

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน
จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 เพื่อประเมินปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A LAND USE CLASSIFICATION BY SUPPORT VECTOR MACHINE TECNIQUE FROM LANDS
AT 8 IMAGERY FOR ESTIMATION OF WATER CONSUMPTION IN THE AREA OF KALASIN T
HAILAND



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering
Department of Survey Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2018
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีการซัพพอร์ต
	เวกเตอร์แมชชีนจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 เพื่อ
	ประเมินปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์
โดย	น.ส.ขจีมาศ อนงค์ไชย
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร.ธงทิศ ฉายากุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(ดร.ชัยโชค ไวกาษา)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร.ธงทิศ ฉายากุล)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรเพชญ์ ชี้อินธิไพศาล)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเพชร จิระจรกุล)	

ขจีมาศ อนงค์ไชย : การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 เพื่อประเมินปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์. (

A LAND USE CLASSIFICATION BY SUPPORT VECTOR MACHINE TECHNIQUE FROM LANDSAT 8 IMAGERY FOR ESTIMATION OF WATER CONSUMPTION IN THE AREA OF KALASIN THAILAND) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ดร.ธงทิศ ฉายากุล

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในปี พ.ศ. 2557 และ 2559 ด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVMs) กับวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classifier: MLC) ในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ นำผลที่ได้จากการจำแนกมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อประเมินปริมาณการใช้น้ำโดยใช้ข้อมูลของการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย การใช้น้ำในด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการอุปโภคบริโภค นำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลเชิงพื้นที่จากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภท ประเมินปริมาณน้ำทำด้วยแบบจำลองอุทกวิทยา SWAT ซึ่งผลที่ได้พบว่า การจำแนกด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนให้ค่าความถูกต้องโดยรวมสูงกว่าวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด 0.50 - 4.49 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำผลที่ได้จากการการจำแนกมาวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำพบว่าในพื้นที่จังหวัดมีปริมาณการใช้น้ำในด้านการเกษตรมากกว่าด้านอื่นๆ จากการประเมินปริมาณน้ำทำเพื่อหาปริมาณน้ำต้นทุนธรรมชาติในพื้นที่ศึกษา พบว่ายังไม่เพียงพอกับความต้องการใช้น้ำในพื้นที่ ซึ่งจะต้องมีการจัดสรรน้ำจากแหล่งอื่นๆ เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5970406921 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: Land use classification, Support vector machine, SWAT Model, Water consumption, Remote sensing

Khajeemart Anongchai :

A LAND USE CLASSIFICATION BY SUPPORT VECTOR MACHINE TECNIQUE FROM LANDSAT 8 IMAGERY FOR ESTIMATION OF WATER CONSUMPTION IN THE AREA OF KALASIN THAILAND. Advisor: Thongthit Chayakula, Ph.D.

The comparison of land use classification from Landsat 8 satellite imagery in 2014 and 2016 by support vector machine technique and maximum likelihood classifier in the area Kalasin Thailand. The results from classification were to analyzed land use changes and to estimate water consumptions in aspect of agriculture, industry and consumer uses with the estimation of the runoff as well as the SWAT hydrological model. The results showed that support vector machine technique overall accuracy is significant better than maximum likelihood classifier about 0.50 – 4.49 %. In the study area, water consumption in agriculture is higher than other. Without any water from irrigation, the results provided of runoff alone are not enough to the demand of the total water consumption.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2018

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากการช่วยเหลือและสนับสนุนจากบุคคลหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ ดร.รงทิส ฉายากุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนการติดต่อประสานงานในด้านต่าง ๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.ชัยโชค ไวกาษา ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สรรเพชญ์ ชื่อนิติไพศาล และ รศ.ดร.สุเพชร จิระจรกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ รวมถึงแนวคิดที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และขอบคุณเธอ ที่คอยเป็นกำลังใจ ช่วยเหลือสนับสนุนทุนทรัพย์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กรมพัฒนาที่ดิน กรมอุตุนิยมวิทยา และศูนย์อุทกวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษา

ขอขอบพระคุณ นายบุญโฮม กิมมณี ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ รวมถึงการประมวลผลแบบจำลองทางอุทกวิทยา

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจที่คอยให้คำแนะนำ ปรึกษา ทั้งในด้านการเรียนและงานวิจัย คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจที่ดีตลอดมา

ขอขอบคุณ พงศ์พินิจ, จิระโชติ, อาชญู, ธนบดี, พชร และเพื่อน ๆ ภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่คอยให้คำแนะนำ ปรึกษา ตลอดจนการให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

ขจีมาศ อนงค์ไชย

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	4
2.2 ลักษณะการสะท้อนของพืชพรรณ ดิน และน้ำ.....	4
2.3 ดาวเทียม Landsat 8.....	6
2.4 FLAASH Atmospheric Correction.....	7
2.5 ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Differential Vegetation Index : NDVI) 7	
2.6 ปฏิทินการเพาะปลูกพืช.....	8

2.7	วิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines : SVMs)	8
2.8	เทคนิคการจำแนกประเภทแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classifier : MLC)	12
2.9	การตรวจสอบผลการจำแนก (Classification Accuracy Assessment)	13
2.10	ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspiration).....	14
2.11	ปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค	17
2.12	ปริมาณการใช้น้ำในการอุตสาหกรรม.....	17
2.13	น้ำท่า (Runoff).....	18
2.14	แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool).....	19
2.15	การเปรียบเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง SWAT (Calibration and Validation SWAT Model).....	23
บทที่ 3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
3.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	24
3.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์ (Nomalized Difference Vegetation Index : NDVI)	25
3.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้น้ำและแบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT)	26
บทที่ 4	วิธีการดำเนินงาน.....	29
4.1	โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา.....	29
4.2	ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	29
4.3	ขั้นตอนการดำเนินงาน	34
บทที่ 5	ผลการศึกษา.....	43
5.1	ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการประเมินความถูกต้องของการจำแนก	43
5.2	ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินเชิงพื้นที่ และเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน	58
5.3	ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง	60

5.4 ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืช การอุปโภคบริโภคและการอุตสาหกรรม	60
5.5 ผลการประเมินปริมาณน้ำท่า	68
5.6 ผลการประเมินหาปริมาณน้ำต้นทุน	78
5.7 ผลการประเมินปริมาณน้ำต้นทุนกับความต้องการใช้น้ำในพื้นที่ศึกษา	80
บทที่ 6 อภิปราย สรุปผล และข้อเสนอแนะ	80
6.1 อภิปรายผลการศึกษา.....	80
6.2 สรุปผล	83
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	83
บรรณานุกรม.....	84
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก. ข้อมูลสภาวะการผลิตพืช	88
ประวัติผู้เขียน	94



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 อักษรย่อ และความหมายของการใช้ประโยชน์ที่ดินระดับที่ 1	4
ตารางที่ 2.2 การบันทึกข้อมูลและรายละเอียดภาพของดาวเทียม Landsat 8.....	6
ตารางที่ 2.3 ปฏิทินการเพาะปลูกพืช.....	8
ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของพืชที่ใช้ในการศึกษา	16
ตารางที่ 2.5 อัตราปริมาณความต้องการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค	17
ตารางที่ 2.6 อัตราปริมาณความต้องการใช้น้ำอุตสาหกรรมตามประเภทอุตสาหกรรมหลัก	18
ตารางที่ 2.7 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผลแบบจำลอง SWAT	24
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่ใช้ในการศึกษา.....	29
ตารางที่ 4.2 รายชื่อสถานีอุทกนิยามวิทยาในพื้นที่ศึกษา	31
ตารางที่ 4.3 สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา	31
ตารางที่ 4.4 จำนวนประชากรแยกตามอำเภอ ในจังหวัดกาฬสินธุ์	33
ตารางที่ 5.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) และความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classifier) พ.ศ. 2557	53
ตารางที่ 5.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) และความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) พ.ศ. 2559	55
ตารางที่ 5.3 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนก พ.ศ. 2557	57
ตารางที่ 5.4 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนก พ.ศ. 2559	57
ตารางที่ 5.5 ขนาดพื้นที่ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทในพื้นที่ศึกษา....	58
ตารางที่ 5.6 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET _o) รายเดือนของพื้นที่ศึกษา (มม./วัน)	60

ตารางที่ 5.7 ปริมาณการใช้น้ำของข้าว กข. พ.ศ. 2557.....	61
ตารางที่ 5.8 ปริมาณการใช้น้ำของข้าว กข. พ.ศ. 2559.....	61
ตารางที่ 5.9 ปริมาณการใช้น้ำของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พ.ศ. 2557	61
ตารางที่ 5.10 ปริมาณการใช้น้ำของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พ.ศ. 2559.....	62
ตารางที่ 5.11 ปริมาณการใช้น้ำของนาข้าว พ.ศ. 2557.....	62
ตารางที่ 5.12 ปริมาณการใช้น้ำของนาข้าว พ.ศ. 2559.....	63
ตารางที่ 5.13 ปริมาณการใช้น้ำของพีชไร่ พ.ศ. 2557	63
ตารางที่ 5.14 ปริมาณการใช้น้ำของพีชไร่ พ.ศ. 2559	64
ตารางที่ 5.15 ปริมาณการใช้น้ำของไม้ผลไม้ยืนต้น พ.ศ. 2557	65
ตารางที่ 5.16 ปริมาณการใช้น้ำของไม้ผลไม้ยืนต้น พ.ศ. 2559	65
ตารางที่ 5.17 จำนวนประชากร และปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภค บริโภค พ.ศ. 2557 และ 2559	66
ตารางที่ 5.18 ผลปริมาณการใช้น้ำในการอุตสาหกรรม	67
ตารางที่ 5.19 ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา	67
ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบทางสถิติการปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration).....	68
ตารางที่ 5.21 ผลการทดสอบทางสถิติการทดสอบความสมเหตุสมผลแบบจำลอง (Model Validation)	69
ตารางที่ 5.22 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากข้อมูลสถานีตรวจวัด E.54 กับ แบบจำลอง SWAT.....	70
ตารางที่ 5.23 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากข้อมูลสถานีตรวจวัด E.54 กับ แบบจำลอง SWAT ที่ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2559.....	72
ตารางที่ 5.24 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากข้อมูลสถานีตรวจวัด E.87 กับ แบบจำลอง SWAT ที่ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557	74
ตารางที่ 5.25 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากข้อมูลสถานีตรวจวัด E.87 กับ แบบจำลอง SWAT ที่ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559.....	76

ตารางที่ 5.26 ปริมาณน้ำต้นทุนทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา พ.ศ. 2557.....	78
ตารางที่ 5.27 ปริมาณน้ำต้นทุนทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา พ.ศ. 2559.....	79
ตารางที่ 5.28 ผลการประเมินปริมาณน้ำต้นทุนกับความต้องการใช้น้ำในพื้นที่ศึกษา	80



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา จังหวัดกาฬสินธุ์	2
รูปที่ 2.1 เวกเตอร์สนับสนุนและไฮเปอร์เพลนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการแบ่งข้อมูลออกเป็นสอง กลุ่มแบบเชิงเส้น.....	9
รูปที่ 2.2 การแปลงชุดข้อมูลให้เป็นพื้นที่มิติสูง (Higher Dimensional Space) โดยฟังก์ชันเคอร์เนล	10
รูปที่ 2.3 (a) การแยกชุดข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น (b) กระบวนการของ Slack variable.....	11
รูปที่ 2.4 การจำแนกประเภทแบบเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน	12
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างตารางเมทริกซ์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากการจำแนก (Classification Data) กับข้อมูลอ้างอิง (Reference Data)	13
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่ใช้ในการศึกษา	30
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดน้ำท่า และจุดออกสุดท้ายของลำน้ำ (Outlet).....	32
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	34
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI บริเวณพื้นที่ศึกษา.....	35
รูปที่ 4.5 ค่าทางสถิติการสะท้อนของข้อมูลตัวอย่าง (Training Area).....	36
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลอุณหภูมิตั้งสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมเฉลี่ย ชั่วโมง แดด บนโปรแกรม CROPWAT 8.0	37
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างตารางเชื่อมโยงในรูปแบบไฟล์ข้อความของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน	38
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างตารางเชื่อมโยงในรูปแบบไฟล์ข้อความของข้อมูลชุดดิน	39
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างรูปแบบไฟล์ข้อความของสถานีวัดน้ำฝน.....	39
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างรูปแบบไฟล์ข้อความความเร็วลม	40
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างรูปแบบไฟล์ข้อมูลอุณหภูมิตั้งสูงสุด - ต่ำสุด.....	40
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการสร้างไฟล์นำเข้าแบบจำลอง SWAT	41

รูปที่ 4.13 การกำหนดค่าในการประมวลผลแบบจำลอง.....	41
รูปที่ 5.1 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557	43
รูปที่ 5.2 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนมีนาคม พ.ศ. 2557	44
รูปที่ 5.3 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนเมษายน พ.ศ. 2557	44
รูปที่ 5.4 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนธันวาคม พ.ศ. 2557	45
รูปที่ 5.5 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559	45
รูปที่ 5.6 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559	46
รูปที่ 5.7 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนเมษายน พ.ศ. 2559	46
รูปที่ 5.8 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนธันวาคม พ.ศ. 2559	47
รูปที่ 5.9 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557	47
รูปที่ 5.10 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) เดือนมีนาคม พ.ศ. 2557	48
รูปที่ 5.11 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด	48
รูปที่ 5.12 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด	49
รูปที่ 5.13 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด	49
รูปที่ 5.14 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด	50
รูปที่ 5.15 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด	50

รูปที่ 5.16 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด	51
รูปที่ 5.17 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน) และตำแหน่งข้อมูลตัวอย่าง (Training Area).....	52
รูปที่ 5.18 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน) และตำแหน่งข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบผลการจำแนก	52
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน	71
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน สถานีตรวจวัด E.54 กับแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2559	73
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน สถานีตรวจวัด E.87 กับแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2557	75
รูปที่ 5.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน สถานีตรวจวัด E.87 กับแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2559	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งทั้งในด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการอุปโภคบริโภค การบริหารจัดการน้ำเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์และใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เพื่อให้ทราบความต้องการการใช้น้ำ จึงได้มีการประเมินปริมาณการใช้น้ำในด้านต่าง ๆ โดยแบ่งเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืช การอุตสาหกรรม และการอุปโภคบริโภค ซึ่งจะมีวิธีการประเมินที่แตกต่างกันออกไป นอกจากได้การประเมินปริมาณน้ำต้นทุนในพื้นที่ซึ่งมีความสำคัญเพื่อใช้ในการบริหารจัดการ และจัดสรรน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการอีกด้วย

ปัจจุบันได้นำเอาเทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกล โดยนำค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์มาใช้ในการศึกษาพืชพรรณ และจำแนกประเภทการประโชชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของจุดภาพ (Pixel) ซึ่งมีวิธีการจำแนกด้วยกัน 2 วิธี คือ การจำแนกประเภทข้อมูลแบบควบคุม (Supervised Classification) และการจำแนกประเภทข้อมูลไม่ควบคุม (Unsupervised Classification)

จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีจำนวนประชากรอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก ประชากรส่วนใหญ่นิยมประกอบอาชีพเกษตรกรรม ลำน้ำที่สำคัญของจังหวัด ได้แก่ ลำน้ำปาว และลำน้ำยัง นอกจากนี้ยังมีโรงงานอุตสาหกรรมที่สำคัญ คือ โรงงานน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก ด้วยจำนวนประชากรและการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดล้นแล้วแต่มีความต้องการใช้น้ำ ผู้จัดทำจึงได้นำเทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาโดยการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 มาทำการจำแนกประเภทการประโชชน์ที่ดินด้วยเทคนิควิธีการจำแนกซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) ซึ่งเป็นวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลแบบควบคุม แล้วนำมาวิเคราะห์ร่วมกับอัตราการใช้น้ำต่อพื้นที่ของพืช และการอุตสาหกรรม รวมไปถึงอัตราการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภคตามจำนวนประชากรในพื้นที่ ทั้งนี้ได้มีการนำเอาข้อมูลการประโชชน์ที่ดินที่ได้ทำการจำแนกมาทำการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลดิน ข้อมูลสภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาน้ำต้นทุนในพื้นที่เพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการน้ำต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์และเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

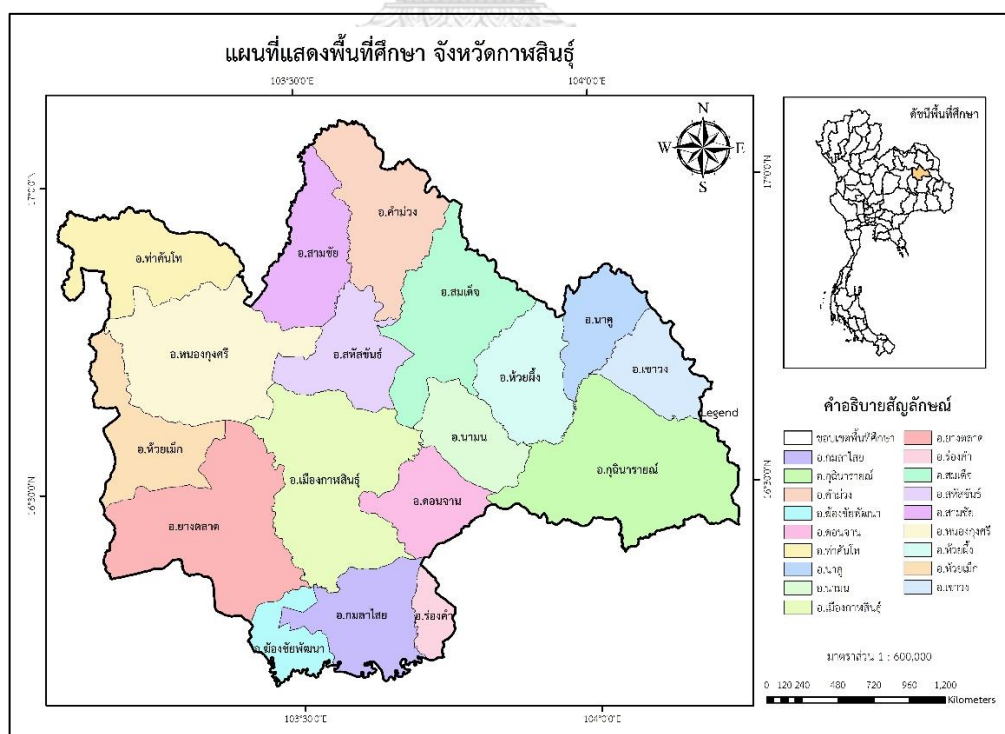
1.2.2 เพื่อนำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากการจำแนกมาประเมินปริมาณการใช้น้ำ ปริมาณการใช้น้ำที่เปลี่ยนแปลง และปริมาณน้ำต้นทุนในจังหวัดกาฬสินธุ์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

1.3.1.1 ข้อมูลทั่วไป

จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลางหรือตอนบนของประเทศไทย ตั้งอยู่ระหว่าง เส้นรุ้งที่ 16 - 17 องศาเหนือ และเส้นแวงที่ 103 -104 องศาตะวันออก ทิศเหนือ ติดต่อกับจังหวัดสกลนคร และจังหวัดอุดรธานี ทิศใต้ ติดต่อกับจังหวัดร้อยเอ็ด และจังหวัดมหาสารคาม ทิศตะวันออก ติดต่อกับจังหวัดนครพนม และจังหวัดมุกดาหาร ทิศตะวันตก ติดต่อกับจังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดขอนแก่น มีเนื้อที่ประมาณ 4,311,517 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 4.5 ของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งหมด



รูปที่ 1.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา จังหวัดกาฬสินธุ์

1.3.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของจังหวัดกาฬสินธุ์สามารถแบ่งได้ 5 ลักษณะ ดังนี้

1) พื้นที่ที่เป็นภูเขา ได้แก่ เทือกเขาภูพาน ซึ่งมีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 200 – 500 เมตร อยู่ทางทิศตะวันออก และทิศเหนือของจังหวัดในพื้นที่ของอำเภอสมเด็จ อำเภอเขาฉกรรจ์ อำเภอกุฉินารายณ์ อำเภอห้วยผึ้ง บริเวณนี้เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารที่สำคัญได้แก่ ลำน้ำป่า ลำน้ำพาน

2) สภาพที่เป็นหุบเขา อยู่ในเขตอำเภอเขาวง มีลักษณะเป็นที่ราบระหว่าง หุบเขาสภาพเป็นลูกคลื่น สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 175 – 250 เมตร มีลักษณะเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนตื้น อยู่ในเขตอำเภอท่าคันโทอำเภอสหัสขันธ์ บริเวณทิศเหนือของอำเภอขามเฒ่า ทิศใต้ของอำเภอสมเด็จ และบางส่วนของอำเภอห้วยผึ้ง

3) สภาพเป็นลูกคลื่น สูงจากระดับน้ำปานกลาง 175 – 250 เมตร มีลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนตื้น อยู่ในเขตอำเภอท่าคันโท อำเภอสหัสขันธ์ บริเวณทิศเหนือของอำเภอขามเฒ่า ทิศใต้ของอำเภอสมเด็จ และบางส่วนของอำเภอห้วยผึ้ง

4) สภาพค่อนข้างราบ สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 150 – 170 เมตร อยู่ในบริเวณอำเภอเมือง อำเภอขามเฒ่า บางส่วนของทิศใต้ของอำเภอสหัสขันธ์ ทางทิศตะวันออกของอำเภอสมเด็จ และอำเภอห้วยผึ้ง

5) สภาพพื้นที่ราบลุ่มริมฝั่งน้ำ เป็นที่ราบริมฝั่งแม่น้ำชี ลำน้ำป่า ลำน้ำพาน มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 140– 150 เมตร อยู่ในอำเภอกมลาไสย บางส่วนของอำเภอเมืองและอำเภอขามเฒ่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดกาฬสินธุ์ จากการจำแนกด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนที่ให้ค่าความถูกต้องสูง

1.4.2 ได้ทราบปริมาณการใช้น้ำ ปริมาณการใช้น้ำที่เปลี่ยนแปลง และปริมาณน้ำต้นทุนในจังหวัดกาฬสินธุ์

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นลักษณะของพื้นที่ที่มนุษย์เข้าไปครอบครอง แล้วมีการจัดการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ หรือมีการทำกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อสนองความต้องการของมนุษย์ เช่น การใช้พื้นที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่กักเก็บน้ำ ใช้เป็นที่ตั้งบ้านเรือนที่อยู่อาศัย หรือเป็นที่ตั้งเขตอุตสาหกรรม โดยการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระดับที่ 1 ดังตารางที่ 2.1 และได้ทำการจำแนกพื้นที่เกษตรกรรมออกเป็นนาข้าว พืชไร่ และไม้ยืนต้น

ตารางที่ 2.1 อักษรย่อ และความหมายของการใช้ประโยชน์ที่ดินระดับที่ 1

ลำดับ	อักษรย่อ	ความหมาย (ภาษาอังกฤษ)	ความหมาย (ภาษาไทย)
1	U	Urban and Built-up land	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง
2	A	Agricultural land	พื้นที่เกษตรกรรม
3	F	Forest land	พื้นที่ป่าไม้
4	W	Water body	พื้นที่แหล่งน้ำ
5	M	Miscellaneous land	พื้นที่เบ็ดเตล็ด

2.2 ลักษณะการสะท้อนของพืชพรรณ ดิน และน้ำ

2.3.1 ลักษณะการสะท้อนของพืชพรรณ ในช่วงพลังงานแสงที่ตามองเห็น (0.40 - 0.70 ไมโครเมตร) พืชสีเขียวจะมีการสะท้อนแสงค่อนข้างต่ำ เนื่องจากสารคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็น pigment ในใบไม้จะดูดกลืนแสงในช่วงนี้ได้ดี โดยจะดูดกลืนพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่น 0.45 ไมโครเมตร (สีน้ำเงิน) และ 0.65 ไมโครเมตร (สีแดง) เรียกช่วงคลื่นนี้ว่า Chlorophyll Absorption Bands พืชจะมีค่าการสะท้อนสูงสุดที่ความยาวคลื่น 0.54 ไมโครเมตร (สีเขียว) ทำให้มองเห็นพืชที่อุดมสมบูรณ์เป็นสีเขียวเนื่องจากมีคลอโรฟิลล์มาก แต่เมื่อพืชขาดความอุดมสมบูรณ์ ไม่สามารถผลิตคลอโรฟิลล์ได้ดี มีการสะท้อนแสงสีแดงมาก จึงเห็นพืชเป็นสีเหลืองที่เกิดจากการรวมกันของสีเขียวและสีแดง

ในช่วงอินฟราเรดใกล้ (0.70 - 1.30 ไมโครเมตร) พีชจะมีการสะท้อนแสงสูงที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.75 - 1.3 ไมโครเมตร องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อลักษณะการสะท้อนแสง ในช่วงคลื่นนี้คือ โครงสร้างของใบพีชที่แตกต่างกันไปตามชนิดของพีช และจำนวนใบหรือความหนาแน่นของใบ ในช่วงอินฟราเรดสั้น (1.30 - 3.00 ไมโครเมตร) พลังงานส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนหรือสะท้อนโดยใบ พีช แทบจะไม่มีแสงผ่าน ช่วงคลื่นที่มีการสะท้อนแสงน้อย ได้แก่ ที่ความยาวคลื่น 1.4, 1.9 และ 2.7 ไมโครเมตร เนื่องจากพลังงานในช่วงคลื่นดังกล่าวถูกดูดกลืนไว้โดยน้ำในใบพีช เรียกช่วงคลื่นทั้งสามนี้ว่า ช่วงคลื่นดูดกลืนน้ำ (Water Absorption Bands) เป็นช่วงที่ปริมาณน้ำในใบเข้ามามีบทบาท ระดับการสะท้อนในช่วงนี้จึงลดต่ำลง

2.3.2 ลักษณะการสะท้อนของดิน ความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนพลังงานของดินกับความยาวคลื่นมีความแปรปรวนน้อย ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของดิน คือ ความชื้นในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ เนื้อดิน ปริมาณเหล็กออกไซด์ และความขรุขระของผิวดิน ปัจจัยดังกล่าวมีความซับซ้อน และสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เช่น ลักษณะเนื้อดิน มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดิน ดินทรายหยาบมีการระบายน้ำดีจะสะท้อนพลังงานสูง ดินละเอียดมีการระบายน้ำเลวจะสะท้อนพลังงานต่ำ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจะมีสีคล้ำ ดูดกลืนพลังงานสูงในช่วงคลื่นสายตามองเห็น เช่นเดียวกับดินที่มีเหล็กออกไซด์ในปริมาณสูง จะปรากฏเป็นสีเข้ม เนื่องจากการสะท้อนพลังงานลดลง ความขรุขระของผิวดินมากก็จะทำให้การสะท้อนของพลังงานลดลงเช่นเดียวกัน

2.2.3 ลักษณะการสะท้อนของน้ำ น้ำจะเป็นสารที่มีความสามารถในการดูดกลืนได้ดีในแทบทุกช่วงคลื่น ช่วงคลื่นที่น้ำมีการสะท้อนแสงเห็นได้ชัดเจนคือ 0.40 - 0.75 ไมโครเมตร การสะท้อนพลังงานของน้ำใสสูงที่สุดที่ปลายช่วงคลื่นสีน้ำเงินประมาณ 0.57 ไมโครเมตร และลดลงตามความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นภาพของพื้นที่น้ำใสจะปรากฏเป็นสีน้ำเงินเข้มถึงดำ สำหรับการสำรวจหาตำแหน่งและขอบเขตของแหล่งน้ำ จะใช้ภาพในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เพราะน้ำจะดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง 0.8 ไมโครเมตรเป็นต้นไป จะเห็นแหล่งน้ำปรากฏเป็นสีดำ

