณที่เหลื่อมกันของภาพ

ที่มา : http://natres.psu.ac.th/Department/EarthScience/remote1/chapter3.pdf

ภาพถ่ายในแนวบินข้างเคียงกัน จะมีบริเวณที่ซ้อนกัน เรียกว่า “ส่วนเกย” (Side lap) ประมาณร้อยละ 20 ถึง 40 ภาพถ่ายทางอากาศที่มีตั้งแต่สองแนวบินขึ้นไป เรียกว่า “บล๊อคของ ภาพถ่าย” (Block of photos)



ภาพที่ 5 ส่วนเกยของแนวบิน

ที่มา : http://www.geog.pn.psu.ac.th

2.5.2 ผลผลิตที่เป็นภาพ (Image products)

ผลผลิตเหล่านี้อยู่ในรูปแบบของภาพที่แสดงวัตถุเดิมที่อาจอยู่ในรูปแบบสามมิติโดยแสดงออกมาในลักษณะสองมิติต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของผลผลิต

1. ภาพถ่ายทางอากาศใช้ในการตีความและวางแผนทั่วไป

2. ภาพขาวดำหรือภาพสีที่ได้จากการกำหนดสีให้กับแถบสเปกตรัมต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ภาพเหล่านี้สามารถนำไปใช้สำหรับการตีความและวางแผนทั่วไปในพื้นที่ ที่ถ่ายภาพมา

3. โมเสค (Mosaic) เป็นภาพต่อของภูมิประเทศ สร้างขึ้นโดยการนำภาพถ่ายแต่ละภาพมา ตัดต่อรวมเข้าด้วยกันเป็นผืนเดียว ดังนั้น โมเสคจึงเป็นการต่อภาพหลายๆภาพ และแต่ละภาพเป็นการมองภูมิประเทศจากจุดศูนย์ทิวทัศน์ (Perspective view)

4. ภาพดัดแก้ (Rectified imagery) เป็นภาพที่ได้รับการขจัดอิทธิพลของการเอียงของ กล้องในขณะถ่ายภาพออกไปแต่ยังมีอิทธิพลของความสูงต่ำของภูมิประเทศ (Relief) ปรากฏอยู่ จึงทำให้มาตราส่วนที่แท้จริงในภาพแปรผันไปตามลักษณะของภูมิประเทศ เช่นเดียวกับในกรณีของภาพหรือรูปถ่ายดั้งเดิมและในกรณีของโมเสค

5. ภาพออร์โท (Orthophoto) เป็นภาพของภูมิประเทศที่สร้างจากคู่ภาพที่ซ้อนกัน โดยที่มี การขจัดลักษณะเรขาคณิตแบบการฉายจากจุดศูนย์ทิวทัศน์ของภาพออกไปภาพออร์โท สามารถนำมาใช้ได้ในลักษณะเดียวกับแผนที่ทางราบ (Planimetric map) เนื่องจากมี มาตราส่วนคงที่ ถ้านำเส้นชั้นความสูงมาซ้อนทับบนภาพออร์โท ก็จะได้เป็นแผนที่ภาพออร์โทที่สามารถนำมาใช้เช่นเดียวกับแผนที่ภูมิประเทศ

6. โมเสคของภาพออร์โท (Orthophotomosaic) เป็นผลผลิตที่เกิดจากการนำภาพออร์โท ในบริเวณติดกันมารวมกันเข้าเป็นภาพผืนเดียว มีมาตราส่วนคงที่ทั่วทั้งภาพสามารถ นำมาใช้ได้ดังเช่นแผนที

ภาพที่ 6 ภาพถ่ายออร์โท (Orthophoto Map)

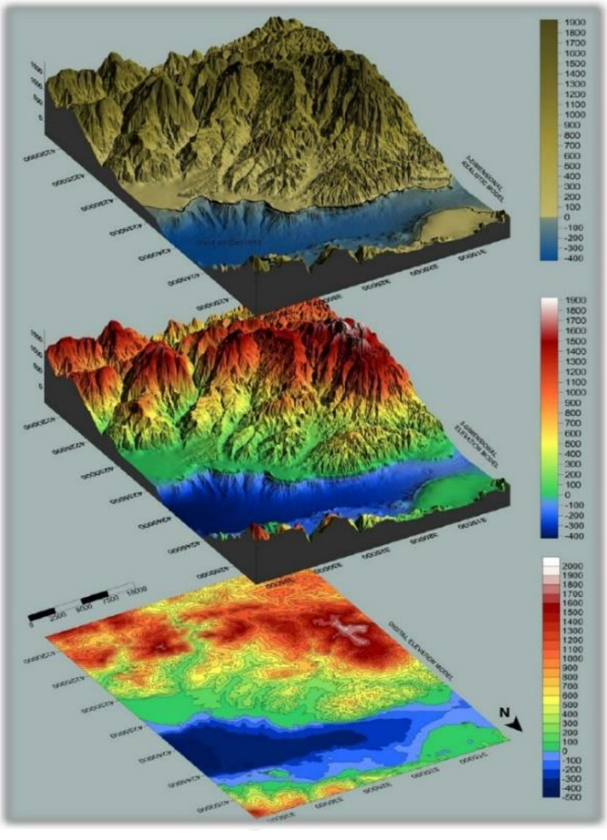
2.5.3 ผลผลิตที่เป็นจุดและข้อมูลแบบจุดพิกัด (Point and vector products)

ผลผลิตที่เป็นจุดคือผลผลิตที่ทราบค่าพิกัดสามมิติของแต่ละจุดซึ่งค่าพิกัดอาจอยู่ในระบบพิกัดภาคพื้นดินหรือบางครั้งอาจอยู่ในระบบพิกัดอื่นผลผลิตเหล่านี้ได้แก่

1. จุดควบคุมเพิ่มเติม (Supplementary control) ที่มักได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายด้วยวิธีการข่ายสามเหลี่ยมอากาศ (Aerotriangulaion)

2. การกำหนดตำแหน่งของเป้าหมาย (Targeting) ที่สร้างหรือกำหนดขึ้นก่อนการถ่ายภาพ (Pre-marking)

3. แบบจำลองความสูงเชิงเลข Digital elevation model (DEM) ที่เป็นการเก็บลักษณะ พื้นผิวของภูมิประเทศในคอมพิวเตอร์ 1) แบบจุดสุ่ม (Random data point) เก็บค่าพิกัด ณ ตำแหน่งที่ภูมิประเทศมีการ เปลี่ยนแปลงความสูงอย่างมีนัยสำคัญ 2) แบบกริด (Gridded data point) เก็บค่าพิกัด ณ ตำแหน่งที่กำหนดจากตารางกริด แบบคงที่ในระนาบ XY สำหรับแสดงค่าความสูงตรงจุดตัดแต่ละจุดของเส้นกริด



ภาพที่ 7 ตัวอย่างแบบจำลองความสูงเชิงเลข Digital elevation model (DEM)

ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/Digital-Elevation-Model-DEM-3D-Elevation-Model-and-3D-Realistic-Model-of-the-combined_fig1_268074280

ผลผลิตที่เป็นข้อมูลแบบจุดพิกัดจะใช้แสดงรายละเอียดที่อยู่ในภูมิประเทศหรือรายละเอียดของ วัตถุที่เป็นโครงสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น ตัวอย่างของผลผลิตนี้คือ แผนที่ลายเส้น (Line map) เช่น

ก. แผนที่ทางราบ (Planimetric map) ที่แสดงเฉพาะตำแหน่งทางราบของรายละเอียดในภูมิประเทศผลิตขึ้นโดยมีความละเอียดถูกต้องในระดับต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับเทคนิคทาง โฟโตแกรมเมตรีที่ใช้

ข. แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง (Contour map) ที่เส้นแต่ละเส้นเกิดจากการตัดกันระหว่าง พื้นผิวระดับกับภูมิประเทศ วิธีการนี้เป็นวิธีแรกๆ ที่ใช้แสดงรูปทรงของภูมิประเทศก่อนที่จะมีการนำแนวความคิดเรื่องแบบจำลองความสูงเชิงเลขมาใช้แผนที่ชนิดนี้อาจสร้างขึ้น โดยตรงจากเครื่องมือทางโฟโตแกรมเมตรีหรืออาจสร้างจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข

ค. แผนที่ภูมิประเทศ ที่แสดงทั้งรายละเอียดทางราบ และแสดงรูปทรงและความสูงของพื้นดิน ด้วยเส้นชั้นความสูง

ง. แผนที่เฉพาะเรื่อง (Thematic map) ที่แสดงเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยเฉพาะ ในพื้นที่หนึ่ง ๆ อาจมีแผนที่เฉพาะเรื่องหลายๆ ระวางก็ได้ยกตัวอย่างเช่น การแสดงโครงข่ายคมนาคม รูปแบบทางน้ำ (Drainage pattern) ชนิดพืชพันธุ์และความชันสามารถแยกแสดงออกมา โดยใช้แผนที่เฉพาะเรื่องจำนวน 4 ระวาง เป็นต้น แผนที่เฉพาะเรื่องเหล่านี้สามารถนำไปใช้ เป็นชั้นข้อมูลหนึ่ง (Layer) หนึ่งในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้

จ. โพรไฟล์ (Profile) แสดงถึงการตัดกันระหว่างระนาบ ที่มักเป็นระนาบดิ่งกับพื้นผิวภูมิประเทศโพรไฟล์อาจมีการวางทิศทางอย่างใดก็ได้เมื่อเทียบกับระนาบอ้างอิงทางราบ

ฉ. แบบจำลองวัตถุสามมิติ (Three-dimensional object model) หรือโครงลวด (Wire frame) ผลผลิตชนิดนี้เกิดจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโฟโตแกรมเมตรี ร่วมกับเครื่องมือ ทางสาขาวิชาคอมพิวเตอร์วิชันในงานทางอุตสาหกรรม (กรมแผนที่ทหาร)

ภาพที่ 8 ตัวอย่างผลผลิตที่เป็นข้อมูลแบบจุดพิกัด

2.6 ดัชนีสเปกตรัม

ดัชนีสเปกตรัมถูกสร้างขึ้น และรับค่าเกลือของตัวอย่างสอบเทียบเป็นตัวแปรตามและดัชนีสเปกตรัมเป็นตัวแปรอิสระ MSLR ใช้เพื่อสร้างแบบจำลอง (MA et al. 2020)

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ดัชนีสเปกตรัมตาม UAV

ดัชนีสเปกตรัม	สมการ (สูตร)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	อ้างอิง
ดัชนีความเค็ม	$\sqrt{r \times g}$	-0.699	D Abelkader
	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	0.686	
พืชพรรณสีเขียวแดง	$(r - g)/(r \div g)$	-0.193	C.J.Tucker
	$r + g$	-0.667	
ดัชนีความเข้ม	$r \times g$	-0.625	HT Fourati
	r/g	0.009	
	$r - g$	-0.006	

2.7 แบบจำลอง Generalized linear models (GLM)

ตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป Generalized linear models (GLM) เป็นชื่อที่ใช้เรียกกลุ่มของตัวแบบ สมมุติฐานของตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปมีดังนี้

1. องค์ประกอบแบบสุ่ม (Random component) ค่าของ Y เป็นอิสระต่อกัน และมีการแจกแจงแบบใดแบบหนึ่งในวงศ์ชี้กำลัง (Exponential family)

2. องค์ประกอบแบบเป็นระบบ (Systematic component) สามารถเขียนตัวแปรต้นให้อยู่ในรูปตัวประมาณเชิงเส้น η ได้ โดยที่ $\eta = X\beta$

3. ฟังก์ชันเชื่อมโยง (Link function) ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบแบบสุ่มและองค์ประกอบแบบเป็นระบบถูกกำหนดด้วย ฟังก์ชันเชื่อมโยง (g) โดยที่ฟังก์ชันเชื่อมโยงนั้นสามารถหาอนุพันธ์ได้ (Differentiable) และเป็นฟังก์ชันทางเดียว (Monotonic)

โดยที่ $$E[Y] \equiv \mu = g^{-1}(\eta)$$

การแจกแจงที่อยู่ในวงศ์ชี้กำลัง (Exponential family) มีคุณสมบัติ 2 ประการ ดังนี้

1. การแจกแจงสามารถเขียนได้ในรูปแบบของค่าเฉลี่ย และความแปรปรวน

2. ความแปรปรวนเป็นฟังก์ชันของค่าเฉลี่ย

จากคุณสมบัติข้อที่ (2.) เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการ (1)

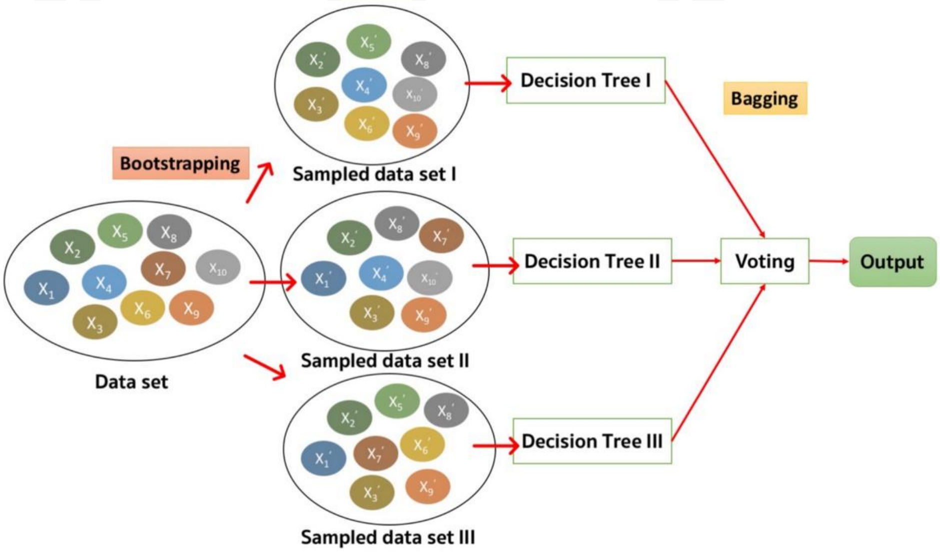
$$Var(Y_i) = \frac{\phi V(\mu_i)}{\omega_i} \qquad ....(1)$$

โดยที่ ϕ เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดขนาดของความแปรปรวน (Scaled parameter) และ ω_i เป็นค่าคงที่ ที่กำหนดน้ำหนักให้กับค่าสังเกต (Prior weight) แต่ละตัว โดยการแจกแจงที่อยู่ในวงศ์ชี้กำลังและความแปรปรวนของการแจกแจงต่างๆ สามารถสรุปได้โดยย่อตามตาราง 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างความแปรปรวนของการแจกแจงที่อยู่ในวงศ์ชี้กำลัง (Exponential family)

การแจกแจง	ความแปรปรวน
Normal	1
Poisson	X
Gamma	X^2
Binomial	X(1 – X) เมื่อจำนวนการทดลองเท่ากับ 1 ครั้ง
Inverse Gaussian	X^3

2.8 การสุ่มป่าไม้ Random forest (RF)



ภาพที่ 9 หลักการทำ Random Forest

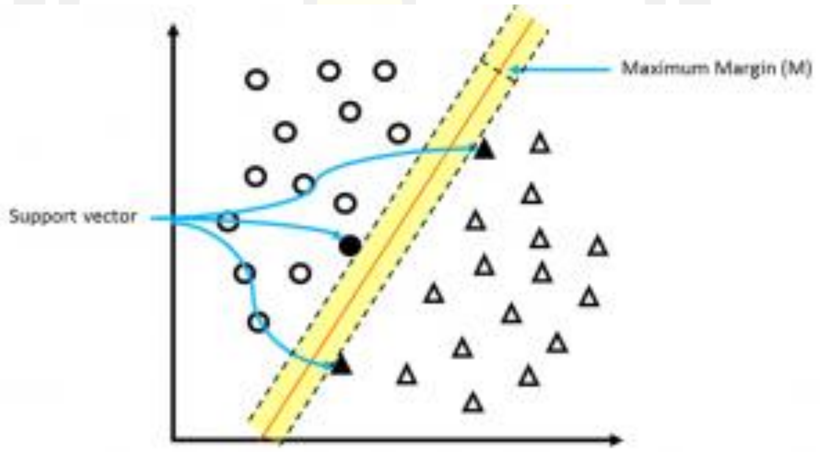
ที่มา : (https://medium.com/@witchapongdaroontham : เว็บไซต์)

หลักการของ Random forest คือ สร้างโมเดลจากต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) ซึ่งถูกสร้างจากการนำข้อมูลหลายๆชุดไปสุ่มเลือกตัวอย่างแบบเลือกแล้วใส่กลับ (Sampling with replacement) แล้วนำมาสร้างเป็นต้นไม้ ซึ่งมีตัวอย่างส่วนหนึ่งที่ไม่ถูกเลือก ซึ่งข้อมูลส่วนนี้ เรียกว่า Out-of-Bag (OOB) จะถูกนำมาใช้ในการทดสอบต้นไม้ตัดสินใจ วิธีการดังกล่าวนี้ เรียกว่า Bagging ผลลัพธ์ที่ได้อย่างอิสระจากต้นไม้ตัดสินใจแต่ละต้นถูกนำมาคิดเป็นผลการโหวต ผลโหวตที่มากที่สุดก็

จะนำเอาต้นไม้นั้นออกมาสร้างเป็นโมเดล หลักการของ Random forest ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลทดสอบเพื่อประมาณความผิดพลาด เพราะข้อมูล OOB นั้นถูกนำมาใช้ทดสอบต้นไม้ตัดสินใจนั้นแล้ว

2.9 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชิน Support vector machine (SVM)

เป็นตัวจำแนกเชิงเส้น (Linear classifier) แบบ 2 คลาส ซึ่งเป็นที่ยอมรับถึงประสิทธิภาพของการจำแนกที่เหนือว่าวิธีการจำแนกอื่น ๆ ข้อได้เปรียบของ SVM คือมีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลที่มีมิติจำนวนมากได้ นอกจากนี้การใช้ฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel function) เพื่อแปลงข้อมูลไปยังมิติที่สูงขึ้นในปริภูมิคุณลักษณะ (Feature space) สามารถจำแนกข้อมูลที่มีความคลุมเครือได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการของ SVM คือการหาเส้นตรงที่มีมาร์จินที่โตที่สุด (Maximum margin) ที่สามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 คลาส ดังตัวอย่างในภาพที่ 10 เป็นข้อมูลขนาด 2 มิติ โดนถูกจำแนกออกเป็น 2 คลาส ได้แก่ + (O) และคลาส – (Δ) โดยเส้นตรงที่ใช้แบ่งข้อมูลมีมาร์จินเท่ากับ M=2w ซึ่ง เป็นความกว้างระหว่างเส้นตรงกับซัพพอร์เวกเตอร์ (Support vector) ของข้อมูลทั้ง 2 คลาส (และ) การจำแนกเชิงเส้นด้วยมาร์จินที่โตที่สุด



ภาพที่ 10 ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM บนข้อมูลขนาด 2 มิติ
ที่มา : (https://knowledge.snru.ac.th : เว็บไซต์)

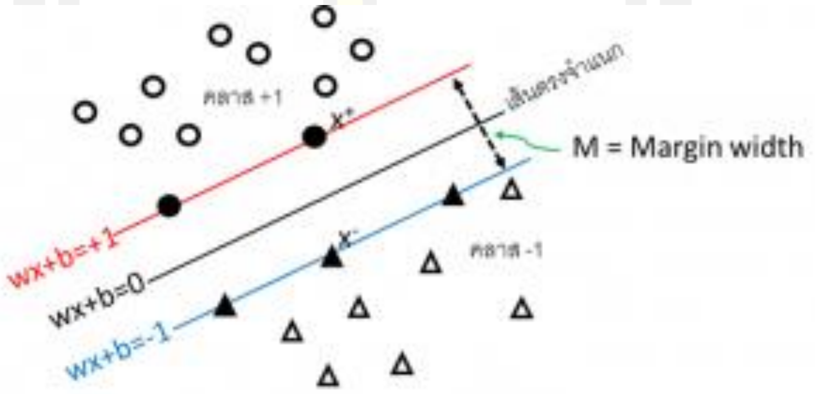
การใช้เส้นตรงสำหรับแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่มด้วยมาร์จินที่โตที่สุด (Maximum margin) เป็นวิธีที่การันตีได้ว่าจะสามารถแยกข้อมูลได้โดยมีความผิดพลาดน้อยที่สุด โดยมี Support vector เป็นตัวกำหนดขนาดของ Margin ดังนั้นถ้าข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เส้นตรงจำแนกก็ยังขึ้นอยู่กับ Support vector ซึ่งจะยังเป็น Maximum margin อยู่ ในภาพประกอบ 12 เป็นการหา Maximum

margin ในเชิงคณิตศาสตร์ จากภาพประกอบ 12 จะเห็นได้ว่าข้อมูล x จะถูกแบ่งเป็นระนาบบวกและระนาบลบ โดยมีสมการคือ $w \cdot x + b \geq 1$ สำหรับคลาส+ และ $w \cdot x + b \leq -1$ สำหรับคลาสลบ ดังนั้น จะสามารถจำแนกข้อมูลได้โดย

+1 ถ้า $w \cdot x + b \geq +1$

-1 ถ้า $w \cdot x + b \leq -1$

ถ้า $-1 < w \cdot x + b \leq +1$



ภาพที่ 11 การคำนวณ Maximum Margin

ที่มา : (https://knowledge.snru.ac.th : เว็บไซต์)

2.10 ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย Root mean square error (RMSE)

ข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจภาคสนามรวมทั้งหมด 85 ตัวอย่าง จะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Modeling data) จำนวน 60 % และกลุ่มข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง (Model test data) จำนวน 40 % และทำการประเมิน ความน่าเชื่อถือ ทางสถิติของแบบจำลอง โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ซึ่งเป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความแม่นยำของการประมาณ ตามสมการ (10)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\bar{y}_i - y_i)^2} \qquad \text{..........(10)}$$

เมื่อ y_i คือ ค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลอง

$\hat{y}_i$ คือ ค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจในสนาม

n คือ จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง

2.11 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ Coefficient of determination (R^2)

R^2 จะเป็นค่าที่บอกร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ที่เกิดจากอิทธิพลของค่า X ที่ได้จากการคำนวณจากสมการ ดังนี้

$$\mathrm{RMSE} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_o - y_i)^2}$$

เมื่อ y_o คือ ค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลอง

$\hat{y}_i$ คือ สมการถดถอย

y_i คือ ค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจในสนาม

n คือ จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง

ถ้าสมการมีค่า R^2 ยิ่งมีค่าสูงยิ่งทำให้เกิดความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมสูงตามไปด้วย โดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าค่าเป็น 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างตัวแปรตามและอิสระ แต่ถ้าค่าเป็น 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ (สุวดี นำพาเจริญ, 2015)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Ivushkin et al., 2019) ความเค็มของดินที่เพิ่มขึ้นเป็นปัญหาทางการเกษตรที่สำคัญที่ทำให้ผลผลิตพืชผลทางการเกษตรทั่วไปลดลง พลวัตของมันต้องใช้เทคนิคการวัดต้นทุนและแรงงานอย่างมีประสิทธิภาพ และยังไม่มีวิธีการที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง เราตรวจสอบศักยภาพของการตรวจจับระยะไกลสำหรับยานพาหนะไร้คนขับ (UAV) เพื่อวัดความเครียดจากเกลือในพืช quinoa ใช้

เซ็นเซอร์ UAV ที่แตกต่างกันสามตัว: กล้องความร้อน WIRIS กล้องไฮเปอร์สเปกตรัม Rikola และสแกนเนอร์ Riegl VUX-SYS light detection and ranging (LiDAR) ดัชนีพืชพรรณ อุณหภูมิของท้องฟ้า และความสูงของพืชที่วัดได้ LiDAR ได้มาจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล และความสัมพันธ์ของดัชนีเหล่านี้กับพารามิเตอร์ที่วัดพื้นดิน เช่น การบำบัดด้วยเกลือ การนำปากใบ และความสูงของต้นพืชจริงจะถูกวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่าดัชนีพืชพรรณหลากสเปกตรัมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายไม่มีประสิทธิภาพในการเลือกปฏิบัติระหว่างเกลือที่ได้รับผลกระทบและการควบคุมพืช Quinoa hyperspectral physiological reflectance index (PRI) ทำงานได้ดีที่สุดและแสดงให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างเกลือที่ได้รับผลกระทบและพืชที่ได้รับการบำบัด ความแตกต่างนี้ยังมองเห็นได้สำหรับความสูงของพืชที่วัดด้วย LiDAR โดยที่พืชที่ได้รับการบำบัดด้วยเกลือนั้นสั้นกว่าพืชควบคุมโดยเฉลี่ย 10 ซม. อุณหภูมิกระโจมได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าการตรวจหาสิ่งนี้จำเป็นต้องมีขั้นตอนเพิ่มเติมในการวิเคราะห์ – การจัดกลุ่ม Normalized difference vegetation index (NDVI) ขั้นตอนนี้รับรองการเปรียบเทียบอุณหภูมิสำหรับพิกเซลที่มีพืชเท่านั้น การรวมข้อมูลของเซ็นเซอร์ทั้งสามตัวในแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณช่วยเพิ่มพลังการทำนายและสำหรับชุดข้อมูลทั้งหมด R^2 ถึง 0.46 โดยกลุ่มย่อยบางกลุ่มมีค่า R^2 ที่ 0.64 เราสรุปได้ว่าการสำรวจระยะไกลที่เกิดจาก UAV นั้นมีประโยชน์สำหรับการวัดความเค้นของเกลือในพืช และแนะนำให้ใช้เทคนิคการวัดหลายแบบร่วมกันเพื่อเพิ่มความแม่นยำ