2.3 ดาวเทียม Landsat 8

ดาวเทียม Landsat 8 เริ่มปฏิบัติการวันที่ 30 พฤษภาคม 2556 ภายใต้การบริหารจัดการของ USGS จะโคจรรอบโลกหนึ่งรอบในเวลา 99 นาทีในแนวขั้วโลกเหนือใต้ ที่ระดับความสูงจากพื้นโลกประมาณ 705 กิโลเมตร ด้วยเทคโนโลยีที่ใหม่กว่าชุดดาวเทียมที่ผ่านมา ทำให้สามารถเก็บข้อมูลภาพได้มากขึ้นในแต่ละวันและเสถียรมากขึ้น โดยดาวเทียม Landsat 8 มาพร้อมกับสองช่วงคลื่นใหม่ที่สามารถตรวจจับเมฆและน้ำในน้ำได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งเป็นรูปที่ถ่ายด้วยเซนเซอร์ Operational Land Imager (OLI) และ Thermal Infrared Sensor (TIRS) มีการบันทึกข้อมูล 11 ช่วงคลื่น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2556)

ตารางที่ 2.2 การบันทึกข้อมูลและรายละเอียดภาพของดาวเทียม Landsat 8

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

ที่มา: (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2556)

ในการนำภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 มาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เราจะต้องทำการผสมสี (Band Combination: RGB) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อถ่ายทอดการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ที่เราสนใจอย่างเหมาะสม สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการรวมแบนด์ที่ 1 – 7 และได้ทำการผสมสีเท็จเพื่อใช้ในการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็น R = 5, G = 4 และ B = 3

2.4 FLAASH Atmospheric Correction

ภาพถ่ายที่ตรวจจับจากดาวเทียมเป็นแสงที่ได้จากส่วนบนของชั้นบรรยากาศ การเดินทางของแสงในชั้นบรรยากาศจะผ่านโมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ นอกจากนี้แสงที่ผ่านชั้นบรรยากาศโลกลงมายังพบกับปรากฏการณ์การกระจัดกระจาย (Scattering) เกิดจากอนุภาคในชั้นบรรยากาศโลก ผลจากมุมกระทบของแสงอาทิตย์ และมุมรับแสงของกล้องบนดาวเทียม มีผลทำให้ระดับของแสงที่ปรากฏบนเซนเซอร์ของกล้องถ่ายภาพแตกต่างกันด้วย

FLAASH Atmospheric Correction เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการปรับแก้ผิดเพี้ยนของชั้นบรรยากาศ สามารถทำได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยสมการที่ (1)

$$L = \left(\frac{A_\rho}{1 - \rho_e S} \right) + \left(\frac{B_\rho}{1 - \rho_e S} \right) + L_a \quad (1)$$

โดยที่	ρ	คือ	ค่าการสะท้อนของพื้นผิวดิน
	ρ_e	คือ	ค่าเฉลี่ยการสะท้อนของพื้นผิวดินและบริเวณโดยรอบ
	S	คือ	อัตราการสะท้อนกลับของแสงในบรรยากาศ
	L_a	คือ	ค่าการกระจัดกระจายของแสงโดยชั้นบรรยากาศ
	A และ B	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและพื้นที่ตั้ง

2.5 ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Differential Vegetation Index : NDVI)

ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 0.75 - 0.90 ไมโครเมตร หรือช่วงคลื่นของแสงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) และค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 0.63 - 0.69 ไมโครเมตร หรือช่วงคลื่น ของแสงสีแดง (Red)

บริเวณที่ค่าของ NDVI มีค่าน้อยกว่า 0 หรือมีค่าเข้าใกล้ -1 จะเป็นการแสดงถึงพื้นที่ที่เป็นน้ำ ในบริเวณที่ค่าของ NDVI มีค่าเข้าใกล้ 0 จะเป็นการแสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณสีเขียวอ่อนหรือเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง และถ้าค่าของ NDVI มีค่าเข้าใกล้ +1 จะเป็นการ แสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมอยู่มาก แต่ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นการเก็บวิเคราะห์โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมทำให้ได้รับอิทธิพลจากเมฆหรือหมอกในชั้น บรรยากาศส่งผลให้ค่าที่อ่านอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ เราสามารถหาค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์ได้ดังสมการที่ (2)

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

โดยที่ NIR คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดระยะใกล้ (Band 5)
 RED คือ ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (Band 4)

2.6 ปฏิทินการเพาะปลูกพืช

พืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดกาฬสินธุ์ ได้แก่ ข้าว อ้อย มะม่วง ฯลฯ ระยะเวลาการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวของพืช แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปฏิทินการเพาะปลูกพืช

ชนิดพืช	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ข้าวนาปี												
ข้าวนาปรัง												
อ้อย												
มะม่วง												

■ ช่วงเวลาเพาะปลูก ■ ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว

ที่มา : (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดกาฬสินธุ์)

2.7 วิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines : SVMs)

ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVMs) เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลแบบควบคุมโดยหลักการในการจำแนกประเภทข้อมูลเกิดจากการนำค่าของกลุ่มข้อมูลมาวางลงพีเจอร์สเปซ (Feature space) แล้วกำหนดไฮเปอร์เพลนหรือเส้นแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ดีที่สุด ในการจำแนกประเภทข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.7.1 การจำแนกแบบเชิงเส้น จะกำหนดไฮเปอร์เพลนที่ดีที่สุดบนระนาบแบบเชิงเส้นของข้อมูลตัวอย่าง (Training Data) เพื่อแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่แตกต่างกันในลักษณะเส้นตรง ซึ่งในการกำหนดไฮเปอร์เพลนที่ดีที่สุดคือการกำหนด $w \cdot x_i + b = 0$ โดยที่ x คือ จุดที่อยู่บนระนาบของไฮเปอร์เพลน, w คือ ตัวกำหนดทิศทางของไฮเปอร์เพลนในสเปซ และ b คือ ความลาดเคลื่อนระยะของไฮเปอร์เพลนจากจุดกำเนิด ไฮเปอร์เพลนที่ดีที่สุดจะมีค่ามาร์จิ้น (Margin) กว้างที่สุด โดยข้อมูล

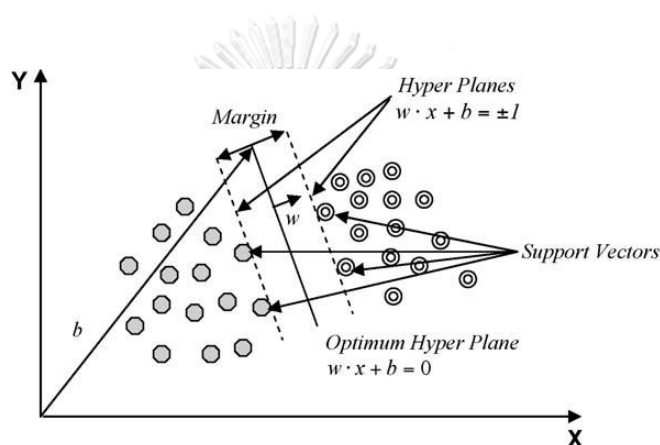
ตัวอย่างที่อยู่บนขอบของมาร์จิ้นจะถูกเรียกว่า ซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support Vector) ซึ่งในการจำแนกประเภทนี้ สามารถแสดงดังสมการ

$$w \cdot x_i + b \geq +1; y = 1 \quad (3)$$

$$w \cdot x_i + b \leq -1; y = -1 \quad (4)$$

จะได้

$$y_i (w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0; y_i = \{-1, +1\} \quad (5)$$



รูปที่ 2.1 เวกเตอร์สนับสนุนและไฮเปอร์เพลนที่เหมาะสมที่สุด

สำหรับการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองกลุ่มแบบเชิงเส้น

ที่มา : (Kavzoglu & Colkesen, 2009)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.6.2 การจำแนกแบบไม่เป็นเชิงเส้น หากไม่สามารถแบ่งข้อมูลหรือกำหนดไฮเปอร์เพลนแบบเชิงเส้นได้ จะทำการเปลี่ยนแปลงมิติของข้อมูลให้สูงขึ้นเพื่อช่วยในการเรียงตัวของข้อมูลใหม่ที่เรียกว่า พื้นที่มิติสูง (Higher Dimensional Space) โดยฟังก์ชันเคอร์เนล (ϕ) ซึ่งในเคอร์เนลนั้นคือการคูณกันของชุดเวกเตอร์ x ใดๆ โดยที่

$$K(x, x_i) = \phi x \cdot \phi x_i \quad (6)$$

ฟังก์ชันเคอร์เนลที่นิยมใช้มีอยู่ 3 ชนิด คือ

2.6.2.1 โพลีโนเมียลเคอร์เนล (Polynomial kernel)

$$K(x, x_i) = (\gamma x \cdot x_i + 1)^d, \gamma > 0 \quad (7)$$

2.6.2.2 เรเดียลเบสิสฟังก์ชัน (Radial Basis Function : RBF)

$$K(x, x_i) = \exp\left(-\gamma \|x - x_i\|^2\right), \gamma > 0 \quad (8)$$

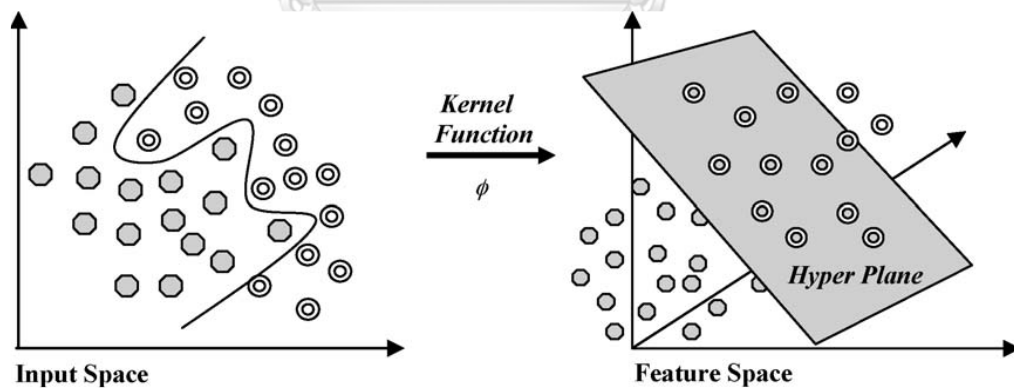
2.6.2.3 ซิกมอยด์ (Sigmoid)

$$K(x, x_i) = \tanh(\gamma x \cdot x_i + r), \gamma > 0 \quad (9)$$

โดยที่ γ และ r คือ พารามิเตอร์ของฟังก์ชันเคอร์เนล

d คือ ดีกรีของสมการโพลีโนเมียล

x_i คือ ค่าการสะท้อน (Spectral response)



รูปที่ 2.2 การแปลงชุดข้อมูลให้เป็นพื้นที่มิติสูง (Higher Dimensional Space) โดยฟังก์ชันเคอร์เนล

ที่มา : (Kavzoglu & Colkesen, 2009)

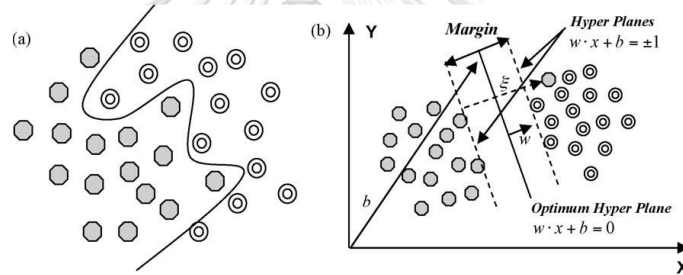
หากไม่สามารถแยกประเภทข้อมูลได้ หรือการจำแนกเกิดความผิดพลาด จะทำการแก้ไข ปัญหาความผิดพลาดในระยะที่ยอมรับได้ โดยหาค่าที่เหมาะสมซึ่งจะถูกแทนด้วย ξ (Slack variable)

$$\min \left[\frac{\|w\|^2}{2} + C \sum_{i=1}^N \xi_i \right] \quad (10)$$

จะได้เป็น

$$y_i (w_i \cdot x_i + b) \geq 1 - \xi_i, \quad \xi_i \geq 0 \quad (11)$$

โดยที่ C คือ Penalty parameter ที่ช่วยลดความผิดพลาดหากค่า C มีขนาดใหญ่จะมีผลทำให้การจำแนกเกิดความผิดพลาดมาก



รูปที่ 2.3 (a) การแยกชุดข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น (b) กระบวนการของ Slack variable

ที่มา: (Kavzoglu & Colkesen, 2009)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สมการที่ (9) ถูกนำมาหาอนุพันธ์ (Differentail) เพื่อหาค่า w ที่ดีที่สุด จะได้

$$w = \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i \quad (12)$$

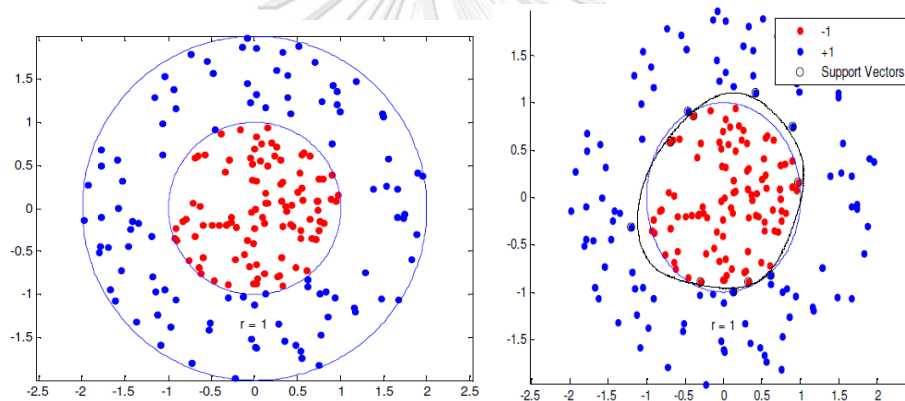
ดังนั้น เราสามารถแทนฟังก์ชันเคอร์เนลในรูปแบบฟังก์ชันการตัดสินใจการจำแนกประเภท ข้อมูลได้ดังสมการที่ (13), (14)

$$y_i \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i K(x, x_i) + b \right) - 1 \geq 0 \quad (13)$$

$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i K(x, x_i) + b \right) \quad (14)$$

โดยที่ N คือ จำนวนข้อมูลตัวอย่าง (Training Data)
 $K(x, x_i)$ คือ ฟังก์ชันเคอร์เนล
 b คือ ความคาดเคลื่อนระยะของไฮเปอร์เพลนจากจุดกำเนิด

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เคอร์เนลฟังก์ชันแบบเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน (Radial Basis Function : RBF) เนื่องจากให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 รูปที่ 2.4 การจำแนกประเภทแบบเรเดียลเบสิสฟังก์ชัน
 ที่มา : (B.K. Tripathy, Sudhir Kumar Sahu, & Barik, 2015)

2.8 เทคนิคการจำแนกประเภทแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classifier : MLC)

เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลโดยการพิจารณาค่าเฉลี่ย (Mean) และแมทริกซ์ความแปรปรวน (Covariance Matrix) ของแต่ละประเภทข้อมูล ซึ่งมีการตั้งสมมติฐานให้แต่ละประเภทข้อมูลนั้นมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) แล้วทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็นสูงสุดของแต่ละจุดภาพว่าจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มประเภทข้อมูลใดที่เหมาะสมที่สุด เราสามารถคำนวณความน่าจะเป็นของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นจากแต่ละประเภทได้ฟังก์ชันของความน่าจะเป็นที่ได้จากการกระจายแบบปกติดังสมการที่ (15)

$$\Pr(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \quad (15)$$

โดยที่	x	คือ	ค่าการสะท้อนช่วงคลื่น
	μ	คือ	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวอย่าง
	σ	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง

2.9 การตรวจสอบผลการจำแนก (Classification Accuracy Assessment)

การตรวจสอบผลการจำแนกข้อมูลมีความจำเป็นซึ่งจะใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของข้อมูลการนำไปใช้ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้จะทำการตรวจสอบด้วยวิธี Classification Error Matrix ซึ่งจะแสดงผลเป็นตารางเมทริกซ์ (Error Matrix) เปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำแนก (Classification Data) กับข้อมูลอ้างอิง (Reference Data)

		j = columns (Reference Data)			
		1	2	k	n_{+j}
i = rows (Classification Data)	1	n_{11}	n_{12}	n_{1k}	n_{1+}
	2	n_{21}	n_{22}	n_{2k}	n_{2+}
	k	n_{k1}	n_{k2}	n_{kk}	n_{k+}
	n_{+j}	n_{+1}	n_{+2}	n_{+k}	n

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างตารางเมทริกซ์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากการจำแนก (Classification Data) กับข้อมูลอ้างอิง (Reference Data)

โดยที่	n_{ij}	คือ	จำนวนจุดภาพที่จำแนกได้ถูกต้อง
	n_{i+}	คือ	จำนวนจุดภาพที่จำแนกทั้งหมดของชั้นข้อมูลชนิดหนึ่งๆ ที่มาจากการจำแนก
	n_{+j}	คือ	จำนวนจุดภาพที่จำแนกทั้งหมดของชั้นข้อมูลชนิดหนึ่งๆ ที่มาจากข้อมูลอ้างอิง
	k	คือ	จำนวนชั้นข้อมูลทั้งหมด
	n	คือ	จำนวนจุดภาพทั้งหมด

การตรวจสอบผลการจำแนกในการศึกษาครั้งนี้แบ่งเป็นค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy หรือ Omission error) และค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's accuracy หรือ Commission error)

2.8.1 ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) เป็นการประเมินค่าความถูกต้องทั้งหมดของการจำแนก

$$\text{Overall accuracy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_{ij} \quad (16)$$

2.8.2 ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy หรือ Omission error) เป็นการประเมินค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกขาดหายไป

$$\text{Producer's accuracy} = \frac{n_{ij}}{n_{+j}} \quad (17)$$

2.8.3 ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's accuracy หรือ Commission error) เป็นการประเมินความผิดพลาดของประเภทข้อมูลที่ทำการจำแนกเกินมา

$$\text{User's accuracy} = \frac{n_{ij}}{n_{i+}} \quad (18)$$

2.10 ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspiration)

ปริมาณการใช้น้ำของพืช หรือ การคายระเหยน้ำของพืช (Consumptive Use หรือ Crop Evapotranspiration : ET_c) หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริง รวมถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียจากแปลงปลูก โดยขบวนการคายน้ำของพืชและการระเหย การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชในความเป็นจริงแล้วสามารถทำการตรวจวัดได้โดยตรง เช่น จากแปลงทดลอง และจากถังวัดปริมาณการใช้น้ำ (Lysimeter) ซึ่งให้ผลที่ถูกต้องแต่มีปัญหาในทางปฏิบัติคือไม่สามารถนำผลไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูกแหล่งอื่นๆ ที่ไม่มีเครื่องมือชนิดนี้หรือพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไปได้ สำหรับการศึกษานี้ได้ทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยใช้ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง และค่าสัมประสิทธิ์พืช โดยใช้สูตรดังสมการที่ (19) ซึ่งเป็นการหาปริมาณการใช้น้ำสุทธิของพืชจริง

$$ETc = Kc \times ETo \quad (19)$$

โดยที่	ETc	คือ	อัตราการใช้น้ำของพืช (มม./วัน)
	Kc	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient)
	ETo	คือ	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน)

ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration : ETo) หมายถึง หลักการการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง สามารถทำได้หลายวิธี ในปัจจุบันสูตรการหาค่า ETo ที่นิยมใช้คือ Penman Monteith เพราะเป็นสูตรที่นำไปจจัยทางภูมิประเทศ และภูมิอากาศมาใช้ในการคำนวณซึ่งให้ค่าที่มีความถูกต้องแม่นยำใกล้เคียงกับความต้องการใช้น้ำของพืชจริง ซึ่งจะหาได้จากสมการที่ (20)

$$ETo = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (20)$$

โดยที่	ETo	คือ	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน)
	R_n	คือ	ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ ($MJ / m^2 / \text{วัน}$)
	G	คือ	Flux ค่าความร้อนของพื้นดิน ($MJ / m^2 / \text{วัน}$)
	T	คือ	อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย ($^{\circ}C$)
	γ	คือ	ค่าความกดดันบรรยากาศเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ($kPa / ^{\circ}C^{-1}$)
	Δ	คือ	ค่าความลาดเทของเส้น curve แรงดันไอน้ำ ($kPa / ^{\circ}C^{-1}$)
	U_2	คือ	ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร (m / s)
	$e_s - e_a$	คือ	ค่าความต่างของแรงดันไอน้ำ (kPa)
	900	คือ	Factor ปรับแก้

ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient : K_c) หมายถึง ค่าคงที่ของพืชที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืช ที่ได้ทำการทดลองและตรวจวัดได้จากถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) กับผลการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration : ET_o) ดังสมการที่ (21)

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (21)$$

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient : K_c) ของพืชที่นิยมเพาะปลูกในพื้นที่ศึกษา (กรมชลประทาน) และข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration : ET_o) รายเดือนโดยการนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และทำการคำนวณด้วยวิธีการ Penman Monteith

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของพืชที่ใช้ในการศึกษา

เดือนที่	ข้าว กข	ข้าวขาวดอกมะลิ 105	อ้อย	มะม่วง
1	1.13	0.90	0.65	2.1
2	1.45	1.53	0.86	2.46
3	1.23	1.56	1.13	2.53
4	0.86	1.18	1.35	2.28
5			1.56	2.29
6			1.29	2.5
7			1.2	1.9
8			0.93	1.69
9			0.63	1.61
10			0.52	1.27
11				1.24
12				1.19

ที่มา: ปรับปรุงจากค่าสัมประสิทธิ์ของพืชรายสัปดาห์ (กรมชลประทาน, 2554a)

2.11 ปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค

การประเมินการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค สามารถประเมินได้ตามอัตราการใช้น้ำตามลักษณะของประเภทชุมชน หรือจำนวนประชากรในชุมชน (กรมชลประทาน, 2554b) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้การประเมินปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภคตามอัตราการใช้น้ำตามลักษณะจำนวนประชากรในชุมชน ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 อัตราปริมาณความต้องการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค

ปริมาณประชากร (ราย)	อัตราการใช้น้ำ (ลบ.ม./คน/เดือน)
3,000 - 10,000	3.60
10,001 - 20,000	5.10
20,001- 30,000	6.00
30,001- 50,000	7.50
มากกว่า 50,000	9.00

ที่มา: (การประปาส่วนภูมิภาค อ้างโดยกรมทรัพยากรน้ำ)

2.12 ปริมาณการใช้น้ำในการอุตสาหกรรม

การประเมินปริมาณการใช้น้ำในการอุตสาหกรรม เป็นการศึกษาถึงความต้องการน้ำเพื่อการอุตสาหกรรมของโรงงานประเภทต่าง ๆ ซึ่งมีความต้องการใช้น้ำที่แตกต่างกันตามประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม โดยกำหนดอัตราการใช้น้ำตามประเภทของอุตสาหกรรมหลัก (กรมชลประทาน) ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 อัตราปริมาณความต้องการใช้น้ำอุตสาหกรรมตามประเภทอุตสาหกรรมหลัก

ลำดับ	รายละเอียดประเภทอุตสาหกรรมหลัก	ลบ.ม./ไร่/เดือน
1	อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วน อุปกรณ์ต่าง ๆ	180
2	อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์	240
3	อุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม	360
4	อุตสาหกรรมถลุง หล่อ โลหะ	150
5	อุตสาหกรรมทั่วไป	210
6	อุตสาหกรรมกลางแจ้ง เช่น โม้-บดหิน ดูดทราย เผ่าถ่าน หีบฝ้าย อบเมล็ดพืช ฯลฯ	120
7	อุตสาหกรรมกระดาษ เช่น ผลิตเยื่อกระดาษ ภาชนะกระดาษ	120
8	อุตสาหกรรมสิ่งทอ ฟอกหนัง ย้อมสี	150
9	ผลิตภัณฑ์โลหะ เช่น แก้ว กระจกเป็องเคลือบ ปูน ฯลฯ	240
10	ผลิตภัณฑ์ไม้ เครื่องเรือน	90
	เฉลี่ย	186.00

ที่มา : (สำนักนโยบายสาธารณะ สำนักงานสภาที่ปรึกษาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ)

2.13 น้ำท่า (Runoff)

น้ำท่า (Runoff) คือ ปริมาณน้ำในลำธารเกิดจากน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่รับน้ำ บางส่วนจะสูญเสียไป ส่วนที่เหลือก็จะไหลไปยังที่ลุ่มล่งสู่มแม่น้ำลำธารกลายเป็นน้ำท่า โดยน้ำไหลมารวมกันในแม่น้ำลำธารประกอบด้วย น้ำผิวดิน (Overland Flow หรือ Surface Runoff) น้ำใต้ผิวดิน (Interflow หรือ Subsurface Flow) น้ำใต้ดิน (Groundwater Flow)

การประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำใด ๆ ทำได้โดยการวิเคราะห์จากปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ เนื่องจากฝนที่ตกลงมาไม่สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำท่าได้ทั้งหมด เพราะมีการสูญเสียเกิดขึ้นในขณะที่ฝนตก ได้แก่ การเก็บกักบนต้นไม้ การซึมลงดิน และการระเหย เป็นต้น โดยปริมาณน้ำที่เหลือจะไหลผ่านผิวดินลงสู่มแม่น้ำ และไหลลงสู่ทะเลต่อไป

2.14 แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

แบบจำลอง SWAT ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการทำงานผลกระทบของการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อทรัพยากรน้ำ ได้แก่ น้ำท่า ตะกอน และสารเคมีจากการเกษตร ของพื้นที่ลุ่มน้ำตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่และซับซ้อน เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของสภาพดิน การใช้ที่ดิน และการจัดการ (มณฑิตา ชันติสิทธิ์ และ อรอนงค์ วรรณราช, 2557) แบบจำลอง SWAT อาศัยข้อมูลเชิงกายภาพ โดยมีส่วนประกอบหลัก ๆ ได้แก่ ข้อมูลด้านภูมิอากาศ ด้านอุทกวิทยา ด้านอุณหภูมิกุณสมบัติดิน และด้านการจัดการที่ดินโดยการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย และภายในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยก็จะถูกแบ่งเป็น หน่วยจัดการอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units, HRUs) ซึ่งเป็นการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน การจัดการที่ดิน และคุณสมบัติที่ดิน ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

แบบจำลอง SWAT ถูกออกแบบให้สามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรม ArcGIS Desktop ผ่านโปรแกรมเสริม (Extention) ที่เรียกว่า ArcSWAT วิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าโดยวิธี SCS curve number พัฒนาโดย U.S. Department of Agriculture ซึ่งเป็นทฤษฎีการหาปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน (Rainfall Excess) โดยจะทำการแบ่งปริมาณน้ำฝน (Precipitation) ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ปริมาณการไหลโดยตรง (Direct Runoff) ปริมาณการไหลซึมลงดิน (Infiltration) และ ปริมาณการสูญเสียเริ่มต้น (Initial Abstraction) โดยหลักการวิเคราะห์แบบจำลอง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนพื้นดิน (Land Phase) และส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำ (Routing Phase) โดยการวิเคราะห์ในส่วนพื้นดินจะเป็นการศึกษาวงจรอุทกวิทยาเพื่อประเมินหาปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส และสารเคมีจากการเกษตรไหลลงสู่ลำน้ำหลักของแต่ละลุ่มน้ำย่อย การวิเคราะห์ของส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำจะคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำ ตะกอน ไนโตรเจน ฯลฯ ไปตามลำน้ำตลอดทั้งโครงข่ายระบบลำน้ำของลุ่มน้ำที่ศึกษา โดยสรุปรายละเอียดของการวิเคราะห์สำหรับแต่ละส่วน ได้ดังนี้

2.14.1 การศึกษาวงจรอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle) ในการวิเคราะห์ส่วนพื้นดิน ในสมการสมดุลน้ำ ดังสมการที่ (22)

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} + E_a + W_{seep} - Q_{gw}) \quad (22)$$

เมื่อ	SW_t	คือ	ปริมาณน้ำในดินสุดท้าย
	SW_0	คือ	ปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นในวันที่ i
	R_{day}	คือ	เวลา (วัน)
	Q_{surf}	คือ	ปริมาณน้ำผิวดินในวันที่ i
	E_a	คือ	ปริมาณการคายระเหยในวันที่ i
	W_{seep}	คือ	ปริมาณน้ำไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดินในวันที่ i
	Q_{gw}	คือ	ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลกลับสู่ลำน้ำในวันที่ i

2.14.1.1 น้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ในแบบจำลอง SWAT ผู้ใช้สามารถเลือกคำนวณปริมาณน้ำท่าผิวดินและค่าอัตราการไหลของน้ำท่าสูงสุด ได้ 2 วิธี ได้แก่ SCS Curve Number Procedure และวิธี Green & Ampt infiltration ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธี SCS Curve Number Procedure เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย การทำนายปริมาณน้ำท่าผิวดินวิธี SCS จะใช้ดังสมการที่ (23)

$$Q = \frac{(R - 0.2S)^2}{R + 0.8S} \quad (23)$$

เมื่อ	Q	คือ	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน (ลบ.ม./วินาที)
	R	คือ	ปริมาณน้ำฝนรายวัน (มม.)
	S	คือ	Retention Parameter

โดยตัวแปร S มีความสัมพันธ์กับค่า Curve Number (CN) ดังสมการที่ (24)

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (24)$$

2.14.1.2 ปริมาณการไหลด้านข้างใต้ผิวดิน (Literal Subsurface Flow) การจำลองการไหลด้านข้างใต้ผิวดินจะใช้ Kinematic Storage Model ที่พัฒนาโดย Sloan and More (1984) ซึ่งใช้สมการ Mass Continuity Equation โดยใช้ Entire Hillslope Segment ของ Soil Profile เป็น Control Volume โดยแสดงการคำนวณดังสมการที่ (25)

$$Q_{lat} = 0.024 \times \left(\frac{2 \times SW_{ly,excess} \times K_{sat} \times slp}{\phi_d \times L_{hill}} \right) \quad (25)$$

เมื่อ Q_{lat}	คือ	ปริมาณการไหลด้านข้างใต้ผิวดินที่จุดออก (มม./วัน)
$SW_{ly,excess}$	คือ	ปริมาณน้ำที่สามารถระบายได้ในชั้นดินอิ่มตัว (มม.)
K_{sat}	คือ	ค่าสภาพนำน้ำอิ่มตัวของดิน (มม./ชม.)
slp	คือ	ความลาดเฉลี่ยของกลุ่มน้ำย่อย
ϕ_d	คือ	ความพรุนของดิน (มม./มม.)
L_{hill}	คือ	ความยาวของความลาดเนินเขา (ม.)