(Wei et al., 2020) ความเค็มของดินเป็นปัญหาระดับโลกที่เกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับการพัฒนาเศรษฐกิจสังคมอย่างยั่งยืน เมื่อเทียบกับเซนเซอร์ที่ใช้บ่อยจากดาวเทียม เครื่องบินไร้คนขับ (UAV) ที่ติดตั้งเซนเซอร์แบบหลายสเปกตรัมช่วยให้สามารถตรวจสอบความเค็มของดินด้วยความละเอียดเชิงพื้นที่และเวลาที่ต้องการสูง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณเกลือในดิน (SSC) ในเชิงปริมาณโดยใช้ภาพถ่ายหลายสเปกตรัมที่เกิดจาก UAV และสำรวจการขุดลึกของข้อมูลหลายสเปกตรัม เพื่อจุดประสงค์นี้ เก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 60 ตัวอย่าง (0–20 ซม.) จากพื้นที่ชลประทาน Shahaoqu ในมองโกเลียใน ประเทศจีน ในขณะเดียวกัน จากเซ็นเซอร์ UAV เราได้รับข้อมูลมัลติสเปกตรัม โดยอิงจาก 22 สเปกตรัมโควาเรียต (6 แถบสเปกตรัมและ 16 ดัชนีสเปกตรัม) โควาเรียตสเปกตรัมที่มีความละเอียดอ่อนถูกเลือกโดยวิธีการวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์สีเทา (GRA) อัลกอริธึมการฉายภาพต่อเนื่อง (SPA) และความสำคัญของตัวแปรในการฉายภาพ (VIP) และจากแบบจำลองการประมาณค่าความแปรปรวนร่วมที่เลือกเหล่านี้ ถูกสร้างขึ้นโดยใช้การถดถอยของ Back propagation neural network (BPNN) สนับสนุนการถดถอยเวกเตอร์ (SVR) และการถดถอยฟอเรสต์แบบสุ่ม (RF) ตามลำดับ ประสิทธิภาพของแบบจำลองได้รับการประเมินโดยสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) ค่าเฉลี่ยรากที่สองข้อผิดพลาด (RMSE) และอัตราส่วนของประสิทธิภาพต่อการเบี่ยงเบน

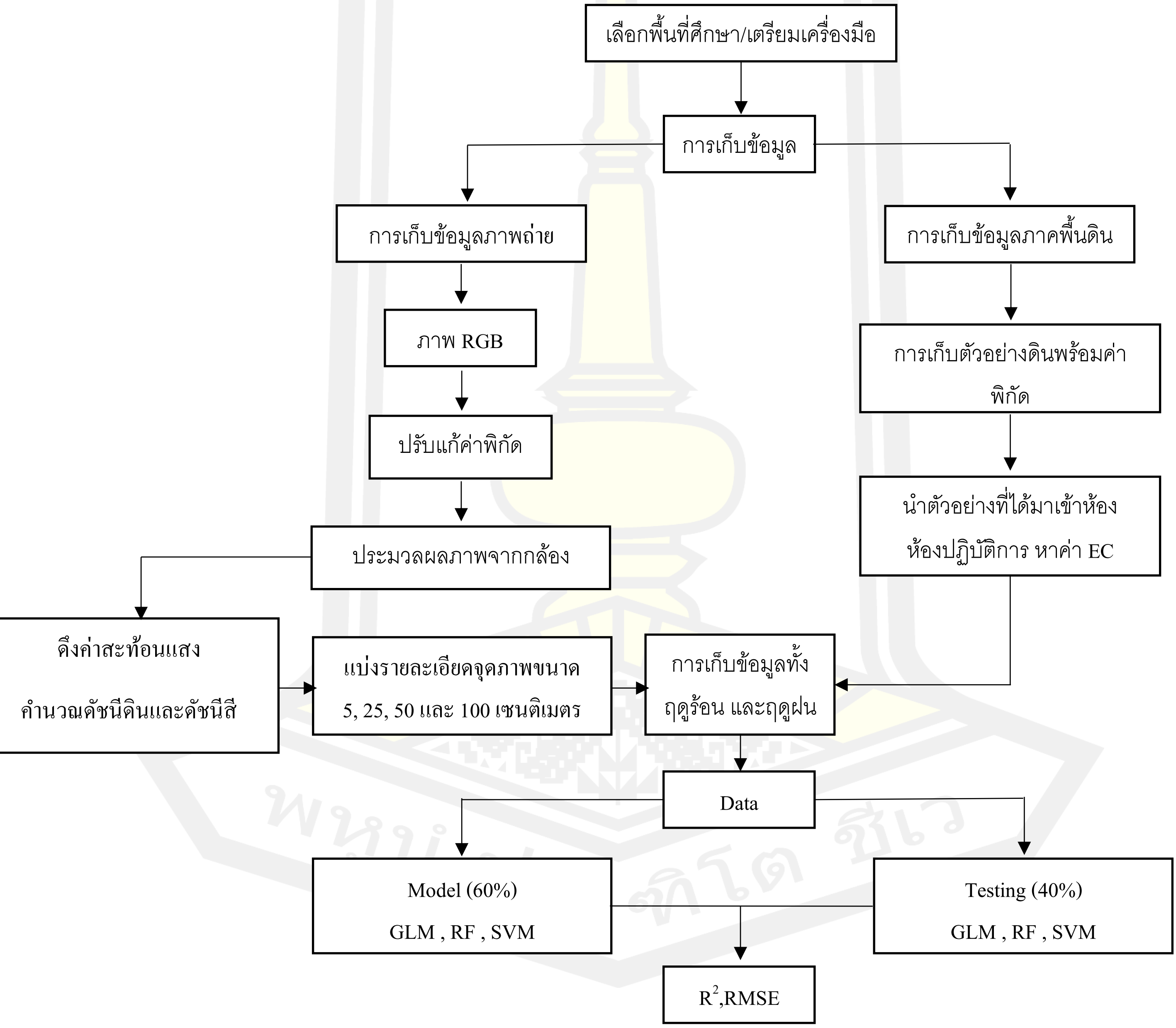
(RPD) ผลการวิจัยพบว่าความแม่นยำในการประมาณค่าของแบบจำลองได้รับการปรับปรุงอย่างเห็นได้ชัดโดยใช้วิธีการเลือกตัวแปรสามวิธี และ VIP มีประสิทธิภาพเหนือกว่า GRA และ GRA ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า SPA อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของแบบจำลองด้วยอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องทั้งสามนั้นแตกต่างกันอย่างมาก: RF > SVR > BPNN โมเดลการประมาณค่า SSC ทั้ง 12 แบบสามารถใช้ในการประมาณค่า SSC ในเชิงปริมาณ (RPD > 1.4) ในขณะที่โมเดล VIP-RF มีความแม่นยำสูงสุด (R^2c = 0.835, R^2P = 0.812, RPD = 2.299) ผลการศึกษานี้พิสูจน์ว่าเซ็นเซอร์มัลติสเปกตรัมที่เกิดจาก UAV เป็นเครื่องมือที่เป็นไปได้สำหรับการประมาณค่า SSC และเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการวิจัยที่คล้ายคลึงกันต่อไป

(ROMERO-TRIGUEROS, Cristina, et al., 2017) ผลการศึกษานี้พิสูจน์ว่าเซ็นเซอร์มัลติสเปกตรัมที่เกิดจาก UAV เป็นเครื่องมือที่เป็นไปได้สำหรับการประมาณค่า SSC และเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการวิจัยที่คล้ายคลึงกันต่อไป ภาพถ่ายหลายสเปกตรัมได้มาจากอากาศยานไร้คนขับแบบปีกคงที่ (UAV) ในขณะที่การวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซ สถานะน้ำของพืช ลักษณะโครงสร้างของใบ และคลอโรฟิลล์พร้อมกันนั้นถ่ายในฟาร์มเชิงพาณิชย์ที่ตั้งอยู่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของสเปนโดยมีการชลประทานส้ม 2 สายพันธุ์ ได้แก่ เกรปฟรุตและส้มแมนดาริน เป็นเวลาแปดปีกับน้ำรีเคลมน้ำเกลือ (RW) ร่วมกับการชลประทานที่ขาดดุล (RDI) การวัดที่ระดับใบไม้และการบินในอากาศดำเนินการวันละสองครั้ง ที่ 7 และ 10 GMT การชลประทานด้วย RW ลดการแลกเปลี่ยนก๊าซและมวลใบแห้งต่อหน่วยพื้นที่ (LMA) บนส้มโอ อย่างไรก็ตาม ความเค็มจาก RW ส่งผลให้ศักย์แรงดัน (ΨP) เพิ่มขึ้นในส้มแมนดาริน และทำให้สามารถคงการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (A) และค่าการนำไฟฟ้าของปากใบ (gs) เมื่อความดันไอขาดดุลเพิ่มขึ้น ในพืชทั้งสองชนิด ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์รวมของใบ (ChlT) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญโดย RW นอกจากนี้ RDI ยังลด A, gs และศักย์น้ำต้นกำเนิด (Ψs) บนส้มโอโดยไม่คำนึงถึงคุณภาพน้ำ เกี่ยวกับข้อมูลสเปกตรัม ความยาวคลื่นสีแดง (R) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับ Chl T ($p < 0.001$) ยกเว้นเมื่อภาษาจีนกลางอยู่ภายใต้สภาพอากาศที่ตึงเครียด (ที่ 10 GMT); เนื่องจาก R ได้รับอิทธิพล นอกเหนือจาก Chl T โดยสถานการณ์แลกเปลี่ยนน้ำและก๊าซของโรงงาน ใกล้อินฟราเรด (NIR) เป็นตัวบ่งชี้ที่มีประโยชน์ของ Ψs, A และ gs บนพืชทั้งสอง ดัชนีความแตกต่างของพืชพันธุ์ที่ทำให้เป็นมาตรฐาน (NDVI) มีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับการแลกเปลี่ยนก๊าซในทั้งสองสายพันธุ์และกับ Ψ เฉพาะในส้มแมนดารินเท่านั้น สุดท้าย เราได้รวมข้อมูลจากทั้งสายพันธุ์ Citrus และตัวบ่งชี้ที่ดีที่สุดคือ NIR และ R ความแปลกใหม่ของการศึกษาครั้งนี้คือการแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงรายวันในลักษณะทางสรีรวิทยาและโครงสร้างของ Citrus ที่ชลประทานด้วย RW รวมกับ RDI สามารถกำหนดได้ด้วยภาพ Multispectral จาก UAV

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการศึกษา



ภาพที่ 12 แผนผังขั้นตอนวิธีการศึกษา

3.2 พื้นที่ศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ดำเนินการศึกษาทุ่งนาประมาณ 84 ไร่ ในเขตภาคอีสานตอนกลาง นั่นคือ พื้นที่บ้านโพนสิม ตำบลหัวนาคำ อำเภอยางตลาด กาฬสินธุ์ 46120 อยู่ที่พิกัด 16°23'53.1" เหนือ และ 103°16'47.0" ตะวันออก ซึ่งเป็นทุ่งนา ที่ไม่สามารรถปลูกพืชต่างๆได้ โดยพื้นที่ส่วนใหญ่โดยบริเวณรอบๆ ชาวบ้านในพื้นที่จะใช้เพื่อทำการต้มเกลือขาย 50% เลี้ยงสัตว์ 25% ปลูกพืชทนเค็ม 25 และในช่วงฤดูการทำนาข้าวชาวบ้านจะมาหว่านเมล็ดข้าวแต่เมล็ดข้าวเหล่านั้นจะไม่ค่อยเกิดอัน

เนื่องมาจากสาเหตุความเค็มของดิน และเมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวก็มักจะได้ผลผลิตที่ข่อนข้างต่ำแต่ชาวบ้านในพื้นที่ก็ยอมรับในสภาพพื้นที่

ภาพที่ 13 แสดงจุดเก็บข้อมูล

3.3 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3.3.1 :ซอฟแวร์

1. QGIS 3.8
2. Agisoft PhotoScan Professional
3. RapidMiner Studio

3.3.2 ฮาร์แวร์

1. คอมพิวเตอร์ (Computer) หรือโน้ตบุ๊ค (Notebook) สำหรับประมวลผลโดยใช้ระบบปฏิบัติการ Windows10 Ram อย่างน้อย 4 GB การ์ดจออย่างน้อย 1 GB

3.3.3. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในภาคสนาม

1. Drone Mavic air 1 (Sensor R, G, B)

2. หมุดเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 x 15 เซนติเมตร

3. โทรศัพท์มือถือ สมาร์ทโฟน ทั้งระบบปฏิบัติการ iOS และ Android

4. ตลับเมตร (Measuring tape)

5. GNSS RTK KQ M8pro

6. ขาตั้ง GNSS RTK (2 ขา)

7. เครื่องมือปรับเทียบการสะท้อนของแสง

8. เป้าจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน ทำจากผ้าไวนิล 2 สีสลับกันเป็นตารางหมากรุก ขนาด 1x1 เมตร

9. แอพพลิเคชั่น PIX4D Capture

10. ค้อน

11. จอบ

12. สว่านไฟฟ้า (พร้อมหัวเจาะดิน)

13. สมุดจดบันทึกข้อมูล

3.3.4 ห้องปฏิบัติการ

1. เครื่องช่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2. บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร

3. เตาอบดิน

4. น้ำสะอาด

5. คอน (ทุบดิน)

7. ตะแกรงเบอร์ 10 (ช่องเปิดของตะแกรง 2 มิลลิเมตร)

8. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC)

3.4 การเก็บข้อมูลสนาม

ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ การเก็บข้อมูลทางอากาศและการเก็บข้อมูลภาคพื้นดิน

3.4.1 การบินถ่ายภาพ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. การรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs) ให้มีค่าพิกัด และค่าระดับ โดยกำหนดให้ตำแหน่งพิกัดจุดควบคุมภาพ จะกระจายอยู่ในพื้นที่ 9 จุด

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

2. การวางแผนการบินถ่ายภาพด้วยอากาศจากอากาศยานไร้นักบิน Mavic air 1 ทำการวางแผนการบินด้วย Application PIX4D บนระบบปฏิบัติการ Android กำหนด ความสูงของการบิน เท่ากับ 90 เมตร ทำการถ่ายภาพให้มีระยะซ้อนด้านหน้าร้อยละ 80 และระยะ ซ้อนด้านข้างร้อยละ 60

3. เลือกทำการการบินถ่ายภาพ ในวันที่สภาพอากาศดี อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25 ถึง 35 องศาเซลเซียส ความเร็วลมไม่เกิน 5 กม.ต่อชั่วโมง มีทัศนวิสัยในการมองเห็นสูง

ตารางที่ 4 แสดงการบินของโดรนในการเก็บข้อมูล

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	ช่วงฤดู
1	5 เมษายน 2564	ร้อน
2	5 ธันวาคม 2564	ฝน

3.4.2 การเก็บข้อมูลภาคพื้นดิน มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ทำการวางหมุดพื้นที่ที่ทำการสำรวจ

2. เชื่อมต่อ GNSS RTK กับระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS NETWORK) ของประเทศไทย (กรมที่ดิน)

3. สำรวจโดยใช้ GNSS RTK เพื่อนำพิกัดไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ (เก็บค่าพิกัดบริเวณผิวดินก่อนทำการขุด)

4. นำถุงเก็บตัวอย่าง ไปเก็บตัวอย่างที่บริเวณผิวดิน และใช้จอบ เสียม หรือสว่านไฟฟ้า ขุดดินลึก 30 เซนติเมตร แล้วเก็บตัวอย่างดิน (ตัวอย่างดินจะมี 2 ความลึกคือความลึกที่ 0 และ 30 เซนติเมตร)

3.5 การวิเคราะห์ในห้องทดลอง

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องทดลองโดยการหาการน้ำไฟฟ้าของดิน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 นำดินที่ได้มาเขาเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.5.2 จากนั้นนำดินดังกล่าวมาทุบ หรือบดให้ละเอียด

3.5.3 แล้วนำดินที่ละเอียดมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 10 (ช่องเปิดของตะแกรง 2 มิลลิเมตร)

3.5.4 แล้วนำดินที่ผ่านตะแกรง มาผสมกับน้ำสะอาดในบีกเกอร์ ขนาด 400 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 (ดิน ต่อ น้ำ)

3.5.5 จากนั้นทำการกวนน้ำ ให้เกลือที่อยู่ในดินละลายน้ำ (ใช้ประมาณ 1 นาที)

3.5.6 เมื่อกวนน้ำเสร็จ ให้ตั้งบีกเกอร์พักไว้ให้ดินตกตะกอน (ประมาณ 5 นาที) และจึงทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน

3.6 คุณสมบัติกล้องที่ใช้ในการศึกษา (Sensor)

3.6.1 Mavic air 1 ใช้เซ็นเซอร์ CMOS เหมือนกับ Mavic pro แต่ ISO Range มีความแคบกว่า หมายความว่ากล้องที่ติดมากับ Mavic air 1 รวมเซ็นเซอร์ CMOS ขนาด 1/2.3 นิ้ว 12 ล้านพิกเซลและเลนส์ f/2.8 ที่มีความยาวโฟกัสเทียบเท่า 35 มิลลิเมตร ที่ 24 มิลลิเมตร เพื่อถ่ายภาพและวิดีโอคุณภาพสูง

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.1 นำภาพที่ได้จากการบินโดรนโดยกล้อง Mavic Air 1 RGB Camera มาทำการประมวลผลภาพ โดยใช้ Agisoft photoscan professional สร้างแผนที่ภาพออร์โท (Orthophoto map)

3.7.2 นำภาพที่ได้จาก Agisoft photoscan professional มาแบ่งระยะพื้นต่อพิกเซลขนาด 5, 25, 50, และ 100 เซนติเมตร แล้วจึงมาหาค่าการสะท้อนแสงในบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินโดยตัวอย่างก็แบ่งเป็น 2 ความลึก คือที่ผิวดิน และที่ความลึกใต้ดิน 30 เซนติเมตร โดยใช้ Qgis 3.8 และหาค่าการนำไฟฟ้าของดินจากข้อมูลที่ได้จากสนาม และนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำแบบจำลองทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยทำการแบ่งข้อมูลสนามออกเป็น 2 ชุด คือ Training Data และ Testing Data แบบ Split Half และทำ Data Rotation 200 ครั้ง จากนั้นคำนวณค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ ค่า RMSE ของแต่ละครั้ง และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05

3.7.3 ทำตามข้อ 3.7.2 ทั้งในการเก็บข้อมูลของฤดูร้อน และฤดูฝน

3.8 แผนการศึกษา

ตารางที่ 5 แผนการดำเนินงานศึกษา ปี 2564 ช่วงต้น

ลำดับ	ระยะเวลา (สัปดาห์)	มีนาคม				เมษายน				พฤษภาคม				มิถุนายน				กรกฎาคม			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

พหุนํ ปณฺฑิโต ชีเว

	กิจกรรม																				
1	ปรึกษาหัวข้อวิจัยกับอาจารย์ที่ปรึกษา	↔	↔	↔	↔																
2	เริ่มเก็บข้อมูลภาคสนาม (รอบ1)					↔	↔														
3	วิเคราะห์ข้อมูล							↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔

ตารางที่ 6 แผนการดำเนินงานศึกษา ปี 2564-2565 ช่วงปลาย

ลำดับ	ระยะเวลา (สัปดาห์) กิจกรรม	สิงหาคม					กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน				ธันวาคม			
		1	2	3	4		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
4	จัดทำ TS1 เพื่อขออนุมัติชื่อเรื่อง และแต่งตั้งอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	↔	↔	↔	↔																	
5	จัดทำบทที่ 1, 2, 3					↔																
6	จัดทำแบบขออนุมัติสอบเค้าโครงวิทยานิพนธ์ TS2								↔	↔	↔	↔										
7.	สอบเค้าโครงวิทยานิพนธ์ (วันที่ 6 พฤษจิกายน 2565)													↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔

3.9 งบประมาณ

ตารางที่ 7 ตารางแสดงงบประมาณในงานวิทยานิพนธ์

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย	รวม (บาท)

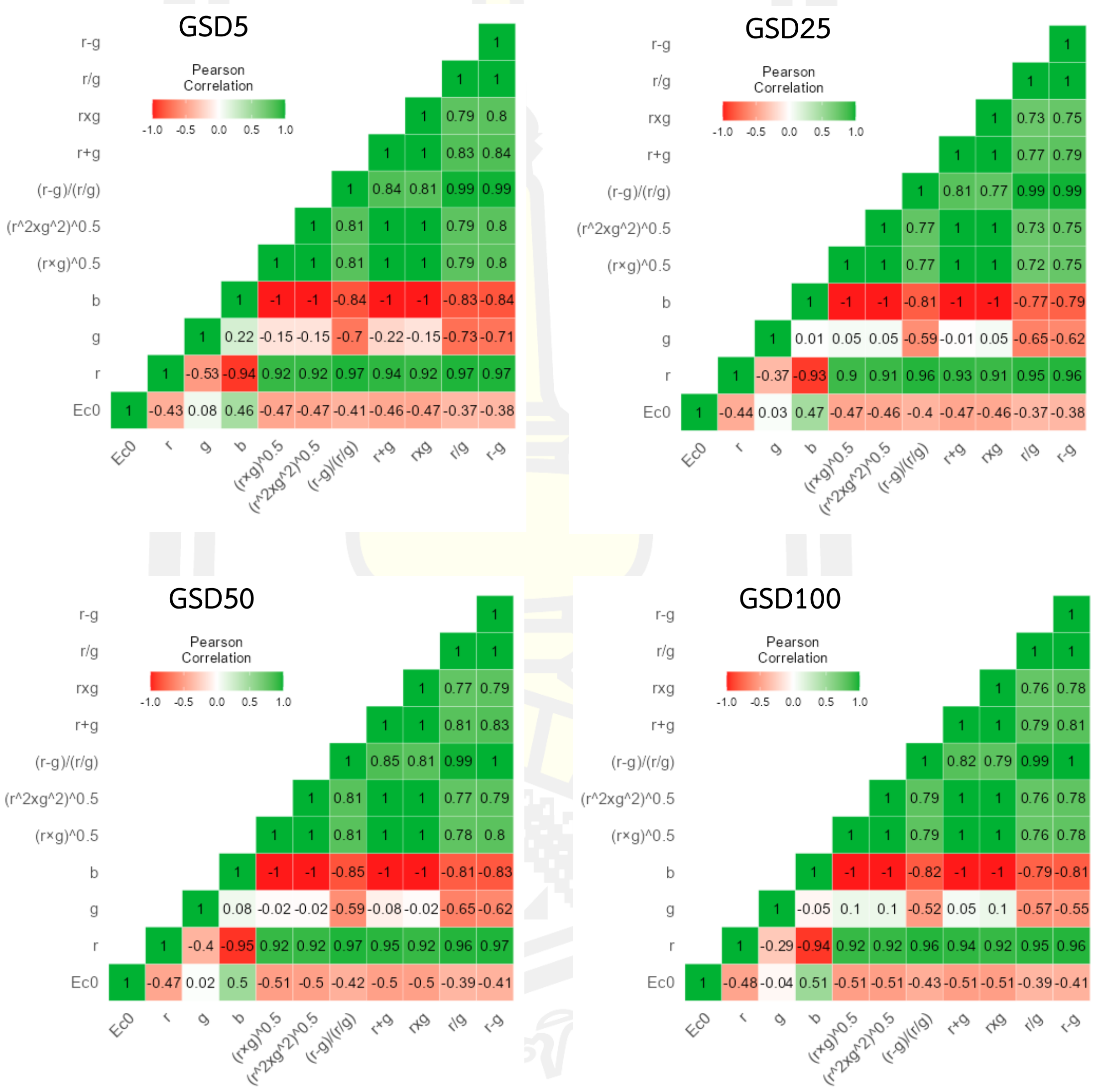
				(บาท)	
1	ค่าเก็บข้อมูลสนาม	2	เหมา	1000	2000
2	การสำรวจด้วย UAV	2	เหมา	3000	6000
3	อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง	2	ชุด	500	1000
4	ค่าน้ำมันรถ	2	เหมา	500	1000
5	ค่าที่พัก	4	คืน	500	2000
6	ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด	2	เหมา	1500	3000
7	รวม				15000

บทที่ 4
ผลการศึกษา

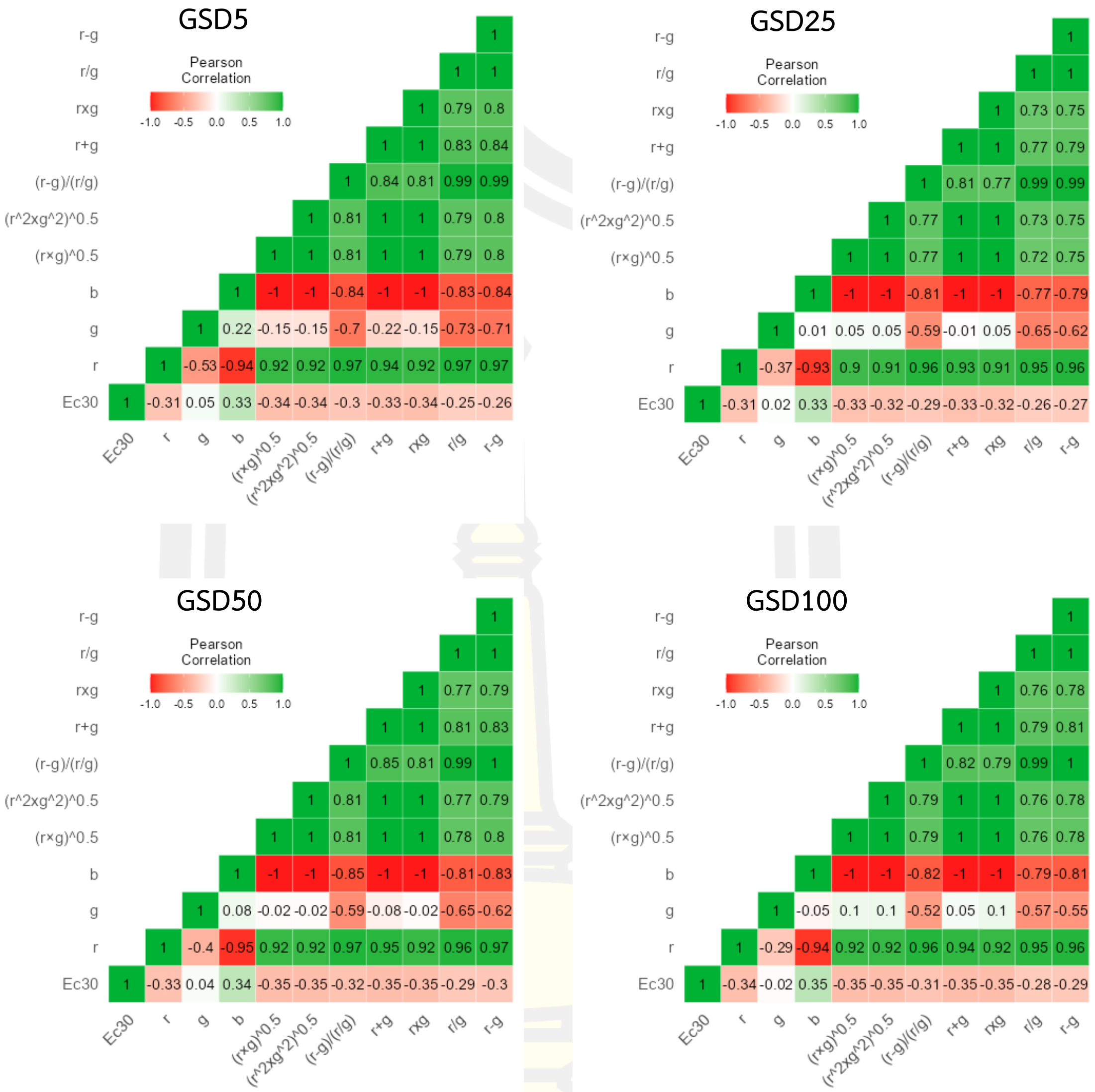
จากการสำรวจภาคสนามโดยใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) โดยใช้รายละเอียดจุดภาพขนาด 5, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร และทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) จากห้องปฏิบัติการ โดยค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่น Red, Green และ Blue จากพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แสดงรายละเอียดในภาคผนวก แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (GLM) แบบเส้นตรง (Linear function) แบบจำลองการสุ่มป่าไม้ (RF) และซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (SVM) ร่วมกับข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) ที่ได้จากภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ซึ่งข้อมูลจากภาพถ่ายภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) จะประกอบไปด้วยกล้องที่ติดตั้งบน Drone Mavic air 1 มี ให้ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นคือ Red เท่ากับ 660 nm Green เท่ากับ 550 nm และ BLUE เท่ากับ 475 nm ของจุดภาพที่มีค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ตรงกันกับค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาและทำการแปลงข้อมูลภาพที่ได้ให้เป็นข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) เพื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) จากภาคสนามทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Calibration data sets) จำนวนร้อยละ 60 และกลุ่มข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation data sets) จำนวนร้อยละ 40 กลุ่มข้อมูล โดยแต่ละแบบจำลองจะถูกคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และทำการประเมินความน่าเชื่อถือ ทางสถิติของแบบจำลอง โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของแต่ละครั้ง และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความเค็มของดิน

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าความเค็มของดินที่บริเวณผิวดิน (Ec0) และบริเวณใต้ดินที่ความลึก 30 เซนติเมตร (Ec30) กับ ข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับซึ่งประกอบไปด้วย ค่าการสะท้อนแสง (r, g, b) ดัชนีความเค็มของ D Abelkader ดัชนีพืชพรรณสีเขียวแดงของ C.J.Tucker และดัชนีความเข้มของ HT Fourati โดยใช้รายละเอียดจุดภาพขนาด 5, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร มีค่าความสัมพันธ์ดังรูปที่ 14 และ 15



ภาพที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ค่าการนำไฟฟ้าที่ฤดูร้อน กับข้อมูลลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบ Correlation Heatmap



ภาพที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ค่าการนำไฟฟ้าที่ฤดูฝน กับข้อมูลลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับใน รูปแบบ Correlation Heatmap

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลจะสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรได้มีความสัมพันธ์กับค่าความเค็มของดิน ซึ่งจะแสดงเป็นสมการเส้นตรงที่ความลึกผิวดิน (Ec0) และความลึกใต้ดิน (Ec30) ดังตารางที่ 8 และ 9

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ความลึกผิวดิน (Ec0)

GSD (ซม.)	สมการ (ม.)	R^2	RMSE (ม.)
5	Ec0 = 374.035 ((r-g)/(r/g)) - 1453.817 (g) - 989.087 (r+g) +263.283	0.409	14.246
25	Ec0 = 117.005 (g) -1748.257 ((rxg)^0.5) + 1254.709 ((r^2xg^2)^0.5) + 430.950	0.375	12.748
50	Ec0 = 459.691 (b) - 51.548 (g) – 107.983	0.360	13.298
100	Ec0 = 497.099 (b) – 38.033 (g) – 122.977	0.357	14.088

หมายเหตุ : ที่ความลึกผิวดิน (Ec0)

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ความลึกใต้ดิน (Ec30)

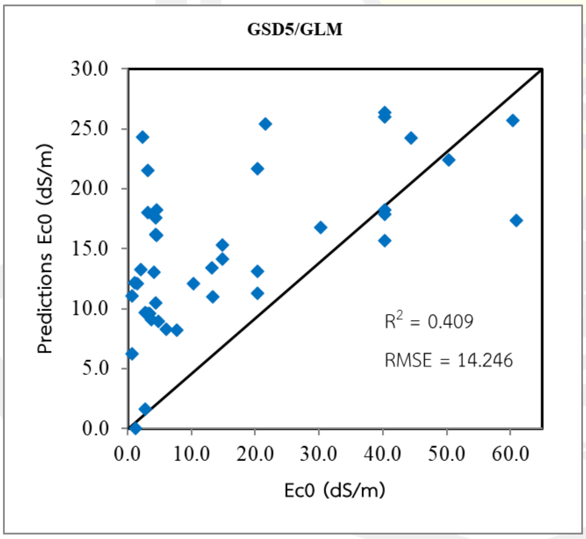
GSD (ซม.)	สมการ (ม.)	R^2	RMSE (ม.)
5	Ec30 = -59.159 (g) - 171.654 ((r-g)/(r/g)) + 19.029 (r/g) + 35.379 (r-g) + 4.242	0.243	1.798
25	Ec30 = 38.146 (r) – 96.831 (g) – 95.485 ((r-g)/(r/g)) + 22.857	0.210	1.636
50	Ec30 = -108.378 (rxg) – 5.406 (r-g) + 15.269	0.225	1.610
100	Ec30 = -373.467 (g) + 300.792 ((rxg)^0.5) – 236.800 ((r-g)/(r/g)) + 28.200	0.217	1.712

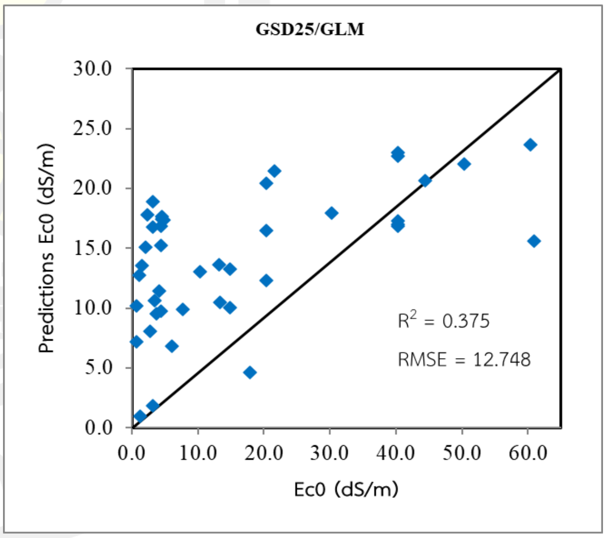
หมายเหตุ : ที่ความลึกใต้ดิน (Ec30)

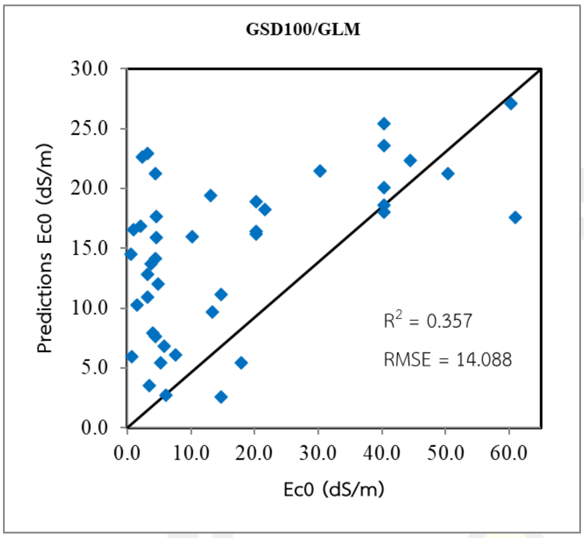
ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียว และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (GLM) แบบเส้นตรง แบบจำลองการสุ่มป่าไม้ (RF) และซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (SVM) ที่รายละเอียดจุดภาพขนาด 5, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ความลึกผิวดิน (Ec0) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.270 ถึง 0.561 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 12.784 ถึง 17.691 ดังแสดงในตารางที่ 10 และภาพแสดง Scattering plots ภาพที่ 16 ตามลำดับ

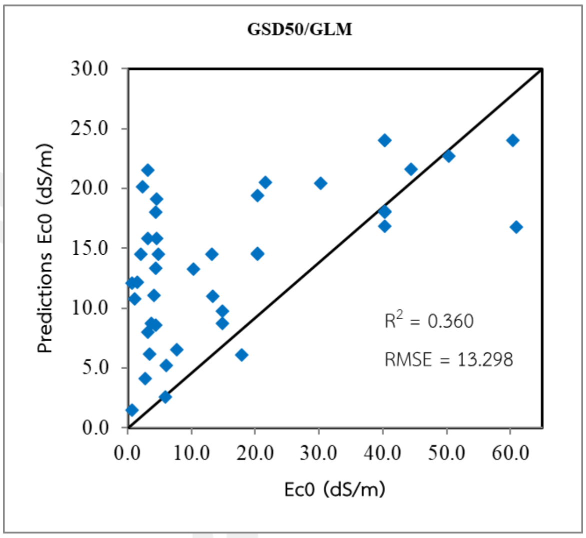
ตารางที่ 10 R^2 และ RMSE ของการประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec0)

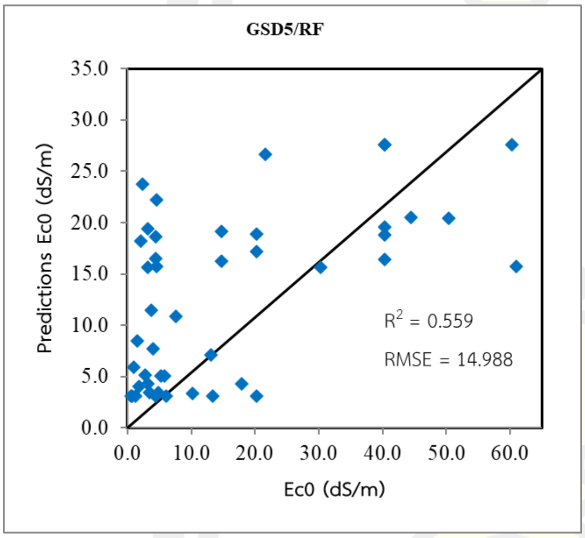
Model	GSD 5 (ซม.)		GSD 25 (ซม.)		GSD 50 (ซม.)		GSD 100 (ซม.)	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
GLM	0.409	14.246	0.375	12.784	0.360	13.298	0.357	14.088
RF	0.559	14.988	0.494	14.287	0.282	14.000	0.270	15.246
SVM	0.270	12.841	0.561	16.698	0.364	17.691	0.297	17.080

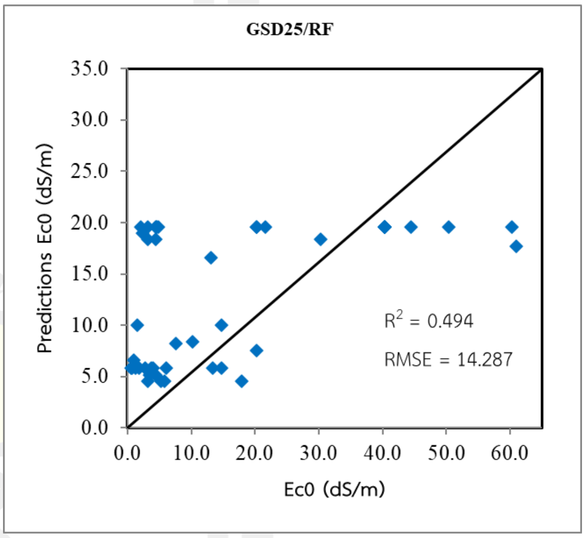


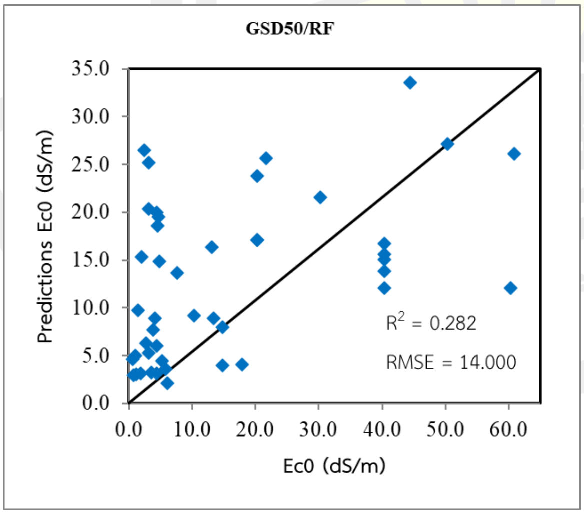


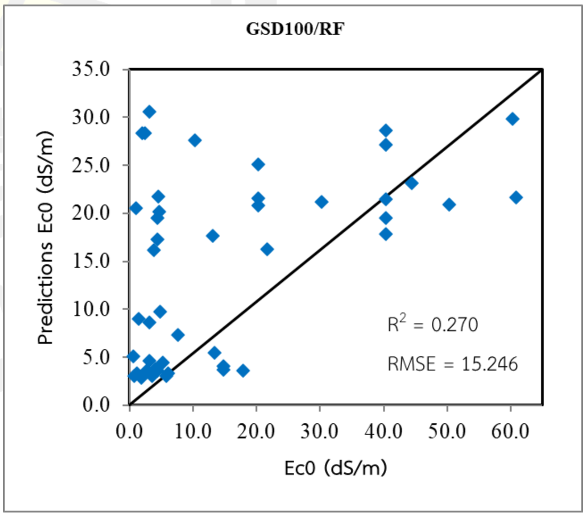

GSD100/GLM
Predictions Ec0 (dS/m)
Ec0 (dS/m)
R2 = 0.357
RMSE = 14.088

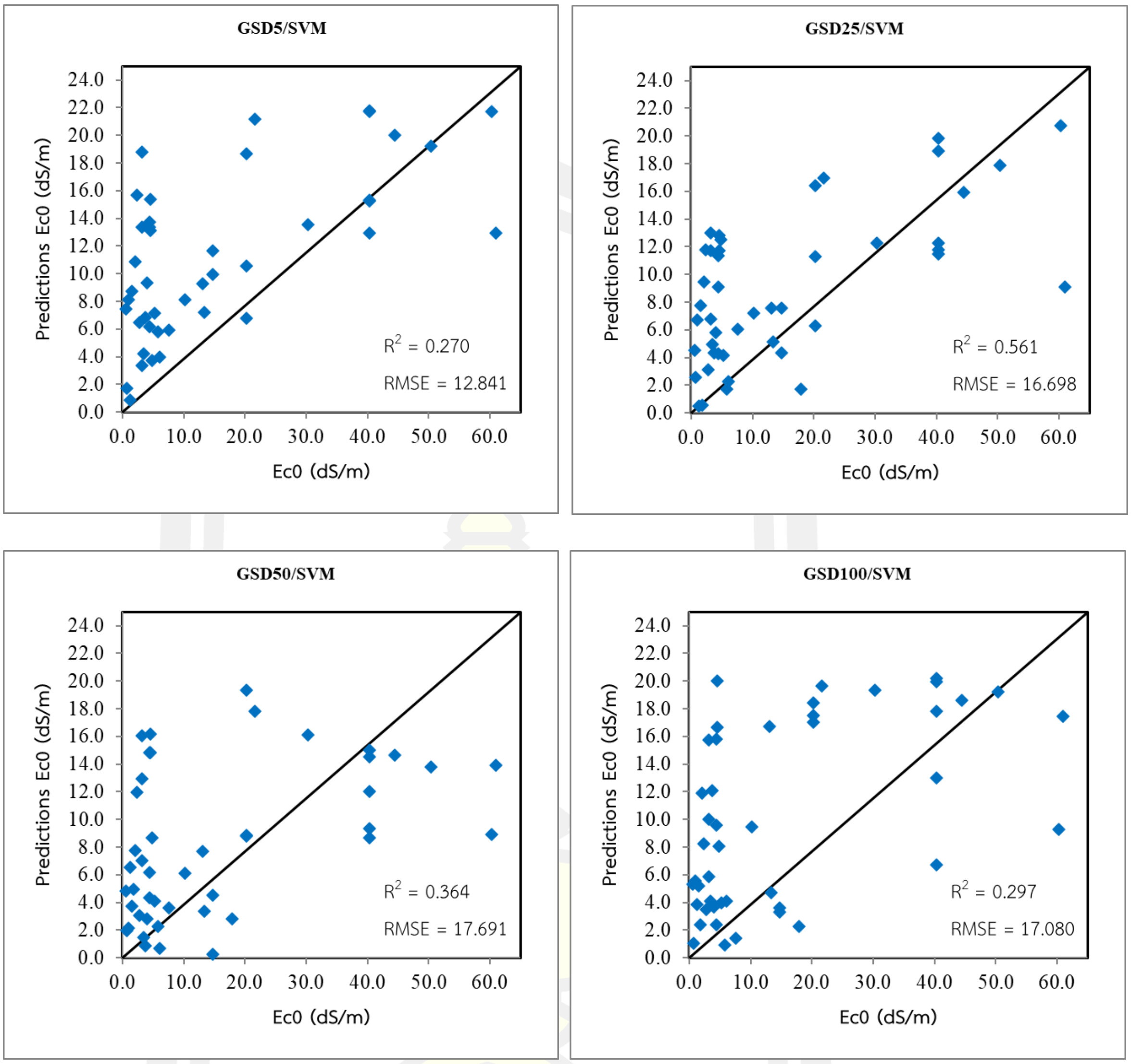

GSD50/GLM
Predictions Ec0 (dS/m)
Ec0 (dS/m)
R2 = 0.360
RMSE = 13.298


GSD5/RF
Predictions Ec0 (dS/m)
Ec0 (dS/m)
R2 = 0.559
RMSE = 14.988


GSD25/RF
Predictions Ec0 (dS/m)
Ec0 (dS/m)
R2 = 0.494
RMSE = 14.287


GSD50/RF
Predictions Ec0 (dS/m)
Ec0 (dS/m)
R2 = 0.282
RMSE = 14.000


GSD100/RF
Predictions Ec0 (dS/m)
Ec0 (dS/m)
R2 = 0.270
RMSE = 15.246

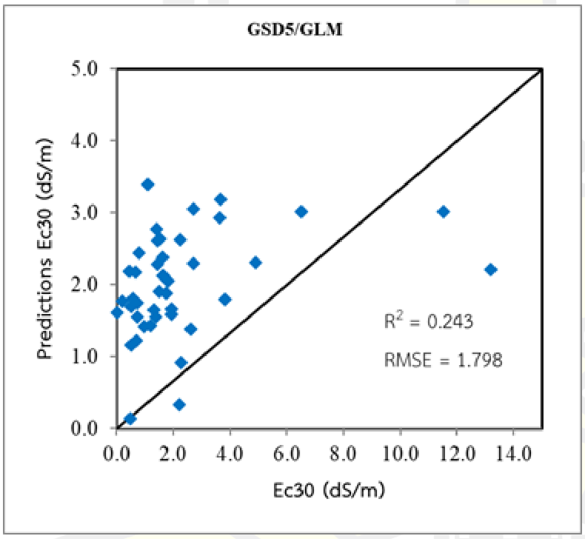


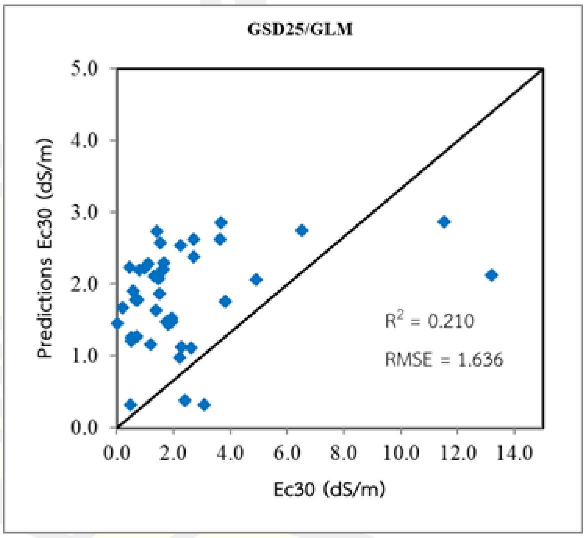
ภาพที่ 16 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์จากการวัดค่าการนำไฟฟ้าที่ความลึกผิวดิน (Ec0) และจากการประมาณของข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB

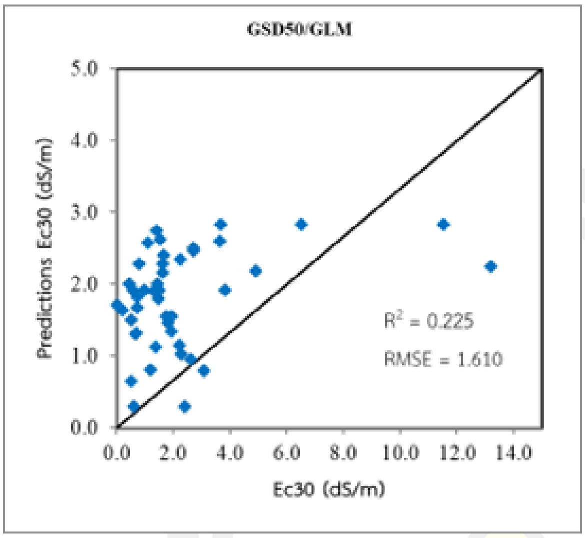
และให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ความลึกใต้ดิน (Ec30) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.160 ถึง 0.448 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 1.473 ถึง 1.798 ดังแสดงในตารางที่ 11 และภาพแสดง Scattering plots ภาพที่ 17 ตามลำดับ

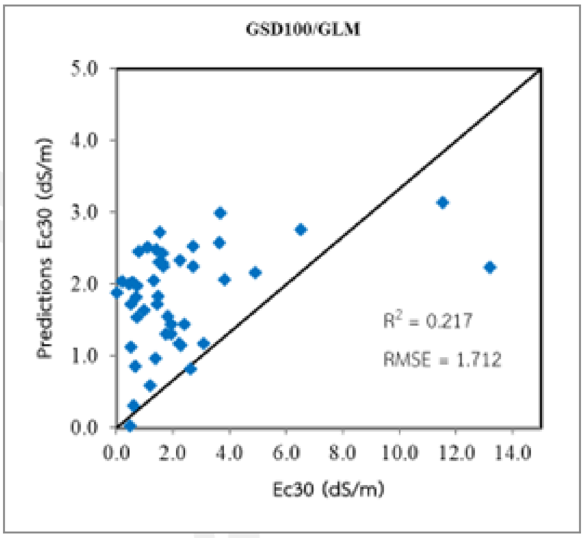
ตารางที่ 11 R^2 และ RMSE ของการประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec30)

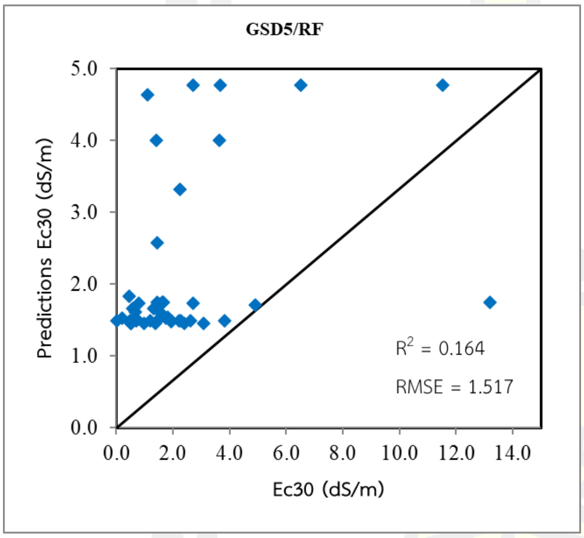
Model	GSD 5 (ซม.)		GSD 25 (ซม.)		GSD 50 (ซม.)		GSD 100 (ซม.)	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
GLM	0.243	1.798	0.210	1.636	0.225	1.610	0.217	1.712
RF	0.163	1.517	0.209	1.718	0.448	1.588	0.160	1.473
SVM	0.165	1.772	0.187	1.794	0.255	1.755	0.209	1.780