2.14.1.3 ปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow) การไหลของน้ำใต้ดินในแบบจำลอง SWAT แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) เขต Shallow Aquifer เป็นปริมาณน้ำที่จะไหลออกสู่แม่น้ำลำธารในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยปริมาณน้ำท่าผิวดิน ปริมาณน้ำด้านข้างในเขตรากพืช และปริมาณน้ำไหลกลับ 2) เขต Deep Aquifer เป็นน้ำที่สูญเสียไปของระบบจะไม่มีไหลกลับออกมาในระบบลุ่มน้ำอีก สำหรับสมการสมดุลของน้ำในเขต Shallow Aquifer แสดงดังสมการที่ (26)

$$aq_{sh,i} = aq_{sh,i-1} + w_{rchrg} - Q_{gw} - w_{revap} - w_{pump,sh} \quad (26)$$

เมื่อ $aq_{sh,i}$	คือ	ปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำต้นในวันที่ i (มม.)
$aq_{sh,i-1}$	คือ	ปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำต้นในวันที่ $i-1$ (มม.)
w_{rchrg}	คือ	ปริมาณน้ำที่เติมเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำต้นในวันที่ i (มม.)
Q_{gw}	คือ	ปริมาณการไหลของน้ำใต้ดินเข้าสู่แม่น้ำลำธาร ในวันที่ i (มม.)
w_{revap}	คือ	ปริมาณการไหลของน้ำใต้ดินเข้าสู่เขตรากพืช ในวันที่ i (มม.)
$w_{pump,sh}$	คือ	ปริมาณของน้ำที่ถูกสูบออกจากชั้นหินอุ้มน้ำต้นในวันที่ i (มม.)

และสมการสมดุลน้ำของน้ำในเขต Deep Aquifer แสดงดังสมการที่ (25)

$$aq_{dp,i} = aq_{dp,i-1} + w_{deep} - w_{pump,dp} \quad (27)$$

เมื่อ $aq_{dp,i}$	คือ	ปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำลึกในวันที่ i (มม.)
$aq_{dp,i-1}$	คือ	ปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำลึกในวันที่ i (มม.)
w_{deep}	คือ	ปริมาณของน้ำที่ไหลจากชั้นหินอุ้มน้ำตื้นไปสู่ชั้นหินอุ้มน้ำลึกในวันที่ i (มม.)
$w_{pump,dp}$	คือ	ปริมาณน้ำที่ถูกสูบออกจากชั้นหินอุ้มน้ำลึกในวันที่ i (มม.)

2.14.2 ส่วนการเคลื่อนตัวลำน้ำ (Routing Component) ใช้สมการ Manning กำหนดระดับความระดับและความเร็วของกระแส น้ำ กำหนดการไหลของน้ำด้วยวิธี Variable Storage เพื่อคำนวณสมดุลน้ำของลำน้ำ (สุภักดิ์ กุลโท, 2555)

$$V_{stored,2} = V_{stored,1} + V_{in} - V_{out} - tloss - E_{ch} + div + V_{bnk} \quad (28)$$

เมื่อ $V_{stored,2}$	คือ	ปริมาณน้ำ ณ เวลาสุดท้ายของช่วงเวลา (Time step) ที่ใช้ (ลบ.ม.)
$V_{stored,1}$	คือ	ปริมาณน้ำ ณ วันเริ่มต้นของช่วงเวลา (Time step) ที่ใช้ (ลบ.ม.)
V_{in}	คือ	ปริมาณน้ำไหลเข้าในระหว่างช่วงเวลา (ลบ.ม.)
V_{out}	คือ	ปริมาณน้ำไหลออกในระหว่างช่วงเวลา (ลบ.ม.)
$tloss$	คือ	ปริมาณการสูญเสียของน้ำระหว่างการเคลื่อนผ่านท้องน้ำ (ลบ.ม.)
E_{ch}	คือ	การคายระเหยจากผิวน้ำในแต่ละวัน
div	คือ	ปริมาณของน้ำที่ถูกเติม หรือดึงออกจากลำน้ำในแต่ละวัน (ลบ.ม.)
V_{bnk}	คือ	ปริมาณของน้ำที่ถูกเติมเข้ามาจากสองฝั่งลำน้ำ (ลบ.ม.)

2.15 การเปรียบเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง SWAT (Calibration and Validation SWAT Model)

เมื่อประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลองแล้ว ต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง เรียกว่า การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration Model) และนำชุดพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบมาทดสอบความสมเหตุสมผล (Validation Model) หากสามารถประเมินปริมาณการใช้น้ำได้ใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัดจริงแสดงว่าชุดพารามิเตอร์สามารถนำไปทำนายปริมาณน้ำท่าได้ต่อไป (ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ และเจริญ สารตัน, 2556) โดยจะตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (29)$$

$$NSE = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (30)$$

โดยที่	i	คือ	ลำดับของข้อมูล
	n	คือ	จำนวนข้อมูลทั้งหมด
	O_i	คือ	ค่าจากการตรวจวัด
	\bar{O}	คือ	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัดทั้งหมด
	P_i	คือ	ค่าจากแบบจำลอง
	\bar{P}	คือ	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากแบบจำลองทั้งหมด

ในการศึกษานี้ได้รวบรวมชุดพารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณน้ำสำหรับการประเมินด้วยแบบจำลอง SWAT ในประเทศไทย ทำให้ได้ชุดพารามิเตอร์สำหรับเปรียบเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผล แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผลแบบจำลอง SWAT

อันดับ	พารามิเตอร์	คำอธิบาย
1	Cn2	ค่าสัมประสิทธิ์ในลำน้ำที่ความชื้นในดินระดับที่สอง (Initial curve number (II) value)
2	Sol_Awc	ค่าปริมาณน้ำที่ดินสามารถเก็บไว้ได้ Available water capacity [(mm water) (mmsoil)-1]
3	Esco	ค่าชดเชยจากการระเหยของน้ำในดิน (Soil evaporation compensation factor)
4	Gwqmn	ค่าระดับความลึกเริ่มต้นในการไหลของชั้นให้น้ำใต้ดินระดับตื้น (Threshold water depth in the shallow aquifer for flow)
5	Soil_K	ค่าความสามารถการนำไฮดรอลิกอิ่มตัวของดิน (Saturated hydraulic conductivity [mmh-1])
6	Gw_Delay	ค่าการหน่วงเวลาการไหลของน้ำใต้ดิน Groundwater delay [days]
7	Alpha_Bf	ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการไหลพื้นฐานในชั้นให้น้ำ Baseflow alpha factor [days]
8	CH_N2	ค่าการไหลของลำน้ำหลัก Manning's N value for the main channel

บทที่ 3

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

(จิราพร กองวงศ์จันทร์, 2556) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการกัดเซาะชายฝั่ง จังหวัดภูเก็ต โดยได้ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงเส้นแนวชายฝั่ง และความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อพื้นที่ชายฝั่งโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมปี พ.ศ. 2546, 2548, 2550, 2552 และ 2554 ได้นำมาวิเคราะห์และจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 8 ประเภท ด้วยเทคนิค Support Vector Machines (SVMs) ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้างเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อการกัดเซาะชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งจากการศึกษานี้ทำให้สามารถนำไปวางแผน แก้ไขปัญหา และติดตามผลกระทบต่อไป

(Kavzoglu & Colkesen, 2009) ได้ทำการจำแนกสิ่งปกคลุมดินด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน โดยเลือกฟังก์ชันเคอร์เนลแบบเรเดียลเบสิส และแบบโพลีโนเมียล เพื่อใช้ในการจำแนกสิ่งปกคลุมดินของอำเภอ Gebze ประเทศตุรกี โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ETM และ Terra ASTER ในปี 1997 ถึง 2002 จากการศึกษาพบว่าการจำแนกด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีประสิทธิภาพดีกว่าเทคนิคการจำแนกประเภทแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classifier) ในความถูกต้องโดยรวมโดยประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์

(Mondal, Chandniha, Shukla, & Mishra, 2012) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการจำแนกแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) กับการจำแนกแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classifier) โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat TM ปี 2000 เพื่อประเมินความถูกต้องของวิธีการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในอำเภอ Cuttack และ Jajpur ประเทศอินเดีย เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการจำแนกทั้งสองวิธีมาตรวจสอบความถูกต้องพบว่าวิธีการจำแนกแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการจำแนกแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด

(Wasim, Shoab Ahmad, Ejaz, & Faisal, 2017) ศึกษาการตรวจสอบความเหมาะสมวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและประยุกต์ใช้ในการทำแผนที่ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 (OLI) ครอบคลุมสี่ฤดูกาล คือ ฤดูหนาว ฤดูใบไม้ผลิ ฤดูใบไม้ร่วง และฤดูร้อน โดยได้ประเมินความเหมาะสมของการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines : SVMs) และทำการตรวจสอบความถูกต้องด้วยวิธีการความแม่นยำโดยรวม (Overall Accuracy) และสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa Coefficient) ซึ่งผลการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินทั้งสี่ฤดูกาลมีความถูกต้องสูงและเหมาะสมในการจัดทำแผนที่

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI)

(วุฒิชัย บุญพุก, 2555) ได้ศึกษาการตรวจหาพื้นที่ทิ้งร้างโดยใช้ข้อมูลอนุกรมดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์ วงจรชีพลักษณะของพืชแต่ละชนิด โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 โดยการจำแนกแบบกำกับดูแลด้วยวิธีการจำแนกแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด มีค่าความถูกต้องโดยรวม 38 เปอร์เซ็นต์ ต่างจากการจำแนกประเภทข้อมูลแบบไม่กำกับดูแลด้วยเทคนิควิธี K-Means มีค่าความถูกต้องโดยรวม 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการจำแนกแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ข้อมูลอนุกรมดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์ทำการตรวจหาพื้นที่ทิ้งร้างที่มีความหลากหลายทางด้านประเภทกรรมได้

(อภิเสฏฐ์ สุวรรณสะอาด, 2556) ได้ศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลในการจำแนกพื้นที่ทิ้งร้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ที่ดิน ในตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม โดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation: NDVI) ซึ่งลักษณะและข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลาซึ่งได้ทำการจำแนกด้วยเทคนิควิธีการจำแนกความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classifier) วิธีระยะห่างมาฮาโนบิส (Mahanobis Distance) และวิธี Spectral Angle Mapper (SAM) โดยทั้ง 3 วิธีให้ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) 88.80, 79.20 และ 77.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยที่พื้นที่ทิ้งร้างจะมีค่า NDVI ต่ำเข้าใกล้ศูนย์ ต่างจากพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกจะมีค่า NDVI ค่อนข้างสูง ($NDVI > 0.5$) ผลการศึกษาในครั้งนี้ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาพื้นที่ทิ้งร้างในเขตพื้นที่ทำการเกษตรกรรมได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

(Ehsan & Kazem, 2013) ได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้ค่าต่างดัชนีพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) และวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum likelihood classifier) โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ETM+ ในปี 1990 และ 2006 ในพื้นที่ Ardakan ประเทศอิหร่าน โดยใช้เกณฑ์การเปลี่ยนแปลง NDVI เป็นเพิ่มขึ้นหรือลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษพบว่าค่าความต่าง NDVI จากปี 1990 ถึง 2006 ลดลง 18.83 เปอร์เซ็นต์ และในการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินทำให้เห็นว่าพื้นที่ชุมชนเพิ่มขึ้น 10.68 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพื้นที่การเกษตรลดลงจาก 30.15 เปอร์เซ็นต์เป็น 21.76 เปอร์เซ็นต์ และจากการตรวจสอบผลการศึกษาในครั้งนี้ทำให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่า NDVI และการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพ ทำให้เข้าใจการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมากยิ่งขึ้น

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้น้ำและแบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

(สุภักดิ์ กุลโท, 2555) ได้ศึกษาการประมาณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยอาศัยแบบจำลองมาร์คอฟ โดยแบบจำลอง SWAT ในลุ่มน้ำย่อยห้วยตุงลุงในลุ่มน้ำมูล จากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่ารายปีที่จะเกิดขึ้น และการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่เบ็ดเตล็ดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำท่าทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.792 และ 0.9018 ตามลำดับ

(ชนมล ช้องนอก และถาวร อ่อนประไพ, 2557) ได้ทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำของนาข้าวและข้าวโพดฝักอ่อน ซึ่งจำแนกพื้นที่เพาะปลูกโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม THEOS เพื่อนำมาประเมินปริมาณการใช้น้ำเชิงพื้นที่ ทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำของนาข้าวและข้าวโพดฝักอ่อนโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืช และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงด้วยวิธีการ Penman Monteith ซึ่งอาศัยข้อมูลอุตุวิทยวิทยา ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่เพาะปลูกนาข้าว 4,014.5 ไร่ และมีปริมาณการใช้น้ำรวมต่อพื้นที่ 5.82 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับข้าวโพดฝักอ่อนฤดูแล้งและฤดูฝน มีพื้นที่เพาะปลูก 3,475 และ 3,013.7 ไร่ตามลำดับ โดยมีปริมาณการใช้น้ำต่อพื้นที่ทั้งหมด 2.1 และ 1.7 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

(ปฏิวรัช สาระพิน, 2558) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินกับสมมูลน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำบึงบอระเพ็ดด้วยแบบจำลอง SWAT โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM ในปี พ.ศ. 2542, 2547 และ 2552 ร่วมกับแบบจำลองมาร์คอฟสำหรับการคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และวิเคราะห์สมมูลน้ำเพื่อศึกษาศักยภาพน้ำต้นทุนและความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม จากการศึกษาพบว่ามีปริมาณน้ำขาดแคลนโดยเฉลี่ยที่ 56.96 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และสมมูลน้ำมีความสัมพันธ์มากที่สุดกับพื้นที่เกษตรกรรมอย่างมีนัยสำคัญ

(พงศ์วัฒน์ สัจจนานนท์, 2561) ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT ในการจำลองปริมาณน้ำท่าลุ่มน้ำวัง ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่ลุ่มน้ำแบ่งออกเป็น 18 ลุ่มน้ำย่อย และกำหนดจุดทางออกของลุ่มน้ำที่มีสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่ารายวันทั้งหมด 10 จุดทำการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง จากการศึกษาพบว่าแบบจำลอง SWAT มีจุดทางออกที่เหมาะสมสำหรับเป็นตัวแทนในการคำนวณปริมาณน้ำท่าลุ่มน้ำวังโดยมีค่า R^2 และ NSE ของการปรับเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลองมากกว่า 0.50 ซึ่งมีประสิทธิภาพสำหรับการจำลองปริมาณน้ำในลุ่มน้ำวัง ทั้งนี้บริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่ไม่มีควบคุมของมนุษย์

(Lin et al., 2015) ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า โดยได้นำเข้าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน แต่ใช้ข้อมูลทางอุทกนิยมนิยามชุดเดียวกัน ได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อน้ำท่า และได้ทำการปรับเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลองแบบรายวัน รายเดือน และรายปี ผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจโดยมีค่า NSE และ R^2 มากกว่า 0.8 โดยปริมาณน้ำท่าเพิ่มมากขึ้นในทุกเดือน ยกเว้นเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน ทั้งนี้เนื่องจากใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน จึงทำให้ปริมาณน้ำท่าแตกต่างกันด้วย โดยสามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลต่อปริมาณน้ำท่า

(Lu et al., 2015) ได้ศึกษาการปรับเทียบทางอุทกวิทยาของการวิเคราะห์แบบจำลอง SWAT ในลุ่มน้ำ Yinglaoxia แหล่งต้นน้ำบนภูเขาทางตะวันตกเฉียงเหนือของจีน โดยการปรับเทียบชุดพารามิเตอร์ และได้นำชุดพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบมาทดสอบความสมเหตุสมผลพบว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.94 NSE = 0.81 ซึ่งถือว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพสามารถนำชุดพารามิเตอร์ไปใช้เพื่อประเมินปริมาณน้ำในพื้นที่อื่น ๆ

(Desta & Lemma, 2017) ได้ทำการประเมินทางอุทกวิทยาและลักษณะของกลุ่มน้ำย่อยทะเลสาบไซเวย์ ประเทศเอธิโอเปีย โดยประเมินน้ำท่า ปริมาณการคายระเหยด้วยแบบจำลอง SWAT โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศทั้งหมด 4 สถานีที่กระจายครอบคลุมพื้นที่ ระยะเวลา 33 ปี ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการปรับเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง จากการศึกษาพบว่าปริมาณการคายระเหยและอุณหภูมิในพื้นที่เพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อิทธิพลของมนุษย์เป็นปัจจัยสำคัญต่อทรัพยากรในกลุ่มน้ำไซเวย์

(Frederick Ayivia & Manoj K Jha b, 2018) ได้ทำการศึกษาการประเมินสมดุลน้ำและผลผลิตของน้ำในกลุ่มน้ำ Reedy Fork-Buffalo Creek ทางตอนเหนือของแคลิฟอร์เนียโดยใช้แบบจำลอง SWAT โดยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT ในการวิเคราะห์ทางอุทกของกลุ่มน้ำและความแปรปรวนของปริมาณน้ำท่า การวัดประสิทธิภาพแบบจำลองทางสถิติใช้สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) ซึ่งใช้ชุดข้อมูลในช่วงปี 2002-2008 และ 2009-2013 ในการปรับเทียบ (Calibration) และทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Validation) ตามลำดับ โดยทำการประเมินความสัมพันธ์น้ำท่ารายเดือนจากสถานีตรวจวัดและแบบจำลอง ผลลัพธ์อยู่ในเกณฑ์ดี ทั้ง NSE และ R^2 มีค่ามากกว่า 0.70 สำหรับช่วงการปรับเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลอง SWAT นี้เป็นแบบจำลองที่มีประโยชน์ในการศึกษาทางอุทกวิทยาและการทำนายผลของผลิตน้ำในกลุ่มน้ำ เพื่อใช้ในการบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืน

บทที่ 4

วิธีการดำเนินงาน

4.1 โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา

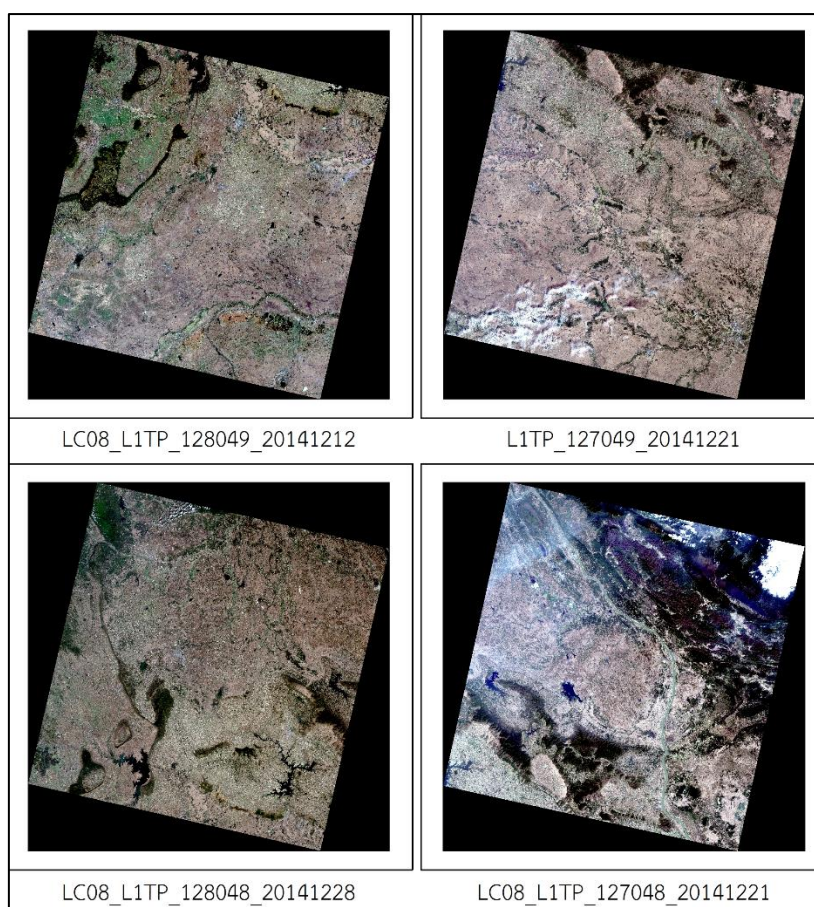
- 4.1.1 ArcGIS Desktop 10.3.1 และ ArcSWAT2012
- 4.1.2 SWAT - CUP
- 4.1.3 ENVI 5.1
- 4.1.4 CROPWAT 8.0
- 4.1.5 Microsoft Office 365 Proplus

4.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

4.2.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI ซึ่งได้ทำการดาวน์โหลดจากหน่วยงาน USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) โดยอยู่ในช่วงบันทึกข้อมูล path 127,128 และ row 48,49 ในปี พ.ศ. 2559 และ 2557 ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	เดือน	พ.ศ.
1	กุมภาพันธ์	2557
2	มีนาคม	2557
3	เมษายน	2557
4	ธันวาคม	2557
5	กุมภาพันธ์	2559
6	มีนาคม	2559
7	เมษายน	2559
8	ธันวาคม	2559



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่ใช้ในการศึกษา

4.2.2 ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ความละเอียด 30 เมตร ซึ่งได้ทำการดาวน์โหลดมาจาก <http://srtm.csi.cgiar.org/>

4.2.3 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระดับที่ 2 พ.ศ. 2558-2559 และข้อมูลกลุ่มชุดดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน

4.2.4 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวัน ในปี พ.ศ. 2555-2559 พร้อมด้วยพิกัดสถานีตรวจวัดตั้งตารางที่ 4.2 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ (สูงสุด-ต่ำสุด) ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และจำนวนชั่วโมงแดด จากกรมอุตุนิยมวิทยา

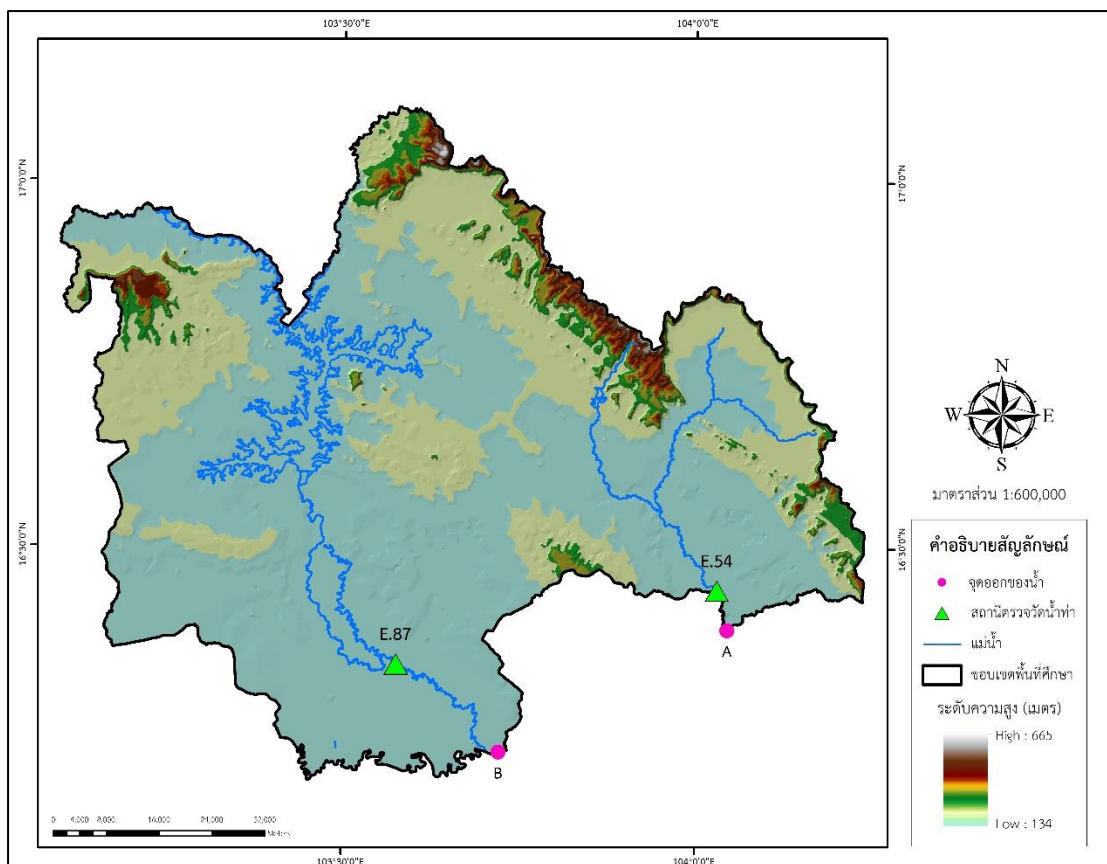
ตารางที่ 4.2 รายชื่อสถานีอุทุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	ชื่อสถานี	รหัสสถานี	ตำแหน่ง	
			ละติจูด	ลองจิจูด
1	สอท.กมลาไสย	388401	16.332500	103.588333
2	อ.เมือง กาฬสินธุ์	388001	16.416667	103.516667
3	กุฉินารายณ์	388002	16.500000	104.050000
4	สหัสขันธ์	388005	16.683333	103.533333
5	สมเด็จ	388006	16.666667	103.750000
6	ท่าคันโท	388007	16.883333	103.233333
7	สถานีทดลองพืชไร่กาฬสินธุ์ อ.ยาง	388008	16.400000	103.383333
8	นิคมสร้างตนเองกุฉินารายณ์ อ.ห้วยผึ้ง	388009	16.650000	103.900000
9	นามน	388011	16.566667	103.800000
10	ร่องคำ	388012	16.300000	103.716667