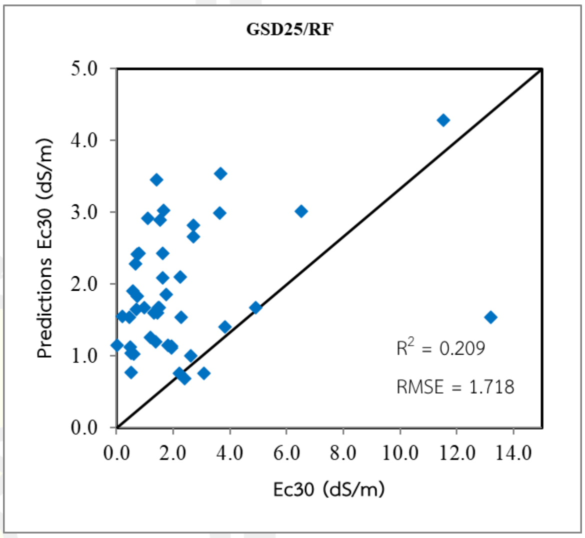


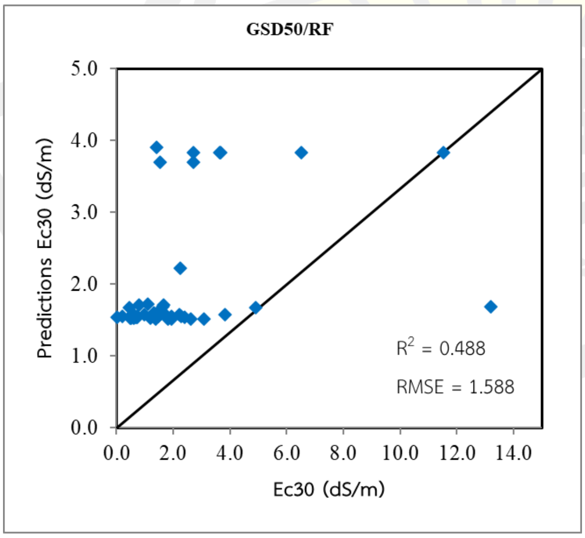


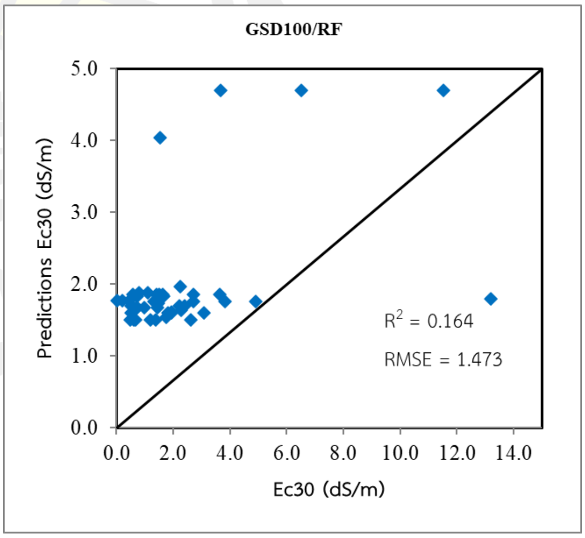

GSD50/GLM
Predictions Ec30 (dS/m)
Ec30 (dS/m)
R2 = 0.225
RMSE = 1.610

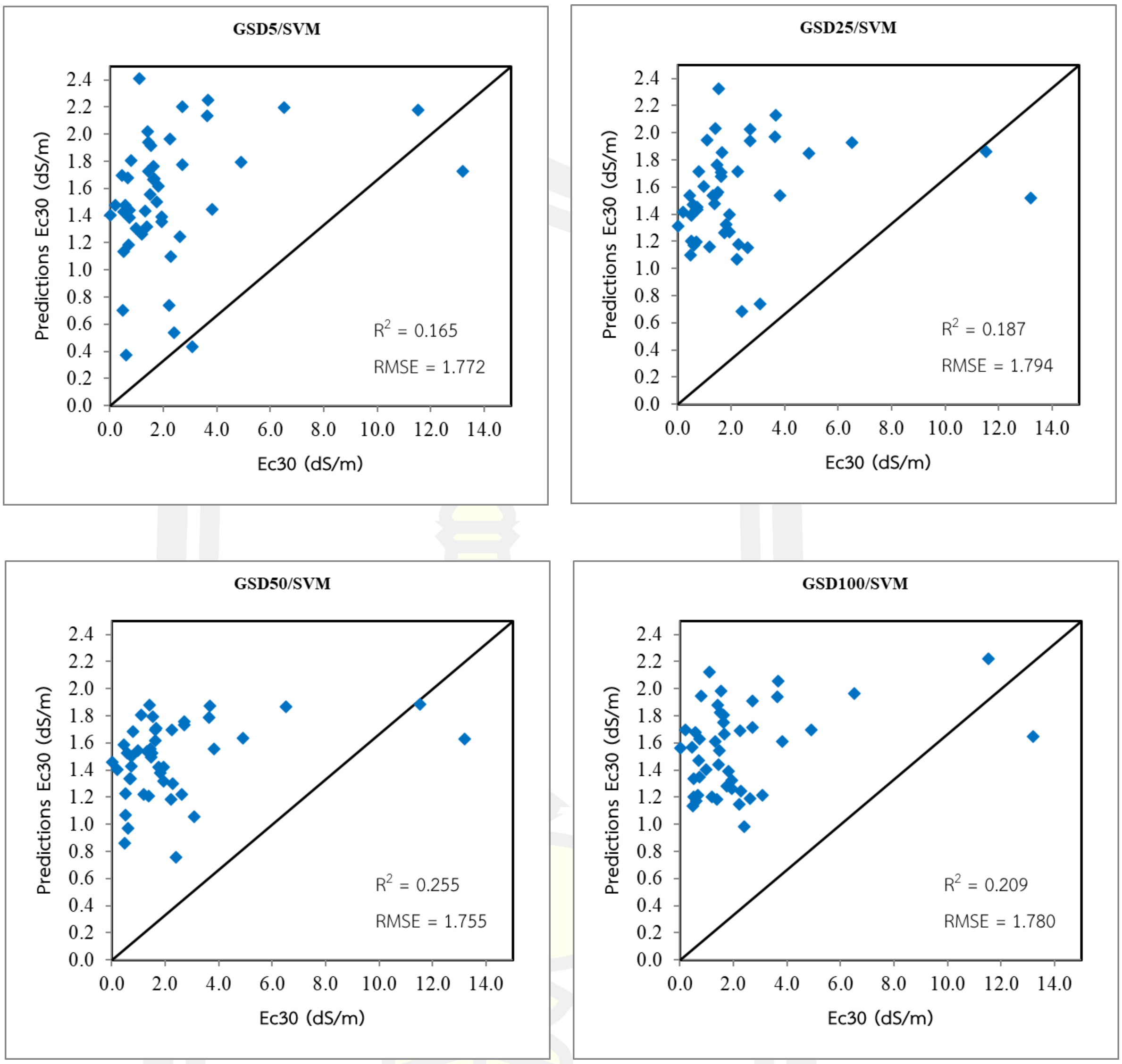

GSD100/GLM
Predictions Ec30 (dS/m)
Ec30 (dS/m)
R2 = 0.217
RMSE = 1.712


GSD5/RF
Predictions Ec30 (dS/m)
Ec30 (dS/m)
R2 = 0.164
RMSE = 1.517


GSD25/RF
Predictions Ec30 (dS/m)
Ec30 (dS/m)
R2 = 0.209
RMSE = 1.718


GSD50/RF
Predictions Ec30 (dS/m)
Ec30 (dS/m)
R2 = 0.488
RMSE = 1.588

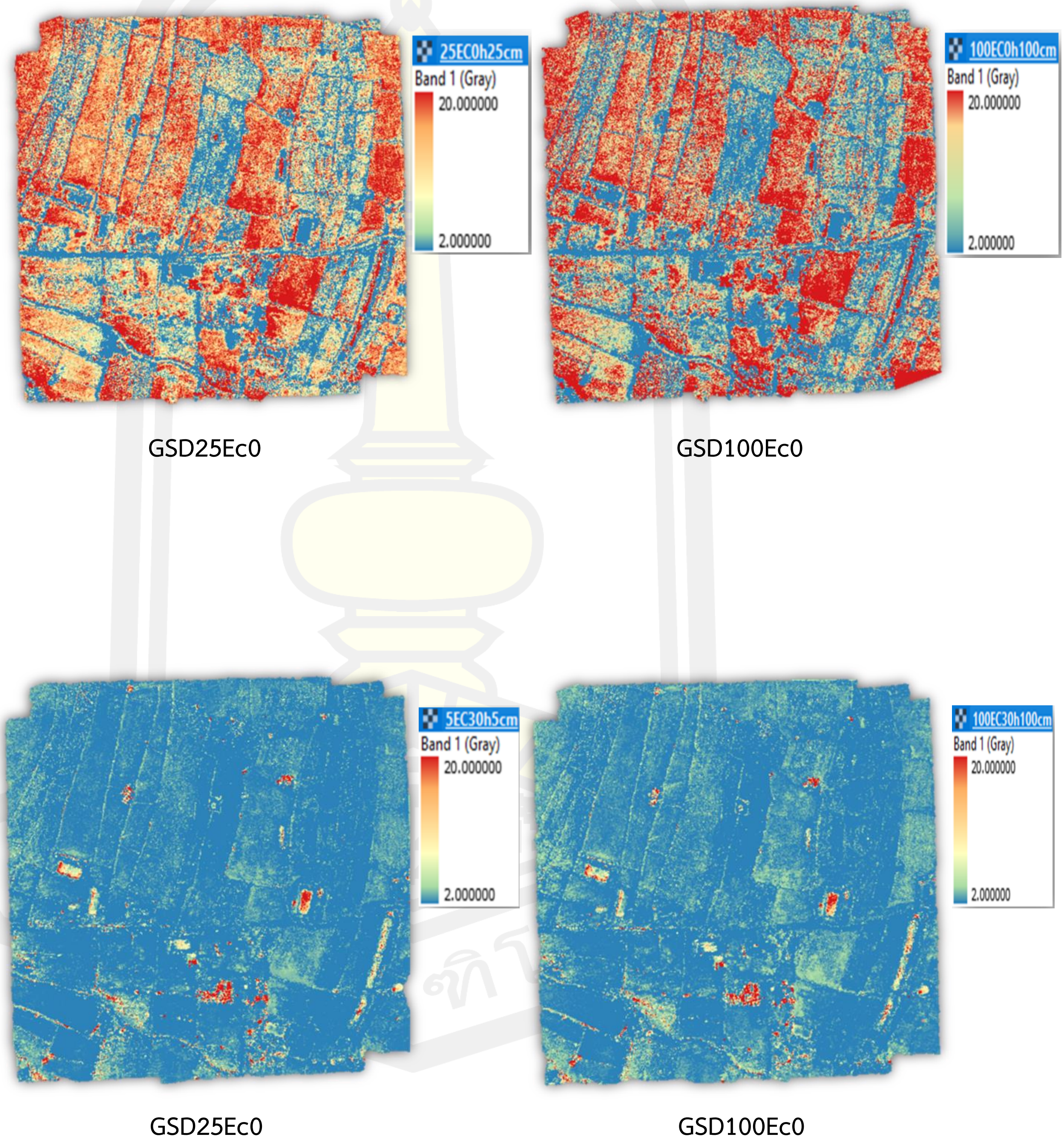

GSD100/RF
Predictions Ec30 (dS/m)
Ec30 (dS/m)
R2 = 0.164
RMSE = 1.473



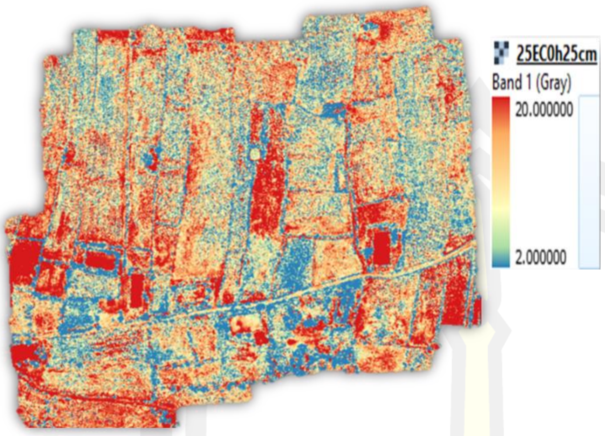
ภาพที่ 17 แสดง Scattering plots ความสัมพันธ์จากการวัดค่าการนำไฟฟ้าที่ความลึกใต้ดิน (Ec30) และจากการประมาณของข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง RGB

4.2 แผนที่การติดตามความเค็มของดิน (ฤดูร้อน-ฤดูฝน)

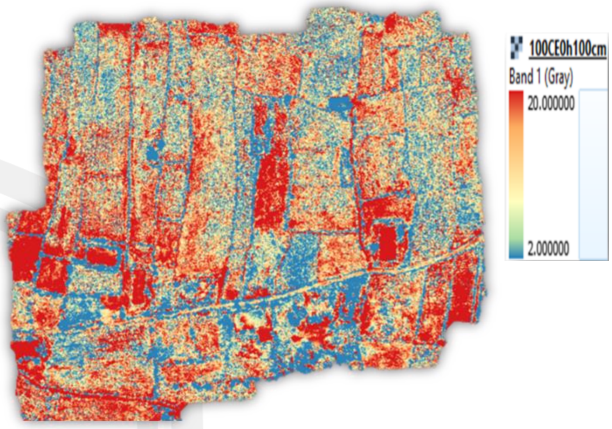
จากวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามร่วมกับข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับซึ่งประกอบไปด้วยค่าการสะท้อนแสง (r, g, b) อัตราส่วนค่าการสะท้อนแสง ด้วยแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ทำให้สามารถสร้างแผนที่ในการติดตามความเค็มของดิน ดังแสดงในภาพที่ 18 ถึง 19



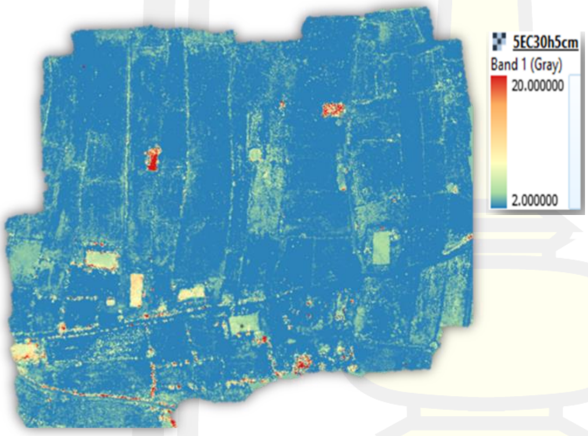
ภาพที่ 18 แสดงแผนที่การประมาณการติดตามความเค็มของดิน (ฤดูร้อน)



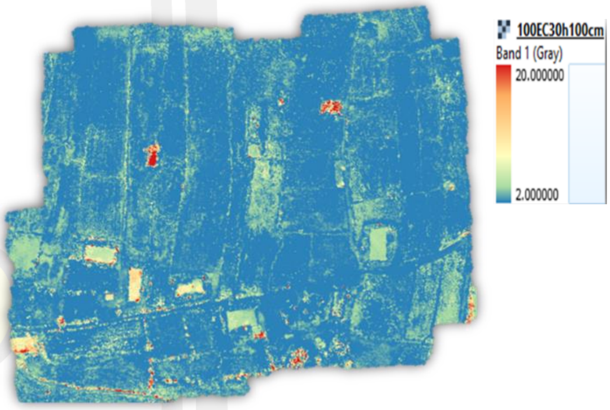
GSD25Ec0



GSD100Ec0



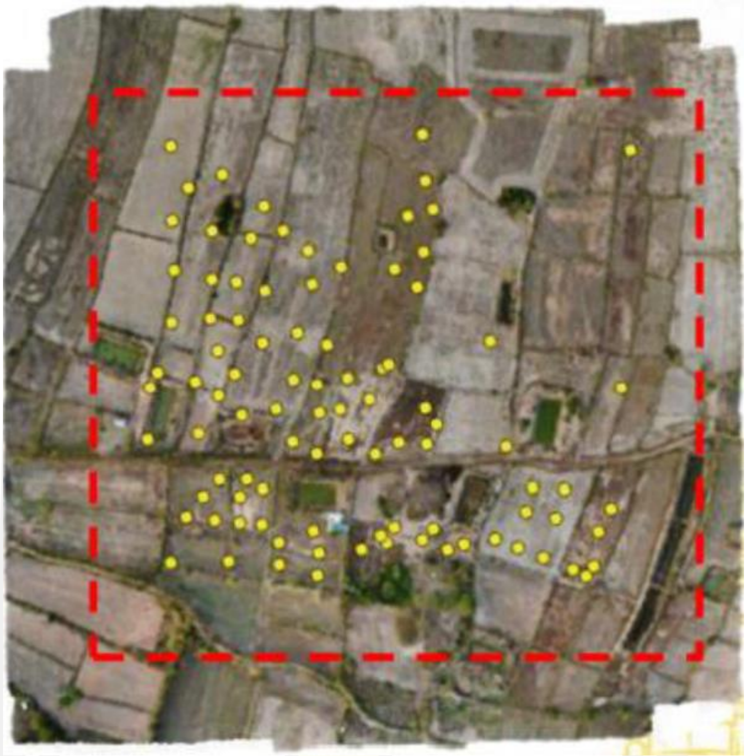
GSD25Ec0



GSD100Ec0

ภาพที่ 19 แสดงแผนที่การประมาณการติดตามความเค็มของดิน (ฤดูฝน)

พหุน ปณ ทิโต ชีเว



ภาพที่ 20 แสดงตำแหน่งที่สุ่มเก็บดินมาวัดค่าการนำไฟฟ้า จำนวน 85 จุด

พหูนํ ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 5
อภิปรายผล สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการอภิปรายผลการศึกษาสรุปผลการศึกษาข้อจำกัดในการศึกษาและข้อเสนอแนะในการนำเสนอผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์ในอนาคต การศึกษานี้แยกทำการวิเคราะห์ข้อมูล 3 วิธี คือการทดสอบแบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (GLM) แบบจำลองการสุ่มป่าไม้ (RF) และแบบจำลองซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (SVM) ทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ Root mean square error (RMSE) เพื่อทำแผนที่ความเค็มของดิน ที่มีความแม่นยำ โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

5.1.1 ผลการประมาณค่าที่ความลึกผิวดิน (Ec0)

ผลการศึกษาการประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) จากข้อมูลภาพถ่ายด้วยอากาศไร้คนขับ ที่รายละเอียดจุดขนาด 5, 25, 50, 100 เซนติเมตร พบว่า มีค่าความแม่นยำของแบบจำลองด้วยค่า R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.270 ถึง 0.561 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 12.841 ถึง 16.698 (dS/m) โดยที่ข้อมูลจากภาพที่พัฒนาแบบจำลองในการประมาณค่าความสูง มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดคือภาพถ่ายที่รายละเอียดจุดภาพ 25 เซนติเมตร ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.561 และ RMSE เท่ากับ 16.698 (dS/m)

5.1.2 ผลการประมาณค่าที่ความลึกใต้ผิวดิน (Ec30)

ผลการศึกษาการประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) จากข้อมูลภาพถ่ายด้วยอากาศไร้คนขับ ที่รายละเอียดจุดขนาด 5, 25, 50, 100 เซนติเมตร พบว่า มีค่าความแม่นยำของแบบจำลองด้วยค่า R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.160 ถึง 0.448 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 1.473 ถึง 1.588 (dS/m) โดยที่ข้อมูลจากภาพที่พัฒนาแบบจำลองในการประมาณค่าความสูง มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดคือภาพถ่ายที่รายละเอียดจุดภาพ 50 เซนติเมตร ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองแรนดอมฟอร์เรส (RF) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.448 และ RMSE เท่ากับ 1.588 (dS/m)

ตารางที่ 12 การศึกษาและเปรียบเทียบผลงานวิจัย

รายการ	Wei et al., 2020	อภิสิทธิ์ ภูละมุล
ลักษณะภูมิประเทศ	พื้นที่ราบสูง	พื้นที่ราบ
ลักษณะการใช้งาน	ปาล์ม,มะพร้าว,ถั่วเหลือง,งา,ถั่วลิสง	ข้าว,เลี้ยงสัตว์
ขนาดพื้นที่	3500 ไร่ แบ่งออกเป็น 4 พื้นที่ ABCD	84 ไร่ คิดเป็น1พื้นที่ ศึกษา
สภาพอากาศ	ฤดูหนาว อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส อากาศมีความชื้นต่ำ	1. ฤดูร้อน อุณหภูมิ 31-40 องศาเซลเซียส อากาศมีความชื้นปานกลาง 2. ฤดูฝน อุณหภูมิ 27-35 องศาเซลเซียส อากาศมีความชื้นสูง และบ้างพื้นที่มีน้ำขัง
สภาพของดิน	ดินร่วนปนทราย	ดินร่วนปนทราย(น้อย) ดินเหนียว (มาก) และมีปางพื้นที่เป็น ศิลาแลง
สาเหตุที่คาดว่าทำให้เกิดดินเค็ม	เนื่องจากเป็นพื้นที่ราบสูง จึงทำให้มีการซึมผ่านของน้ำได้ต่ำ และปัจจัยทางธรรมชาติในเรื่องของชั้นดิน	1. ปัจจัยทางธรรมชาติในเรื่องของชั้นดิน 2. สาเหตุจากการกระทำของมนุษย์ คือการทำนาเกลือ
อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	1. UAV ที่ใช้ DJI Matrice (ราคา ฿214,000) 2. ใช้เซ็นเซอร์ Micro-MCA รุ่น MINI 6 High Quality Mulit-Spectral sensor	1. UAV ที่ใช้ DJI Mavic Air 1 (ราคา฿37,500) 2. ใช้เซ็นเซอร์ RGB ที่ติดมากับ UAV
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	1. คอมพิวเตอร์ 2. เซี่ยงไฮ้ Leici/DDS-307A การนำไฟฟ้าเมตร/EC เมตร water conductivity (ราคา฿25,000)	1. คอมพิวเตอร์ 2. EC-138 Conductivity Meter ปากกาแบบพกพา Liquid การนำไฟฟ้าวัดการนำไฟฟ้า (ราคา฿500)
Modeling ที่ใช้	1. BPNN 2. SVR 3. RF	1. GLM 2. RF 3. SVM
ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด	RF โดยที่ R^2 = 0.812 RMSE = 2.229 RMSE = 0.089 (MAX =0.82) คิดเป็น 10%	SVM โดยที่ R^2= 0.561 RMSE =16.698 RMSE = 16.698 (MAX = 65) คิดเป็น 25%

5.1.3 จากตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่าผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของงานวิจัย ในเรื่องต่าง ๆ เช่นลักษณะภูมิประเทศ สภาพของดิน อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล และผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จะเห็นได้ว่างานวิจัยมีส่วนที่คล้ายกัน และมีส่วนที่แตกต่างกัน ส่วนที่คล้ายกันก็จะมี ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะการใช้งานพื้นที่ สภาพของดิน สาเหตุที่คาดว่าทำให้เกิดดินเค็ม และ Modeling ที่ใช้ และในส่วนที่มีความแตกต่างกันก็จะมี สภาพอากาศ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล และผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งจากการวิเคราะห์จึงได้คำตอบว่าสิ่งที่เกิดขึ้นนั้นเป็นไปตามหลักของความจริง นั้นคือการใช้อุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่ดีกว่า มีราคาที่สูงกว่า ย่อมให้ความถูกต้องมากกว่า ในกรณีที่มีบุคคลอยากตรวจสอบที่ดินว่าที่ดินบริเวณนั้นเป็นพื้นที่ดินเค็มหรือไม่(ก่อนที่จะทำการซื้อที่ดินนั้น) แต่เราไม่สามารถหาอุปกรณ์ หรือเครื่องมือตามงานวิจัยของ Wei ได้ แต่เราสามารถหาอุปกรณ์เหมือนงานวิจัยของ อภิสิทธิ์ ภูละมุล ได้ซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ ค่า R^2 เท่ากับ 0.561 หรือความผิดพลาดที่ 25% แต่ราคาค่าตรวจสอบต่างกันหลักหลายแสนบาท จึงสรุปได้ว่า ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่ราคาต่ำ หรือราคาที่ทุกๆคนก็สามารถจับต้องได้ ก็สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบ ประเมิณ และสำรวจพื้นที่ที่คาดว่าน่าจะเป็นพื้นที่ดินเค็มในเบื้องต้นได้

5.1.4 จากตารางที่ 11 และภาพที่ 17 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติไม่ค่อยชัดเจนซึ่งจากตาราง และรูปภาพดังกล่าวเป็นผลการประมาณค่าที่ความลึกใต้ผิวดิน (Ec30) โดยจะเห็นได้ว่าผลการประมาณค่าที่ได้นั้นมีความถูกต้องที่ต่ำ ซึ่งจะสะท้อนถึงแผนที่ความเค็มที่มีความถูกต้องต่ำตามไปด้วย และสาเหตุที่ทำให้เกิดผลการประมาณค่าดังข้างต้นนั้นคือ ค่าการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้นจากภาพถ่ายทางอากาศ ลักษณะของภูมิประเทศ และวัตถุต่างๆ ของภาพถ่ายที่ไม่ได้แยกออกไป จากภาพที่ 19 จะเห็นได้ว่า บริเวณที่เป็นพื้นที่ดินเค็ม (สีแดง) จะเป็นบริเวณของถนน ดินทราย ต้นไม้ และสระน้ำต่างๆ