4.2.5 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนในปี พ.ศ. 2557 และ 2559 พร้อมด้วยพิกัดสถานีตรวจวัดดังตารางที่ 4.3 จากศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน กรมชลประทาน

ตารางที่ 4.3 สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	ชื่อสถานี	แม่น้ำ	ตำแหน่ง	
			ละติจูด	ลองจิจูด
1	E.54 บ้านแก่ง	ลำน้ำยัง	16.442583	104.030889
2	E.87 บ้านวังหิน	ลำปาว	16.340611	103.576583



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดน้ำท่า และจุดออกสุดท้ายของลำน้ำ (Outlet) โดยสถานีตรวจวัดน้ำท่า E.54 ตั้งอยู่ในลำน้ำยัง จุดออกสุดท้ายของลำน้ำคือจุด A และสถานีตรวจวัดน้ำท่า E.87 ตั้งอยู่ในลำน้ำปาว จุดออกสุดท้ายของลำน้ำคือจุด B

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.6 ค่าสัมประสิทธิ์ของพืช (Crop Coefficient) แต่ละชนิด จากกรมชลประทาน

4.2.7 ข้อมูลอัตราปริมาณความต้องการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค และการอุตสาหกรรม

4.2.8 ข้อมูลจำนวนประชากรจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยข้อมูลจำนวนประชากรที่ใช้ในการศึกษา

ประกอบด้วยจำนวนประชากรในปี พ.ศ. 2559 และ 2557 ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 985,232 และ 984,907 รายตามลำดับ แบ่งเป็นจำนวนประชากรในอำเภอต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.4

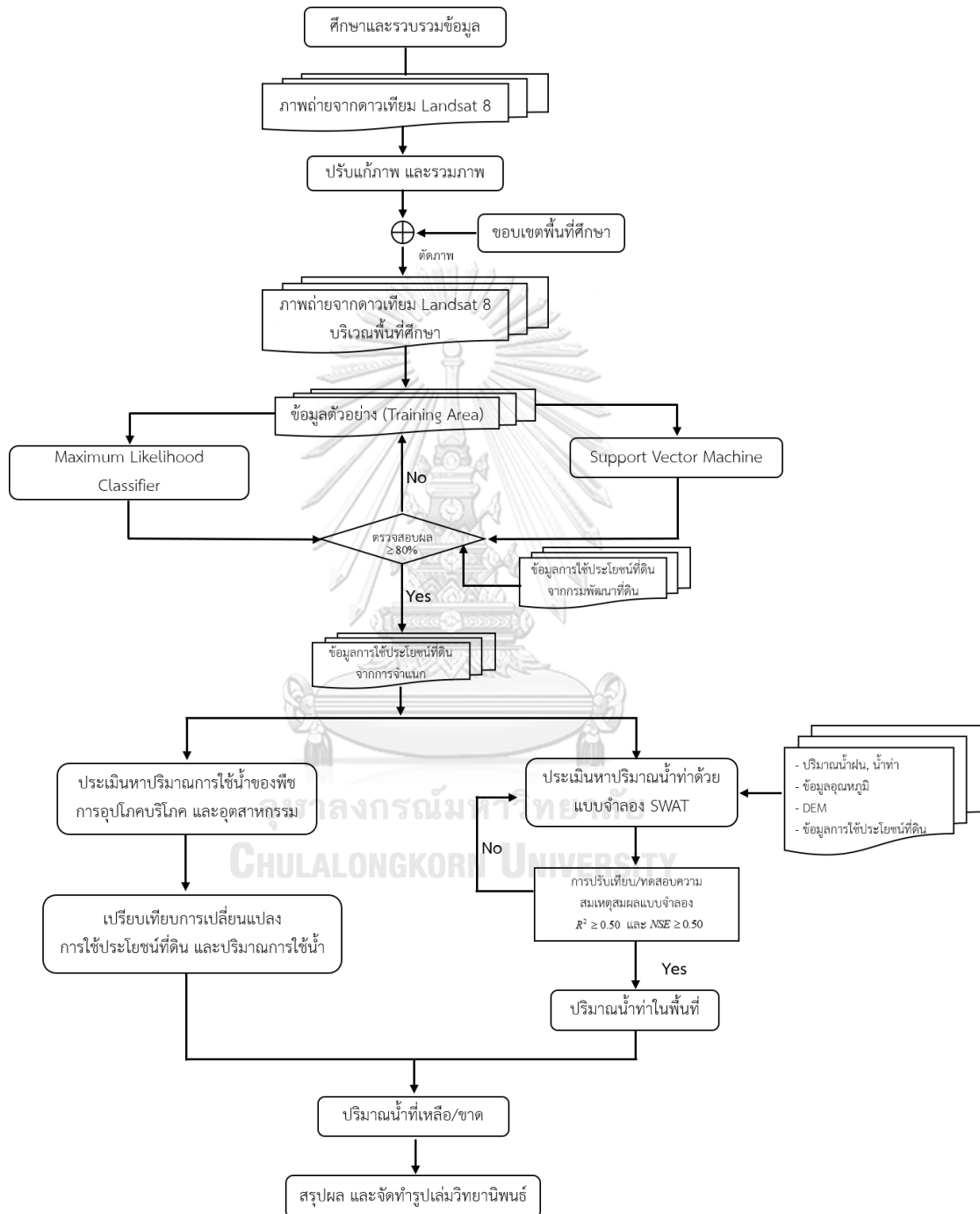
ตารางที่ 4.4 จำนวนประชากรแยกตามอำเภอ ในจังหวัดกาฬสินธุ์

อันดับ	อำเภอ	พ.ศ. 2557	พ.ศ. 2559
1	เมืองกาฬสินธุ์	146,355	146,272
2	ยางตลาด	129,563	129,372
3	กุฉินารายณ์	101,399	101,491
4	กมลาไสย	69,858	69,591
5	หนองกุงศรี	66,764	66,876
6	สมเด็จ	62,317	62,377
7	ห้วยเม็ก	51,203	51,282
8	คำม่วง	48,728	48,799
9	สหัสขันธ์	42,783	42,814
10	ท่าคันโท	37,734	37,941
11	นามน	36,255	36,697
12	เขาวง	34,698	34,550
13	นาคู	31,365	31,332
14	ห้วยผึ้ง	30,642	30,502
15	ฆ้องชัย	27,183	27,130
16	ดอนจาน	25,888	25,979
17	สามชัย	25,656	25,701
18	ร่องคำ	16,516	16,526
	รวม	984,907	985,232

ที่มา: (กรมการปกครอง)

4.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

สำหรับงานวิจัยได้สรุปขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดเป็นแผนภาพ ดังรูปที่ 4.3

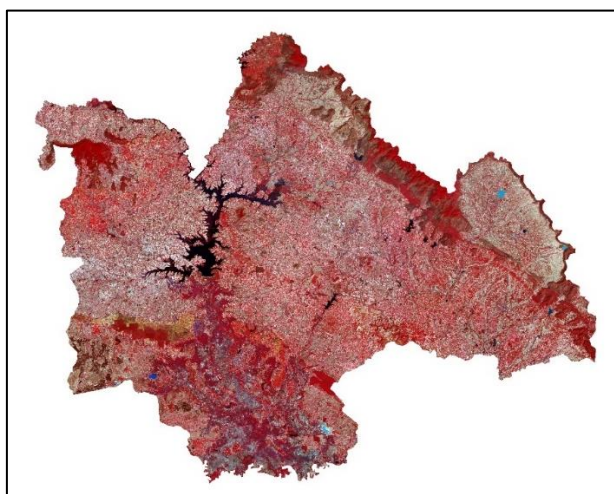


รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากรูปที่ 4.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

4.3.1 ขั้นตอนการจำแนก และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

4.3.1.1 นำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 OLI มาทำการปรับแก้ข้อมูลชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Correction) ด้วย FLAASH Atmospheric Correction จากนั้นทำการรวมภาพ (Mosaic) และตัดเฉพาะบริเวณพื้นที่ศึกษา



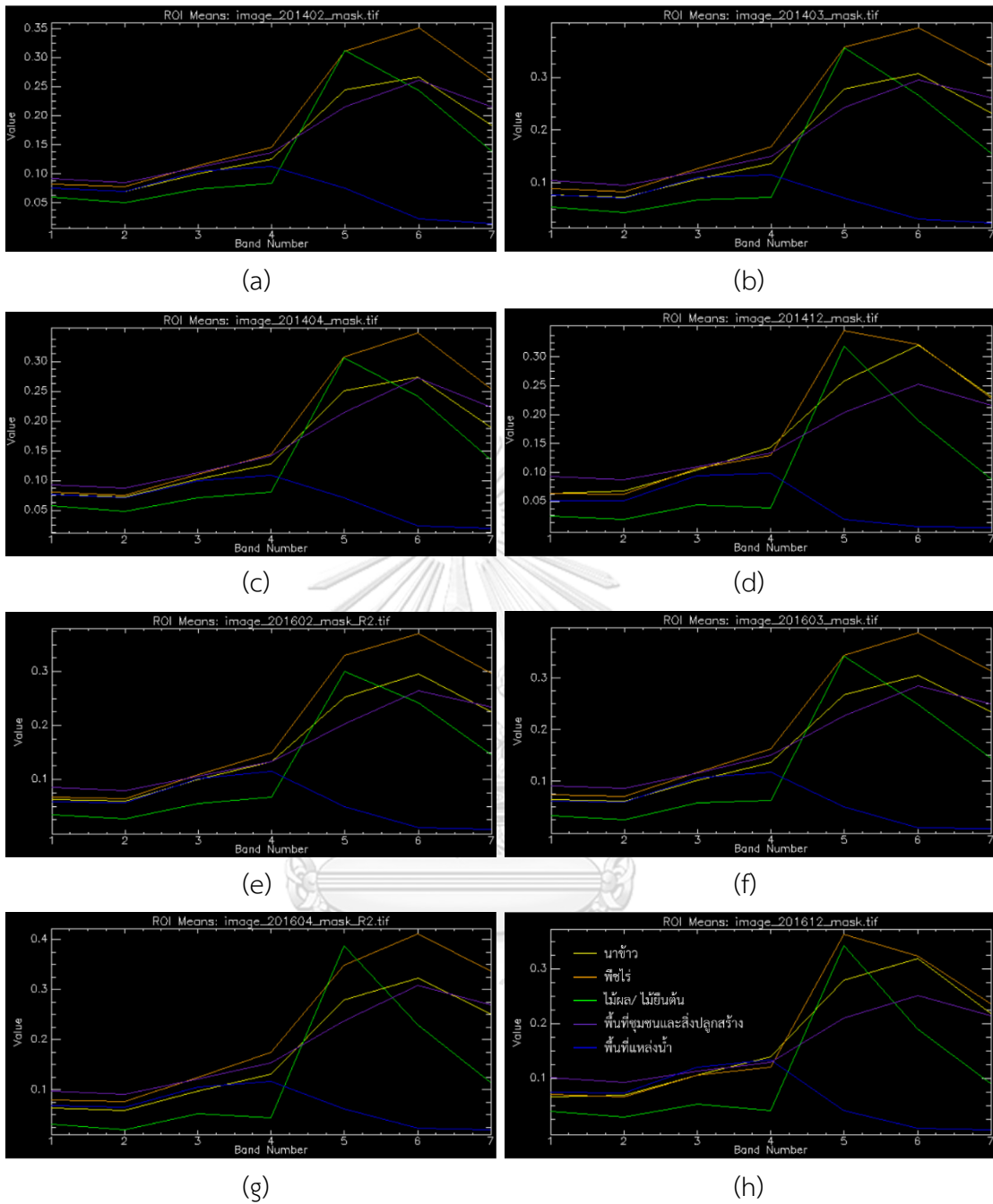
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI บริเวณพื้นที่ศึกษา

ผสมสีเท็จเป็น R = 5, G = 4 และ B = 3

4.3.1.2 ทำหน้ากาก (Mask) เพื่อกันพื้นที่ป่าไม้ออกจากภาพ โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าไม้ จากกรมพัฒนาที่ดิน

4.3.1.3 นำภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 บริเวณพื้นที่ศึกษามาทำการคำนวณหาค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) โดยใช้สมการที่ (2)

4.3.1.4 เลือกข้อมูลตัวอย่าง (Training Data) โดยจะเลือกทั้งหมด 5 ประเภท ซึ่งประกอบด้วย นาข้าว (A1) พืชไร่ (A2) ไม้ผล/ไม้ยืนต้น (A3) สิ่งปลูกสร้างและที่อยู่อาศัย (U) และแหล่งน้ำ (W) ซึ่งในแต่ละประเภทจะเลือกทั้งหมด 200 จุด ยกเว้นแหล่งน้ำจะเลือกทั้งหมด 60 จุดเนื่องจากมีการใช้ประโยชน์ที่ดินน้อยกว่าประเภทอื่นในพื้นที่ศึกษา จากนั้นทำการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random) เพื่อแบ่งเป็นข้อมูลตัวอย่าง และข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบในอัตราส่วน 50 : 50



รูปที่ 4.5 ค่าทางสถิติการสะท้อนของข้อมูลตัวอย่าง (Training Area)

(a) กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 (b) มีนาคม พ.ศ. 2557 (c) เมษายน พ.ศ. 2557 (d) ธันวาคม พ.ศ. 2557
 (e) กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 (f) มีนาคม พ.ศ. 2559 (g) เมษายน พ.ศ. 2559 (h) ธันวาคม พ.ศ. 2559

4.1.1.5 นำภาพถ่ายจากดาวเทียมบริเวณพื้นที่ศึกษาเข้าสู่โปรแกรม ENVI แล้วทำการจำแนกด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนและความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด ตามลำดับ โดยใช้ข้อมูลตัวอย่างที่ได้จัดเตรียมไว้

4.1.1.6 นำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกมาทำการตรวจสอบด้วยวิธี Confusion Matrix ซึ่งค่าความถูกต้องของการจำแนกควรมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกทั้งสองวิธี

4.1.1.7 นำผลการจำแนกด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ซึ่งเป็นข้อมูลภาพ (Raster) มาแปลงให้เป็นข้อมูลเวกเตอร์ (Vector) โดยใช้โปรแกรม ArcGIS Desktop ด้วยคำสั่ง Reclassify และ Raster To Polygon ตามลำดับ

4.1.1.8 นำผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละเดือนมาทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงด้วยวิธีซ้อนทับ (Overlay) ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลการจำแนกเดือนเดียวกันของทั้งสองปี

4.3.2 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช การอุปโภคบริโภค และการอุตสาหกรรม

4.3.2.1 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

1) คำนวณค่า ET_o โดยนำเข้าสู่ข้อมูลอุณหภูมิ (สูงสุด-ต่ำสุด) ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมเฉลี่ย ชั่วโมงแดด แล้วทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม CROPWAT 8.0

Day	Min Temp (°C)	Max Temp (°C)	Humidity (%)	Wind (m/s)	Sun (hours)	Rad (MJ/m²/day)	ET _o (mm/day)
1	15.9	31.6	71	0.8	11.0	22.4	4.11
2	17.0	33.8	73	0.8	11.0	22.5	4.31
3	18.5	35.1	71	0.4	11.0	22.6	4.26
4	19.3	33.8	76	1.5	11.0	22.6	4.63
5	22.5	32.0	77	2.4	11.0	22.7	4.85
6	21.4	33.7	77	1.5	11.0	22.8	4.78
7	22.3	34.1	73	0.8	11.0	22.8	4.62
8	24.4	34.1	63	2.5	11.0	22.9	5.75
9	21.0	34.0	70	1.8	11.0	23.0	5.09
10	20.9	34.1	69	2.1	11.0	23.1	5.28
11	18.1	27.5	65	4.8	11.0	23.1	5.49
12	17.6	29.1	73	0.8	11.0	23.2	4.12
13	19.8	30.0	70	2.9	11.0	23.3	5.07
14	16.6	28.1	62	2.9	11.0	23.4	5.11
15	15.7	28.3	71	1.5	11.0	23.4	4.33
16	18.0	32.6	74	1.0	11.0	23.5	4.59
17	20.8	34.0	77	0.8	11.0	23.6	4.75
18	23.0	35.1	69	1.8	11.0	23.7	5.45
19	22.3	28.8	65	4.8	11.0	23.7	5.95
20	13.1	20.9	71	3.7	11.0	23.8	4.02
21	14.9	27.1	79	2.1	11.0	23.9	4.24
22	17.4	31.4	77	1.1	11.0	24.0	4.58
23	19.6	32.1	75	1.0	11.0	24.0	4.70
24	19.3	33.1	74	1.1	11.0	24.1	4.87
25	20.7	34.4	72	1.1	11.0	24.2	5.08
26	22.1	35.1	73	1.1	11.0	24.3	5.21

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมเฉลี่ย ชั่วโมงแดด บนโปรแกรม CROPWAT 8.0

2) ใช้ค่า Kc จากตารางที่ 2.2 ตามชนิดพืชและช่วงเวลาที่ทำการศึกษามาทำการประเมินหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

3) ประเมินหาปริมาณการใช้น้ำของพืชตามช่วงเวลา โดยใช้สมการที่ (19) และใช้พื้นที่ที่ได้จากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินตามช่วงเวลาที่เราศึกษามาใช้ในการประเมินหาปริมาณการใช้น้ำของพืชทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา

4.3.2.2 ประเมินหาปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค โดยใช้ข้อมูลจำนวนประชากรเทียบกับอัตราปริมาณการใช้น้ำ ตามตารางที่ 2.5

4.3.2.3 ประเมินหาปริมาณการใช้น้ำในการอุตสาหกรรม โดยใช้ข้อมูลการใช้น้ำเฉลี่ยต่อพื้นที่ของประเภทอุตสาหกรรมหลัก ดังตารางที่ 2.6 และใช้ข้อมูลพื้นที่อุตสาหกรรม พ.ศ. 2557 และ 2559 ที่ได้จากอุตสาหกรรมจังหวัดกาฬสินธุ์

4.3.3 การประเมินปริมาณน้ำทำด้วยแบบจำลอง SWAT

สำหรับการประเมินปริมาณน้ำทำด้วยแบบจำลอง SWAT สามารถทำได้โดยใช้ ArcSWAT ซึ่งเป็นส่วนขยาย (Extention) ที่อยู่ในโปรแกรม ArcGIS Desktop โดยสามารถประมวลผลตามลำดับขั้นตอนได้ดังนี้

4.3.3.1 กำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยนำเข้าข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (DEM) และข้อมูลลำน้ำ

4.3.3.2 กำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา

1) จัดเตรียมตารางเชื่อมโยงในรูปแบบของไฟล์ข้อความ (*.text) เพื่อใช้ในการ Reclassify ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลชุดดิน ให้มีรหัสสอดคล้องกับฐานข้อมูล ArcSWAT

"VALUE", "LandUseSwat"
1, RICE
2, AGRL
3, ORCD
4, URBN
5, WATR
6, FRSE

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างตารางเชื่อมโยงในรูปแบบไฟล์ข้อความของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

โดยที่	VALUE	คือ รหัสของหน่วยการใช้ประโยชน์ที่ดินในแผนที่
	LandUseSwat	คือ รหัสการใช้ประโยชน์ที่ดินที่สอดคล้องกับฐานข้อมูล ArcSWAT

```
"VALUE", "Name"
1,WATER
2,18hi
3,18hiB
4,41B
5,41C
6,22B
7,6hi
8,18B
9,17hiB
```

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างตารางเชื่อมโยงในรูปแบบไฟล์ข้อความของข้อมูลชุดดิน

โดยที่ VALUE คือ รหัสของหน่วยชุดดินในแผนที่
NAME คือ รหัสชุดดินที่สอดคล้องกับฐานข้อมูล ArcSWAT

2) นำเข้าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้ทำการจำแนกจากภาพถ่ายดาวเทียมทั้ง 8 ภาพ และข้อมูลชุดดินซึ่งอยู่ในรูปแบบของกริดไฟล์ แล้วทำการ Reclassify โดยใช้ข้อมูลตารางเชื่อมโยงที่ได้จัดเตรียมไว้

3) กำหนดช่วงความลาดชัน และเงื่อนไขหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา

4.3.3.2 กำหนดข้อมูลลักษณะข้อมูลภูมิอากาศ

1) จัดเตรียมข้อมูลรายชื่อ ตำแหน่ง และระดับความสูงของสถานีวัดน้ำฝน และภูมิอากาศในรูปแบบของไฟล์ข้อความ (*.text)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
CHI ID, Name, LAT, LONG, ELEVATION
1, PCP_388401, 16.332500, 103.588333, 139
2, PCP_388001, 16.416667, 103.516667, 148
3, PCP_388002, 16.500000, 104.050000, 156
4, PCP_388005, 16.683333, 103.533333, 186
5, PCP_388006, 16.666667, 103.750000, 188
6, PCP_388007, 16.883333, 103.233333, 190
7, PCP_388008, 16.400000, 103.383333, 149
```

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างรูปแบบไฟล์ข้อความของสถานีวัดน้ำฝน

โดยที่ ID คือ รหัสสถานี Name คือ ชื่อสถานี
LAT คือ ตำแหน่งละติจูด LONG คือ ตำแหน่งลองจิจูด
ELEVATION คือ ระดับความสูงของสถานี

2) จัดเตรียมข้อมูลฝน และภูมิอากาศรายวันซึ่งประกอบด้วยข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความเร็วลมเฉลี่ย และความชื้นสัมพัทธ์ ในรูปแบบของไฟล์ข้อความ (*.text) โดยที่บรรทัดแรกแสดงวันเริ่มต้นของข้อมูล (YYYYMMDD) และบรรทัดต่อไปแสดงข้อมูลรายวันของชุดข้อมูลนั้น

20110101
7.65
6.12
5.1
7.65
6.63
10.2
10.2
10.2
9.18
6.12
5.1

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างรูปแบบไฟล์ข้อมูลความเร็วลม
เริ่มข้อมูลวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2011

20110101
30,17.1
31,17.7
31,15.9
31.6,16.5
30,20.1
28.5,17
26.1,14.9
25.7,15.9
26.5,14.9
28,17
29.5,14.6
30.3,15
30.3,17

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างรูปแบบไฟล์ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด - ต่ำสุด
เริ่มข้อมูลวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2011 โดยตัวเลขที่อยู่ข้างหน้าเครื่องหมายจุดภาค (,) หมายถึงข้อมูล
อุณหภูมิสูงสุด และตัวเลขข้างหลังเครื่องหมายจุดภาค (,) หมายถึงข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด

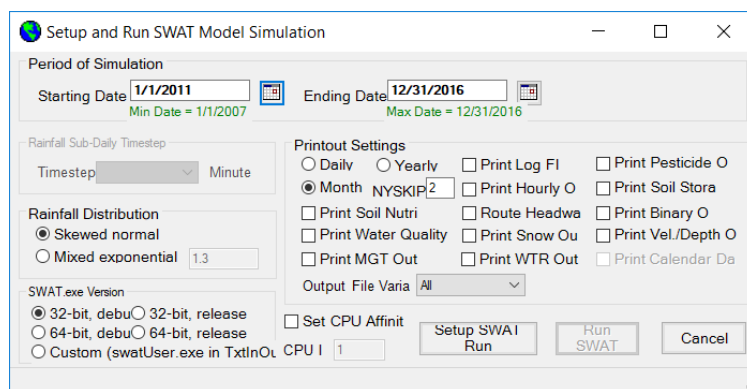
3) นำเข้าข้อมูลฝน และภูมิอากาศรายวัน โดยเลือกคำสั่ง Write Input Tables และ Weather Stations ตามลำดับ แล้วเลือกไฟล์ข้อมูลที่ได้จัดเตรียมไว้

4.3.3.3 สร้างไฟล์นำเข้าแบบจำลอง SWAT โดยเลือกคำสั่ง Write Input Tables และ Write SWAT Input Tables ตามลำดับ เลือกไฟล์นำเข้าทั้งหมด (Select All) ทำการสร้างไฟล์นำเข้าแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการสร้างไฟล์นำเข้าแบบจำลอง SWAT

4.3.3.4 ประมวลผลแบบจำลอง โดยได้กำหนดค่าต่าง ๆ ในการศึกษาจะเริ่มต้นแบบจำลองวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2011 – 31 ธันวาคม ค.ศ. 2016 และเพื่อการประมวลผลที่ดีขึ้นได้ทำการ warm up แบบจำลอง 2 ปี โดยกำหนดที่ค่า NYSKIP = 2 จากนั้นทำการประมวลผลแบบจำลองด้วยคำสั่ง Run SWAT ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.13 การกำหนดค่าในการประมวลผลแบบจำลอง

4.3.4 การปรับเทียบ และทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Model Calibration and Model Validation) โดยใช้โปรแกรม SWAT-CUP ในการปรับและวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ เพื่อกำหนดค่าสถิติที่เหมาะสม โดยแบ่งข้อมูลเป็นสองชุดสำหรับปรับเทียบ และทดสอบความสมเหตุสมผล (J. G. Arnold et al., 2012)

4.3.4.1 ปรับเทียบแบบจำลอง เพื่อประเมินค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการประเมินหาปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ศึกษา โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2557 ซึ่งในการปรับเทียบความเหมาะสมของแบบจำลองจะต้องมีค่าการทดสอบทางสถิติ $R^2 \geq 0.5$ และ $NSE \geq 0.5$ ถึงจะสามารถนำไปใช้ในทดสอบความสมเหตุสมผลต่อไปได้

4.3.4.2 ทดสอบความสมเหตุสมผล โดยการนำชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการปรับเทียบแบบจำลอง มาใช้ทดสอบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2559 และจะต้องมีค่าการทดสอบทางสถิติ $R^2 \geq 0.5$ และ $NSE \geq 0.5$

4.3.5 ประเมินหาน้ำต้นทุน โดยนำชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม นำเข้าโปรแกรม ArcSWAT แล้วทำการประมวลผลแบบจำลองใหม่อีกครั้ง เพื่อประเมินหาปริมาณน้ำท่าตามจุดออกสุดท้ายของลำน้ำที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งกำหนดเป็นจุด A,B ดังรูปที่ 4.1 และจะทำให้ทราบปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ในพื้นที่ศึกษา

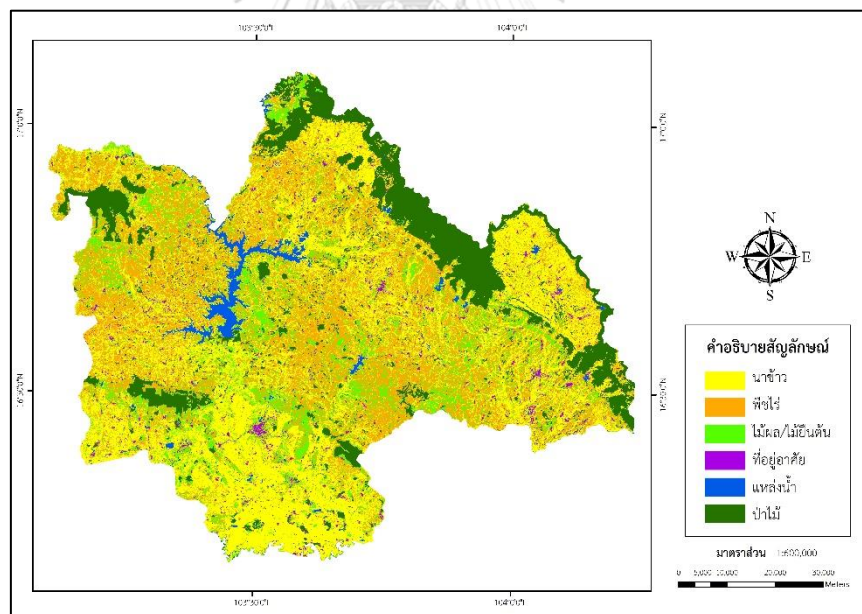
บทที่ 5

ผลการศึกษา

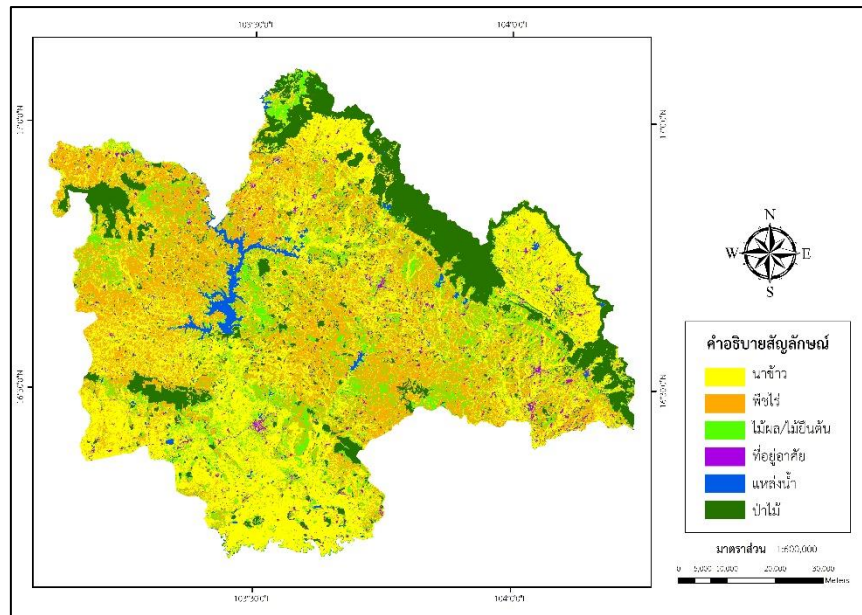
5.1 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการประเมินความถูกต้องของการจำแนก

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็นนาข้าว พืชไร่ ไม้ยืนต้น พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่น้ำ ซึ่งจำแนกด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) และวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classifier) แล้วทำการตรวจสอบผลความถูกต้องของการจำแนก

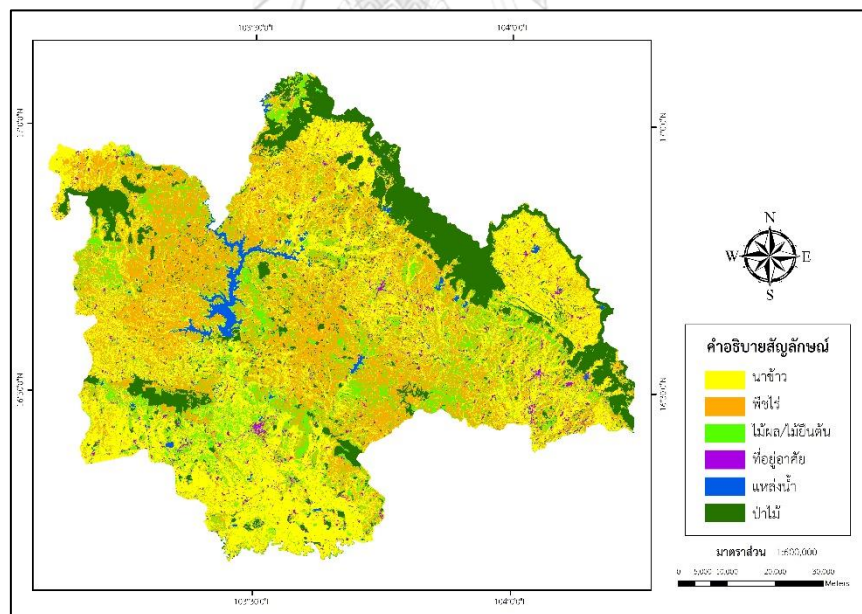
5.1.1 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine)



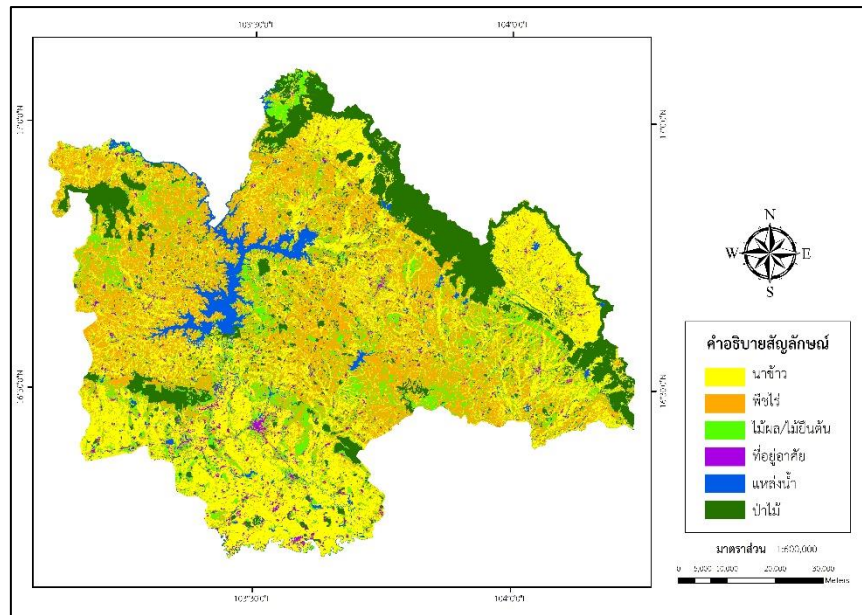
รูปที่ 5.1 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557



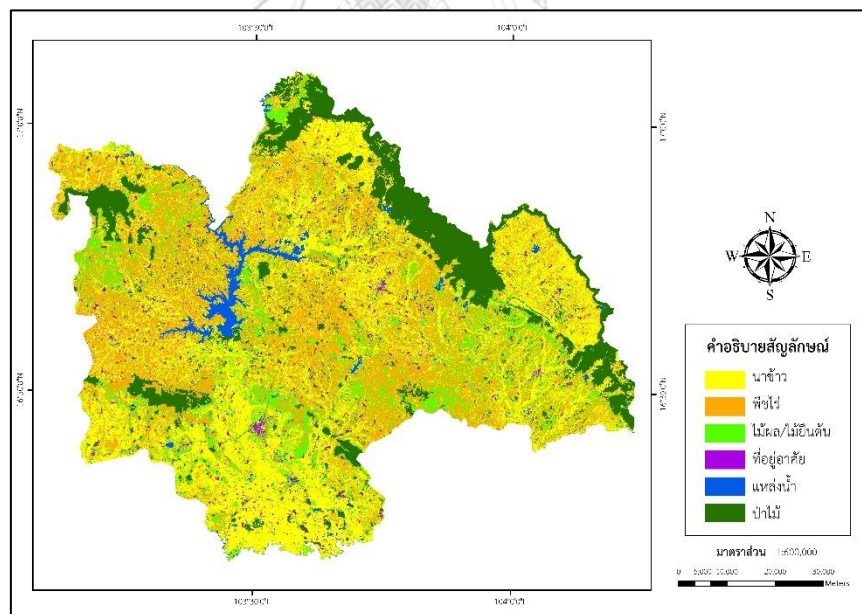
รูปที่ 5.2 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนมีนาคม พ.ศ. 2557



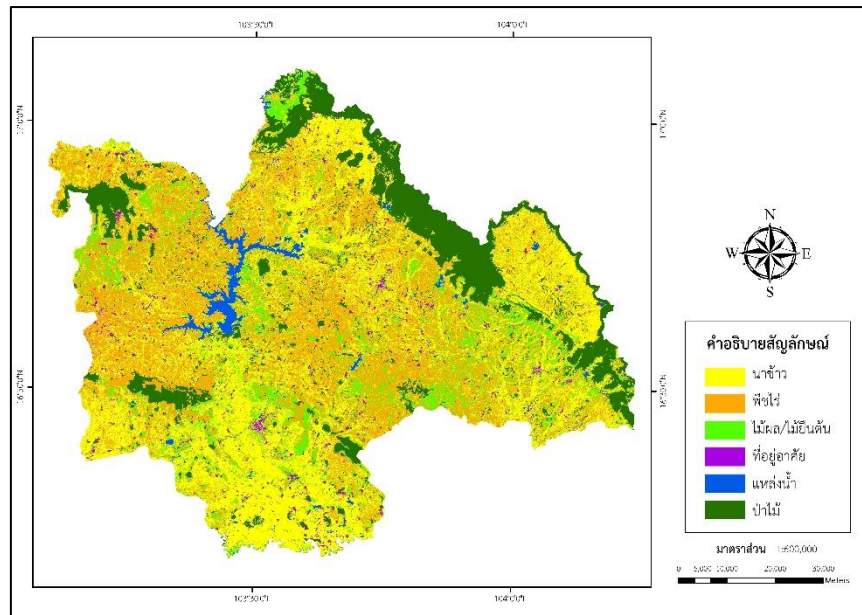
รูปที่ 5.3 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนเมษายน พ.ศ. 2557



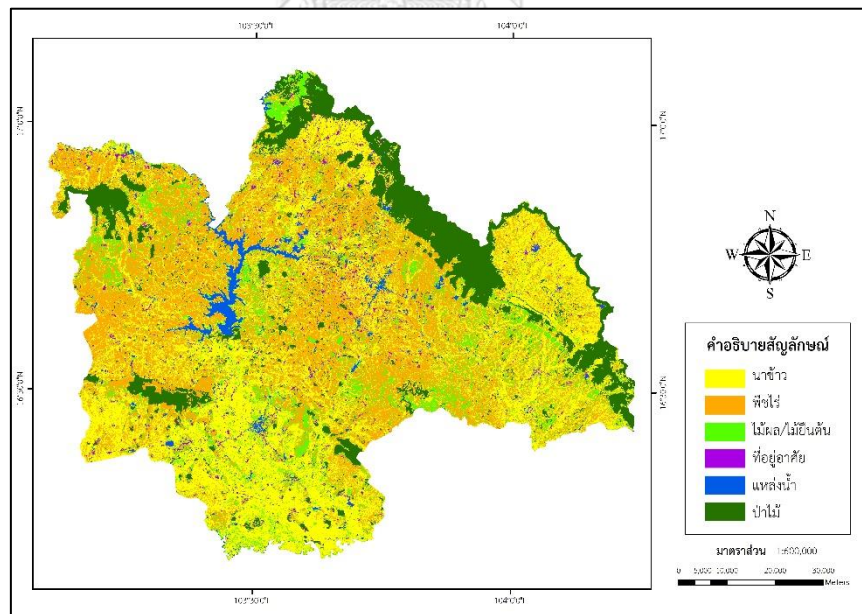
รูปที่ 5.4 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนธันวาคม พ.ศ. 2557



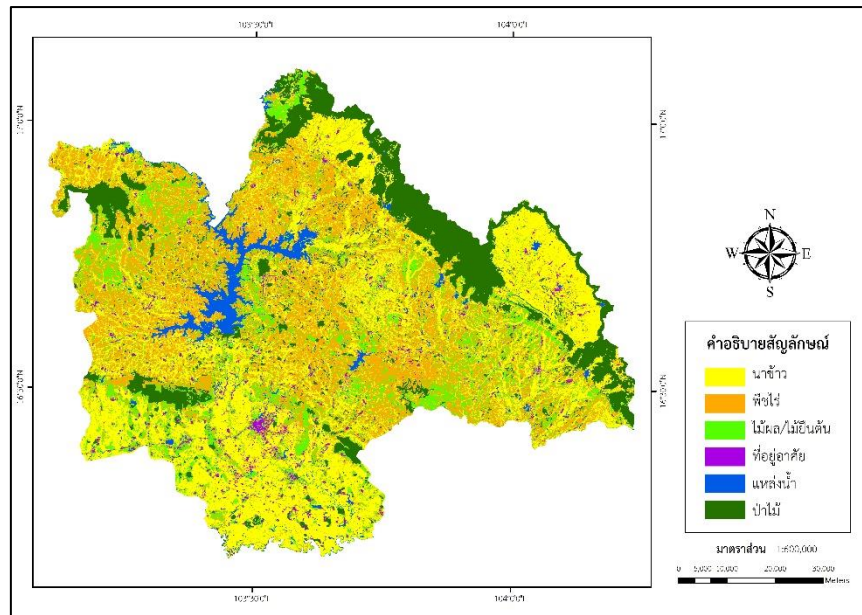
รูปที่ 5.5 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



รูปที่ 5.6 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

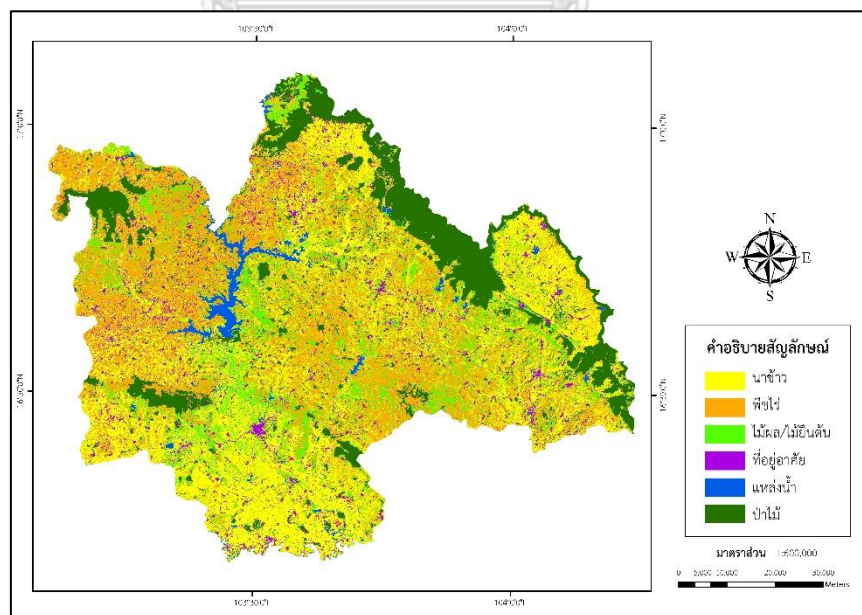


รูปที่ 5.7 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนเมษายน พ.ศ. 2559

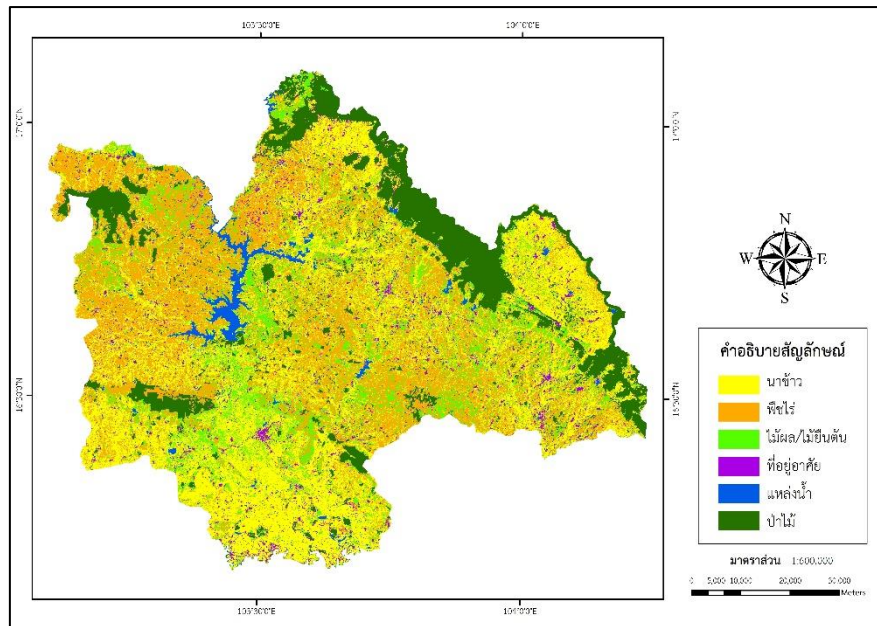


รูปที่ 5.8 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เดือนธันวาคม พ.ศ. 2559

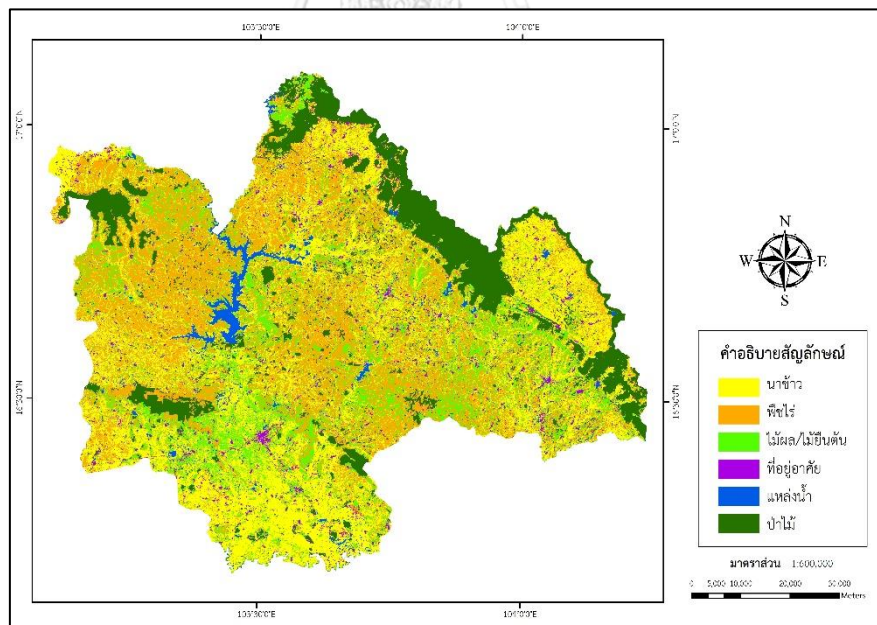
5.1.2 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification)



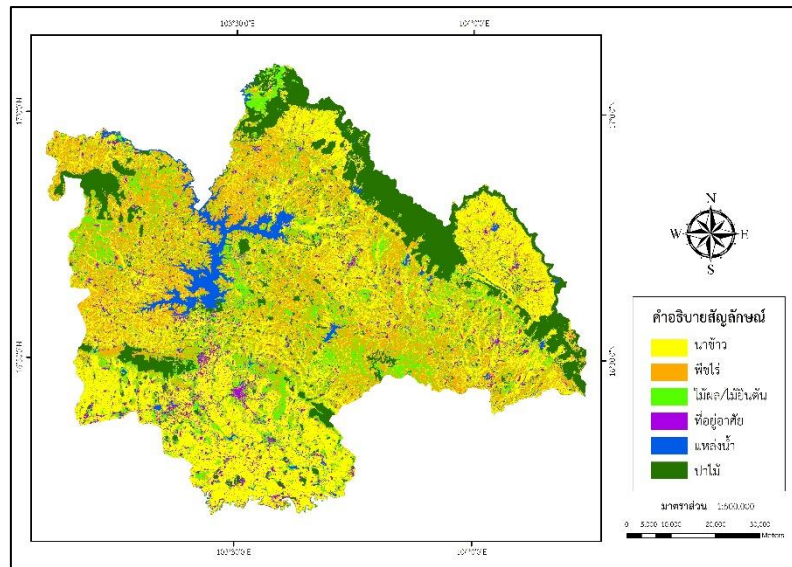
รูปที่ 5.9 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557



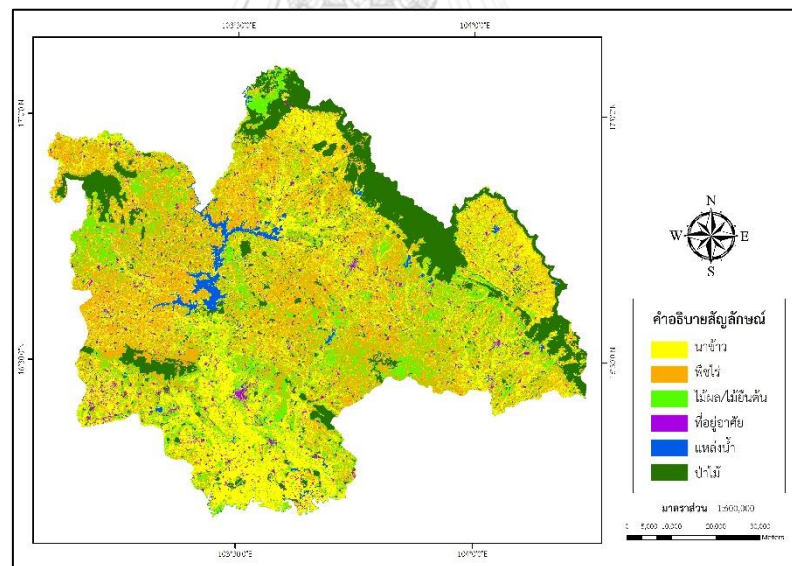
รูปที่ 5.10 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) เดือนมีนาคม พ.ศ. 2557



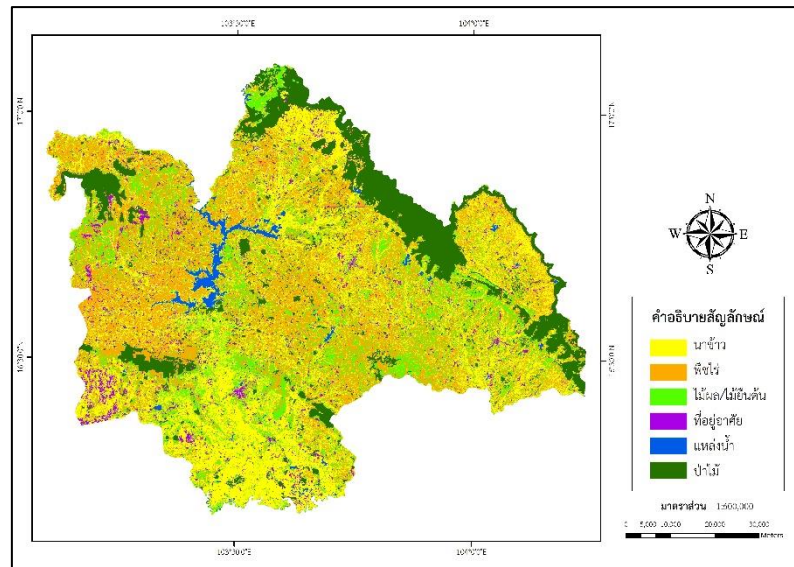
รูปที่ 5.11 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) เดือนเมษายน พ.ศ. 2557



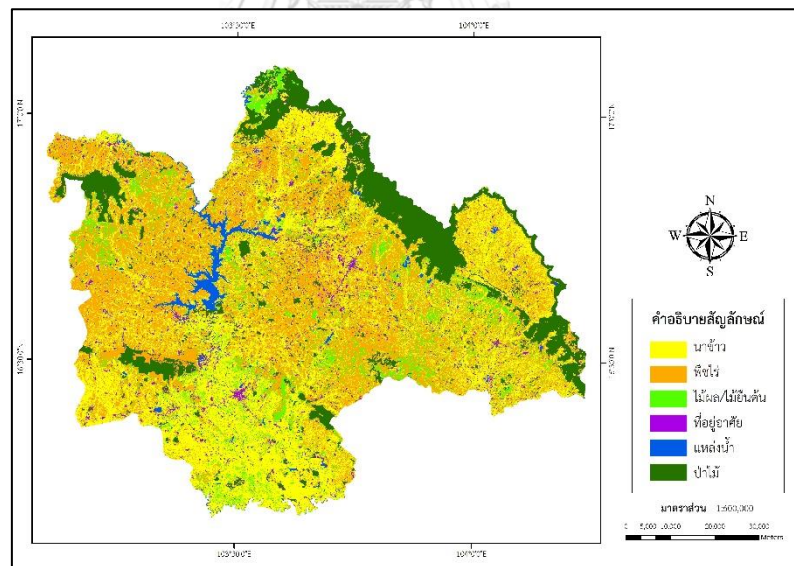
รูปที่ 5.12 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) เดือนธันวาคม พ.ศ. 2557



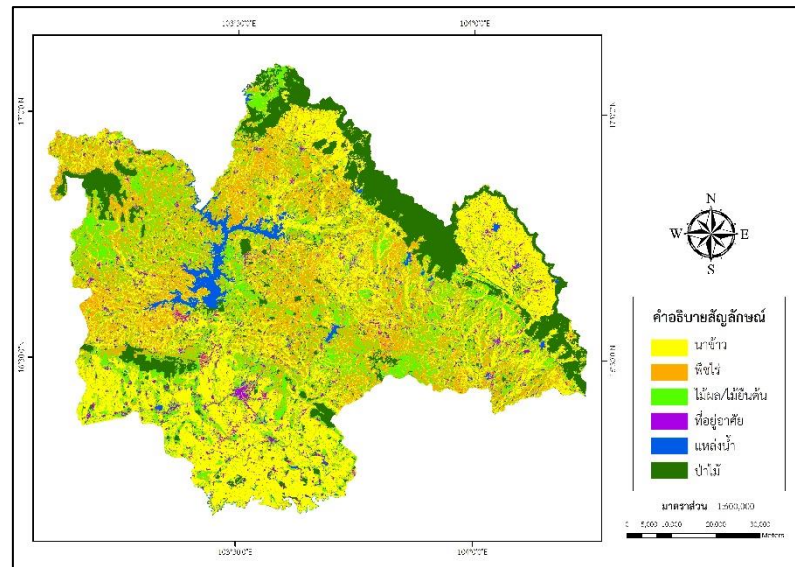
รูปที่ 5.13 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



รูปที่ 5.14 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

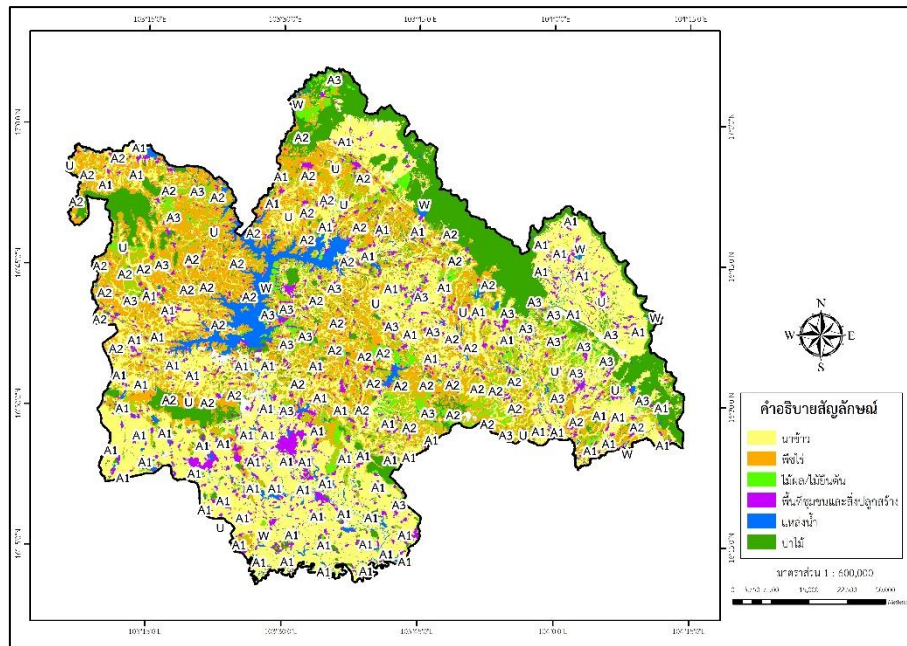


รูปที่ 5.15 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) เดือนเมษายน พ.ศ. 2559

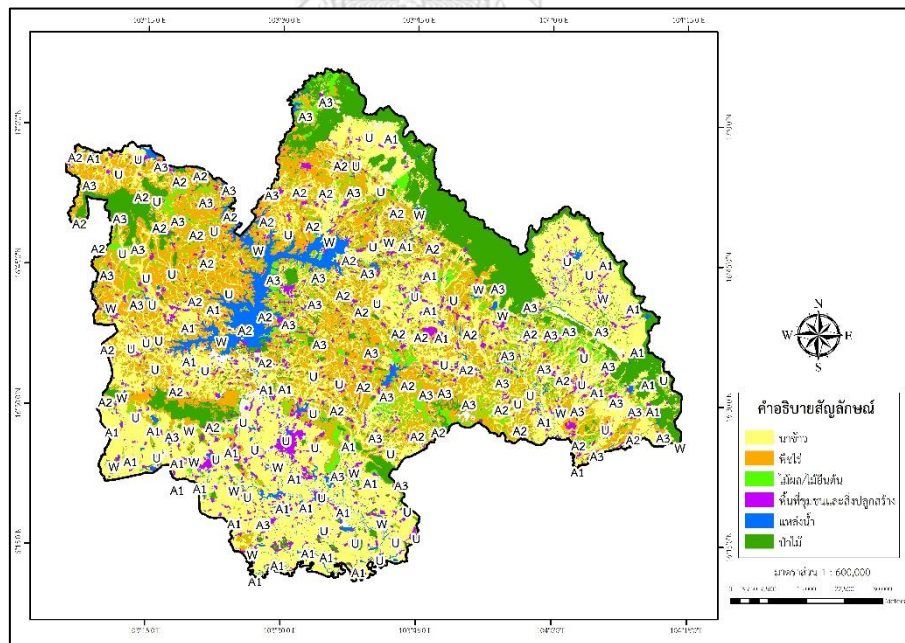


รูปที่ 5.16 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) เดือนธันวาคม พ.ศ. 2559

5.1.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกด้วย Classification Error Matrix ได้ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2558 - 2559 ดังภาพที่ 5.17 และ 5.18 มาใช้ในการตรวจสอบผลการจำแนกผลที่ได้มีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ทั้งสองวิธี อยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือ สามารถนำข้อมูลการจำแนกไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.17 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน)
และตำแหน่งข้อมูลตัวอย่าง (Training Area)



รูปที่ 5.18 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน)
และตำแหน่งข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบผลการจำแนก

ตารางที่ 5.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) และความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classifier) พ.ศ. 2557

เดือน	ข้อมูลการจำแนก	การจำแนกแบบ SVMs					การจำแนกแบบ MLC				
		ข้อมูลอ้างอิง (เปอร์เซ็นต์)					ข้อมูลอ้างอิง (เปอร์เซ็นต์)				
		A1	A2	A3	W	U	A1	A2	A3	W	U
กุมภาพันธ์	A1	89.04	10.38	0.98	13.15	3.14	84.16	9.14	1.25	11.93	1.33
	A2	6.91	85.73	2.79	0.92	1.81	9.63	83.63	3.07	1.22	0.36
	A3	3.30	2.66	96.24	0.61	0	3.30	5.25	95.68	1.53	0.12
	W	0	0	0	85.32	0	2.09	0	0	85.02	0
	U	0.76	1.24	0	0	95.05	0.82	1.98	0	0.31	98.19
	รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Producer's accuracy (%)	84.84	89.26	93.44	100	96.09	86.01	86.96	90.57	89.39	94.64
	User's accuracy (%)	89.04	85.73	96.24	85.32	95.05	84.16	83.63	95.68	85.02	98.19
	Overall Accuracy (%)	90.55					88.92				
	Kappa Coefficient	0.88					0.85				
มีนาคม	A1	89.42	12.42	0.70	13.76	5.92	82.45	7.10	1.18	11.62	3.38
	A2	6.40	84.19	3.34	0.61	1.09	9.7	88.26	3.62	0.31	0.24
	A3	3.61	2.96	95.96	0.31	0	4.44	3.46	95.19	2.14	0.12
	W	0.13	0	0	85.02	0	1.71	0	0	84.71	0
	U	0.44	0.43	0	0.31	93	1.71	1.17	0	1.22	96.26
	รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Producer's accuracy (%)	82.23	89.49	92.85	99.29	98.09	86.79	87.29	91.07	91.12	94.1
	User's accuracy (%)	89.42	84.19	95.96	85.02	93	82.45	88.26	95.19	84.71	96.26
	Overall Accuracy (%)	89.84					89.34				
	Kappa Coefficient	0.87					0.86				

ตารางที่ 5.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) และความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classifier) พ.ศ. 2557 (ต่อ)

เดือน	ข้อมูลการจำแนก	การจำแนกแบบ SVMs					การจำแนกแบบ MLC				
		ข้อมูลอ้างอิง (เปอร์เซ็นต์)					ข้อมูลอ้างอิง (เปอร์เซ็นต์)				
		A1	A2	A3	W	U	A1	A2	A3	W	U
เมษายน	A1	88.47	14.52	1.39	14.68	4.47	82.70	13.90	0.63	7.95	1.81
	A2	8.17	82.40	3.90	0	0.97	10.01	81.66	3.69	0.31	0.97
	A3	3.17	2.35	94.7	0.61	0.24	4.69	3.40	95.68	3.98	0.36
	W	0	0	0	84.1	0	1.52	0	0	84.71	0
	U	0.19	0.74	0	0.61	94.32	1.08	1.05	0	3.06	96.86
	รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Producer's accuracy (%)	80.41	87.36	93.66	100	97.87	82.59	85.73	90.45	92.03	94.80
	User's accuracy (%)	88.47	82.40	94.70	84.10	94.32	82.70	81.66	95.68	84.71	96.86
	Overall Accuracy (%)	88.91					87.77				
	Kappa Coefficient	0.85					0.84				
ธันวาคม	A1	95.88	7.29	0.28	5.20	5.07	97.34	9.82	0.42	2.75	3.50
	A2	2.92	89.56	1.53	0	0.85	2.09	84.31	1.81	1.22	0.12
	A3	0.06	3.09	98.19	0	0	0.19	5.74	97.49	0	0
	W	0	0	0	94.8	0	0	0	0	93.58	0
	U	1.14	0.06	0	0	94.08	0.38	0.12	0.28	2.45	96.38
	รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Producer's accuracy (%)	89.32	95.08	96.51	100	97.62	88.33	95.52	93.58	100	97.56
	User's accuracy (%)	95.88	89.56	98.19	94.8	94.08	97.34	84.31	97.49	93.58	96.38
	Overall Accuracy (%)	94.37					93.38				
	Kappa Coefficient	0.93					0.91				

หมายเหตุ : A1 หมายถึง นาข้าว A2 หมายถึง พืชไร่
A3 หมายถึง ไม้ผล/ไม้ยืนต้น W หมายถึง พื้นที่แหล่งน้ำ
U หมายถึง พื้นที่สิ่งปลูกสร้างและชุมชน

ตารางที่ 5.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) และความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) พ.ศ. 2559

เดือน	ข้อมูลการจำแนก	การจำแนกแบบ SVMs					การจำแนกแบบ MLC				
		ข้อมูลอ้างอิง (เปอร์เซ็นต์)					ข้อมูลอ้างอิง (เปอร์เซ็นต์)				
		A1	A2	A3	W	U	A1	A2	A3	W	U
กุมภาพันธ์	A1	85.04	10.99	0.28	0.92	2.9	77.5	10.32	0.84	2.14	1.81
	A2	9.7	83.94	7.32	0	0.12	13.18	81.47	3.83	0	0.24
	A3	2.47	4.26	92.4	0	0	4.75	7.29	95.26	0	0
	W	0.25	0	0	99.08	0	1.01	0	0	97.86	0
	U	2.53	0.8	0	0	96.98	3.55	0.93	0.07	0	97.95
	รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Producer's accuracy (%)	85.04	83.94	92.4	99.08	96.98	77.5	81.47	95.26	97.86	97.95
	User's accuracy (%)	86.52	83.99	92.47	98.78	93.81	85.88	83.27	87.63	95.24	91.85
	Overall Accuracy	89.06					87.09				
Kappa Coefficient	0.86					0.83					
มีนาคม	A1	87.9	9.64	0.91	2.14	8.33	76.93	12.42	1.05	4.28	5.19
	A2	8.94	87.28	4.74	0	0.48	11.41	80.23	3.76	0	0.24
	A3	2.03	3.03	94.36	0	0	4.25	5.44	94.98	0	0
	W	0.06	0	0	97.86	0	1.27	0	0	94.8	0
	U	1.08	0.06	0	0	91.18	6.15	1.91	0.21	0.92	94.57
	รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Producer's accuracy (%)	87.9	87.28	94.36	97.86	91.18	76.93	80.23	94.98	94.8	94.57
	User's accuracy (%)	84.99	86.9	94.36	99.69	97.67	81.64	84.63	89.79	93.94	85.39
	Overall Accuracy	90.36					85.86				
Kappa Coefficient	0.87					0.82					

ตารางที่ 5.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) และความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classification) พ.ศ. 2559 (ต่อ)

เดือน	ข้อมูลการจำแนก	การจำแนกแบบ SVMs					การจำแนกแบบ MLC				
		ข้อมูลอ้างอิง (เปอร์เซ็นต์)					ข้อมูลอ้างอิง (เปอร์เซ็นต์)				
		A1	A2	A3	W	U	A1	A2	A3	W	U
เมษายน	A1	88.59	10.25	3	0	8.33	83.71	11.06	7.94	0	5.07
	A2	9.13	88.88	2.09	0	0.72	12.55	88.2	6.83	0	0.24
	A3	1.39	0.86	94.91	0	0	1.01	0.68	84.81	0	0
	W	0	0	0	100	0	0.13	0	0	98.78	0
	U	0.89	0	0	0	90.94	2.6	0.06	0.42	1.22	94.69
	รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Producer's accuracy (%)	88.59	88.88	94.91	100	90.94	83.71	88.2	84.81	98.78	94.69
	User's accuracy (%)	83.41	88.88	97.42	100	98.17	79.77	82.73	97.83	99.38	93.78
	Overall Accuracy (%)	91.22					87.66				
	Kappa Coefficient	0.88					0.84				
ธันวาคม	A1	96.13	4.32	0.42	0	2.29	97.15	4.63	0.35	0	3.74
	A2	2.85	90.06	3.9	0	0.97	1.9	81.72	3.07	1.22	0.24
	A3	0.25	5.5	95.68	0	0.12	0.57	12.85	96.38	0	0.97
	W	0	0	0	100	0	0	0	0	95.72	0
	U	0.76	0.12	0	0	96.62	0.38	0.8	0.21	3.06	95.05
	รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Producer's accuracy (%)	96.13	90.06	95.68	100	96.62	97.15	81.72	96.38	95.72	95.05
	User's accuracy (%)	94.11	93.04	93.59	100	98.28	93.25	94.3	86.01	100	96.09
	Overall Accuracy (%)	94.61					92.26				
	Kappa Coefficient	0.93					0.90				

5.1.4 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของการจำแนก พบว่าการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ให้ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa coefficient) สูงกว่าการจำแนกแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุดทั้งใน พ.ศ. 2557 และ 2559 ดังแสดงในตารางที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.3 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนก พ.ศ. 2557

เดือน	Overall Accuracy (%)		Kappa Coefficient		ค่าความแตกต่าง	
	SVMs	MLC	SVMs	MLC	Overall Accuracy (%)	Kappa
กุมภาพันธ์	90.55	88.92	0.88	0.85	1.62	0.02
มีนาคม	89.84	89.34	0.87	0.86	0.50	0.01
เมษายน	88.91	87.77	0.85	0.84	1.14	0.01
ธันวาคม	94.37	93.38	0.93	0.91	0.98	0.01

จากตารางที่ 5.3 ในปี พ.ศ. 2557 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่าความถูกต้องโดยรวม 88.91 - 94.97 เปอร์เซ็นต์ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.85 - 0.93 ส่วนการจำแนกด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุดมีค่าความถูกต้องโดยรวม 88.92 - 93.38 เปอร์เซ็นต์ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.84 - 0.93

ตารางที่ 5.4 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนก พ.ศ. 2559

เดือน	Overall Accuracy (%)		Kappa Coefficient		ค่าความแตกต่าง	
	SVMs	MLC	SVMs	MLC	Overall Accuracy (%)	Kappa
กุมภาพันธ์	89.06	87.09	0.86	0.83	1.97	0.03
มีนาคม	90.36	85.86	0.87	0.82	4.49	0.06
เมษายน	91.22	87.66	0.88	0.84	3.56	0.05
ธันวาคม	94.61	92.26	0.93	0.90	2.35	0.03

จากตารางที่ 5.4 ในปี พ.ศ. 2559 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่าความถูกต้องโดยรวม 89.06 - 94.61 เปอร์เซ็นต์ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.86 - 0.93 ส่วนการจำแนกด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุดมีค่าความถูกต้องโดยรวม 85.86 - 92.26 เปอร์เซ็นต์ และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.83-0.90

5.2 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินเชิงพื้นที่ และเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ได้ทำการวิเคราะห์หาพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในปี พ.ศ. 2557 และ 2559 ได้ผลดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ขนาดพื้นที่ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทในพื้นที่ศึกษา

เดือน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ.2557		พ.ศ.2559		การเปลี่ยนแปลง	
		พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (%)	พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (%)	พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (%)
กุมภาพันธ์	นาข้าว	1,635,815.31	37.94	1,544,706.98	35.83	-91,108.33	-5.57
	พืชไร่	1,361,914.21	31.59	1,379,092.28	31.99	17,178.07	1.26
	ไม้ผล/ไม้ยืนต้น	549,992.20	12.76	616,329.20	14.29	66,337.00	12.06
	สิ่งปลูกสร้างและที่อยู่อาศัย	92,053.52	2.14	95,308.12	2.21	3,254.60	3.54
	แหล่งน้ำ	108,983.99	2.53	113,322.65	2.63	4,338.66	3.98
	ป่าไม้	562,758.31	13.05	562,758.31	13.05	0.00	0.00
	รวม	4,311,517.55	100.00	4,311,517.55	100.00		
มีนาคม	นาข้าว	1,687,372.46	39.14	1,571,304.51	36.44	-116,067.95	-6.88
	พืชไร่	1,307,762.28	30.33	1,447,451.83	33.57	139,689.55	10.68
	ไม้ผล/ไม้ยืนต้น	568,579.75	13.19	530,036.48	12.29	-38,543.27	-6.78
	สิ่งปลูกสร้างและที่อยู่อาศัย	87,493.16	2.03	95,579.86	2.22	8,086.70	9.24
	แหล่งน้ำ	97,551.59	2.26	104,386.56	2.42	6,834.97	7.01
	ป่าไม้	562,758.31	13.05	562,758.31	13.05	0.00	0.00
	รวม	4,311,517.55	100.00	4,311,517.55	100.00		

ตารางที่ 5.5 ขนาดพื้นที่ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทในพื้นที่
ศึกษา (ต่อ)

เดือน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ.2557		พ.ศ.2559		การเปลี่ยนแปลง	
		พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (%)	พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (%)	พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (%)
เมษายน	นาข้าว	1,618,050.84	37.53	1,612,580.29	37.40	-5,470.56	-0.34
	พืชไร่	1,390,193.43	32.24	1,497,234.67	34.73	107,041.24	7.70
	ไม้ผล/ไม้ยืนต้น	571,852.26	13.26	435,726.61	10.11	-136,125.65	-23.80
	สิ่งปลูกสร้างและที่อยู่อาศัย	88,784.17	2.06	98,833.29	2.29	10,049.12	11.32
	แหล่งน้ำ	79,878.54	1.85	104,384.39	2.42	24,505.85	30.68
	ป่าไม้	562,758.31	13.05	562,758.31	13.05	0.00	0.00
	รวม	4,311,517.55	100.00	4,311,517.55	100.00		
ธันวาคม	นาข้าว	1,489,061.14	34.54	1,584,586.44	36.75	95,525.31	6.42
	พืชไร่	1,412,795.46	32.77	1,297,898.90	30.10	-114,896.55	-8.13
	ไม้ผล/ไม้ยืนต้น	564,523.80	13.09	595,271.21	13.81	30,747.42	5.45
	สิ่งปลูกสร้างและที่อยู่อาศัย	95,648.01	2.22	102,186.81	2.37	6,538.80	6.84
	แหล่งน้ำ	186,730.84	4.33	168,815.86	3.92	-17,914.98	-9.59
	ป่าไม้	562,758.31	13.05	562,758.31	13.05	0.00	0.00
	รวม	4,311,517.55	100.00	4,311,517.55	100.00		

5.3 ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

จากการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงของพื้นที่ศึกษาโดยนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ทำให้ได้ผลดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) รายเดือนของพื้นที่ศึกษา (มม./วัน)

ปี พ.ศ.	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2557	4.48	4.87	6.04	6.47	6.47	6.36	5.85	5.69	5.47	4.81	4.35	4.48
2559	4.18	5.00	6.10	6.95	6.44	6.19	5.93	5.98	5.40	4.81	4.43	4.28

จากตารางที่ 5.6 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงในช่วงเดือนมีนาคม- มิถุนายนจะมีค่าสูงกว่าช่วงอื่น ๆ เนื่องจากอยู่ในช่วงฤดูแล้งความต้องการน้ำของพืชจะสูง

5.4 ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืช การอุปโภคบริโภคและการอุตสาหกรรม

จากผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน สามารถนำมาประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืชและการอุตสาหกรรม คิดเป็นหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อพื้นที่ และปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภคตามอัตราลักษณะจำนวนประชากรในชุมชน ได้ดังนี้

5.3.1 ผลปริมาณการใช้น้ำของพืช ได้ทำการประเมินหาปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient : K_c) ตามชนิดพืช และช่วงเวลาการเพาะปลูกตามปฏิทินการเพาะปลูกพืช แล้วนำค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration : ET_o) ของพื้นที่ศึกษาที่ได้ทำการวิเคราะห์ตามตารางที่ 5.6 มาทำการประเมินหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งประกอบด้วย นาข้าว พืชไร่ ไม้ผล/ไม้ยืนต้น ซึ่งผลที่ได้จะเป็นปริมาณการใช้น้ำสุทธิของพืชจริง ไม่มีการหักค่าฝนใช้การ ค่าสัมประสิทธิ์สภาพการชลประทานและไม่รวมการสูญเสีย เช่น การรั่วซึม โดยได้ผลดังนี้

5.3.1.1 ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำของนาข้าว ได้ทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำของข้าว 2 สายพันธุ์ที่นิยมปลูกในพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยข้าว กข. และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.7 ปริมาณการใช้น้ำของข้าว กข. พ.ศ. 2557

เดือน	Kc	ET _o (มม./วัน)	ปริมาณการใช้น้ำ (มม./เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./ไร่/เดือน)
กุมภาพันธ์	1.13	4.87	153.75	245.99
มีนาคม	1.45	6.04	271.97	435.15
เมษายน	1.23	6.47	239.23	382.77
ธันวาคม	0.86	4.48	119.44	191.10

ตารางที่ 5.8 ปริมาณการใช้น้ำของข้าว กข. พ.ศ. 2559

เดือน	Kc	ET _o (มม./วัน)	ปริมาณการใช้น้ำ (มม./เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./ไร่/เดือน)
กุมภาพันธ์	1.13	5.00	157.85	252.56
มีนาคม	1.45	6.10	274.67	439.47
เมษายน	1.23	6.95	256.98	411.16
ธันวาคม	0.86	4.28	114.10	182.57

ตารางที่ 5.9 ปริมาณการใช้น้ำของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พ.ศ. 2557

เดือน	Kc	ET _o (มม./วัน)	ปริมาณการใช้น้ำ (มม./เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./ไร่/เดือน)
กุมภาพันธ์	0.90	4.87	122.72	196.36
มีนาคม	1.53	6.04	286.01	457.61
เมษายน	1.56	6.47	302.31	483.70
ธันวาคม	1.18	4.48	163.88	262.21

ตารางที่ 5.10 ปริมาณการใช้น้ำของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พ.ศ. 2559

เดือน	Kc	ET _o (มม./วัน)	ปริมาณการใช้น้ำ (มม./เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./ไร่/เดือน)
กุมภาพันธ์	0.90	5.00	126.00	201.60
มีนาคม	1.53	6.10	288.85	462.16
เมษายน	1.56	6.95	324.74	519.58
ธันวาคม	1.18	4.28	156.56	250.50

จากตารางที่ 5.7–5.10 แสดงค่า ET_o มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/วัน ที่ได้จากการประเมินตามตารางที่ 5.6 และค่าสัมประสิทธิ์ของพืช (Kc) ของข้าว ตามสายพันธุ์และช่วงเวลาในการเจริญเติบโต ซึ่งอยู่ในช่วงที่ได้ทำการศึกษา และได้ประเมินปริมาณการใช้น้ำต่อเดือน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าความลึกของน้ำที่พืชต้องการมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/เดือน หรือคิดเป็นหน่วยเชิงพื้นที่มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/ไร่/เดือน

จากปริมาณการใช้น้ำของข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ที่นิยมปลูกในพื้นที่ศึกษา ได้นำมาประเมินปริมาณการใช้น้ำของนาข้าวเฉลี่ย และได้นำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินตามตารางที่ 5.5 เพื่อประเมินหาปริมาณการใช้น้ำของนาข้าวทั้งหมด/เดือน แสดงผลดังตารางที่ 5.11-5.12

ตารางที่ 5.11 ปริมาณการใช้น้ำของนาข้าว พ.ศ. 2557

เดือน	ปริมาณการใช้น้ำ	ปริมาณการใช้น้ำ	ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด
	(มม./เดือน)	(ลบ.ม./ไร่/เดือน)	(ล้าน ลบ.ม./เดือน)
กุมภาพันธ์	138.23	221.18	361.80
มีนาคม	278.99	446.38	753.21
เมษายน	270.77	433.23	700.99
ธันวาคม	141.66	226.65	337.50
	เฉลี่ย		538.38

ตารางที่ 5.12 ปริมาณการใช้น้ำของนาข้าว พ.ศ. 2559

เดือน	ปริมาณการใช้น้ำ	ปริมาณการใช้น้ำ	ปริมาณการใช้ได้ทั้งหมด
	(มม./เดือน)	(ลบ.ม./ไร่/เดือน)	(ล้าน ลบ.ม./เดือน)
กุมภาพันธ์	141.93	227.08	350.77
มีนาคม	281.76	450.81	708.37
เมษายน	290.86	465.37	750.45
ธันวาคม	135.33	216.53	343.12
	เฉลี่ย		538.18

จากตารางที่ 5.11-5.12 แสดงปริมาณการใช้น้ำของนาข้าวเฉลี่ยทั้ง 2 สายพันธุ์ ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้ทำการศึกษามีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/เดือน หรือคิดเป็นลูกบาศก์เมตร/ไร่/เดือน และได้ทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดของนาข้าวต่อเดือน มีหน่วยเป็นล้านลูกบาศก์เมตร/เดือน

5.3.1.2 ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืชไร่ ได้ทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืชไร่โดยใช้ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่ได้จากการประเมินดังตารางที่ 5.6 และค่าสัมประสิทธิ์ของพืช (Kc) พืชไร่ตามช่วงเวลาในการเจริญเติบโต ซึ่งอยู่ในช่วงที่ได้ทำการศึกษา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าความลึกของน้ำที่พืชต้องการ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/เดือน หรือคิดเป็นหน่วยเชิงพื้นที่ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/ไร่/เดือน และได้นำวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินตามตารางที่ 5.5 เพื่อประเมินหาปริมาณการใช้น้ำของพืชไร่ทั้งหมดต่อเดือน แสดงผลดังตารางที่ 5.13-5.14

ตารางที่ 5.13 ปริมาณการใช้น้ำของพืชไร่ พ.ศ. 2557

เดือน	Kc	ETo	ปริมาณการใช้น้ำ	ปริมาณการใช้น้ำ	ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด
		(มม./วัน)	(มม./เดือน)	(ลบ.ม./ไร่/เดือน)	(ล้าน ลบ.ม.)
กุมภาพันธ์	0.65	4.87	88.63	141.81	193.14
มีนาคม	0.86	6.04	161.03	257.64	336.93
เมษายน	1.13	6.47	219.33	350.93	487.86
ธันวาคม	0.52	4.48	72.22	115.55	163.25
		เฉลี่ย			295.30

ตารางที่ 5.14 ปริมาณการใช้น้ำของพืชไร่ พ.ศ. 2559

เดือน	Kc	ET _o (มม./วัน)	ปริมาณการใช้น้ำ (มม./เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./ไร่/เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด (ล้าน ลบ.ม.)
กุมภาพันธ์	0.65	5.00	91.00	145.60	200.80
มีนาคม	0.86	6.10	162.63	260.20	376.63
เมษายน	1.13	6.95	235.61	376.97	564.41
ธันวาคม	0.52	4.28	68.99	110.39	143.27
เฉลี่ย					321.28

จากตารางที่ 5.13–5.14 แสดงปริมาณการใช้น้ำของพืชไร่ต่อเดือน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าความลึกของน้ำที่พืชต้องการ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/เดือน หรือคิดเป็นหน่วยเชิงพื้นที่ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ไร่/เดือน และแสดงปริมาณการใช้น้ำของพืชไร่ทั้งหมดต่อเดือน มีหน่วยเป็นล้านลูกบาศก์เมตร/เดือน

5.3.1.3 ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำของไม้ผลไม้ยืนต้น ได้ทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำของไม้ผลไม้ยืนต้น โดยใช้ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่ได้จากการประเมินดังตารางที่ 5.6 และค่าสัมประสิทธิ์ของพืช (Kc) ไม้ผลไม้ยืนต้น ตามช่วงเวลาในการเจริญเติบโต ซึ่งอยู่ในช่วงที่ได้ทำการศึกษา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าความลึกของน้ำที่พืชต้องการ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/เดือน หรือคิดเป็นหน่วยเชิงพื้นที่ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/ไร่/เดือน และได้นำวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินตามตารางที่ 5.5 เพื่อประเมินหาปริมาณการใช้น้ำของไม้ผลไม้ยืนต้นทั้งหมดต่อเดือน แสดงผลดังตารางที่ 5.15 – 5.16

ตารางที่ 5.15 ปริมาณการใช้น้ำของไม้ผลไม้ยืนต้น พ.ศ. 2557

เดือน	Kc	ETo (มม./วัน)	ปริมาณการใช้น้ำ (มม./เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./ไร่/เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด (ล้าน ลบ.ม.)
กุมภาพันธ์	1.61	4.87	219.54	351.26	193.19
มีนาคม	1.27	6.04	237.79	380.47	216.33
เมษายน	1.24	6.47	240.68	385.09	220.22
ธันวาคม	1.90	4.48	263.87	422.20	238.34
เฉลี่ย					217.02

ตารางที่ 5.16 ปริมาณการใช้น้ำของไม้ผลไม้ยืนต้น พ.ศ. 2559

เดือน	Kc	ETo (มม./วัน)	ปริมาณการใช้น้ำ (มม./เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./ไร่/เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด (ล้าน ลบ.ม.)
กุมภาพันธ์	1.61	4.87	219.54	351.26	216.49
มีนาคม	1.27	6.04	237.79	380.47	201.66
เมษายน	1.24	6.47	240.68	385.09	167.80
ธันวาคม	1.90	4.48	263.87	422.20	251.32
เฉลี่ย					209.32

5.3.2 ผลการประเมินหาปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค ที่ได้ประเมินด้วยอัตราการใช้น้ำตามลักษณะจำนวนประชากรในชุมชน แสดงผลดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 จำนวนประชากร และปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภค บริโภค พ.ศ. 2557 และ 2559

อำเภอ	จำนวนประชากร		ปริมาณการใช้น้ำรวม (ลบ.ม/เดือน)		ปริมาณการใช้น้ำรวม (ลบ.ม/ปี)	
	พ.ศ. 2557	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2557	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2557	พ.ศ. 2559
เมืองกาฬสินธุ์	146,355	146,272	1,317,195	1,316,448	15,806,340	15,797,376
ยางตลาด	129,563	129,372	1,166,067	1,164,348	13,992,804	13,972,176
กุฉินารายณ์	101,399	101,491	912,591	913,419	10,951,092	10,961,028
กมลาไสย	69,858	69,591	628,722	626,319	7,544,664	7,515,828
หนองกุงศรี	66,764	66,876	600,876	601,884	7,210,512	7,222,608
สมเด็จ	62,317	62,377	560,853	561,393	6,730,236	6,736,716
ห้วยเม็ก	51,203	51,282	460,827	461,538	5,529,924	5,538,456
คำม่วง	48,728	48,799	365,460	365,993	4,385,520	4,391,910
สหัสขันธ์	42,783	42,814	320,873	321,105	3,850,470	3,853,260
ท่าคันโท	37,734	37,941	283,005	284,558	3,396,060	3,414,690
นามน	36,255	36,697	271,913	275,228	3,262,950	3,302,730
เขาวง	34,698	34,550	260,235	259,125	3,122,820	3,109,500
นาคู	31,365	31,332	235,238	234,990	2,822,850	2,819,880
ห้วยผึ้ง	30,642	30,502	229,815	228,765	2,757,780	2,745,180
ฆ้องชัย	27,183	27,130	163,098	162,780	1,957,176	1,953,360
ดอนจาน	25,888	25,979	155,328	155,874	1,863,936	1,870,488
สามชัย	25,656	25,701	153,936	154,206	1,847,232	1,850,472
ร่องคำ	16,516	16,526	99,096	99,156	1,189,152	1,189,872
รวม	984,907	985,232	8,185,127	8,187,128	98,221,518	98,245,530

จากตารางที่ 5.17 แสดงจำนวนประชากรรายอำเภอในพื้นที่ศึกษา และปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค ที่ได้ประเมินตามลักษณะจำนวนประชากรในชุมชน ในปี พ.ศ. 2557 และ 2559 โดยแสดงปริมาณการใช้น้ำรวมต่อเดือนและต่อปี ซึ่งมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/เดือน และลูกบาศก์เมตร/ปี ตามลำดับ

5.3.3 ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำในการอุตสาหกรรม โดยใช้ข้อมูลพื้นที่อุตสาหกรรม จากอุตสาหกรรมจังหวัดกาฬสินธุ์ ร่วมกับข้อมูลปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยของประเภทอุตสาหกรรมหลัก จากกรมชลประทาน ได้ผลปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดต่อปี ในปี พ.ศ. 2557 และ 2559 เท่ากับ 19.52 และ 21.79 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.18

ตารางที่ 5.18 ผลปริมาณการใช้น้ำในการอุตสาหกรรม

ปี พ.ศ.	พื้นที่ (ไร่)	ปริมาณการใช้น้ำ ลบ.ม./ไร่/เดือน	ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด ล้าน ลบ.ม./ปี
2557	8,744.70	186.00	19.52
2559	9,761.19	186.00	21.79

จากการประเมินหาปริมาณการใช้น้ำของพืช การอุปโภคบริโภค และการอุตสาหกรรม ทำให้สามารถประเมินปริมาณการใช้น้ำโดยรวมตลอดทั้งปีในพื้นที่ศึกษา แสดงผลดังตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา

กิจกรรมการใช้น้ำ	ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด (ล้าน ลบ.ม./ปี)		การเปลี่ยนแปลง (ล้าน ลบ.ม.)
	พ.ศ. 2557	พ.ศ. 2559	
นาข้าว	6,460.50	6,458.11	-2.39
พืชไร่	3,543.55	3,855.33	311.78
ไม้ผล/ไม้ยืนต้น	2,604.23	2,511.82	-92.41
อุปโภคบริโภค	98.22	98.25	0.02
อุตสาหกรรม	19.52	21.79	2.27
รวม	12,726.03	12,945.30	219.27

จากตารางที่ 5.19 แสดงผลปริมาณการใช้น้ำต่อปีในพื้นที่ศึกษาตามกิจกรรมการใช้น้ำ ซึ่งประกอบด้วย นาข้าว พืชไร่ ไม้ผล/ไม้ยืนต้น การอุปโภคบริโภค และการอุตสาหกรรม พบว่าในปี พ.ศ. 2557 และ 2559 มีปริมาณการใช้น้ำต่อปี เท่ากับ 12,726.03 และ 12,945.30 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งในปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2557 ทั้งหมด 219.27 ล้านลูกบาศก์เมตร

5.5 ผลการประเมินปริมาณน้ำท่า

ในการประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ได้นำเข้าข้อมูลอุทกนิยามวิทยา ข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (DEM) ข้อมูลชุดดิน และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากการจำแนกด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนทั้งสองปีที่แตกต่างกัน ทั้งนี้จึงได้ใช้ชื่อแบบจำลองที่แตกต่างกันตามข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน นำผลที่ได้จากแบบจำลองมาทำปรับเทียบ (Model Calibration) และทดสอบความสมเหตุสมผล (Model Validation) ของแบบจำลองกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำท่า และเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับสถานีตรวจวัด ได้ผลดังนี้

5.5.1 ผลการปรับเทียบ (Model Calibration) และทดสอบความสมเหตุสมผล (Model Validation) ของแบบจำลองกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัด E.54 และ E.87 ได้ใช้ข้อมูล พ.ศ. 2557 ปรับเทียบแบบจำลอง และใช้ข้อมูล พ.ศ. 2559 ทดสอบความสมเหตุสมผลแบบจำลอง โดยได้ผลการทดสอบทางสถิติ ดังตารางที่ 5.22 และ ตารางที่ 5.23

ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบทางสถิติการปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)

สถานีตรวจวัด	ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน	แบบจำลอง	R^2	NSE
E.54	กุมภาพันธ์/2557	SWAT201402	0.91	0.91
	มีนาคม/2557	SWAT201403	0.91	0.91
	เมษายน/2557	SWAT201404	0.91	0.91
	ธันวาคม/2557	SWAT201412	0.91	0.91
E.87	กุมภาพันธ์/2559	SWAT201402	0.86	0.71
	มีนาคม/2559	SWAT201403	0.85	0.67
	เมษายน/2559	SWAT201404	0.84	0.67
	ธันวาคม/2559	SWAT201412	0.87	0.72

ตารางที่ 5.21 ผลการทดสอบทางสถิติการทดสอบความสมเหตุสมผลแบบจำลอง (Model Validation)

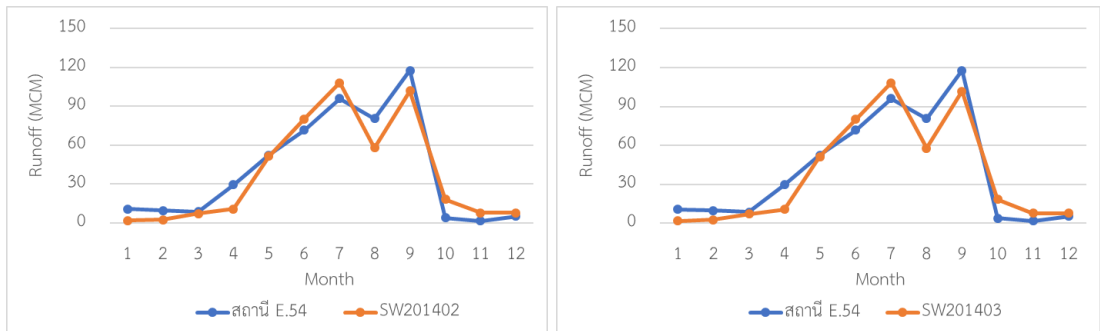
สถานีตรวจวัด	ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน	แบบจำลอง	R^2	NSE
E.54	กุมภาพันธ์/2559	SWAT201602	0.73	0.70
	มีนาคม/2559	SWAT201603	0.73	0.70
	เมษายน/2559	SWAT201604	0.73	0.70
	ธันวาคม/2559	SWAT201612	0.73	0.70
E.87	กุมภาพันธ์/2559	SWAT201602	0.72	0.54
	มีนาคม/2559	SWAT201603	0.73	0.54
	เมษายน/2559	SWAT201604	0.73	0.55
	ธันวาคม/2559	SWAT201612	0.72	0.54