5.2 สรุปผลการวิจัย

ทำการศึกษาความสามารถของค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่น คือ Red Green และ BLUE ทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ของการประมาณค่าที่ความลึกผิวดินที่ (Ec0) และ ความลึกใต้ผิวดิน (Ec30) ด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) โดยวิธีการที่นำเสนอจะใช้การวัดค่าการนำไฟฟ้าของดินจากการทดลองร่วมกับภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) โดยใช้รายละเอียดจุดภาพขนาด 5, 25, 50 และ 100 เซนติเมตร ในพื้นที่การทดลองในนาข้าวของเกษตรกร บ้านโพนสิม ตำบลหัวนาคำ อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ จากผลการศึกษาพบว่า

5.2.1 การประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) ความลึกผิวดิน (Ec0) ที่รายละเอียดจุดภาพ 25 เซนติเมตร ด้วยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (SVM) ให้ผลการประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) ได้ดีที่สุด โดยที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.561 และ RMSEเท่ากับ 16.698 เมตร และการประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) ความลึกใต้ดิน (Ec30) ที่รายละเอียดจุดภาพ 50 เซนติเมตร ด้วยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการสุ่มป่าไม้ (RF) ให้ผลการประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) ได้ดีที่สุด โดยที่ค่า R^2 เท่ากับ 0.448 และ RMSEเท่ากับ 1.588 เมตร แสดงให้เห็นว่าการใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่มีรายละเอียดจุดภาพไม่สูงมากนัก ก็ยังส่งผลให้การประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) ได้ดี

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาประเมินประสิทธิภาพการรับรู้ระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) ที่ความลึกผิวดิน (Ec0) และ ความลึกใต้ผิวดิน (Ec30) ผู้วิจัยเลือกพื้นที่ทุ่งนาเนื้อที่ประมาณ 84 ไร่ ตั้งอยู่ที่บ้านโพนสิม ตำบลหัวนาคำ อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ เพื่อสำหรับการติดตามและทำแผนที่ความเค็มของดิน โดยทำการบินถ่ายภาพที่ความสูง 90 เมตร พบว่าให้ค่าที่ถูกต้องในเกณฑ์ที่เหมาะสม แต่ถ้าหากเพิ่มความแม่นยำของข้อมูลควรทำการบินถ่ายภาพที่ระดับแตกต่างกัน เพื่อเพิ่มความละเอียดของภาพถ่ายที่ได้ และจากการศึกษาผู้วิจัยได้ใช้กล้อง RGB ที่มีช่วงคลื่นเพียง (RGB) ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิดและคุณสมบัติของกล้อง Multispectral Redeage และHyperpectral ดังรายงานการวิจัย (Hu et al., 2019; Zhang and Zhao 2019) เนื่องจากกล้องทั้งสองนี้มีช่วงคลื่นที่มาก ซึ่งจะให้ค่าที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกล้องทั้งสองมีราคาที่ค่อนข้างสูง ไม่เหมาะสมกับคนไทย ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวิเคราะห์ภาพด้วยหลักการจำแนกข้อมูลภาพเชิงวัตถุ Object base image analysis (OBIA) ดังรายงานวิจัยของ (Ivushkin et al., 2019) แต่ก็มีขั้นตอนการประมวลผลที่มากและซับซ้อน ควรมีข้อมูลที่ครอบคลุมทั้งพื้นที่ และยังรวมถึงการลองทดสอบกับพื้นที่ที่แตกต่างกัน เช่นพื้นที่ป่าชายทะเล พื้นที่ทะเลทราย พื้นที่ที่ติดกับชายฝั่งทะเลที่เป็นที่ราบ เพื่อใช้ในการประเมินค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec)

ผู้วิจัยเห็นว่าข้อมูลการสำรวจจากระยะไกลด้วยเทคนิคต่างๆนี้มีความสำคัญต่อการศึกษาการประมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Ec) อันจะเป็นประโยชน์ต่อนักวิชาการ นักวิทยาศาสตร์ หน่วยงานที่มีหน้าที่บริหารจัดการทรัพยากรพืชไร่สามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการศึกษาวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต รวมถึงเกษตรกรที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประมาณผลผลิตในอนาคตได้อีกด้วย

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2553). คู่มือกาปฏิบัติงาน กระบวนการรับตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างดิน. Retrieved July 12, 2021, from https://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiQz4rIhJ_7AhWJ7zgGHQhrAZ0QFnoECAkQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.ldd.go.th%2FPMQA%2F2553%2FManual%2FOSD-02.pdf&usg=AOvVaw1ewXxDCj0CkaZONJ71CGwq

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2553). คู่มือกาปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. Retrieved October 12, 2021, from https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fwww.ldd.go.th%2FPMQA%2F2553%2FManual%2FOSD-03.pdf%3Ffbclid%3DIwAR3vZTnTAjNXhomEmQB7YmdBgc0Uu1I60apBcZsw0SSFf0-FLMfbfd97nA8&h=AT2xH1ZF7q4Gb7q8fzg4xCL6sNhzFTJ8t-9g80GjIwO8z2nbaE7NCtVWBshm67iYiR4XsUimGwyFRo8usAHpGeVwGX8qKw8-iM_sYxJne_TZd7IfE9p3DeaP4CjEVlo8PBfIwdjthBifQkJ_ZqzOew

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2564). ข้อมูลการจัดการดิน. Retrieved July 12, 2021, from https://www.ldd.go.th/Web_Soil/salty.htm

กิตติศักดิ์ ศรีกลาง. (2559). เอกสารประกอบรายวิชาการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ. Retrieved July 25, 2021, from http://www.rtsd.mi.th/

ประจักษ์ บุญอารีย์. 2544. ธรรมชาติกับวิถีชีวิตชุมชนอีสาน. สำนักศิลปวัฒนธรรม สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี. 108 หน้า.

พิชชาพร อุ่นผาง. (2557). การสำรวจจากระยะไกล (Remote Sensing). Retrieved July 16,2021, from http://pitchapornsj13.blogspot.com/2014/10/remote-sensing-1_56.html

ไพศาล สันติธรรมนนท์. (2553). การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล. ม.ป.ท.: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วลัย พร ศะ ศิ ประภา. ดาวเทียม สำรวจ ทรัพยากร ของ ไทย กับ การ วิจัย ด้าน พืช. Thai Agricultural Research Journal, 2007, 25.2: 177-177.

ศิวา แก้วปลั่ง. (2561). การประเมินการใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นหม่อน. วารสารแก่นเกษตร, 46 (ฉบับพิเศษ 1), 381–387.

สมบัติ อยู่เมือง. (2558). ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing). Retrieved July 20,2021, from http://www.gisthai.org/about-gis/remote-sensing.html

สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2563). ข้าวขาวเจ๊กชัยนาท. Retrieved July 15, 2021, from https://www.opsmoac.go.th/chainat-dwl-files-421591791097

สุวดี นำพาเจริญ, ช. จ. (2015). การวิเคราะห์สมการถดถอย การแปลความหมายค่า R-Square และ ก า ร ป ร ะ เมิน ตัว แ บ บ ว่า เห ม า ะ ส ม ห รือ ไม่. Retrieved July 12 , 2021 , from https://www.solutioncenterminitab.com/blog/บทความ-3/

อรุณี ยูวะนิยม. (2536). ผลของคุณภาพน้ำเค็มต่อคุณสมบัติของดินและการทนเค็มของพืช. กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

BENDIG, Juliane, et al. Solar-induced chlorophyll fluorescence measured from an unmanned aircraft system: sensor etaloning and platform motion correction. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2019, 58.5: 3437-3444.

HU, Jie, et al. Quantitative estimation of soil salinity using UAV-borne hyperspectral and satellite multispectral images. Remote Sensing, 2019, 11.7: 736.

IVUSHKIN, Konstantin, et al. Global mapping of soil salinity change. Remote sensing of environment, 2019, 231: 111260.

MA, Ying, et al. Spectral index fusion for salinized soil salinity inversion using Sentinel-2A and UAV images in a coastal area. IEEE Access, 2020, 8: 159595-159608.

ROMERO-TRIGUEROS, Cristina, et al. Effects of saline reclaimed waters and deficit irrigation on Citrus physiology assessed by UAV remote sensing. Agricultural Water Management, 2017, 183: 60-69

Selvaraj, M. G., Valderrama, M., Guzman, D., Valencia, M., Ruiz, H., & Acharjee, A. (2020). Machine learning for high-throughput field phenotyping and image processing provides insight into the association of above and below-ground traits in cassava (Manihot esculenta Crantz). Plant methods, 16(1), 1-19.

Soil Survey Laboratory Staff. 1992. Reaction (pH). pp 274-276. In Soil Survey Laboratory Method Manual. Soil Survey Investigations report No. 42 , V.2.0.

WEI, Zhuo, et al. Remediation of crude oil-contaminated coastal marsh soil: Integrated effect of biochar, rhamnolipid biosurfactant and nitrogen application. Journal of hazardous materials, 2020, 396: 122595.

ZHANG, Suming; ZHAO, Gengxing. A harmonious satellite-unmanned aerial vehicle-ground measurement inversion method for monitoring salinity in coastal saline soil. Remote Sensing, 2019, 11.14: 1700.

ภาคผนวก

ตารางที่ 13 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 5 เซนติเมตร (Ec0)

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
44	0.338	0.331	0.331	0.334	0.112	0.006	0.669	0.112	1.019	0.006
22	0.334	0.332	0.334	0.333	0.111	0.002	0.666	0.111	1.005	0.002
23	0.350	0.336	0.313	0.343	0.118	0.013	0.687	0.118	1.042	0.014
12	0.362	0.335	0.304	0.348	0.121	0.025	0.696	0.121	1.081	0.027
11	0.360	0.333	0.307	0.346	0.120	0.025	0.693	0.120	1.079	0.026
19	0.342	0.331	0.327	0.336	0.113	0.011	0.673	0.113	1.034	0.011
3	0.376	0.328	0.296	0.351	0.123	0.041	0.704	0.123	1.144	0.047
5	0.366	0.332	0.303	0.348	0.121	0.031	0.697	0.121	1.102	0.034
3	0.357	0.324	0.320	0.340	0.115	0.030	0.680	0.115	1.103	0.033
3	0.415	0.309	0.276	0.358	0.128	0.079	0.724	0.128	1.341	0.105
13	0.356	0.333	0.312	0.344	0.118	0.022	0.688	0.118	1.069	0.023
4	0.362	0.333	0.306	0.347	0.120	0.026	0.694	0.120	1.086	0.029
4	0.370	0.330	0.300	0.350	0.122	0.036	0.700	0.122	1.123	0.040
3	0.339	0.337	0.325	0.338	0.114	0.002	0.675	0.114	1.005	0.002
6	0.440	0.319	0.241	0.374	0.140	0.088	0.759	0.140	1.378	0.121
4	0.347	0.340	0.313	0.343	0.118	0.007	0.687	0.118	1.022	0.008
5	0.339	0.337	0.325	0.338	0.114	0.002	0.675	0.114	1.006	0.002
3	0.363	0.334	0.303	0.348	0.121	0.027	0.697	0.121	1.087	0.029
3	0.374	0.334	0.292	0.353	0.125	0.035	0.708	0.125	1.118	0.039
1	0.379	0.348	0.273	0.363	0.132	0.029	0.727	0.132	1.090	0.031
2	0.401	0.344	0.255	0.371	0.138	0.049	0.745	0.138	1.165	0.057
2	0.369	0.336	0.296	0.352	0.124	0.030	0.704	0.124	1.099	0.033
4	0.354	0.331	0.315	0.343	0.117	0.021	0.685	0.117	1.068	0.023
1	0.379	0.348	0.273	0.363	0.132	0.029	0.727	0.132	1.090	0.031
4	0.366	0.333	0.302	0.349	0.122	0.030	0.698	0.122	1.100	0.033

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
5	0.353	0.334	0.313	0.343	0.118	0.018	0.687	0.118	1.056	0.019
3	0.385	0.326	0.289	0.354	0.126	0.050	0.711	0.126	1.182	0.059
4	0.354	0.332	0.315	0.343	0.117	0.021	0.685	0.117	1.066	0.022
3	0.330	0.338	0.332	0.334	0.112	-0.009	0.668	0.112	0.974	0.009
2	0.376	0.360	0.264	0.368	0.135	0.015	0.736	0.135	1.042	0.015
3	0.339	0.330	0.330	0.335	0.112	0.009	0.670	0.112	1.027	0.009
3	0.365	0.338	0.297	0.351	0.123	0.025	0.703	0.123	1.078	0.026
6	0.375	0.331	0.294	0.352	0.124	0.039	0.706	0.124	1.134	0.044
4	0.374	0.336	0.290	0.354	0.126	0.034	0.710	0.126	1.113	0.038
8	0.361	0.348	0.291	0.354	0.126	0.012	0.709	0.126	1.036	0.013
18	0.397	0.332	0.271	0.363	0.132	0.055	0.729	0.132	1.197	0.066
61	0.356	0.328	0.316	0.342	0.117	0.025	0.684	0.117	1.083	0.027
60	0.350	0.332	0.319	0.340	0.116	0.017	0.681	0.116	1.055	0.018
13	0.365	0.335	0.300	0.350	0.122	0.027	0.700	0.122	1.088	0.030
61	0.354	0.337	0.309	0.345	0.119	0.017	0.691	0.119	1.052	0.018
10	0.354	0.332	0.314	0.343	0.118	0.021	0.686	0.118	1.067	0.022
5	0.360	0.333	0.306	0.347	0.120	0.025	0.694	0.120	1.081	0.027
6	0.358	0.335	0.308	0.346	0.120	0.022	0.692	0.120	1.069	0.023
3	0.347	0.344	0.309	0.346	0.119	0.003	0.691	0.119	1.008	0.003
60	0.330	0.336	0.334	0.333	0.111	-0.005	0.666	0.111	0.984	0.005
60	0.343	0.329	0.327	0.336	0.113	0.013	0.673	0.113	1.042	0.014
50	0.330	0.337	0.333	0.334	0.111	-0.007	0.667	0.111	0.980	0.007
40	0.331	0.335	0.335	0.333	0.111	-0.004	0.665	0.111	0.988	0.004
5	0.448	0.313	0.239	0.375	0.140	0.094	0.761	0.140	1.431	0.135
1	0.386	0.331	0.283	0.357	0.128	0.048	0.717	0.128	1.169	0.056
15	0.358	0.330	0.312	0.344	0.118	0.026	0.688	0.118	1.084	0.028
50	0.339	0.334	0.327	0.336	0.113	0.005	0.673	0.113	1.015	0.005
40	0.332	0.332	0.336	0.332	0.110	0.000	0.664	0.110	1.000	0.000

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
3	0.404	0.308	0.288	0.353	0.124	0.073	0.712	0.124	1.312	0.096
4	0.433	0.311	0.256	0.367	0.135	0.087	0.744	0.135	1.389	0.121
6	0.430	0.317	0.253	0.369	0.136	0.083	0.747	0.136	1.357	0.113
2	0.350	0.314	0.336	0.331	0.110	0.033	0.664	0.110	1.117	0.037
2	0.357	0.330	0.313	0.343	0.118	0.024	0.687	0.118	1.079	0.026
20	0.369	0.329	0.302	0.348	0.121	0.036	0.698	0.121	1.122	0.040
30	0.350	0.327	0.323	0.338	0.114	0.021	0.677	0.114	1.069	0.022
30	0.354	0.330	0.316	0.342	0.117	0.023	0.684	0.117	1.074	0.025
20	0.345	0.336	0.320	0.340	0.116	0.009	0.680	0.116	1.026	0.009
12	0.358	0.331	0.310	0.345	0.119	0.025	0.690	0.119	1.081	0.027
4	0.362	0.345	0.293	0.353	0.125	0.017	0.707	0.125	1.050	0.017
4	0.361	0.339	0.300	0.350	0.122	0.021	0.700	0.122	1.065	0.022
4	0.381	0.334	0.285	0.357	0.127	0.041	0.715	0.127	1.141	0.047
1	0.360	0.338	0.302	0.349	0.122	0.020	0.698	0.122	1.063	0.021
1	0.377	0.343	0.280	0.360	0.129	0.031	0.720	0.129	1.099	0.034
17	0.358	0.343	0.299	0.350	0.123	0.015	0.701	0.123	1.045	0.015
4	0.361	0.345	0.295	0.353	0.124	0.015	0.705	0.124	1.046	0.016
1	0.366	0.333	0.302	0.349	0.122	0.030	0.698	0.122	1.099	0.033
5	0.344	0.340	0.315	0.342	0.117	0.004	0.685	0.117	1.011	0.004
4	0.364	0.328	0.308	0.346	0.120	0.032	0.692	0.120	1.108	0.036
5	0.378	0.327	0.295	0.351	0.124	0.044	0.705	0.124	1.155	0.051
0	0.389	0.321	0.290	0.353	0.125	0.056	0.710	0.125	1.212	0.068
1	0.374	0.327	0.299	0.350	0.122	0.041	0.701	0.122	1.145	0.047
1	0.384	0.328	0.288	0.355	0.126	0.048	0.712	0.126	1.172	0.056
1	0.365	0.332	0.302	0.348	0.121	0.030	0.698	0.121	1.098	0.033
2	0.364	0.334	0.302	0.349	0.122	0.028	0.698	0.122	1.090	0.030
13	0.333	0.336	0.331	0.334	0.112	-0.004	0.669	0.112	0.990	0.003
30	0.335	0.335	0.331	0.335	0.112	0.000	0.669	0.112	1.000	0.000

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
30	0.349	0.33	0.32	0.34	0.115	0.018	0.68	0.115	1.058	0.019
30	0.345	0.335	0.32	0.34	0.116	0.009	0.68	0.116	1.028	0.009
13	0.363	0.33	0.307	0.346	0.12	0.03	0.693	0.12	1.1	0.033
17	0.352	0.335	0.313	0.343	0.118	0.016	0.687	0.118	1.049	0.016
40	0.352	0.335	0.313	0.344	0.118	0.016	0.688	0.118	1.05	0.017
40	0.348	0.335	0.317	0.341	0.116	0.012	0.683	0.116	1.037	0.012
1	0.365	0.331	0.304	0.348	0.121	0.031	0.696	0.121	1.103	0.034
10	0.364	0.333	0.303	0.348	0.121	0.028	0.697	0.121	1.092	0.031
4	0.354	0.329	0.317	0.341	0.116	0.023	0.683	0.116	1.075	0.025
2	0.355	0.339	0.306	0.347	0.12	0.016	0.694	0.12	1.048	0.016
10	0.347	0.335	0.318	0.341	0.116	0.011	0.682	0.116	1.034	0.011
7	0.35	0.33	0.321	0.339	0.115	0.019	0.679	0.115	1.061	0.02
17	0.349	0.334	0.317	0.341	0.117	0.014	0.683	0.117	1.045	0.015
15	0.388	0.322	0.289	0.354	0.125	0.055	0.711	0.125	1.204	0.066
9	0.36	0.329	0.311	0.344	0.118	0.028	0.689	0.118	1.093	0.03
15	0.362	0.329	0.309	0.345	0.119	0.03	0.691	0.119	1.1	0.033
4	0.43	0.317	0.253	0.369	0.136	0.083	0.747	0.136	1.356	0.113
20	0.345	0.333	0.322	0.339	0.115	0.012	0.678	0.115	1.037	0.012
30	0.356	0.332	0.311	0.344	0.118	0.023	0.689	0.118	1.073	0.024
20	0.351	0.341	0.308	0.346	0.12	0.01	0.692	0.12	1.029	0.01
20	0.355	0.341	0.305	0.348	0.121	0.013	0.695	0.121	1.041	0.014
20	0.34	0.342	0.319	0.341	0.116	-0.002	0.681	0.116	0.994	0.002
12	0.351	0.335	0.314	0.343	0.118	0.015	0.686	0.118	1.047	0.016
12	0.349	0.336	0.314	0.343	0.117	0.012	0.686	0.117	1.038	0.013
30	0.354	0.342	0.304	0.348	0.121	0.011	0.696	0.121	1.034	0.012
20	0.358	0.331	0.312	0.344	0.118	0.025	0.688	0.118	1.083	0.027
40	0.354	0.334	0.313	0.344	0.118	0.019	0.687	0.118	1.059	0.02
15	0.351	0.332	0.318	0.341	0.116	0.018	0.682	0.116	1.058	0.019

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
30	0.348	0.339	0.313	0.343	0.118	0.008	0.687	0.118	1.026	0.009
12	0.34	0.338	0.322	0.339	0.115	0.002	0.678	0.115	1.005	0.002
20	0.34	0.335	0.325	0.337	0.114	0.005	0.675	0.114	1.015	0.005
40	0.346	0.338	0.316	0.342	0.117	0.008	0.684	0.117	1.025	0.008

ตารางที่ 14 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 5 เซนติเมตร (Ec30)

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
4	0.338	0.331	0.331	0.334	0.112	0.006	0.669	0.112	1.019	0.006
3	0.334	0.332	0.334	0.333	0.111	0.002	0.666	0.111	1.005	0.002
4	0.350	0.336	0.313	0.343	0.118	0.013	0.687	0.118	1.042	0.014
3	0.362	0.335	0.304	0.348	0.121	0.025	0.696	0.121	1.081	0.027
2	0.360	0.333	0.307	0.346	0.120	0.025	0.693	0.120	1.079	0.026
6	0.342	0.331	0.327	0.336	0.113	0.011	0.673	0.113	1.034	0.011
1	0.376	0.328	0.296	0.351	0.123	0.041	0.704	0.123	1.144	0.047
1	0.366	0.332	0.303	0.348	0.121	0.031	0.697	0.121	1.102	0.034
2	0.357	0.324	0.320	0.340	0.115	0.030	0.680	0.115	1.103	0.033
2	0.415	0.309	0.276	0.358	0.128	0.079	0.724	0.128	1.341	0.105
4	0.356	0.333	0.312	0.344	0.118	0.022	0.688	0.118	1.069	0.023
2	0.362	0.333	0.306	0.347	0.120	0.026	0.694	0.120	1.086	0.029
2	0.370	0.330	0.300	0.350	0.122	0.036	0.700	0.122	1.123	0.040
1	0.339	0.337	0.325	0.338	0.114	0.002	0.675	0.114	1.005	0.002
3	0.440	0.319	0.241	0.374	0.140	0.088	0.759	0.140	1.378	0.121
2	0.347	0.340	0.313	0.343	0.118	0.007	0.687	0.118	1.022	0.008
3	0.339	0.337	0.325	0.338	0.114	0.002	0.675	0.114	1.006	0.002
2	0.363	0.334	0.303	0.348	0.121	0.027	0.697	0.121	1.087	0.029
2	0.374	0.334	0.292	0.353	0.125	0.035	0.708	0.125	1.118	0.039
1	0.379	0.348	0.273	0.363	0.132	0.029	0.727	0.132	1.090	0.031

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
1	0.401	0.344	0.255	0.371	0.138	0.049	0.745	0.138	1.165	0.057
1	0.369	0.336	0.296	0.352	0.124	0.030	0.704	0.124	1.099	0.033
2	0.354	0.331	0.315	0.343	0.117	0.021	0.685	0.117	1.068	0.023
1	0.366	0.333	0.302	0.349	0.122	0.030	0.698	0.122	1.100	0.033
2	0.353	0.334	0.313	0.343	0.118	0.018	0.687	0.118	1.056	0.019
2	0.385	0.326	0.289	0.354	0.126	0.050	0.711	0.126	1.182	0.059
1	0.354	0.332	0.315	0.343	0.117	0.021	0.685	0.117	1.066	0.022
1	0.330	0.338	0.332	0.334	0.112	-0.009	0.668	0.112	0.974	0.009
2	0.376	0.360	0.264	0.368	0.135	0.015	0.736	0.135	1.042	0.015
2	0.339	0.330	0.330	0.335	0.112	0.009	0.670	0.112	1.027	0.009
1	0.365	0.338	0.297	0.351	0.123	0.025	0.703	0.123	1.078	0.026
3	0.375	0.331	0.294	0.352	0.124	0.039	0.706	0.124	1.134	0.044
2	0.374	0.336	0.290	0.354	0.126	0.034	0.710	0.126	1.113	0.038
2	0.361	0.348	0.291	0.354	0.126	0.012	0.709	0.126	1.036	0.013
2	0.397	0.332	0.271	0.363	0.132	0.055	0.729	0.132	1.197	0.066
5	0.356	0.328	0.316	0.342	0.117	0.025	0.684	0.117	1.083	0.027
2	0.350	0.332	0.319	0.340	0.116	0.017	0.681	0.116	1.055	0.018
2	0.365	0.335	0.300	0.350	0.122	0.027	0.700	0.122	1.088	0.030
2	0.354	0.337	0.309	0.345	0.119	0.017	0.691	0.119	1.052	0.018
2	0.354	0.332	0.314	0.343	0.118	0.021	0.686	0.118	1.067	0.022
1	0.360	0.333	0.306	0.347	0.120	0.025	0.694	0.120	1.081	0.027
1	0.358	0.335	0.308	0.346	0.120	0.022	0.692	0.120	1.069	0.023
2	0.347	0.344	0.309	0.346	0.119	0.003	0.691	0.119	1.008	0.003
12	0.330	0.336	0.334	0.333	0.111	-0.005	0.666	0.111	0.984	0.005
10	0.343	0.329	0.327	0.336	0.113	0.013	0.673	0.113	1.042	0.014
8	0.330	0.337	0.333	0.334	0.111	-0.007	0.667	0.111	0.980	0.007
7	0.331	0.335	0.335	0.333	0.111	-0.004	0.665	0.111	0.988	0.004
2	0.448	0.313	0.239	0.375	0.140	0.094	0.761	0.140	1.431	0.135