5.5.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือน จากข้อมูลสถานีตรวจวัด E.54 กับแบบจำลอง SWAT ที่ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2557 แสดงผลดังตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.22 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากข้อมูลสถานีตรวจวัด E.54 กับแบบจำลอง SWAT

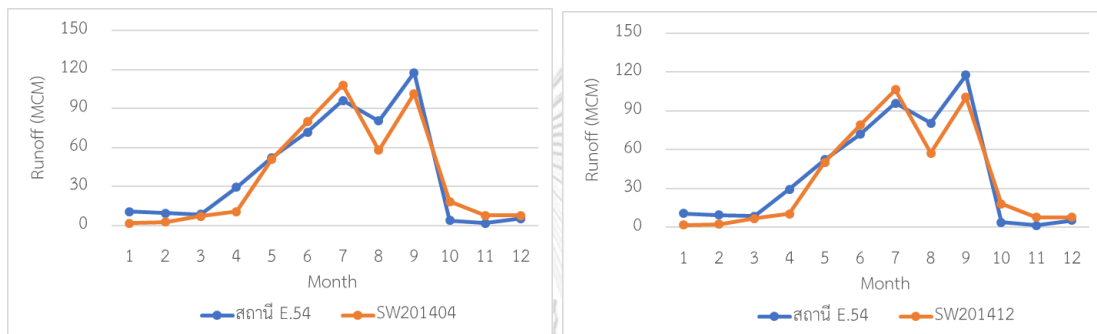
เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)				
	สถานี E.54	SW201402	SW201403	SW201404	SW201412
มกราคม	10.71	1.85	1.84	1.84	1.86
กุมภาพันธ์	9.68	2.64	2.63	2.63	2.63
มีนาคม	8.65	7.20	7.19	7.18	7.11
เมษายน	29.52	10.77	10.76	10.74	10.55
พฤษภาคม	52.36	51.37	51.24	51.10	50.43
มิถุนายน	71.82	80.17	80.02	79.99	79.19
กรกฎาคม	96.07	108.31	108.18	107.99	106.52
สิงหาคม	80.62	58.04	57.93	57.83	57.45
กันยายน	117.68	102.00	101.81	101.61	100.57
ตุลาคม	3.88	18.41	18.40	18.38	18.34
พฤศจิกายน	1.74	7.81	7.80	7.80	7.84
ธันวาคม	5.36	7.80	7.79	7.79	7.80
รวม	488.10	456.37	455.58	454.88	450.30

จากตารางที่ 5.22 แสดงปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2557 ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองกับข้อมูลสถานีตรวจวัด E.54 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าสถานีตรวจวัด 31-37 ล้านลูกบาศก์เมตร และจากตารางการเปรียบเทียบ นำมาแสดงผลเชิงกราฟ ดังแสดงผลในรูปที่ 5.19



(a)

(b)



(c)

(d)

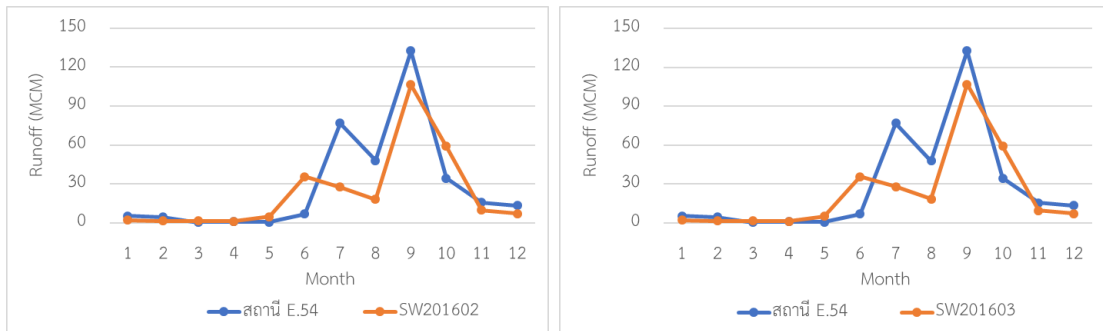
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน สถานีตรวจวัด E.54 กับแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2557

(a) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนกุมภาพันธ์, (b) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนมีนาคม, (c) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนเมษายน และ (d) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนธันวาคม

ตารางที่ 5.23 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากข้อมูลสถานีตรวจวัด E.54 กับแบบจำลอง SWAT ที่ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2559

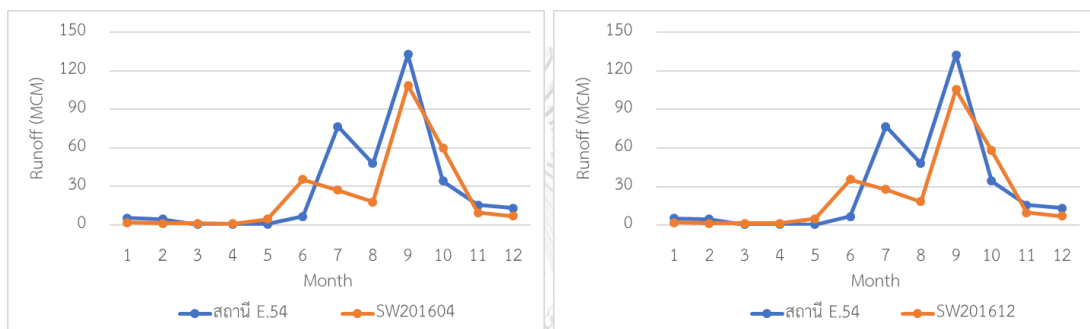
เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)				
	สถานี E.54	SW201602	SW201603	SW201604	SW201612
มกราคม	5.36	2.03	2.03	2.04	2.02
กุมภาพันธ์	4.52	1.43	1.44	1.44	1.43
มีนาคม	0.35	1.35	1.38	1.34	1.37
เมษายน	0.78	1.22	1.28	1.19	1.27
พฤษภาคม	0.62	4.70	4.95	4.58	4.92
มิถุนายน	6.82	35.43	35.77	35.41	35.54
กรกฎาคม	76.82	27.45	27.94	27.19	27.80
สิงหาคม	47.86	18.07	18.37	17.99	18.27
กันยายน	132.63	106.35	106.92	108.60	105.55
ตุลาคม	34.39	58.95	59.17	59.92	58.15
พฤศจิกายน	15.55	9.60	9.59	9.61	9.59
ธันวาคม	13.31	7.12	7.11	7.13	7.11
รวม	339.01	273.72	275.93	276.42	273.01

จากตารางที่ 5.23 แสดงปริมาณน้ำท่า ในปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากการทดสอบความสมเหตุสมผลแบบจำลองกับข้อมูลสถานีตรวจวัด E.54 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าสถานีตรวจวัด 62–66 ล้านลูกบาศก์เมตร และจากตารางการเปรียบเทียบ นำมาแสดงผลเชิงกราฟดังแสดงผลในรูปที่ 5.20



(a)

(b)



(c)

(d)

รูปที่ 5.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน สถานีตรวจวัด E.54 กับแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2559

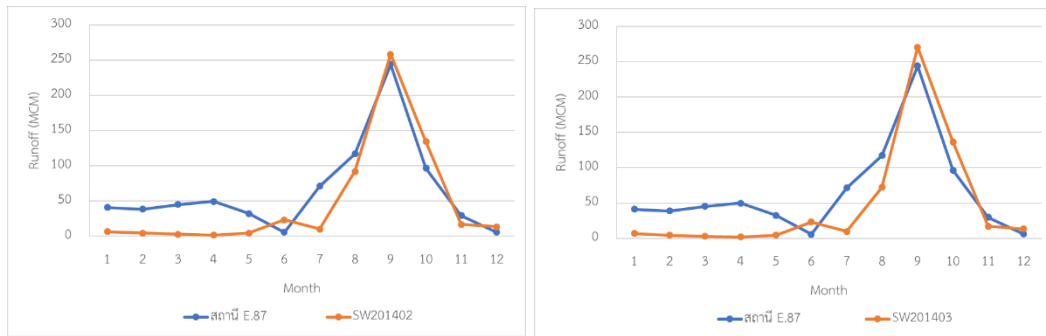
- (a) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนกุมภาพันธ์, (b) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนมีนาคม, (c) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนเมษายน และ (d) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนธันวาคม

5.4.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากข้อมูลสถานีตรวจวัด E.87 กับแบบจำลอง SWAT

ตารางที่ 5.24 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากข้อมูลสถานีตรวจวัด E.87 กับแบบจำลอง SWAT ที่ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557

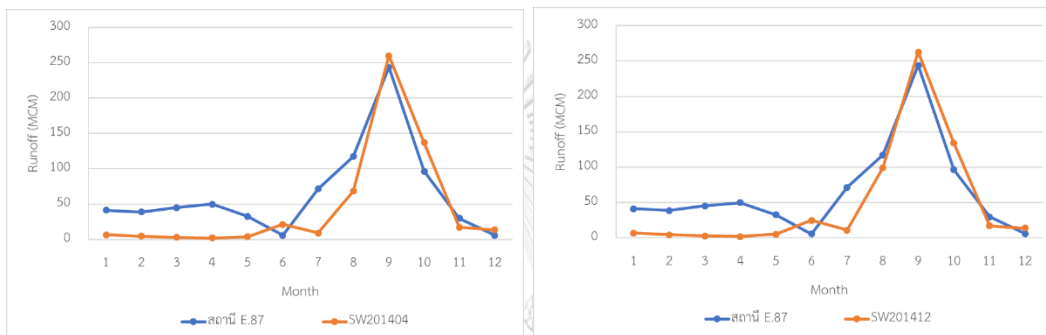
เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)				
	สถานี E.87	SW201402	SW201403	SW201404	SW201412
มกราคม	41.11	6.69	6.68	6.65	6.68
กุมภาพันธ์	38.71	4.49	4.48	4.49	4.49
มีนาคม	45.10	2.91	2.90	2.91	2.92
เมษายน	49.69	1.89	1.85	1.89	1.97
พฤษภาคม	32.57	4.68	4.58	3.72	5.06
มิถุนายน	5.70	23.60	23.33	21.03	24.91
กรกฎาคม	71.38	10.15	9.84	8.82	10.71
สิงหาคม	117.23	92.08	72.24	68.30	99.10
กันยายน	243.91	258.19	270.60	260.24	262.83
ตุลาคม	96.50	134.40	136.71	137.05	134.05
พฤศจิกายน	29.73	16.98	17.08	17.09	17.08
ธันวาคม	5.87	13.71	13.36	13.30	13.80
รวม	777.50	569.78	563.62	545.48	583.59

จากตารางที่ 5.24 แสดงปริมาณน้ำท่า ในปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง กับข้อมูลสถานีตรวจวัด E.87 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าสถานีตรวจวัด 193–232 ล้านลูกบาศก์เมตร และจากตารางการเปรียบเทียบ นำมาแสดงผลเชิงกราฟ ดังแสดงผลในรูปที่ 5.21



(a)

(b)



(c)

(d)

รูปที่ 5.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน
สถานีตรวจวัด E.87 กับแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2557

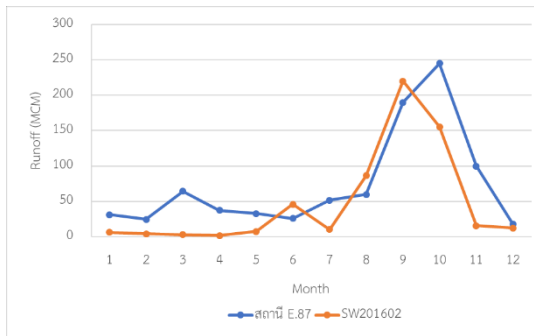
- (a) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนกุมภาพันธ์, (b) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนมีนาคม,
(c) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนเมษายน และ (d) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนธันวาคม

ตารางที่ 5.25 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากข้อมูลสถานีตรวจวัด E.87 กับแบบจำลอง SWAT ที่ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

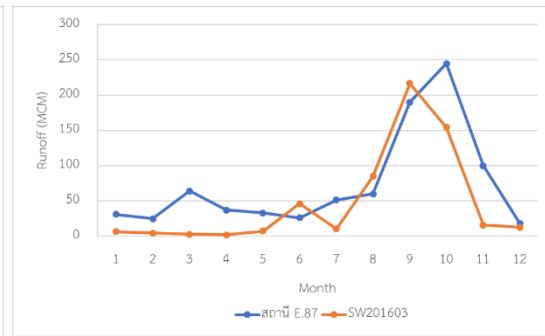
เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)				
	สถานี E.87	SW201602	SW201603	SW201604	SW201612
มกราคม	41.11	6.40	6.42	6.28	6.14
กุมภาพันธ์	38.71	4.26	4.27	4.34	4.24
มีนาคม	45.10	2.74	2.74	2.80	2.68
เมษายน	49.69	1.79	1.76	1.67	1.57
พฤษภาคม	32.57	7.34	7.28	8.54	3.93
มิถุนายน	5.70	45.83	45.88	47.87	45.10
กรกฎาคม	71.38	10.36	10.42	12.58	10.48
สิงหาคม	117.23	86.57	85.07	77.19	110.03
กันยายน	243.91	220.24	216.77	236.29	235.90
ตุลาคม	96.50	155.62	154.30	160.97	174.07
พฤศจิกายน	29.73	15.60	15.63	16.15	15.89
ธันวาคม	5.87	12.53	12.56	13.47	12.00
รวม	777.50	569.28	563.11	588.15	622.03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

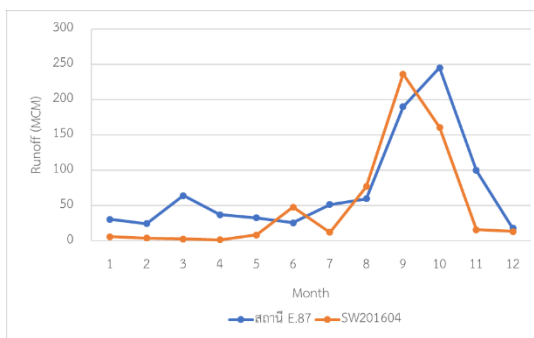
จากตารางที่ 5.25 แสดงปริมาณน้ำท่า ในปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากการทดสอบความสมเหตุสมผลแบบจำลองกับข้อมูลสถานีตรวจวัด E.87 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าสถานีตรวจวัด 258–311 ล้านลูกบาศก์เมตร และจากตารางการเปรียบเทียบ นำมาแสดงผลเชิงกราฟ ดังแสดงผลในรูปที่ 5.22



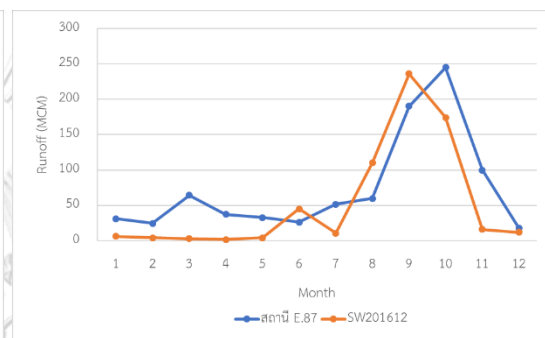
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 5.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน
สถานีตรวจวัด E.87 กับแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2559

(a) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนกุมภาพันธ์, (b) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนมีนาคม,
(c) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนเมษายน และ (d) ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเดือนธันวาคม

5.6 ผลการประเมินหาปริมาณน้ำต้นทุน

จากการประเมินปริมาณน้ำทำด้วยแบบจำลอง SWAT ได้ทำการปรับเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง ทำให้ได้ชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ประเมินปริมาณน้ำตรงจุดออกสุดท้ายของลำน้ำในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีทั้งหมด 2 จุด คือ จุดออกลำน้ำยัง และลำปาว ได้ผลปริมาณน้ำ แสดงดังตารางที่ 5.26 และ 5.27

ตารางที่ 5.26 ปริมาณน้ำต้นทุนทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา พ.ศ. 2557

เดือน	ปริมาณน้ำต้นทุน (ล้าน ลบ.ม.)	
	จุดออกลำน้ำยัง	จุดออกลำปาว
มกราคม	7.41	82.19
กุมภาพันธ์	5.67	64.47
มีนาคม	6.21	57.82
เมษายน	30.54	83.00
พฤษภาคม	36.38	93.74
มิถุนายน	75.91	90.24
กรกฎาคม	114.17	298.84
สิงหาคม	79.52	263.99
กันยายน	140.97	363.79
ตุลาคม	15.92	331.65
พฤศจิกายน	11.51	280.00
ธันวาคม	10.58	246.06
รวม	534.80	2,255.80

ตารางที่ 5.27 ปริมาณน้ำต้นทุนทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา พ.ศ. 2559

เดือน	ปริมาณน้ำต้นทุน (ล้าน ลบ.ม.)	
	จุดออกลำน้ำยัง	จุดออกลำปาว
มกราคม	4.38	213.58
กุมภาพันธ์	1.12	164.30
มีนาคม	0.84	154.89
เมษายน	19.51	134.45
พฤษภาคม	10.13	148.79
มิถุนายน	65.94	205.77
กรกฎาคม	97.47	277.25
สิงหาคม	65.58	252.77
กันยายน	118.16	402.54
ตุลาคม	35.61	412.27
พฤศจิกายน	6.52	327.76
ธันวาคม	6.58	286.79
รวม	431.84	2,981.16

หมายเหตุ : จุดออกลำน้ำยัง และลำปาว คือ จุด A, B ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

จากตารางที่ 5.26 และ 5.27 จะเห็นว่า ในปี พ.ศ. 2557 ปริมาณน้ำที่จุดออกลำน้ำยัง และลำปาวเท่ากับ 534.80 และ 2,255.80 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณน้ำทั้งหมด 2,790.60 ล้านลูกบาศก์เมตร ในปี พ.ศ. 2559 ปริมาณน้ำที่จุดออกลำน้ำยัง และลำปาวเท่ากับ 431.84 และ 2,981.16 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณน้ำทั้งหมด 3,413 ล้านลูกบาศก์เมตร

5.7 ผลการประเมินปริมาณน้ำต้นทุนกับความต้งการใช้น้ำในพื้นที่ศึกษา

จากการประเมินปริมาณน้ำต้นทุนกับความต้งการใช้น้ำในพื้นที่ พบว่าปริมาณน้ำต้นทุนที่มีไม่เพียงพอต่อความต้งการใช้น้ำ โดยในปี พ.ศ. 2557 และ 2559 มีความต้งการใช้น้ำทั้งหมด 1,2726.03 และ 12,945.30 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่ปริมาณน้ำต้นทุนทั้งหมดในพื้นที่มีทั้งหมด 2,790.59 และ 3,413 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 5.28

ตารางที่ 5.28 ผลการประเมินปริมาณน้ำต้นทุนกับความต้งการใช้น้ำในพื้นที่ศึกษา

กิจกรรมการใช้น้ำ	ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด (ล้าน ลบ.ม./ปี)	
	พ.ศ. 2557	พ.ศ. 2559
นาข้าว	6,460.50	6,458.11
พืชไร่	3,543.55	3,855.33
ไม้ผลไม้ยืนต้น	2,604.23	2,511.82
อุปโภคบริโภค	98.22	98.25
อุตสาหกรรม	19.52	21.79
ปริมาณการใช้น้ำรวม	12,726.03	12,945.30
ปริมาณน้ำต้นทุน	2,790.59	3,413.00
ปริมาณน้ำที่ขาด	9,935.43	9,532.30

บทที่ 6

อภิปราย สรุปผล และข้อเสนอแนะ

6.1 อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการศึกษา ทำให้สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

6.1.1 อภิปรายผลการศึกษาการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVMs) และวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classifier: MLC) จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 โดยจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 5 ประเภท ประกอบด้วยนาข้าว พืชไร่ ไม้ผล/ไม้ยืนต้น แหล่งน้ำ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งการจำแนกด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) และสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa Coefficient) เท่ากับ 88-94 เปอร์เซ็นต์ และ 0.85-0.93 ตามลำดับ ส่วนการจำแนกด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุดมีค่าความถูกต้อง และสัมประสิทธิ์แคปปา เท่ากับ 85-93 เปอร์เซ็นต์ และ 0.82-0.91 ตามลำดับ ทั้งสองวิธีให้ค่าความถูกต้องโดยรวมมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือ เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า ในปี พ.ศ. 2557 เดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน และธันวาคม วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีค่าความถูกต้องโดยรวมสูงกว่า 1.62 0.50 1.14 และ 0.98 ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่พบว่าวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสามารถจำแนกนาข้าว พืชไร่ ไม้ผล/ไม้ยืนต้น พื้นที่แหล่งน้ำได้ดีกว่า แต่สำหรับพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุดสามารถจำแนกได้ดีกว่า และในปี พ.ศ. 2559 เดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน และธันวาคม วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่าความถูกต้องโดยรวมสูงกว่า 1.97 4.49 3.56 และ 2.35 ตามลำดับ ซึ่งโดยส่วนใหญ่พบว่าวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสามารถจำแนกได้ดีกว่าในทุกประเภท ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายตัวค่าทางสถิติการสะท้อนของข้อมูลตัวอย่าง (Training Area) ประเภทชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีการกระจายแบบปกติ ส่งผลให้วิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุดสามารถจำแนกได้ดีกว่าในทั้งสองปี แต่สำหรับข้อมูลตัวอย่างของข้อมูลประเภทอื่น ๆ ค่าการกระจายทางสถิติการสะท้อนมีความแตกต่างกันจึงส่งผลทำให้การจำแนกด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีประสิทธิภาพในการจำแนกที่ดีกว่า

ความผิดพลาดของการจำแนกอาจเป็นผลมาจากช่วงเวลาในการเพาะปลูก โดยจากปฏิทินการเพาะปลูกในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน และเดือนธันวาคม เป็นช่วงที่มีการเริ่มเพาะปลูก การเจริญเติบโต และเก็บเกี่ยวนาข้าว พืชไร่ ซึ่งค่าการสะท้อนของบริเวณที่เตรียมแปลงเพาะปลูกกับพื้นที่

แหล่งน้ำอาจมีความใกล้เคียงกัน และบริเวณที่พืชมีการเจริญเติบโต อาจมีค่าการสะท้อนใกล้เคียงกัน เป็นผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการจำแนก สำหรับความผิดพลาดของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง อาจเป็นผลมาจากมีการปลูกพืชในบริเวณพื้นที่ชุมชนเป็นผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการจำแนก นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้นำมาใช้ในการกำหนดจุดตัวอย่าง และตรวจสอบผลการจำแนก อาจเป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นจากข้อมูลฐานที่แตกต่างกับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา หรืออาจเกิดจากมาตราส่วนของข้อมูลที่แตกต่างกัน จึงส่งผลทำให้ความถูกต้องของการจำแนกเกิดความผิดพลาดตามไปด้วย

จากการนำผลการจำแนกด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มาวิเคราะห์หาพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท จะเห็นได้ว่าในปี พ.ศ. 2559 โดยส่วนใหญ่ พืชไร่ ไม้ผล/ไม้ยืนต้น แหล่งน้ำ สิ่งปลูกสร้างและชุมชนเพิ่มมากขึ้น แต่พื้นที่นาข้าวลดลง ทั้งนี้มีความสอดคล้องกับข้อมูลกรมส่งเสริมการเกษตรที่ได้รวบรวมสถิติการเพาะปลูกรายจังหวัดไว้พบว่า มีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตของนาข้าวในปี พ.ศ. 2559 ลดลง (กรมส่งเสริมการเกษตร) ดังแสดงในภาคผนวก ก.

6.1.2 อภิปรายผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืช การอุปโภคบริโภค และการอุตสาหกรรม

จากการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งเป็นปริมาณการใช้น้ำสุทธิของพืชจริง ณ แปลงเพาะปลูก พบว่าปริมาณการใช้น้ำในปี พ.ศ. 2557 และ 2559 มีปริมาณการใช้น้ำของพืชสูงกว่าด้านอื่น ๆ โดยมีปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด 12,608.28 และ 12,825.28 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยปี พ.ศ. 2557 มีปริมาณการใช้น้ำของนาข้าวสูงสุด รองลงมาคือ พืชไร่ และไม้ผล/ไม้ยืนต้น คิดเป็นปริมาณการใช้น้ำ เท่ากับ 6,460.50, 3,543.55 และ 2,604.23 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และในปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณการใช้น้ำของนาข้าวสูงสุด รองลงมาคือ พืชไร่ และไม้ผล/ไม้ยืนต้น คิดเป็นปริมาณการใช้น้ำ เท่ากับ 6,458.11, 3,855.33 และ 2,511.82 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

จากการประเมินปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภคด้วยอัตราการใช้น้ำตามลักษณะจำนวนประชากรในชุมชน พบว่าในปี พ.ศ. 2557 และ 2559 มีปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค คิดเป็นปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด 98.22 และ 98.25 ล้านลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนประชากรในปี พ.ศ. 2559 มีจำนวนเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภคเพิ่มขึ้นด้วย

จากการประเมินปริมาณการใช้น้ำในการอุตสาหกรรม พบว่า พ.ศ. 2557 และ 2559 ปริมาณการใช้น้ำในการอุตสาหกรรม คิดเป็นปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด 19.52 และ 21.79 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

6.1.2 อภิปรายผลการประเมินปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำต้นทุน

จากการประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT และได้นำข้อมูลจากสถานีตรวจวัด E.54 และ E.87 ซึ่งตั้งอยู่ลำน้ำในพื้นที่ศึกษามาทำการปรับเทียบ (Calibration Model) โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2557 ได้ผลการทดสอบทางสถิติข้อมูลสถานีตรวจวัด E.54 (ลำน้ำชี) มีค่า R^2 และ NSE เท่ากับ 0.91 และ 0.91 ข้อมูลสถานีตรวจวัด E.87 (ลำปาว) มีค่า R^2 และ NSE เท่ากับ 0.84-0.86 และ 0.67-0.72 ตามลำดับ นำชุดพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองมาใช้ในการทดสอบความสมเหตุสมผล (Validation Model) โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2559 ได้ผลการทดสอบทางสถิติของการทดสอบความสมเหตุสมผลกับข้อมูลสถานีตรวจวัด E.54 (ลำน้ำชี) มีค่า R^2 และ NSE เท่ากับ 0.73 และ 0.70 ข้อมูลสถานีตรวจวัด E.87 (ลำปาว) มีค่า R^2 และ NSE เท่ากับ 0.72-0.73 และ 0.54-0.55 ตามลำดับ

(กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย) ได้รายงานสถานการณ์ภัยแล้ง ณ วันที่ 1 พฤษภาคม 2557 มีจังหวัดที่ประสบภัยแล้ง 44 จังหวัด และ ณ วันที่ 29 เมษายน 2559 มีจังหวัดที่ประสบภัยแล้ง 29 จังหวัด ซึ่งจังหวัดกาฬสินธุ์ที่เป็นพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้เป็นหนึ่งในจังหวัดที่ประสบภัยแล้ง จากสถานการณ์ดังกล่าวมีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนในจังหวัด ซึ่งมีปริมาณน้อย ในขณะที่เดียวกันเมื่อนำปริมาณน้ำฝนมาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ส่งผลให้น้ำท่ามีปริมาณน้อยไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT กับ สถานีตรวจวัดจริงพบว่า ในปี พ.ศ. 2557 และ 2559 พบว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากภัยแล้งที่เกิดขึ้นในพื้นที่ จึงมีการบริหารจัดการน้ำจากแหล่งอื่น ๆ นอกเหนือจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้สถานีตรวจวัดมีปริมาณน้ำไหลผ่านมากขึ้นตามไปด้วย

จากการปรับเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผลแบบจำลองมีค่าการทดสอบทางสถิติอยู่ในเกณฑ์ที่ดี สามารถนำชุดพารามิเตอร์ไปปรับใช้เพื่อหาปริมาณน้ำท่าในจุดอื่น ๆ ได้ โดยในพื้นที่ศึกษานี้มีทางออกของน้ำ 2 จุด คือจุด A, B ซึ่งเป็นจุดออกสุดท้ายของลำน้ำยัง และลำปาว ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ในปี พ.ศ. 2557 จุด A และ B มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 534.80 และ 2,255.80 ล้านลูกบาศก์เมตร และในปี พ.ศ. 2559 จุด A และ B มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 431.84 และ 2,981.16 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะได้ปริมาณน้ำท่ารวมทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ. 2557 และ 2559 เท่ากับ 2,790.59 และ 3,413 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณน้ำต้นทุนที่ได้จากงานวิจัยนี้ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำในพื้นที่ เนื่องจากปริมาณน้ำต้นทุนที่ได้ทำการประเมินเป็นปริมาณน้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติ ไม่รวมถึงปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำสร้างขึ้น เช่น เขื่อนลำปาว หรืออ่างเก็บน้ำที่มีในพื้นที่ จากปริมาณดังกล่าวสามารถนำไปสู่การบริหารจัดการน้ำจากแหล่งอื่น ๆ เพื่อช่วยเหลือปัญหาการขาดแคลนน้ำต่อไป

6.2 สรุปผล

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ถือเป็นวิธีที่ให้ผลการจำแนกอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าความถูกต้องโดยรวมและสัมประสิทธิ์แคปปาสูงกว่าวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ แต่ใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างนานกว่า ผลการประเมินความถูกต้องอาจจะมีค่าความถูกต้องโดยรวม และสัมประสิทธิ์แคปปาไม่สูงมากนักในบางช่วงเวลา เช่น ในการจำแนกพืชที่อยู่ในช่วงการเตรียมแปลงเพาะปลูก ค่าการสะท้อนของน้ำในแปลงอาจมีความคล้ายคลึงกับพื้นที่แหล่งน้ำในพื้นที่ หรือในช่วงการเจริญเติบโตของพืช ค่าการสะท้อนอาจมีความคล้ายคลึงกัน ทำให้ผลการจำแนกเกิดความผิดพลาด เป็นต้น

การประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืช เป็นวิธีที่นิยมใช้และสามารถประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืชได้ใกล้เคียงกับความต้องการใช้น้ำของพืชจริง แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์กับพื้นที่ที่ได้จากการจำแนกในแต่ละประเภทอาจมีความคลาดเคลื่อนไปบ้าง เนื่องจากความผิดพลาดของการจำแนกสำหรับการประเมินปริมาณการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภคที่ประเมินตามลักษณะจำนวนประชากรในชุมชน และการอุตสาหกรรมที่ประเมินตามขนาดพื้นที่ประเภทอุตสาหกรรมหลัก ช่วยให้สามารถทราบปริมาณการใช้น้ำได้ แต่อาจจะมีค่าคลาดเคลื่อนไปบ้าง ขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการการใช้น้ำและความต้องการในการผลิต ในแต่ละช่วงเวลา

การประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT สำหรับการเปรียบเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลองกับข้อมูลสถานีตรวจวัด โดยผลการทดสอบค่าทางสถิติกับข้อมูลสถานีตรวจวัด E.54 จะสูงกว่า E.87 และมีปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองใกล้เคียงกับข้อมูลสถานีตรวจวัดมากกว่า อาจเป็นผลมาจากตรงจุดการเปรียบเทียบและทดสอบความสมเหตุสมผลที่สถานี E.87 มีเขื่อนลำปาว ซึ่งอาจมีการควบคุมน้ำโดยมนุษย์ ส่งผลให้แบบจำลองคลาดเคลื่อนจากข้อมูลตรวจวัดจริง

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 สำหรับการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ควรใช้ข้อมูลในการกำหนดจุดตัวอย่าง และประเมินความถูกต้องให้ใกล้เคียงกับช่วงเวลาที่ได้ทำการศึกษา

6.3.2 สำหรับการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืช เพื่อให้ได้ความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น อาจจะต้องศึกษาพืชแต่ละชนิดจากแปลงทดลองโดยตรง

6.3.3 สำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ควรเลือกพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งขีดขวางทางน้ำ หรือพื้นที่ที่มีการควบคุมน้ำโดยมนุษย์ เช่น เขื่อน อ่างเก็บน้ำ ฯลฯ

บรรณานุกรม

- B.K. Tripathy, Sudhir Kumar Sahu, & Barik, K. K. (2015). A Support Vector Machine Binary Classification and Image Segmentation of Remote Sensing Data of Chilika Lagoon. *IJRIT International Journal of Research in Information Technology*, 3(5), 191-204.
- Desta, H., & Lemma, B. (2017). SWAT based hydrological assessment and characterization of Lake Ziway sub-watersheds, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13, 122-137. doi:10.1016/j.ejrh.2017.08.002
- Ehsan, S., & Kazem, D. (2013). Analysis of land use-land covers changes using normalized difference vegetation index (NDVI) differencing and classification methods. *African Journal of Agricultural Research*, 8(37), 4614-4622.
- Frederick Ayivia, & Manoj K Jha b. (2018). Estimation of Water Balance and Water Yield in the Reedy Fork-Buffalo Creek Watershed in North Carolina using SWAT. *International Soil and Water Conservation Research*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.03.007>
- J. G. Arnold, D. N. M., P. W. Gassman, K. C. Abbaspour, M. J. White, R. Srinivasan, C. Santhi, . . . Jha, M. K. (2012). SWAT: MODEL USE CALIBRATION AND VALIDATION. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*.
- Kavzoglu, T., & Colkesen, I. (2009). A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5), 352-359. doi:10.1016/j.jag.2009.06.002
- Lin, B., Chen, X., Yao, H., Chen, Y., Liu, M., Gao, L., & James, A. (2015). Analyses of landuse change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model. *Ecological Indicators*, 58, 55-63. doi:10.1016/j.ecolind.2015.05.031
- Lu, Z., Zou, S., Xiao, H., Zheng, C., Yin, Z., & Wang, W. (2015). Comprehensive hydrologic calibration of SWAT and water balance analysis in mountainous watersheds in northwest China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 79-82, 76-85.

- Mondal, A., Chandniha, S., Shukla, R., & Mishra, P. (2012). Comparison of Support Vector Machine and Maximum Likelihood Classification Technique using Satellite Imagery. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(2), 116-123.
- Wasim, P., Shoab Ahmad, K., Ejaz, H., & Faisal, A. (2017). Satellite based seasonal land use classification and change detection analysis of landsat-8 operational land imager. *MATEC Web of Conferences*, 120. doi:10.1051/mateconf/201712009004
- กรมการปกครอง. ระบบสถิติทางการทะเบียน. Retrieved from <http://stat.bora.dopa.go.th/stat/statnew/statTDD/>
- กรมชลประทาน. (2554a). คู่มือการคำนวณการใช้น้ำของพืช.
- กรมชลประทาน. (2554b). ปริมาณความต้องการน้ำของพืช.
- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. Retrieved from <http://www.disaster.go.th/th/index.php>
- กรมส่งเสริมการเกษตร. ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านการเกษตร. Retrieved from <https://production.doae.go.th/>
- จิราพร กองวงศ์จันทร์. (2556). การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการกัดเซาะชายฝั่ง จังหวัดภูเก็ต. (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- ชนมล ช็องนอก และถาวร อ่อนประไพ. (2557). การใช้ระบบภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินความต้องการใช้น้ำชลประทานของข้าวนาปี และข้าวโพดฝักอ่อนในตำบลแม่ทา อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่. *Graduate Researcg Conference*.
- ปฎิวิทย์ สาระพิน, อูรา บุบผาชาติ และณพล อนุตตรังกูร. (2558). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินกับสมดุลน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำบึงบอระเพ็ดด้วยแบบจำลอง SWAT. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 7.
- ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ และเจริญ สารตัน. (2556). การประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำแม่แจ่ม โดยใช้แบบจำลอง SWAT. การประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติ, 5.
- พงศ์วัฒน์ สังขณานนท์, ชาคกริต โชติอมรศักดิ์ และพวงเพชร ธนสิน,. (2561). ประสิทธิภาพของแบบจำลองอุทกวิทยา SWAT ในการจำลองน้ำท่าของกลุ่มน้ำวัง. วิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 28.
- มันชิตา ขันดีสิทธิ์ และ อรอนงค์ วรรณราช. (2557). เอกสารประกอบการอบรมการใช้โปรแกรม ArcSWAT2012.
- วุฒิชัย บุญทุก. (2555). การตรวจหาพื้นที่ที่สร้างด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคอนุกรมตซ์ขั้นพีชพรรณผลต่างแบบนอนร์แมลโลซ์ กรณีศึกษาบริเวณพื้นที่อำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี. จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดกาฬสินธุ์. ปฏิทินการเกษตร. Retrieved from

<http://www.moac->

[info.net/Kalasin/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=171](http://www.moac-info.net/Kalasin/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=171)

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2556). ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-8.

Retrieved from <https://www.gistda.or.th/main/th/node/93>

สุภักดิ์ กุลโท. (2555). การประมาณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่อาศัยแบบจำลองมาร์คอฟ โดยแบบจำลอง SWAT. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

อภิเสฏฐ์ สุวรรณสะอาด. (2556). แนวทางการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลในกรจำแนกพื้นที่ที่ทิ้งร้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน กรณีศึกษา : ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม. เทคโนโลยีราชชมงคลรัตนโกสินทร์, กรุงเทพมหานคร.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ตารางภาคผนวกที่ ก.1 ข้อมูลสถานะการผลิตพืช จังหวัดกาฬสินธุ์ พ.ศ. 2557

พืช	จำนวน ครัวเรือน เกษตร	เนื้อที่ปลูก (ไร่)	เนื้อที่ เสียหาย (ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต (ไร่)	ผลผลิตที่ เก็บเกี่ยวได้ (กิโลกรัม)	ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่)
ข้าว	180,884	1,738,050.75	15	1,736,613.75	787,845,458.50	453.67
ข้าวนาปี	154,591	1,513,762.25	15	1,512,419.25	651,212,739.50	430.58
ข้าวนาปรัง	26,293	224,288.50	0	224,194.50	136,632,719.00	609.44
พืชไร่	64,876	754,565.75	1,350.00	440,520.00	3,741,553,597.00	8,493.49
กก	69	36	0	27	10,800.00	400
ถั่วลิสง	998	1,183.00	0	1,025.00	202,444.00	197.51
ถั่วเหลือง	40	0	0	0	0	-
เผือก	8	8	0	0	0	-
ยาสูบ	261	347	0	230	56,800.00	246.96
อ้อยโรงงาน	28,851	425,338.00	1,350.00	304,904.00	3,290,555,442.00	10,792.10
สับปะรด	1	3	0	0	0	-
หญ้าเลี้ยงสัตว์	1	6	0	0	0	-
มันสำปะหลัง โรงงาน	34,638	327,608.75	0	134,327.00	450,725,438.00	3,355.43
พืชไร่อื่น ๆ	9	36	0	7	2,673.00	381.86
พืชผัก	4,176	11,056.50	2	10,960.50	6,650,078.00	606.73
กะหล่ำปลี	84	125	0	80	255,900.00	3,198.75
ข่า	50	30	0	20	12,600.00	630
ข้าวโพด รับประทานฝักสด	134	322	0	263	226,420.00	860.91
ข้าวโพดหวาน	590	1,115.00	0	1,050.00	584,100.00	556.29
คะน้า	190	103	0	103	8,700.00	84.47
แคนตาลูป	40	20	0	20	200	10
ชะอม	163	1,537.00	0	1,918.00	470,537.00	245.33
ตะไคร้	3	2	0	0	0	-

ตารางภาคผนวกที่ ก.1 ข้อมูลสถานะการผลิตพืช จังหวัดกาฬสินธุ์ พ.ศ. 2557 (ต่อ)

พืช	จำนวน ครัวเรือน เกษตร	เนื้อที่ปลูก (ไร่)	เนื้อที่ เสียหาย (ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต (ไร่)	ผลผลิตที่ เก็บเกี่ยวได้ (กิโลกรัม)	ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่)
แตงร้าน	43	168	0	163	151,500.00	929.45
แตงไทย	3	1	0	1	200	200
แตงโมเนื้อ	59	161	0	141	619,700.00	4,395.04
แตงโมเมล็ด	178	724	0	704	705,505.00	1,002.14
ถั่วฝักยาว	185	435	0	380	371,800.00	978.42
ถั่วพู	3	10	0	10	2,600.00	260
น้ำเต้า	21	68	0	23	5,200.00	226.09
บวบ	102	134	0	117	81,100.00	693.16
ผักวางตุ้ง	119	36	0	36	36,000.00	1,000.00
ผักชี	50	1	0	1	1,200.00	1,200.00
ผักชีฝรั่ง	2	1	0	1	800	800
ผักบุ้งจีน	10	13	0	8	1,750.00	218.75
ผักหวาน	10	20	0	0	0	-
พริกชี้หนูเม็ดเล็ก (ชี้หนูสวน)	356	562	0	329	139,360.00	423.59
พริกชี้หนูเม็ดใหญ่	56	44	0	44	26,700.00	606.82
พริก / แพง	97	500	0	490	1,200,600.00	2,450.20
พริกทอง	11	21	0	21	4,900.00	233.33
มะเขือเทศบริโภค สด	13	8	0	8	6,100.00	762.5
มะเขือเทศโรงงาน	91	306	0	246	289,500.00	1,176.83
มะเขือเปราะ	46	39	0	39	30,800.00	789.74
มะเขือพวง	2	2	0	2	1,000.00	500

ตารางภาคผนวกที่ ก.1 ข้อมูลสถานะการผลิตพืช จังหวัดกาฬสินธุ์ พ.ศ. 2557 (ต่อ)

พืช	จำนวน ครัวเรือน เกษตรกร	เนื้อที่ปลูก (ไร่)	เนื้อที่ เสียหาย (ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต (ไร่)	ผลผลิตที่ เก็บเกี่ยวได้ (กิโลกรัม)	ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่)
มะเขืออื่น ๆ	210	315	0	260	286,000.00	1,100.00
หน่อไม้ฝรั่ง	54	56	0	236	20,556.00	87.1
หอมแบ่ง(ต้นหอม)	287	28	0	28	25,200.00	900
เห็ดฟาง	741	3,646.50	0	3,708.50	1,013,150.00	273.2
เห็ดขอนขาว	82	427	2	420	42,100.00	100.24
เห็ดอื่น ๆ	73	46	0	60	5,200.00	86.67
บวบงู	12	25	0	25	17,500.00	700
ผักอื่น ๆ	6	5	0	5	5,600.00	1,120.00
ไม้ดอก	17	28.25	0	14	120	8.57
บัวหลวง	2	3	0	0	0	-
ดอกพุด	4	2	0	0	0	-
มะลิ (ไม้ตัดดอก)	1	1.25	0	0	0	-
มะลิ (ไม้ดอก กระถาง)	10	22	0	14	120	8.57

ตารางภาคผนวกที่ ก.2 ข้อมูลภาวะการผลิตพืช จังหวัดกาฬสินธุ์ พ.ศ. 2559

พืช	จำนวน ครัวเรือน เกษตร	เนื้อที่ปลูก (ไร่)	เนื้อที่ เสียหาย (ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต (ไร่)	ผลผลิตที่ เก็บเกี่ยวได้ (กิโลกรัม)	ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่)
ข้าว	181,253	1,590,848.00	592	1,057,842.00	463,995,197.00	438.62
ข้าวนาปี	154,128	1,414,038.00	574	880,772.00	369,907,497.00	419.98
ข้าวนาปรัง	27,125	176,810.00	18	177,070.00	94,087,700.00	531.36
พืชไร่	63,908	729,659.00	1,757.50	291,494.00	2,360,520,058.35	8,098.01
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	66	190	0	190	140,000.00	736.84
ถั่วลิสง	706	859	0	765	202,000.00	264.05
ถั่วเหลือง	36	122	0	0	0	-
ยาสูบ	184	240	0	234	81,975.00	350.32
อ้อยเคี้ยว	10	10	0	0	0	-
อ้อยโรงงาน	28,596	388,548.25	1,106.00	206,094.00	2,088,983,432.00	10,136.07
สับปะรด	1	6	0	0	0	-
มันสำปะหลัง โรงงาน	34,300	339,650.75	651.5	84,178.00	271,097,651.35	3,220.53
พืชไร่อื่น ๆ	9	33	0	33	15,000.00	454.55
พืชผัก	1,909	3,765.25	0	5,071.75	1,316,110.50	259.5
กะหล่ำปลี	14	25	0	0	0	-
ข่า	20	25	0	25	1,150.00	46
ข้าวโพด รับประทานฝักสด	7	5	0	5	4,300.00	860
ข้าวโพดหวาน	220	265.75	0	250.75	186,762.50	744.82
ชะอม	163	762	0	2,286.00	28,250.00	12.36
ตะไคร้	4	2	0	2	650	325
แตงร้าน	15	33	0	33	4,050.00	122.73

ตารางภาคผนวกที่ ก.2 ข้อมูลสภาวะการผลิตพืช จังหวัดกาฬสินธุ์ พ.ศ. 2559 (ต่อ)

พืช	จำนวน ครัวเรือน เกษตร	เนื้อที่ปลูก (ไร่)	เนื้อที่ เสียหาย (ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต (ไร่)	ผลผลิตที่ เก็บเกี่ยวได้ (กิโลกรัม)	ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่)
แตงไทย	25	14	0	14	5,000.00	357.14
แตงโมเนื้อ	19	24	0	24	81,500.00	3,395.83
ถั่วฝักยาว	50	27	0	27	3,150.00	116.67
น้ำเต้า	21	34	0	34	29,800.00	876.47
บวบ	25	21	0	21	3,750.00	178.57
ผักบุ้งจีน	5	20	0	20	5,495.00	274.75
ผักหวาน	10	20	0	20	1,400.00	70
พริกชี้หนูเม็ดเล็ก (ชี้หนูสวน)	325	408	0	316	54,500.00	172.47
พริกชี้หนูเม็ดใหญ่	40	84	0	45	40,500.00	900
ฟัก / แพง	20	7	0	7	1,850.00	264.29
ฟักทอง	2	5	0	5	15,000.00	3,000.00
มะเขือเทศโรงงาน	69	104	0	104	260,000.00	2,500.00
มะเขืออื่น ๆ	210	33	0	37	108,390.00	2,929.46
หน่อไม้ฝรั่ง	51	85	0	94	4,810.00	51.17
หอมแบ่ง(ต้นหอม)	63	14	0	14	3,800.00	271.43
เห็ดฟาง	439	1,613.00	0	1,568.00	431,503.00	275.19
เห็ดขอนขาว	5	4	0	0	0	-
เห็ดอื่น ๆ	79	40.5	0	30	19,500.00	650
ผักอื่น ๆ	8	90	0	90	21,000.00	233.33
ไม้ดอก	3	12	0	6	25	4.17
มะลิ (ไม้ดอก กระถาง)	3	12	0	6	25	4.17

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวขจีมาศ อนงค์ไชย
วัน เดือน ปี เกิด	04 ตุลาคม 2535
สถานที่เกิด	จังหวัดสกลนคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2558 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) หลักสูตรภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ที่อยู่ปัจจุบัน	190 หมู่ 1 ตำบลท่าบ่อสงคราม อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม
ผลงานตีพิมพ์	ขจีมาศ อนงค์ไชย และธงทิศ ฉายากุล (2561) "การประเมินปริมาณการใช้ น้ำจากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 ในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์" , การประชุม วิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23