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
0	0.386	0.331	0.283	0.357	0.128	0.048	0.717	0.128	1.169	0.056
1	0.358	0.330	0.312	0.344	0.118	0.026	0.688	0.118	1.084	0.028
1	0.339	0.334	0.327	0.336	0.113	0.005	0.673	0.113	1.015	0.005
4	0.332	0.332	0.336	0.332	0.110	0.000	0.664	0.110	1.000	0.000
1	0.404	0.308	0.288	0.353	0.124	0.073	0.712	0.124	1.312	0.096
1	0.433	0.311	0.256	0.367	0.135	0.087	0.744	0.135	1.389	0.121
1	0.430	0.317	0.253	0.369	0.136	0.083	0.747	0.136	1.357	0.113
1	0.350	0.314	0.336	0.331	0.110	0.033	0.664	0.110	1.117	0.037
1	0.357	0.330	0.313	0.343	0.118	0.024	0.687	0.118	1.079	0.026
4	0.369	0.329	0.302	0.348	0.121	0.036	0.698	0.121	1.122	0.040
1	0.350	0.327	0.323	0.338	0.114	0.021	0.677	0.114	1.069	0.022
3	0.354	0.330	0.316	0.342	0.117	0.023	0.684	0.117	1.074	0.025
2	0.345	0.336	0.320	0.340	0.116	0.009	0.680	0.116	1.026	0.009
1	0.358	0.331	0.310	0.345	0.119	0.025	0.690	0.119	1.081	0.027
1	0.362	0.345	0.293	0.353	0.125	0.017	0.707	0.125	1.050	0.017
1	0.361	0.339	0.300	0.350	0.122	0.021	0.700	0.122	1.065	0.022
1	0.381	0.334	0.285	0.357	0.127	0.041	0.715	0.127	1.141	0.047
1	0.360	0.338	0.302	0.349	0.122	0.020	0.698	0.122	1.063	0.021
1	0.377	0.343	0.280	0.360	0.129	0.031	0.720	0.129	1.099	0.034
0	0.358	0.343	0.299	0.350	0.123	0.015	0.701	0.123	1.045	0.015
1	0.361	0.345	0.295	0.353	0.124	0.015	0.705	0.124	1.046	0.016
0	0.366	0.333	0.302	0.349	0.122	0.030	0.698	0.122	1.099	0.033
0	0.344	0.340	0.315	0.342	0.117	0.004	0.685	0.117	1.011	0.004
1	0.364	0.328	0.308	0.346	0.120	0.032	0.692	0.120	1.108	0.036
1	0.378	0.327	0.295	0.351	0.124	0.044	0.705	0.124	1.155	0.051
0	0.389	0.321	0.290	0.353	0.125	0.056	0.710	0.125	1.212	0.068
0	0.374	0.327	0.299	0.350	0.122	0.041	0.701	0.122	1.145	0.047
1	0.384	0.328	0.288	0.355	0.126	0.048	0.712	0.126	1.172	0.056

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
1	0.365	0.332	0.302	0.348	0.121	0.030	0.698	0.121	1.098	0.033
1	0.364	0.334	0.302	0.349	0.122	0.028	0.698	0.122	1.090	0.030
2	0.333	0.336	0.331	0.334	0.112	-0.004	0.669	0.112	0.990	0.003
3	0.335	0.335	0.331	0.335	0.112	0.000	0.669	0.112	1.000	0.000
2	0.349	0.330	0.320	0.340	0.115	0.018	0.680	0.115	1.058	0.019
2	0.345	0.335	0.320	0.340	0.116	0.009	0.680	0.116	1.028	0.009
2	0.363	0.330	0.307	0.346	0.120	0.030	0.693	0.120	1.100	0.033
2	0.352	0.335	0.313	0.343	0.118	0.016	0.687	0.118	1.049	0.016
4	0.352	0.335	0.313	0.344	0.118	0.016	0.688	0.118	1.050	0.017
2	0.348	0.335	0.317	0.341	0.116	0.012	0.683	0.116	1.037	0.012
0	0.365	0.331	0.304	0.348	0.121	0.031	0.696	0.121	1.103	0.034
1	0.364	0.333	0.303	0.348	0.121	0.028	0.697	0.121	1.092	0.031
1	0.354	0.329	0.317	0.341	0.116	0.023	0.683	0.116	1.075	0.025
1	0.355	0.339	0.306	0.347	0.120	0.016	0.694	0.120	1.048	0.016
2	0.347	0.335	0.318	0.341	0.116	0.011	0.682	0.116	1.034	0.011
2	0.350	0.330	0.321	0.339	0.115	0.019	0.679	0.115	1.061	0.020
2	0.349	0.334	0.317	0.341	0.117	0.014	0.683	0.117	1.045	0.015
1	0.388	0.322	0.289	0.354	0.125	0.055	0.711	0.125	1.204	0.066
1	0.360	0.329	0.311	0.344	0.118	0.028	0.689	0.118	1.093	0.030
2	0.362	0.329	0.309	0.345	0.119	0.030	0.691	0.119	1.100	0.033
1	0.430	0.317	0.253	0.369	0.136	0.083	0.747	0.136	1.356	0.113
3	0.345	0.333	0.322	0.339	0.115	0.012	0.678	0.115	1.037	0.012
3	0.356	0.332	0.311	0.344	0.118	0.023	0.689	0.118	1.073	0.024
1	0.351	0.341	0.308	0.346	0.120	0.010	0.692	0.120	1.029	0.010
1	0.355	0.341	0.305	0.348	0.121	0.013	0.695	0.121	1.041	0.014
1	0.340	0.342	0.319	0.341	0.116	-0.002	0.681	0.116	0.994	0.002
1	0.351	0.335	0.314	0.343	0.118	0.015	0.686	0.118	1.047	0.016
1	0.349	0.336	0.314	0.343	0.117	0.012	0.686	0.117	1.038	0.013

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
1	0.354	0.342	0.304	0.348	0.121	0.011	0.696	0.121	1.034	0.012
2	0.358	0.331	0.312	0.344	0.118	0.025	0.688	0.118	1.083	0.027
2	0.354	0.334	0.313	0.344	0.118	0.019	0.687	0.118	1.059	0.020
1	0.351	0.332	0.318	0.341	0.116	0.018	0.682	0.116	1.058	0.019
2	0.348	0.339	0.313	0.343	0.118	0.008	0.687	0.118	1.026	0.009
1	0.340	0.338	0.322	0.339	0.115	0.002	0.678	0.115	1.005	0.002
2	0.340	0.335	0.325	0.337	0.114	0.005	0.675	0.114	1.015	0.005
13	0.346	0.338	0.316	0.342	0.117	0.008	0.684	0.117	1.025	0.008

ตารางที่ 15 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 25 เซนติเมตร (Ec0)

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
44	0.342	0.331	0.327	0.337	0.113	0.011	0.673	0.113	1.034	0.011
22	0.339	0.332	0.329	0.336	0.113	0.007	0.671	0.113	1.020	0.007
23	0.352	0.334	0.314	0.343	0.117	0.017	0.686	0.117	1.053	0.018
12	0.363	0.338	0.298	0.351	0.123	0.023	0.702	0.123	1.073	0.025
12	0.355	0.339	0.306	0.347	0.120	0.015	0.694	0.120	1.046	0.016
19	0.347	0.330	0.324	0.338	0.114	0.016	0.676	0.114	1.052	0.017
3	0.372	0.328	0.299	0.350	0.122	0.039	0.701	0.122	1.135	0.044
5	0.364	0.333	0.303	0.348	0.121	0.028	0.697	0.121	1.092	0.031
3	0.352	0.322	0.326	0.337	0.113	0.028	0.674	0.113	1.095	0.030
3	0.372	0.328	0.300	0.349	0.122	0.039	0.700	0.122	1.134	0.044
13	0.355	0.333	0.312	0.344	0.118	0.021	0.688	0.118	1.068	0.023
4	0.365	0.340	0.296	0.352	0.124	0.023	0.704	0.124	1.074	0.025
4	0.375	0.329	0.296	0.351	0.123	0.040	0.704	0.123	1.139	0.046
3	0.350	0.337	0.313	0.343	0.118	0.012	0.687	0.118	1.038	0.013
6	0.411	0.326	0.263	0.366	0.134	0.068	0.737	0.134	1.261	0.085
4	0.347	0.332	0.320	0.340	0.115	0.015	0.680	0.115	1.047	0.015

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
5	0.360	0.337	0.303	0.348	0.121	0.022	0.697	0.121	1.071	0.024
3	0.376	0.331	0.294	0.352	0.124	0.040	0.706	0.124	1.137	0.045
3	0.380	0.340	0.280	0.360	0.129	0.035	0.720	0.129	1.116	0.040
1	0.392	0.345	0.263	0.368	0.135	0.041	0.737	0.135	1.136	0.047
2	0.401	0.347	0.252	0.373	0.139	0.047	0.748	0.139	1.158	0.055
2	0.381	0.334	0.284	0.357	0.128	0.041	0.716	0.128	1.140	0.047
4	0.365	0.330	0.304	0.347	0.121	0.031	0.696	0.121	1.105	0.035
4	0.362	0.335	0.303	0.348	0.121	0.025	0.697	0.121	1.081	0.027
5	0.352	0.330	0.318	0.341	0.116	0.020	0.682	0.116	1.065	0.022
3	0.377	0.326	0.297	0.351	0.123	0.044	0.703	0.123	1.155	0.050
4	0.359	0.329	0.312	0.344	0.118	0.028	0.688	0.118	1.094	0.031
3	0.338	0.336	0.326	0.337	0.114	0.002	0.674	0.114	1.006	0.002
2	0.382	0.363	0.255	0.373	0.139	0.018	0.745	0.139	1.052	0.019
4	0.335	0.337	0.328	0.336	0.113	-0.002	0.672	0.113	0.995	0.002
3	0.374	0.340	0.286	0.357	0.127	0.031	0.714	0.127	1.099	0.034
6	0.382	0.332	0.286	0.356	0.127	0.044	0.714	0.127	1.153	0.051
4	0.382	0.326	0.292	0.353	0.125	0.047	0.708	0.125	1.169	0.055
8	0.361	0.354	0.285	0.358	0.128	0.007	0.715	0.128	1.020	0.007
18	0.391	0.327	0.282	0.358	0.128	0.054	0.718	0.128	1.196	0.064
61	0.360	0.327	0.314	0.343	0.118	0.030	0.686	0.118	1.102	0.033
60	0.359	0.336	0.305	0.347	0.121	0.021	0.695	0.121	1.066	0.022
13	0.368	0.338	0.294	0.352	0.124	0.028	0.706	0.124	1.090	0.030
61	0.361	0.334	0.305	0.347	0.121	0.025	0.695	0.121	1.081	0.027
10	0.353	0.328	0.319	0.340	0.116	0.022	0.681	0.116	1.073	0.024
5	0.354	0.337	0.309	0.345	0.119	0.016	0.691	0.119	1.050	0.017
6	0.359	0.335	0.306	0.347	0.120	0.023	0.694	0.120	1.073	0.024
3	0.359	0.333	0.308	0.346	0.120	0.024	0.692	0.120	1.077	0.026
60	0.331	0.335	0.334	0.333	0.111	-0.004	0.666	0.111	0.987	0.004

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
60	0.347	0.329	0.325	0.338	0.114	0.017	0.675	0.114	1.054	0.018
50	0.334	0.337	0.329	0.335	0.112	-0.003	0.671	0.112	0.991	0.003
40	0.335	0.333	0.332	0.334	0.112	0.001	0.668	0.112	1.004	0.001
5	0.422	0.316	0.262	0.365	0.133	0.079	0.738	0.133	1.336	0.106
1	0.387	0.332	0.281	0.359	0.129	0.047	0.719	0.129	1.167	0.055
15	0.361	0.336	0.303	0.348	0.121	0.023	0.697	0.121	1.075	0.025
50	0.338	0.331	0.331	0.334	0.112	0.007	0.669	0.112	1.021	0.007
40	0.333	0.333	0.333	0.333	0.111	0.000	0.667	0.111	1.000	0.000
3	0.413	0.300	0.286	0.352	0.124	0.082	0.714	0.124	1.376	0.113
4	0.411	0.311	0.278	0.357	0.128	0.076	0.722	0.128	1.325	0.101
6	0.412	0.320	0.268	0.363	0.132	0.071	0.732	0.132	1.287	0.092
2	0.352	0.328	0.320	0.340	0.116	0.022	0.680	0.116	1.071	0.023
2	0.353	0.326	0.321	0.339	0.115	0.025	0.679	0.115	1.081	0.027
20	0.367	0.330	0.303	0.348	0.121	0.034	0.697	0.121	1.114	0.037
30	0.349	0.333	0.318	0.341	0.116	0.015	0.682	0.116	1.047	0.016
30	0.352	0.327	0.321	0.339	0.115	0.022	0.679	0.115	1.074	0.024
20	0.340	0.336	0.324	0.338	0.114	0.005	0.676	0.114	1.015	0.005
12	0.351	0.338	0.312	0.344	0.118	0.013	0.688	0.118	1.039	0.013
4	0.364	0.334	0.302	0.349	0.122	0.028	0.698	0.122	1.090	0.030
4	0.357	0.338	0.305	0.347	0.121	0.018	0.695	0.121	1.055	0.019
4	0.374	0.337	0.289	0.355	0.126	0.033	0.711	0.126	1.110	0.037
1	0.360	0.336	0.304	0.348	0.121	0.022	0.696	0.121	1.071	0.024
1	0.364	0.336	0.301	0.349	0.122	0.026	0.699	0.122	1.083	0.028
17	0.350	0.341	0.310	0.345	0.119	0.009	0.690	0.119	1.026	0.009
4	0.368	0.341	0.290	0.355	0.126	0.025	0.710	0.126	1.079	0.027
1	0.371	0.334	0.295	0.352	0.124	0.033	0.705	0.124	1.111	0.037
5	0.347	0.338	0.315	0.343	0.117	0.009	0.685	0.117	1.028	0.010
4	0.367	0.332	0.301	0.349	0.122	0.032	0.699	0.122	1.106	0.035

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
5	0.348	0.336	0.315	0.342	0.117	0.011	0.685	0.117	1.035	0.012
0	0.378	0.325	0.297	0.351	0.123	0.046	0.703	0.123	1.164	0.053
1	0.377	0.332	0.291	0.354	0.125	0.040	0.709	0.125	1.137	0.045
1	0.382	0.330	0.288	0.355	0.126	0.045	0.712	0.126	1.159	0.052
1	0.376	0.335	0.289	0.355	0.126	0.036	0.711	0.126	1.122	0.041
2	0.372	0.328	0.300	0.349	0.122	0.039	0.700	0.122	1.136	0.044
13	0.334	0.334	0.332	0.334	0.111	0.000	0.668	0.111	1.000	0.000
30	0.342	0.335	0.323	0.339	0.115	0.006	0.677	0.115	1.019	0.006
30	0.347	0.335	0.319	0.341	0.116	0.011	0.681	0.116	1.036	0.012
30	0.342	0.336	0.322	0.339	0.115	0.006	0.678	0.115	1.018	0.006
13	0.362	0.332	0.306	0.347	0.120	0.028	0.694	0.120	1.091	0.030
17	0.349	0.336	0.315	0.342	0.117	0.012	0.685	0.117	1.038	0.013
40	0.358	0.334	0.308	0.346	0.120	0.023	0.692	0.120	1.072	0.024
40	0.351	0.334	0.315	0.342	0.117	0.016	0.685	0.117	1.051	0.017
1	0.363	0.335	0.302	0.349	0.122	0.026	0.698	0.122	1.085	0.028
10	0.363	0.335	0.303	0.348	0.121	0.026	0.697	0.121	1.083	0.028
4	0.353	0.333	0.315	0.342	0.117	0.019	0.685	0.117	1.060	0.020
2	0.355	0.337	0.308	0.346	0.120	0.017	0.692	0.120	1.052	0.017
10	0.349	0.335	0.316	0.342	0.117	0.013	0.684	0.117	1.041	0.014
7	0.344	0.334	0.322	0.339	0.115	0.009	0.678	0.115	1.029	0.010
17	0.340	0.332	0.328	0.336	0.113	0.008	0.672	0.113	1.024	0.008
15	0.374	0.331	0.295	0.352	0.124	0.038	0.705	0.124	1.129	0.043
9	0.359	0.329	0.311	0.344	0.118	0.028	0.689	0.118	1.091	0.030
15	0.372	0.333	0.295	0.352	0.124	0.035	0.705	0.124	1.116	0.039
4	0.425	0.322	0.253	0.370	0.137	0.078	0.747	0.137	1.319	0.103
20	0.351	0.333	0.316	0.342	0.117	0.017	0.684	0.117	1.055	0.018
30	0.357	0.331	0.313	0.343	0.118	0.024	0.687	0.118	1.078	0.026
20	0.365	0.333	0.302	0.349	0.122	0.030	0.698	0.122	1.099	0.033

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
20	0.351	0.337	0.312	0.344	0.118	0.014	0.688	0.118	1.043	0.015
20	0.335	0.341	0.324	0.338	0.114	-0.006	0.676	0.114	0.981	0.006
12	0.351	0.333	0.315	0.342	0.117	0.017	0.685	0.117	1.054	0.018
12	0.346	0.337	0.317	0.341	0.117	0.009	0.683	0.117	1.029	0.010
30	0.356	0.339	0.305	0.347	0.121	0.017	0.695	0.121	1.053	0.018
20	0.360	0.332	0.308	0.346	0.120	0.026	0.692	0.120	1.084	0.028
40	0.352	0.333	0.315	0.342	0.117	0.018	0.685	0.117	1.057	0.019
15	0.343	0.340	0.317	0.341	0.116	0.003	0.683	0.116	1.010	0.003
30	0.350	0.335	0.316	0.342	0.117	0.014	0.684	0.117	1.045	0.015
12	0.342	0.333	0.325	0.337	0.114	0.008	0.675	0.114	1.025	0.008
20	0.340	0.336	0.324	0.338	0.114	0.003	0.676	0.114	1.009	0.003
40	0.348	0.338	0.314	0.343	0.118	0.010	0.686	0.118	1.031	0.010

ตารางที่ 16 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 25 เซนติเมตร (Ec30)

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
4	0.342	0.331	0.327	0.337	0.113	0.011	0.673	0.113	1.034	0.011
3	0.339	0.332	0.329	0.336	0.113	0.007	0.671	0.113	1.020	0.007
4	0.352	0.334	0.314	0.343	0.117	0.017	0.686	0.117	1.053	0.018
3	0.363	0.338	0.298	0.351	0.123	0.023	0.702	0.123	1.073	0.025
2	0.355	0.339	0.306	0.347	0.120	0.015	0.694	0.120	1.046	0.016
6	0.347	0.330	0.324	0.338	0.114	0.016	0.676	0.114	1.052	0.017
1	0.372	0.328	0.299	0.350	0.122	0.039	0.701	0.122	1.135	0.044
1	0.364	0.333	0.303	0.348	0.121	0.028	0.697	0.121	1.092	0.031
2	0.352	0.322	0.326	0.337	0.113	0.028	0.674	0.113	1.095	0.030
2	0.372	0.328	0.300	0.349	0.122	0.039	0.700	0.122	1.134	0.044
4	0.355	0.333	0.312	0.344	0.118	0.021	0.688	0.118	1.068	0.023
2	0.365	0.340	0.296	0.352	0.124	0.023	0.704	0.124	1.074	0.025

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
2	0.375	0.329	0.296	0.351	0.123	0.040	0.704	0.123	1.139	0.046
1	0.350	0.337	0.313	0.343	0.118	0.012	0.687	0.118	1.038	0.013
3	0.411	0.326	0.263	0.366	0.134	0.068	0.737	0.134	1.261	0.085
2	0.347	0.332	0.320	0.340	0.115	0.015	0.680	0.115	1.047	0.015
3	0.360	0.337	0.303	0.348	0.121	0.022	0.697	0.121	1.071	0.024
2	0.376	0.331	0.294	0.352	0.124	0.040	0.706	0.124	1.137	0.045
2	0.380	0.340	0.280	0.360	0.129	0.035	0.720	0.129	1.116	0.040
1	0.392	0.345	0.263	0.368	0.135	0.041	0.737	0.135	1.136	0.047
1	0.401	0.347	0.252	0.373	0.139	0.047	0.748	0.139	1.158	0.055
1	0.381	0.334	0.284	0.357	0.128	0.041	0.716	0.128	1.140	0.047
2	0.365	0.330	0.304	0.347	0.121	0.031	0.696	0.121	1.105	0.035
1	0.362	0.335	0.303	0.348	0.121	0.025	0.697	0.121	1.081	0.027
2	0.352	0.330	0.318	0.341	0.116	0.020	0.682	0.116	1.065	0.022
2	0.377	0.326	0.297	0.351	0.123	0.044	0.703	0.123	1.155	0.050
1	0.359	0.329	0.312	0.344	0.118	0.028	0.688	0.118	1.094	0.031
1	0.338	0.336	0.326	0.337	0.114	0.002	0.674	0.114	1.006	0.002
2	0.382	0.363	0.255	0.373	0.139	0.018	0.745	0.139	1.052	0.019
2	0.335	0.337	0.328	0.336	0.113	-0.002	0.672	0.113	0.995	0.002
1	0.374	0.340	0.286	0.357	0.127	0.031	0.714	0.127	1.099	0.034
3	0.382	0.332	0.286	0.356	0.127	0.044	0.714	0.127	1.153	0.051
2	0.382	0.326	0.292	0.353	0.125	0.047	0.708	0.125	1.169	0.055
2	0.361	0.354	0.285	0.358	0.128	0.007	0.715	0.128	1.020	0.007
2	0.391	0.327	0.282	0.358	0.128	0.054	0.718	0.128	1.196	0.064
5	0.360	0.327	0.314	0.343	0.118	0.030	0.686	0.118	1.102	0.033
2	0.359	0.336	0.305	0.347	0.121	0.021	0.695	0.121	1.066	0.022
2	0.368	0.338	0.294	0.352	0.124	0.028	0.706	0.124	1.090	0.030
2	0.361	0.334	0.305	0.347	0.121	0.025	0.695	0.121	1.081	0.027
2	0.353	0.328	0.319	0.340	0.116	0.022	0.681	0.116	1.073	0.024

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
1	0.354	0.337	0.309	0.345	0.119	0.016	0.691	0.119	1.050	0.017
1	0.359	0.335	0.306	0.347	0.120	0.023	0.694	0.120	1.073	0.024
2	0.359	0.333	0.308	0.346	0.120	0.024	0.692	0.120	1.077	0.026
12	0.331	0.335	0.334	0.333	0.111	-0.004	0.666	0.111	0.987	0.004
10	0.347	0.329	0.325	0.338	0.114	0.017	0.675	0.114	1.054	0.018
8	0.334	0.337	0.329	0.335	0.112	-0.003	0.671	0.112	0.991	0.003
7	0.335	0.333	0.332	0.334	0.112	0.001	0.668	0.112	1.004	0.001
2	0.422	0.316	0.262	0.365	0.133	0.079	0.738	0.133	1.336	0.106
0	0.387	0.332	0.281	0.359	0.129	0.047	0.719	0.129	1.167	0.055
1	0.361	0.336	0.303	0.348	0.121	0.023	0.697	0.121	1.075	0.025
1	0.338	0.331	0.331	0.334	0.112	0.007	0.669	0.112	1.021	0.007
4	0.333	0.333	0.333	0.333	0.111	0.000	0.667	0.111	1.000	0.000
1	0.413	0.300	0.286	0.352	0.124	0.082	0.714	0.124	1.376	0.113
1	0.411	0.311	0.278	0.357	0.128	0.076	0.722	0.128	1.325	0.101
1	0.412	0.320	0.268	0.363	0.132	0.071	0.732	0.132	1.287	0.092
1	0.352	0.328	0.320	0.340	0.116	0.022	0.680	0.116	1.071	0.023
1	0.353	0.326	0.321	0.339	0.115	0.025	0.679	0.115	1.081	0.027
4	0.367	0.330	0.303	0.348	0.121	0.034	0.697	0.121	1.114	0.037
1	0.349	0.333	0.318	0.341	0.116	0.015	0.682	0.116	1.047	0.016
3	0.352	0.327	0.321	0.339	0.115	0.022	0.679	0.115	1.074	0.024
2	0.340	0.336	0.324	0.338	0.114	0.005	0.676	0.114	1.015	0.005
1	0.351	0.338	0.312	0.344	0.118	0.013	0.688	0.118	1.039	0.013
1	0.364	0.334	0.302	0.349	0.122	0.028	0.698	0.122	1.090	0.030
1	0.357	0.338	0.305	0.347	0.121	0.018	0.695	0.121	1.055	0.019
1	0.374	0.337	0.289	0.355	0.126	0.033	0.711	0.126	1.110	0.037
1	0.360	0.336	0.304	0.348	0.121	0.022	0.696	0.121	1.071	0.024
1	0.364	0.336	0.301	0.349	0.122	0.026	0.699	0.122	1.083	0.028
0	0.350	0.341	0.310	0.345	0.119	0.009	0.690	0.119	1.026	0.009

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
1	0.368	0.341	0.290	0.355	0.126	0.025	0.710	0.126	1.079	0.027
0	0.371	0.334	0.295	0.352	0.124	0.033	0.705	0.124	1.111	0.037
0	0.347	0.338	0.315	0.343	0.117	0.009	0.685	0.117	1.028	0.010
1	0.367	0.332	0.301	0.349	0.122	0.032	0.699	0.122	1.106	0.035
1	0.348	0.336	0.315	0.342	0.117	0.011	0.685	0.117	1.035	0.012
0	0.378	0.325	0.297	0.351	0.123	0.046	0.703	0.123	1.164	0.053
0	0.377	0.332	0.291	0.354	0.125	0.040	0.709	0.125	1.137	0.045
1	0.382	0.330	0.288	0.355	0.126	0.045	0.712	0.126	1.159	0.052
1	0.376	0.335	0.289	0.355	0.126	0.036	0.711	0.126	1.122	0.041
1	0.372	0.328	0.300	0.349	0.122	0.039	0.700	0.122	1.136	0.044
2	0.334	0.334	0.332	0.334	0.111	0.000	0.668	0.111	1.000	0.000
3	0.342	0.335	0.323	0.339	0.115	0.006	0.677	0.115	1.019	0.006
2	0.347	0.335	0.319	0.341	0.116	0.011	0.681	0.116	1.036	0.012
2	0.342	0.336	0.322	0.339	0.115	0.006	0.678	0.115	1.018	0.006
2	0.362	0.332	0.306	0.347	0.120	0.028	0.694	0.120	1.091	0.030
2	0.349	0.336	0.315	0.342	0.117	0.012	0.685	0.117	1.038	0.013
4	0.358	0.334	0.308	0.346	0.120	0.023	0.692	0.120	1.072	0.024
2	0.351	0.334	0.315	0.342	0.117	0.016	0.685	0.117	1.051	0.017
0	0.363	0.335	0.302	0.349	0.122	0.026	0.698	0.122	1.085	0.028
1	0.363	0.335	0.303	0.348	0.121	0.026	0.697	0.121	1.083	0.028
1	0.353	0.333	0.315	0.342	0.117	0.019	0.685	0.117	1.060	0.020
1	0.355	0.337	0.308	0.346	0.120	0.017	0.692	0.120	1.052	0.017
2	0.349	0.335	0.316	0.342	0.117	0.013	0.684	0.117	1.041	0.014
2	0.344	0.334	0.322	0.339	0.115	0.009	0.678	0.115	1.029	0.010
2	0.340	0.332	0.328	0.336	0.113	0.008	0.672	0.113	1.024	0.008
1	0.374	0.331	0.295	0.352	0.124	0.038	0.705	0.124	1.129	0.043
1	0.359	0.329	0.311	0.344	0.118	0.028	0.689	0.118	1.091	0.030
2	0.372	0.333	0.295	0.352	0.124	0.035	0.705	0.124	1.116	0.039

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
1	0.425	0.322	0.253	0.370	0.137	0.078	0.747	0.137	1.319	0.103
3	0.351	0.333	0.316	0.342	0.117	0.017	0.684	0.117	1.055	0.018
3	0.357	0.331	0.313	0.343	0.118	0.024	0.687	0.118	1.078	0.026
1	0.365	0.333	0.302	0.349	0.122	0.030	0.698	0.122	1.099	0.033
1	0.351	0.337	0.312	0.344	0.118	0.014	0.688	0.118	1.043	0.015
1	0.335	0.341	0.324	0.338	0.114	-0.006	0.676	0.114	0.981	0.006
1	0.351	0.333	0.315	0.342	0.117	0.017	0.685	0.117	1.054	0.018
1	0.346	0.337	0.317	0.341	0.117	0.009	0.683	0.117	1.029	0.010
1	0.356	0.339	0.305	0.347	0.121	0.017	0.695	0.121	1.053	0.018
2	0.360	0.332	0.308	0.346	0.120	0.026	0.692	0.120	1.084	0.028
2	0.352	0.333	0.315	0.342	0.117	0.018	0.685	0.117	1.057	0.019
1	0.343	0.340	0.317	0.341	0.116	0.003	0.683	0.116	1.010	0.003
2	0.350	0.335	0.316	0.342	0.117	0.014	0.684	0.117	1.045	0.015
1	0.342	0.333	0.325	0.337	0.114	0.008	0.675	0.114	1.025	0.008
2	0.340	0.336	0.324	0.338	0.114	0.003	0.676	0.114	1.009	0.003
13	0.348	0.338	0.314	0.343	0.118	0.010	0.686	0.118	1.031	0.010

ตารางที่ 17 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 50 เซนติเมตร (Ec0)

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
44	0.341	0.334	0.325	0.337	0.114	0.006	0.675	0.114	1.019	0.007
22	0.341	0.337	0.322	0.339	0.115	0.003	0.678	0.115	1.010	0.004
23	0.347	0.338	0.316	0.342	0.117	0.009	0.684	0.117	1.027	0.009
12	0.364	0.336	0.301	0.349	0.122	0.026	0.699	0.122	1.083	0.028
12	0.367	0.333	0.300	0.350	0.122	0.031	0.700	0.122	1.101	0.034
19	0.349	0.328	0.322	0.339	0.115	0.020	0.678	0.115	1.065	0.021
3	0.382	0.333	0.285	0.357	0.127	0.042	0.715	0.127	1.145	0.048
5	0.369	0.333	0.298	0.350	0.123	0.033	0.702	0.123	1.110	0.037

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
3	0.345	0.331	0.324	0.338	0.114	0.014	0.676	0.114	1.044	0.015
3	0.373	0.328	0.299	0.350	0.122	0.039	0.701	0.122	1.136	0.045
13	0.352	0.335	0.313	0.344	0.118	0.016	0.687	0.118	1.051	0.017
4	0.364	0.337	0.299	0.350	0.123	0.025	0.701	0.123	1.082	0.028
4	0.375	0.333	0.292	0.353	0.125	0.038	0.708	0.125	1.128	0.043
3	0.353	0.338	0.309	0.345	0.119	0.014	0.691	0.119	1.043	0.014
6	0.393	0.331	0.275	0.361	0.130	0.052	0.725	0.130	1.188	0.062
4	0.350	0.335	0.314	0.343	0.117	0.015	0.686	0.117	1.045	0.015
5	0.370	0.335	0.294	0.352	0.124	0.032	0.706	0.124	1.104	0.035
3	0.395	0.325	0.280	0.358	0.128	0.058	0.720	0.128	1.216	0.070
3	0.385	0.342	0.273	0.363	0.132	0.039	0.727	0.132	1.128	0.044
1	0.403	0.344	0.253	0.372	0.138	0.050	0.747	0.138	1.172	0.059
2	0.396	0.337	0.267	0.365	0.134	0.051	0.733	0.134	1.177	0.060
2	0.392	0.333	0.275	0.361	0.131	0.050	0.725	0.131	1.175	0.058
4	0.370	0.328	0.302	0.348	0.121	0.037	0.698	0.121	1.126	0.041
4	0.362	0.336	0.302	0.349	0.122	0.024	0.698	0.122	1.079	0.026
5	0.354	0.329	0.317	0.341	0.116	0.023	0.683	0.116	1.074	0.024
3	0.371	0.327	0.301	0.349	0.122	0.039	0.699	0.122	1.134	0.044
4	0.361	0.335	0.304	0.348	0.121	0.024	0.696	0.121	1.077	0.026
3	0.350	0.338	0.313	0.344	0.118	0.012	0.688	0.118	1.037	0.013
2	0.380	0.352	0.268	0.366	0.134	0.026	0.732	0.134	1.080	0.028
4	0.336	0.336	0.328	0.336	0.113	0.000	0.672	0.113	1.000	0.000
3	0.373	0.345	0.282	0.359	0.129	0.027	0.718	0.129	1.083	0.029
6	0.376	0.340	0.284	0.357	0.128	0.033	0.716	0.128	1.107	0.036
4	0.388	0.326	0.287	0.355	0.126	0.052	0.713	0.126	1.190	0.062
8	0.365	0.347	0.288	0.356	0.127	0.018	0.712	0.127	1.053	0.018
18	0.388	0.328	0.284	0.357	0.127	0.051	0.716	0.127	1.182	0.060
61	0.360	0.328	0.312	0.343	0.118	0.029	0.688	0.118	1.099	0.032

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
60	0.355	0.337	0.308	0.346	0.120	0.017	0.692	0.120	1.053	0.018
13	0.365	0.336	0.299	0.350	0.123	0.027	0.701	0.123	1.087	0.029
61	0.363	0.331	0.306	0.347	0.120	0.029	0.694	0.120	1.096	0.032
10	0.351	0.332	0.317	0.341	0.117	0.018	0.683	0.117	1.057	0.019
5	0.353	0.338	0.308	0.346	0.120	0.014	0.692	0.120	1.044	0.015
6	0.366	0.332	0.302	0.348	0.121	0.031	0.698	0.121	1.102	0.034
3	0.359	0.334	0.307	0.346	0.120	0.023	0.693	0.120	1.074	0.025
60	0.335	0.333	0.332	0.334	0.112	0.001	0.668	0.112	1.004	0.001
60	0.347	0.329	0.323	0.338	0.114	0.017	0.677	0.114	1.055	0.018
50	0.341	0.335	0.323	0.338	0.114	0.006	0.677	0.114	1.018	0.006
40	0.334	0.334	0.331	0.334	0.112	0.000	0.669	0.112	1.000	0.000
5	0.420	0.320	0.259	0.367	0.135	0.076	0.741	0.135	1.312	0.100
1	0.384	0.333	0.283	0.358	0.128	0.045	0.717	0.128	1.155	0.052
15	0.368	0.339	0.293	0.353	0.125	0.027	0.707	0.125	1.085	0.029
50	0.342	0.329	0.329	0.335	0.113	0.013	0.671	0.113	1.041	0.013
40	0.336	0.333	0.331	0.334	0.112	0.003	0.669	0.112	1.010	0.003
3	0.404	0.310	0.286	0.354	0.125	0.072	0.714	0.125	1.303	0.094
4	0.410	0.315	0.275	0.359	0.129	0.073	0.725	0.129	1.300	0.095
6	0.411	0.313	0.275	0.359	0.129	0.075	0.725	0.129	1.313	0.098
2	0.360	0.320	0.320	0.339	0.115	0.035	0.680	0.115	1.123	0.039
2	0.355	0.327	0.318	0.341	0.116	0.026	0.682	0.116	1.088	0.029
20	0.359	0.333	0.308	0.346	0.120	0.024	0.692	0.120	1.077	0.026
30	0.349	0.335	0.315	0.342	0.117	0.013	0.685	0.117	1.041	0.014
30	0.346	0.332	0.322	0.339	0.115	0.014	0.678	0.115	1.043	0.014
20	0.339	0.336	0.325	0.338	0.114	0.003	0.675	0.114	1.010	0.003
12	0.353	0.333	0.314	0.343	0.118	0.019	0.686	0.118	1.059	0.020
4	0.368	0.332	0.301	0.349	0.122	0.033	0.699	0.122	1.109	0.036
4	0.359	0.338	0.303	0.348	0.121	0.019	0.697	0.121	1.061	0.021

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
4	0.377	0.335	0.288	0.355	0.126	0.037	0.712	0.126	1.125	0.042
1	0.365	0.336	0.300	0.350	0.122	0.027	0.700	0.122	1.087	0.029
1	0.361	0.340	0.299	0.351	0.123	0.020	0.701	0.123	1.061	0.021
17	0.355	0.334	0.311	0.344	0.119	0.020	0.689	0.119	1.063	0.021
4	0.369	0.338	0.293	0.353	0.125	0.028	0.707	0.125	1.090	0.031
1	0.368	0.331	0.301	0.349	0.122	0.034	0.699	0.122	1.113	0.037
5	0.350	0.338	0.311	0.344	0.119	0.011	0.689	0.119	1.034	0.012
4	0.371	0.332	0.297	0.351	0.123	0.035	0.703	0.123	1.119	0.040
5	0.359	0.333	0.307	0.346	0.120	0.024	0.693	0.120	1.078	0.026
0	0.373	0.325	0.303	0.348	0.121	0.042	0.697	0.121	1.147	0.048
1	0.371	0.338	0.290	0.354	0.126	0.030	0.710	0.126	1.097	0.033
1	0.390	0.335	0.275	0.362	0.131	0.047	0.725	0.131	1.164	0.055
1	0.375	0.334	0.291	0.354	0.125	0.036	0.709	0.125	1.121	0.041
2	0.363	0.332	0.305	0.347	0.120	0.029	0.695	0.120	1.096	0.032
13	0.337	0.336	0.327	0.337	0.113	0.002	0.673	0.113	1.005	0.002
30	0.340	0.342	0.319	0.341	0.116	-0.002	0.681	0.116	0.994	0.002
30	0.349	0.335	0.316	0.342	0.117	0.014	0.684	0.117	1.043	0.014
30	0.345	0.335	0.320	0.340	0.115	0.010	0.680	0.115	1.030	0.010
13	0.361	0.333	0.306	0.347	0.120	0.025	0.694	0.120	1.082	0.027
17	0.350	0.342	0.308	0.346	0.120	0.008	0.692	0.120	1.024	0.008
40	0.364	0.325	0.311	0.344	0.118	0.035	0.689	0.118	1.122	0.039
40	0.356	0.332	0.312	0.344	0.118	0.022	0.688	0.118	1.071	0.024
1	0.378	0.325	0.297	0.350	0.123	0.046	0.703	0.123	1.164	0.053
10	0.365	0.331	0.304	0.348	0.121	0.031	0.696	0.121	1.105	0.035
4	0.354	0.330	0.316	0.342	0.117	0.022	0.684	0.117	1.071	0.024
2	0.360	0.334	0.306	0.347	0.120	0.024	0.694	0.120	1.076	0.025
10	0.351	0.336	0.313	0.344	0.118	0.015	0.687	0.118	1.046	0.015
7	0.332	0.332	0.336	0.332	0.110	0.000	0.664	0.110	1.000	0.000

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
17	0.344	0.336	0.319	0.340	0.116	0.008	0.681	0.116	1.025	0.008
15	0.378	0.329	0.293	0.353	0.125	0.042	0.707	0.125	1.147	0.048
9	0.357	0.331	0.312	0.344	0.118	0.025	0.688	0.118	1.080	0.027
15	0.371	0.333	0.296	0.352	0.124	0.034	0.704	0.124	1.113	0.038
4	0.424	0.318	0.258	0.367	0.135	0.080	0.742	0.135	1.336	0.107
20	0.357	0.329	0.315	0.342	0.117	0.026	0.685	0.117	1.085	0.028
30	0.356	0.334	0.310	0.345	0.119	0.021	0.690	0.119	1.067	0.022
20	0.364	0.333	0.302	0.348	0.121	0.028	0.698	0.121	1.093	0.031
20	0.358	0.335	0.307	0.346	0.120	0.022	0.693	0.120	1.070	0.023
20	0.343	0.339	0.317	0.341	0.116	0.004	0.683	0.116	1.013	0.004
12	0.353	0.333	0.313	0.343	0.118	0.019	0.687	0.118	1.060	0.020
12	0.347	0.335	0.318	0.341	0.116	0.011	0.682	0.116	1.035	0.012
30	0.354	0.338	0.308	0.346	0.120	0.015	0.692	0.120	1.048	0.016
20	0.357	0.331	0.312	0.344	0.118	0.024	0.688	0.118	1.080	0.026
40	0.352	0.331	0.317	0.342	0.117	0.020	0.683	0.117	1.065	0.021
15	0.348	0.336	0.316	0.342	0.117	0.012	0.684	0.117	1.037	0.013
30	0.352	0.334	0.314	0.343	0.118	0.017	0.686	0.118	1.055	0.018
12	0.345	0.332	0.323	0.338	0.114	0.012	0.677	0.114	1.039	0.013
20	0.342	0.338	0.320	0.340	0.116	0.003	0.680	0.116	1.010	0.003
40	0.350	0.336	0.314	0.343	0.117	0.014	0.686	0.117	1.042	0.014

ตารางที่ 18 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 50 เซนติเมตร (Ec30)

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
4	0.341	0.334	0.325	0.337	0.114	0.006	0.675	0.114	1.019	0.007
3	0.341	0.337	0.322	0.339	0.115	0.003	0.678	0.115	1.010	0.004
4	0.347	0.338	0.316	0.342	0.117	0.009	0.684	0.117	1.027	0.009
3	0.364	0.336	0.301	0.349	0.122	0.026	0.699	0.122	1.083	0.028

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
2	0.367	0.333	0.300	0.350	0.122	0.031	0.700	0.122	1.101	0.034
6	0.349	0.328	0.322	0.339	0.115	0.020	0.678	0.115	1.065	0.021
1	0.382	0.333	0.285	0.357	0.127	0.042	0.715	0.127	1.145	0.048
1	0.369	0.333	0.298	0.350	0.123	0.033	0.702	0.123	1.110	0.037
2	0.345	0.331	0.324	0.338	0.114	0.014	0.676	0.114	1.044	0.015
2	0.373	0.328	0.299	0.350	0.122	0.039	0.701	0.122	1.136	0.045
4	0.352	0.335	0.313	0.344	0.118	0.016	0.687	0.118	1.051	0.017
2	0.364	0.337	0.299	0.350	0.123	0.025	0.701	0.123	1.082	0.028
2	0.375	0.333	0.292	0.353	0.125	0.038	0.708	0.125	1.128	0.043
1	0.353	0.338	0.309	0.345	0.119	0.014	0.691	0.119	1.043	0.014
3	0.393	0.331	0.275	0.361	0.130	0.052	0.725	0.130	1.188	0.062
2	0.350	0.335	0.314	0.343	0.117	0.015	0.686	0.117	1.045	0.015
3	0.370	0.335	0.294	0.352	0.124	0.032	0.706	0.124	1.104	0.035
2	0.395	0.325	0.280	0.358	0.128	0.058	0.720	0.128	1.216	0.070
2	0.385	0.342	0.273	0.363	0.132	0.039	0.727	0.132	1.128	0.044
1	0.403	0.344	0.253	0.372	0.138	0.050	0.747	0.138	1.172	0.059
1	0.396	0.337	0.267	0.365	0.134	0.051	0.733	0.134	1.177	0.060
1	0.392	0.333	0.275	0.361	0.131	0.050	0.725	0.131	1.175	0.058
2	0.370	0.328	0.302	0.348	0.121	0.037	0.698	0.121	1.126	0.041
1	0.362	0.336	0.302	0.349	0.122	0.024	0.698	0.122	1.079	0.026
2	0.354	0.329	0.317	0.341	0.116	0.023	0.683	0.116	1.074	0.024
2	0.371	0.327	0.301	0.349	0.122	0.039	0.699	0.122	1.134	0.044
1	0.361	0.335	0.304	0.348	0.121	0.024	0.696	0.121	1.077	0.026
1	0.350	0.338	0.313	0.344	0.118	0.012	0.688	0.118	1.037	0.013
2	0.380	0.352	0.268	0.366	0.134	0.026	0.732	0.134	1.080	0.028
2	0.336	0.336	0.328	0.336	0.113	0.000	0.672	0.113	1.000	0.000
1	0.373	0.345	0.282	0.359	0.129	0.027	0.718	0.129	1.083	0.029
3	0.376	0.340	0.284	0.357	0.128	0.033	0.716	0.128	1.107	0.036

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
2	0.388	0.326	0.287	0.355	0.126	0.052	0.713	0.126	1.190	0.062
2	0.365	0.347	0.288	0.356	0.127	0.018	0.712	0.127	1.053	0.018
2	0.388	0.328	0.284	0.357	0.127	0.051	0.716	0.127	1.182	0.060
5	0.360	0.328	0.312	0.343	0.118	0.029	0.688	0.118	1.099	0.032
2	0.355	0.337	0.308	0.346	0.120	0.017	0.692	0.120	1.053	0.018
2	0.365	0.336	0.299	0.350	0.123	0.027	0.701	0.123	1.087	0.029
2	0.363	0.331	0.306	0.347	0.120	0.029	0.694	0.120	1.096	0.032
2	0.351	0.332	0.317	0.341	0.117	0.018	0.683	0.117	1.057	0.019
1	0.353	0.338	0.308	0.346	0.120	0.014	0.692	0.120	1.044	0.015
1	0.366	0.332	0.302	0.348	0.121	0.031	0.698	0.121	1.102	0.034
2	0.359	0.334	0.307	0.346	0.120	0.023	0.693	0.120	1.074	0.025
12	0.335	0.333	0.332	0.334	0.112	0.001	0.668	0.112	1.004	0.001
10	0.347	0.329	0.323	0.338	0.114	0.017	0.677	0.114	1.055	0.018
8	0.341	0.335	0.323	0.338	0.114	0.006	0.677	0.114	1.018	0.006
7	0.334	0.334	0.331	0.334	0.112	0.000	0.669	0.112	1.000	0.000
2	0.420	0.320	0.259	0.367	0.135	0.076	0.741	0.135	1.312	0.100
0	0.384	0.333	0.283	0.358	0.128	0.045	0.717	0.128	1.155	0.052
1	0.368	0.339	0.293	0.353	0.125	0.027	0.707	0.125	1.085	0.029
1	0.342	0.329	0.329	0.335	0.113	0.013	0.671	0.113	1.041	0.013
4	0.336	0.333	0.331	0.334	0.112	0.003	0.669	0.112	1.010	0.003
1	0.404	0.310	0.286	0.354	0.125	0.072	0.714	0.125	1.303	0.094
1	0.410	0.315	0.275	0.359	0.129	0.073	0.725	0.129	1.300	0.095
1	0.411	0.313	0.275	0.359	0.129	0.075	0.725	0.129	1.313	0.098
1	0.360	0.320	0.320	0.339	0.115	0.035	0.680	0.115	1.123	0.039
1	0.355	0.327	0.318	0.341	0.116	0.026	0.682	0.116	1.088	0.029
4	0.359	0.333	0.308	0.346	0.120	0.024	0.692	0.120	1.077	0.026
1	0.349	0.335	0.315	0.342	0.117	0.013	0.685	0.117	1.041	0.014
3	0.346	0.332	0.322	0.339	0.115	0.014	0.678	0.115	1.043	0.014

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
2	0.339	0.336	0.325	0.338	0.114	0.003	0.675	0.114	1.010	0.003
1	0.353	0.333	0.314	0.343	0.118	0.019	0.686	0.118	1.059	0.020
1	0.368	0.332	0.301	0.349	0.122	0.033	0.699	0.122	1.109	0.036
1	0.359	0.338	0.303	0.348	0.121	0.019	0.697	0.121	1.061	0.021
1	0.377	0.335	0.288	0.355	0.126	0.037	0.712	0.126	1.125	0.042
1	0.365	0.336	0.300	0.350	0.122	0.027	0.700	0.122	1.087	0.029
1	0.361	0.340	0.299	0.351	0.123	0.020	0.701	0.123	1.061	0.021
0	0.355	0.334	0.311	0.344	0.119	0.020	0.689	0.119	1.063	0.021
1	0.369	0.338	0.293	0.353	0.125	0.028	0.707	0.125	1.090	0.031
0	0.368	0.331	0.301	0.349	0.122	0.034	0.699	0.122	1.113	0.037
0	0.350	0.338	0.311	0.344	0.119	0.011	0.689	0.119	1.034	0.012
1	0.371	0.332	0.297	0.351	0.123	0.035	0.703	0.123	1.119	0.040
1	0.359	0.333	0.307	0.346	0.120	0.024	0.693	0.120	1.078	0.026
0	0.373	0.325	0.303	0.348	0.121	0.042	0.697	0.121	1.147	0.048
0	0.371	0.338	0.290	0.354	0.126	0.030	0.710	0.126	1.097	0.033
1	0.390	0.335	0.275	0.362	0.131	0.047	0.725	0.131	1.164	0.055
1	0.375	0.334	0.291	0.354	0.125	0.036	0.709	0.125	1.121	0.041
1	0.363	0.332	0.305	0.347	0.120	0.029	0.695	0.120	1.096	0.032
2	0.337	0.336	0.327	0.337	0.113	0.002	0.673	0.113	1.005	0.002
3	0.340	0.342	0.319	0.341	0.116	-0.002	0.681	0.116	0.994	0.002
2	0.349	0.335	0.316	0.342	0.117	0.014	0.684	0.117	1.043	0.014
2	0.345	0.335	0.320	0.340	0.115	0.010	0.680	0.115	1.030	0.010
2	0.361	0.333	0.306	0.347	0.120	0.025	0.694	0.120	1.082	0.027
2	0.350	0.342	0.308	0.346	0.120	0.008	0.692	0.120	1.024	0.008
4	0.364	0.325	0.311	0.344	0.118	0.035	0.689	0.118	1.122	0.039
2	0.356	0.332	0.312	0.344	0.118	0.022	0.688	0.118	1.071	0.024
0	0.378	0.325	0.297	0.350	0.123	0.046	0.703	0.123	1.164	0.053
1	0.365	0.331	0.304	0.348	0.121	0.031	0.696	0.121	1.105	0.035

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
1	0.354	0.330	0.316	0.342	0.117	0.022	0.684	0.117	1.071	0.024
1	0.360	0.334	0.306	0.347	0.120	0.024	0.694	0.120	1.076	0.025
2	0.351	0.336	0.313	0.344	0.118	0.015	0.687	0.118	1.046	0.015
2	0.332	0.332	0.336	0.332	0.110	0.000	0.664	0.110	1.000	0.000
2	0.344	0.336	0.319	0.340	0.116	0.008	0.681	0.116	1.025	0.008
1	0.378	0.329	0.293	0.353	0.125	0.042	0.707	0.125	1.147	0.048
1	0.357	0.331	0.312	0.344	0.118	0.025	0.688	0.118	1.080	0.027
2	0.371	0.333	0.296	0.352	0.124	0.034	0.704	0.124	1.113	0.038
1	0.424	0.318	0.258	0.367	0.135	0.080	0.742	0.135	1.336	0.107
3	0.357	0.329	0.315	0.342	0.117	0.026	0.685	0.117	1.085	0.028
3	0.356	0.334	0.310	0.345	0.119	0.021	0.690	0.119	1.067	0.022
1	0.364	0.333	0.302	0.348	0.121	0.028	0.698	0.121	1.093	0.031
1	0.358	0.335	0.307	0.346	0.120	0.022	0.693	0.120	1.070	0.023
1	0.343	0.339	0.317	0.341	0.116	0.004	0.683	0.116	1.013	0.004
1	0.353	0.333	0.313	0.343	0.118	0.019	0.687	0.118	1.060	0.020
1	0.347	0.335	0.318	0.341	0.116	0.011	0.682	0.116	1.035	0.012
1	0.354	0.338	0.308	0.346	0.120	0.015	0.692	0.120	1.048	0.016
2	0.357	0.331	0.312	0.344	0.118	0.024	0.688	0.118	1.080	0.026
2	0.352	0.331	0.317	0.342	0.117	0.020	0.683	0.117	1.065	0.021
1	0.348	0.336	0.316	0.342	0.117	0.012	0.684	0.117	1.037	0.013
2	0.352	0.334	0.314	0.343	0.118	0.017	0.686	0.118	1.055	0.018
1	0.345	0.332	0.323	0.338	0.114	0.012	0.677	0.114	1.039	0.013
2	0.342	0.338	0.320	0.340	0.116	0.003	0.680	0.116	1.010	0.003
13	0.350	0.336	0.314	0.343	0.117	0.014	0.686	0.117	1.042	0.014

ตารางที่ 19 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 100 เซนติเมตร (Ec0)

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
44	0.348	0.332	0.321	0.340	0.115	0.015	0.679	0.115	1.047	0.016
22	0.355	0.333	0.312	0.344	0.118	0.020	0.688	0.118	1.064	0.021
23	0.351	0.336	0.313	0.344	0.118	0.014	0.687	0.118	1.043	0.015
12	0.366	0.333	0.300	0.349	0.122	0.030	0.700	0.122	1.099	0.033
12	0.370	0.333	0.297	0.351	0.123	0.033	0.703	0.123	1.109	0.036
19	0.354	0.331	0.314	0.343	0.117	0.022	0.686	0.117	1.070	0.023
3	0.380	0.338	0.281	0.359	0.129	0.037	0.719	0.129	1.124	0.042
5	0.372	0.331	0.297	0.351	0.123	0.036	0.703	0.123	1.124	0.041
3	0.343	0.333	0.323	0.338	0.114	0.010	0.677	0.114	1.030	0.010
3	0.370	0.328	0.302	0.349	0.121	0.037	0.698	0.121	1.129	0.042
13	0.353	0.335	0.312	0.344	0.118	0.018	0.688	0.118	1.056	0.019
4	0.374	0.336	0.290	0.354	0.125	0.034	0.710	0.125	1.113	0.038
4	0.378	0.334	0.288	0.355	0.126	0.038	0.712	0.126	1.130	0.043
3	0.361	0.337	0.302	0.349	0.122	0.023	0.698	0.122	1.072	0.024
6	0.384	0.332	0.285	0.357	0.127	0.045	0.715	0.127	1.157	0.052
4	0.351	0.337	0.312	0.344	0.118	0.014	0.688	0.118	1.042	0.014
5	0.380	0.337	0.283	0.358	0.128	0.038	0.717	0.128	1.129	0.043
3	0.389	0.333	0.278	0.360	0.130	0.048	0.722	0.130	1.167	0.056
3	0.387	0.342	0.271	0.364	0.132	0.039	0.729	0.132	1.130	0.045
1	0.403	0.340	0.257	0.370	0.137	0.053	0.743	0.137	1.187	0.063
2	0.391	0.342	0.267	0.366	0.134	0.043	0.733	0.134	1.143	0.049
2	0.387	0.334	0.279	0.360	0.129	0.045	0.721	0.129	1.157	0.053
4	0.368	0.335	0.297	0.351	0.123	0.030	0.703	0.123	1.098	0.033
4	0.357	0.341	0.302	0.349	0.122	0.015	0.698	0.122	1.046	0.016
5	0.353	0.335	0.312	0.344	0.118	0.016	0.688	0.118	1.052	0.017
3	0.369	0.332	0.299	0.350	0.123	0.033	0.701	0.123	1.110	0.037

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
4	0.366	0.332	0.302	0.348	0.121	0.031	0.698	0.121	1.103	0.034
3	0.348	0.338	0.313	0.343	0.118	0.010	0.687	0.118	1.030	0.010
2	0.387	0.358	0.255	0.372	0.139	0.026	0.745	0.139	1.079	0.028
4	0.339	0.339	0.322	0.339	0.115	0.000	0.678	0.115	1.000	0.000
3	0.380	0.344	0.276	0.362	0.131	0.033	0.724	0.131	1.107	0.037
6	0.379	0.341	0.281	0.359	0.129	0.034	0.719	0.129	1.112	0.038
4	0.385	0.324	0.292	0.353	0.125	0.051	0.708	0.125	1.189	0.061
8	0.367	0.343	0.290	0.355	0.126	0.023	0.710	0.126	1.072	0.025
18	0.390	0.329	0.280	0.359	0.129	0.051	0.720	0.129	1.184	0.061
61	0.358	0.332	0.310	0.345	0.119	0.024	0.690	0.119	1.077	0.026
60	0.357	0.335	0.308	0.346	0.120	0.021	0.692	0.120	1.068	0.023
13	0.370	0.336	0.294	0.353	0.124	0.031	0.706	0.124	1.100	0.034
61	0.365	0.332	0.303	0.348	0.121	0.030	0.697	0.121	1.101	0.033
10	0.350	0.333	0.317	0.341	0.117	0.017	0.683	0.117	1.053	0.018
5	0.354	0.339	0.307	0.346	0.120	0.015	0.693	0.120	1.046	0.016
6	0.369	0.339	0.292	0.354	0.125	0.027	0.708	0.125	1.088	0.030
3	0.357	0.336	0.306	0.347	0.120	0.020	0.694	0.120	1.062	0.021
60	0.335	0.332	0.332	0.334	0.111	0.003	0.668	0.111	1.009	0.003
60	0.347	0.329	0.324	0.338	0.114	0.017	0.676	0.114	1.056	0.018
50	0.344	0.333	0.323	0.339	0.115	0.010	0.677	0.115	1.032	0.011
40	0.341	0.334	0.325	0.338	0.114	0.007	0.675	0.114	1.022	0.007
5	0.415	0.314	0.271	0.361	0.130	0.076	0.729	0.130	1.322	0.101
1	0.385	0.333	0.282	0.358	0.128	0.045	0.718	0.128	1.155	0.052
15	0.372	0.345	0.283	0.358	0.128	0.025	0.717	0.128	1.079	0.027
50	0.348	0.333	0.319	0.340	0.116	0.015	0.681	0.116	1.046	0.015
40	0.335	0.335	0.330	0.335	0.112	0.000	0.670	0.112	1.000	0.000
3	0.396	0.318	0.286	0.355	0.126	0.062	0.714	0.126	1.244	0.078
4	0.408	0.318	0.273	0.361	0.130	0.070	0.727	0.130	1.283	0.090

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
6	0.402	0.321	0.278	0.359	0.129	0.065	0.722	0.129	1.252	0.081
2	0.365	0.321	0.315	0.342	0.117	0.039	0.685	0.117	1.138	0.044
2	0.359	0.328	0.313	0.343	0.118	0.029	0.687	0.118	1.096	0.031
20	0.358	0.334	0.308	0.346	0.119	0.022	0.692	0.119	1.071	0.024
30	0.351	0.335	0.314	0.343	0.118	0.016	0.686	0.118	1.049	0.017
30	0.349	0.332	0.319	0.340	0.116	0.016	0.681	0.116	1.049	0.016
20	0.353	0.333	0.314	0.343	0.118	0.019	0.686	0.118	1.062	0.021
12	0.355	0.333	0.312	0.344	0.118	0.021	0.688	0.118	1.068	0.023
4	0.370	0.333	0.297	0.351	0.123	0.033	0.703	0.123	1.109	0.036
4	0.363	0.337	0.301	0.349	0.122	0.024	0.699	0.122	1.078	0.026
4	0.374	0.337	0.289	0.355	0.126	0.033	0.711	0.126	1.109	0.037
1	0.367	0.337	0.296	0.352	0.124	0.027	0.704	0.124	1.088	0.030
1	0.360	0.339	0.300	0.350	0.122	0.020	0.700	0.122	1.061	0.021
17	0.355	0.336	0.308	0.346	0.119	0.018	0.692	0.119	1.056	0.019
4	0.359	0.337	0.304	0.348	0.121	0.021	0.696	0.121	1.065	0.022
1	0.370	0.329	0.301	0.349	0.122	0.036	0.699	0.122	1.123	0.041
5	0.354	0.337	0.309	0.345	0.119	0.017	0.691	0.119	1.053	0.018
4	0.372	0.331	0.297	0.351	0.123	0.037	0.703	0.123	1.124	0.041
5	0.363	0.337	0.300	0.350	0.122	0.025	0.700	0.122	1.079	0.027
0	0.371	0.331	0.299	0.350	0.123	0.036	0.701	0.123	1.121	0.040
1	0.368	0.338	0.294	0.353	0.124	0.028	0.706	0.124	1.091	0.031
1	0.385	0.332	0.283	0.357	0.128	0.046	0.717	0.128	1.161	0.053
1	0.368	0.338	0.295	0.352	0.124	0.028	0.705	0.124	1.089	0.030
2	0.361	0.332	0.306	0.347	0.120	0.027	0.694	0.120	1.087	0.029
13	0.342	0.335	0.324	0.338	0.114	0.007	0.676	0.114	1.021	0.007
30	0.350	0.337	0.313	0.344	0.118	0.012	0.687	0.118	1.037	0.012
30	0.352	0.334	0.314	0.343	0.118	0.017	0.686	0.118	1.055	0.018
30	0.348	0.336	0.316	0.342	0.117	0.012	0.684	0.117	1.036	0.012

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
13	0.357	0.330	0.313	0.343	0.118	0.025	0.688	0.118	1.081	0.027
17	0.353	0.340	0.307	0.346	0.120	0.013	0.693	0.120	1.038	0.013
40	0.365	0.328	0.307	0.346	0.120	0.033	0.693	0.120	1.113	0.037
40	0.353	0.333	0.313	0.343	0.118	0.019	0.687	0.118	1.060	0.020
1	0.370	0.326	0.304	0.347	0.121	0.039	0.696	0.121	1.136	0.044
10	0.366	0.330	0.305	0.347	0.121	0.032	0.695	0.121	1.108	0.036
4	0.356	0.328	0.316	0.342	0.117	0.026	0.684	0.117	1.085	0.028
2	0.363	0.330	0.307	0.346	0.120	0.031	0.693	0.120	1.103	0.034
10	0.355	0.338	0.307	0.346	0.120	0.016	0.693	0.120	1.049	0.017
7	0.343	0.335	0.321	0.339	0.115	0.008	0.679	0.115	1.025	0.008
17	0.345	0.337	0.318	0.341	0.116	0.008	0.682	0.116	1.025	0.008
15	0.366	0.336	0.298	0.350	0.123	0.028	0.702	0.123	1.090	0.030
9	0.362	0.337	0.301	0.349	0.122	0.023	0.699	0.122	1.073	0.025
15	0.373	0.332	0.295	0.352	0.124	0.037	0.705	0.124	1.124	0.041
4	0.426	0.321	0.253	0.370	0.137	0.079	0.747	0.137	1.324	0.104
20	0.358	0.327	0.315	0.342	0.117	0.029	0.685	0.117	1.097	0.032
30	0.352	0.334	0.314	0.343	0.118	0.017	0.686	0.118	1.054	0.018
20	0.364	0.336	0.300	0.350	0.122	0.025	0.700	0.122	1.082	0.027
20	0.356	0.335	0.309	0.345	0.119	0.020	0.691	0.119	1.064	0.021
20	0.350	0.337	0.313	0.344	0.118	0.013	0.688	0.118	1.040	0.013
12	0.355	0.333	0.313	0.344	0.118	0.021	0.687	0.118	1.067	0.022
12	0.349	0.335	0.317	0.342	0.117	0.014	0.683	0.117	1.042	0.014
30	0.354	0.337	0.309	0.346	0.119	0.016	0.691	0.119	1.049	0.016
20	0.359	0.333	0.308	0.346	0.120	0.024	0.692	0.120	1.077	0.026
40	0.349	0.334	0.317	0.341	0.117	0.014	0.683	0.117	1.045	0.015
15	0.346	0.338	0.317	0.342	0.117	0.008	0.683	0.117	1.023	0.008
30	0.345	0.336	0.319	0.341	0.116	0.009	0.681	0.116	1.026	0.009
12	0.343	0.336	0.320	0.340	0.115	0.007	0.680	0.115	1.020	0.007

Ec0	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
20	0.347	0.337	0.316	0.342	0.117	0.010	0.684	0.117	1.031	0.010
40	0.349	0.337	0.314	0.343	0.118	0.012	0.686	0.118	1.037	0.012

ตารางที่ 20 ค่าสะท้อนแสงที่ปรับแก้ค่าสะท้อนแสง และค่าดัชนีต่างๆ จากโปรแกรม QGIS 3.8 ที่ GSD 100 เซนติเมตร (Ec30)

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
4	0.348	0.332	0.321	0.340	0.115	0.015	0.679	0.115	1.047	0.016
3	0.355	0.333	0.312	0.344	0.118	0.020	0.688	0.118	1.064	0.021
4	0.351	0.336	0.313	0.344	0.118	0.014	0.687	0.118	1.043	0.015
3	0.366	0.333	0.300	0.349	0.122	0.030	0.700	0.122	1.099	0.033
2	0.370	0.333	0.297	0.351	0.123	0.033	0.703	0.123	1.109	0.036
6	0.354	0.331	0.314	0.343	0.117	0.022	0.686	0.117	1.070	0.023
1	0.380	0.338	0.281	0.359	0.129	0.037	0.719	0.129	1.124	0.042
1	0.372	0.331	0.297	0.351	0.123	0.036	0.703	0.123	1.124	0.041
2	0.343	0.333	0.323	0.338	0.114	0.010	0.677	0.114	1.030	0.010
2	0.370	0.328	0.302	0.349	0.121	0.037	0.698	0.121	1.129	0.042
4	0.353	0.335	0.312	0.344	0.118	0.018	0.688	0.118	1.056	0.019
2	0.374	0.336	0.290	0.354	0.125	0.034	0.710	0.125	1.113	0.038
2	0.378	0.334	0.288	0.355	0.126	0.038	0.712	0.126	1.130	0.043
1	0.361	0.337	0.302	0.349	0.122	0.023	0.698	0.122	1.072	0.024
3	0.384	0.332	0.285	0.357	0.127	0.045	0.715	0.127	1.157	0.052
2	0.351	0.337	0.312	0.344	0.118	0.014	0.688	0.118	1.042	0.014
3	0.380	0.337	0.283	0.358	0.128	0.038	0.717	0.128	1.129	0.043
2	0.389	0.333	0.278	0.360	0.130	0.048	0.722	0.130	1.167	0.056
2	0.387	0.342	0.271	0.364	0.132	0.039	0.729	0.132	1.130	0.045
1	0.403	0.340	0.257	0.370	0.137	0.053	0.743	0.137	1.187	0.063
1	0.391	0.342	0.267	0.366	0.134	0.043	0.733	0.134	1.143	0.049
1	0.387	0.334	0.279	0.360	0.129	0.045	0.721	0.129	1.157	0.053

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
2	0.368	0.335	0.297	0.351	0.123	0.030	0.703	0.123	1.098	0.033
1	0.357	0.341	0.302	0.349	0.122	0.015	0.698	0.122	1.046	0.016
2	0.353	0.335	0.312	0.344	0.118	0.016	0.688	0.118	1.052	0.017
2	0.369	0.332	0.299	0.350	0.123	0.033	0.701	0.123	1.110	0.037
1	0.366	0.332	0.302	0.348	0.121	0.031	0.698	0.121	1.103	0.034
1	0.348	0.338	0.313	0.343	0.118	0.010	0.687	0.118	1.030	0.010
2	0.387	0.358	0.255	0.372	0.139	0.026	0.745	0.139	1.079	0.028
2	0.339	0.339	0.322	0.339	0.115	0.000	0.678	0.115	1.000	0.000
1	0.380	0.344	0.276	0.362	0.131	0.033	0.724	0.131	1.107	0.037
3	0.379	0.341	0.281	0.359	0.129	0.034	0.719	0.129	1.112	0.038
2	0.385	0.324	0.292	0.353	0.125	0.051	0.708	0.125	1.189	0.061
2	0.367	0.343	0.290	0.355	0.126	0.023	0.710	0.126	1.072	0.025
2	0.390	0.329	0.280	0.359	0.129	0.051	0.720	0.129	1.184	0.061
5	0.358	0.332	0.310	0.345	0.119	0.024	0.690	0.119	1.077	0.026
2	0.357	0.335	0.308	0.346	0.120	0.021	0.692	0.120	1.068	0.023
2	0.370	0.336	0.294	0.353	0.124	0.031	0.706	0.124	1.100	0.034
2	0.365	0.332	0.303	0.348	0.121	0.030	0.697	0.121	1.101	0.033
2	0.350	0.333	0.317	0.341	0.117	0.017	0.683	0.117	1.053	0.018
1	0.354	0.339	0.307	0.346	0.120	0.015	0.693	0.120	1.046	0.016
1	0.369	0.339	0.292	0.354	0.125	0.027	0.708	0.125	1.088	0.030
2	0.357	0.336	0.306	0.347	0.120	0.020	0.694	0.120	1.062	0.021
12	0.335	0.332	0.332	0.334	0.111	0.003	0.668	0.111	1.009	0.003
10	0.347	0.329	0.324	0.338	0.114	0.017	0.676	0.114	1.056	0.018
8	0.344	0.333	0.323	0.339	0.115	0.010	0.677	0.115	1.032	0.011
7	0.341	0.334	0.325	0.338	0.114	0.007	0.675	0.114	1.022	0.007
2	0.415	0.314	0.271	0.361	0.130	0.076	0.729	0.130	1.322	0.101
0	0.385	0.333	0.282	0.358	0.128	0.045	0.718	0.128	1.155	0.052
1	0.372	0.345	0.283	0.358	0.128	0.025	0.717	0.128	1.079	0.027

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
1	0.348	0.333	0.319	0.340	0.116	0.015	0.681	0.116	1.046	0.015
4	0.335	0.335	0.330	0.335	0.112	0.000	0.670	0.112	1.000	0.000
1	0.396	0.318	0.286	0.355	0.126	0.062	0.714	0.126	1.244	0.078
1	0.408	0.318	0.273	0.361	0.130	0.070	0.727	0.130	1.283	0.090
1	0.402	0.321	0.278	0.359	0.129	0.065	0.722	0.129	1.252	0.081
1	0.365	0.321	0.315	0.342	0.117	0.039	0.685	0.117	1.138	0.044
1	0.359	0.328	0.313	0.343	0.118	0.029	0.687	0.118	1.096	0.031
4	0.358	0.334	0.308	0.346	0.119	0.022	0.692	0.119	1.071	0.024
1	0.351	0.335	0.314	0.343	0.118	0.016	0.686	0.118	1.049	0.017
3	0.349	0.332	0.319	0.340	0.116	0.016	0.681	0.116	1.049	0.016
2	0.353	0.333	0.314	0.343	0.118	0.019	0.686	0.118	1.062	0.021
1	0.355	0.333	0.312	0.344	0.118	0.021	0.688	0.118	1.068	0.023
1	0.370	0.333	0.297	0.351	0.123	0.033	0.703	0.123	1.109	0.036
1	0.363	0.337	0.301	0.349	0.122	0.024	0.699	0.122	1.078	0.026
1	0.374	0.337	0.289	0.355	0.126	0.033	0.711	0.126	1.109	0.037
1	0.367	0.337	0.296	0.352	0.124	0.027	0.704	0.124	1.088	0.030
1	0.360	0.339	0.300	0.350	0.122	0.020	0.700	0.122	1.061	0.021
0	0.355	0.336	0.308	0.346	0.119	0.018	0.692	0.119	1.056	0.019
1	0.359	0.337	0.304	0.348	0.121	0.021	0.696	0.121	1.065	0.022
0	0.370	0.329	0.301	0.349	0.122	0.036	0.699	0.122	1.123	0.041
0	0.354	0.337	0.309	0.345	0.119	0.017	0.691	0.119	1.053	0.018
1	0.372	0.331	0.297	0.351	0.123	0.037	0.703	0.123	1.124	0.041
1	0.363	0.337	0.300	0.350	0.122	0.025	0.700	0.122	1.079	0.027
0	0.371	0.331	0.299	0.350	0.123	0.036	0.701	0.123	1.121	0.040
0	0.368	0.338	0.294	0.353	0.124	0.028	0.706	0.124	1.091	0.031
1	0.385	0.332	0.283	0.357	0.128	0.046	0.717	0.128	1.161	0.053
1	0.368	0.338	0.295	0.352	0.124	0.028	0.705	0.124	1.089	0.030
1	0.361	0.332	0.306	0.347	0.120	0.027	0.694	0.120	1.087	0.029

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
2	0.342	0.335	0.324	0.338	0.114	0.007	0.676	0.114	1.021	0.007
3	0.350	0.337	0.313	0.344	0.118	0.012	0.687	0.118	1.037	0.012
2	0.352	0.334	0.314	0.343	0.118	0.017	0.686	0.118	1.055	0.018
2	0.348	0.336	0.316	0.342	0.117	0.012	0.684	0.117	1.036	0.012
2	0.357	0.330	0.313	0.343	0.118	0.025	0.688	0.118	1.081	0.027
2	0.353	0.340	0.307	0.346	0.120	0.013	0.693	0.120	1.038	0.013
4	0.365	0.328	0.307	0.346	0.120	0.033	0.693	0.120	1.113	0.037
2	0.353	0.333	0.313	0.343	0.118	0.019	0.687	0.118	1.060	0.020
0	0.370	0.326	0.304	0.347	0.121	0.039	0.696	0.121	1.136	0.044
1	0.366	0.330	0.305	0.347	0.121	0.032	0.695	0.121	1.108	0.036
1	0.356	0.328	0.316	0.342	0.117	0.026	0.684	0.117	1.085	0.028
1	0.363	0.330	0.307	0.346	0.120	0.031	0.693	0.120	1.103	0.034
2	0.355	0.338	0.307	0.346	0.120	0.016	0.693	0.120	1.049	0.017
2	0.343	0.335	0.321	0.339	0.115	0.008	0.679	0.115	1.025	0.008
2	0.345	0.337	0.318	0.341	0.116	0.008	0.682	0.116	1.025	0.008
1	0.366	0.336	0.298	0.350	0.123	0.028	0.702	0.123	1.090	0.030
1	0.362	0.337	0.301	0.349	0.122	0.023	0.699	0.122	1.073	0.025
2	0.373	0.332	0.295	0.352	0.124	0.037	0.705	0.124	1.124	0.041
1	0.426	0.321	0.253	0.370	0.137	0.079	0.747	0.137	1.324	0.104
3	0.358	0.327	0.315	0.342	0.117	0.029	0.685	0.117	1.097	0.032
3	0.352	0.334	0.314	0.343	0.118	0.017	0.686	0.118	1.054	0.018
1	0.364	0.336	0.300	0.350	0.122	0.025	0.700	0.122	1.082	0.027
1	0.356	0.335	0.309	0.345	0.119	0.020	0.691	0.119	1.064	0.021
1	0.350	0.337	0.313	0.344	0.118	0.013	0.688	0.118	1.040	0.013
1	0.355	0.333	0.313	0.344	0.118	0.021	0.687	0.118	1.067	0.022
1	0.349	0.335	0.317	0.342	0.117	0.014	0.683	0.117	1.042	0.014
1	0.354	0.337	0.309	0.346	0.119	0.016	0.691	0.119	1.049	0.016
2	0.359	0.333	0.308	0.346	0.120	0.024	0.692	0.120	1.077	0.026

Ec30	r	g	b	$\sqrt{r \times g}$	$\sqrt{r^2 \times g^2}$	$\frac{(r-g)}{(r \div g)}$	$r+g$	$r \times g$	$\frac{r}{g}$	$r-g$
2	0.349	0.334	0.317	0.341	0.117	0.014	0.683	0.117	1.045	0.015
1	0.346	0.338	0.317	0.342	0.117	0.008	0.683	0.117	1.023	0.008
2	0.345	0.336	0.319	0.341	0.116	0.009	0.681	0.116	1.026	0.009
1	0.343	0.336	0.320	0.340	0.115	0.007	0.680	0.115	1.020	0.007
2	0.347	0.337	0.316	0.342	0.117	0.010	0.684	0.117	1.031	0.010
13	0.349	0.337	0.314	0.343	0.118	0.012	0.686	0.118	1.037	0.012

.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายอภิสิทธิ์ ภูละมุล	
วันเกิด	วันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2540	
สถานที่เกิด	อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์	
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 169 หมู่ 4 ตำบลอุ่มเม่า อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ รหัสไปรษณีย์ 46120	
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	-	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-	
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2558	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอนุกูลนารี อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์
	พ.ศ. 2562	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
	พ.ศ. 2565	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสต์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	-	
ผลงานวิจัย	-	