



การพัฒนาตรรกะเชิงความแข็งแรงแม่นยำโดยใช้สหวิทยาการอุตุนิยมวิทยาและดาวเทียม
ระหว่างเหตุการณ์เอนโซ



อภินันตรี ยุทธพันธ์

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การพัฒนาตรรกะเชิงความแข็งแรงแม่นยำโดยใช้สหวิทยาการอุตุนิยมวิทยาและดาวเทียม
ระหว่างเหตุการณ์เอนโซ่



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาตรรกษณ์ความแห้งแล้งแม่นยำโดยใช้สหวิทยาการอุตุนิยมวิทยาและดาวเทียมระหว่างเหตุการณ์เอลนีโญ"

ของ อภันตรี ยุทธพันธ์

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ชื่นชูกลิ่น)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.สมชาย ไบม่วง)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรินทร์ทิพย์ แทนธานี)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกฎ นุสีทธิ)

อนุมัติ

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล มุณีสว่าง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งแม่นยำโดยใช้สหวิทยาการ อุตุนิยมวิทยาและดาวเทียมระหว่างเหตุการณ์เอลนีโญ
ผู้วิจัย	อภันตรี ยุทธพันธ์
ประธานที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ชื่นชูกลิ่น
กรรมการที่ปรึกษา	ดร.สมชาย ใบม่วง
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัย นเรศวร, 2564
คำสำคัญ	ความแห้งแล้ง, ดรรชนีความแห้งแล้งแม่นยำ, ดรรชนีชี้วัดของพืช พรรณ

บทคัดย่อ

สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงและการผันแปรภูมิอากาศส่งผลให้เกิดความแห้งแล้งในหลายประเทศของโลกรวมทั้งภาคเหนือของประเทศไทย ในการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้หากสามารถพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมเพื่อใช้ติดตามพื้นที่และความรุนแรงของความแห้งแล้งได้อย่างถูกต้องเหมาะสมแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสารสนเทศที่มีประโยชน์ในการวางแผนบรรเทาผลกระทบของความแห้งแล้ง ดังนั้นการวิจัยนี้จึงได้นำดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ มาบูรณาการโดยใช้สหวิทยาการด้านอุตุนิยมวิทยาและดาวเทียมเพื่อพัฒนาเป็นดรรชนีความแห้งแล้งแม่นยำ (PDI) ที่สอดคล้องกับความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อเกษตรกรในพื้นที่ศึกษาระหว่างเหตุการณ์เอลนีโญ โดยใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 10 สถานีของภาคเหนือ ระหว่าง พ.ศ. 2494-2559 เพื่อคำนวณดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาจำนวน 10 ดรรชนี ได้แก่ ดรรชนี Standardized Precipitation Index (SPI), Deciles และ Moisture Available Index (MAI) ราย 1, 2 และ 3 เดือน และดรรชนี Palmer Drought Severity Index (PDSI) รายเดือน รวมทั้งใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Terra (MODIS) ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 มาคำนวณดรรชนี Vegetation condition index (VCI) สำหรับการพัฒนาดรรชนี PDI ด้วยเทคนิคการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ได้ใช้ข้อมูลช่วงเดือนมกราคม-เมษายน และพฤศจิกายน-ธันวาคม ระหว่าง พ.ศ. 2543-2557 โดยกำหนดให้ดรรชนี VCI เฉลี่ยในรัศมี 3 กิโลเมตรรอบสถานีอุตุนิยมวิทยาเป็นตัวแปรตาม และดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ เป็นตัวแปรอิสระ และดำเนินการใน 2 ขั้นตอน คือ การเลือกดรรชนีความแห้งแล้งที่เหมาะสมในการพัฒนาดรรชนี PDI และการสร้างสมการดรรชนี PDI ผลลัพธ์ได้สมการดรรชนี PDI ของภาคเหนือและของแต่ละสถานีในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติตามลำดับ การตรวจสอบความถูกต้องของสมการดรรชนี PDI ได้ดำเนินการเปรียบเทียบกับดรรชนี

VCI ระหว่าง พ.ศ. 2558-2559 และข้อมูลรายงานสถานการณ์ภัยแล้ง นอกจากนี้การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของการนำดัชนี VCI มาใช้บ่งบอกถึงความแห้งแล้งของพื้นที่ศึกษาสำหรับใช้ในการพัฒนาดัชนี PDI โดยการวิเคราะห์ดัชนี Normalize Difference Vegetation Index (NDVI) ได้ดำเนินการทั้งระดับอำเภอและระดับสนามจากข้อมูลดาวเทียม Landsat และการสำรวจภาคสนาม สมการดัชนี PDI ที่พัฒนาขึ้นทั้งสมการของภาคเหนือและของแต่ละสถานีสามารถนำไปใช้ประยุกต์ในการปฏิบัติงานจริงได้ โดยเลือกสมการที่เหมาะสมตรงตามแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ และตรงตามพื้นที่ที่เกิดความแห้งแล้ง

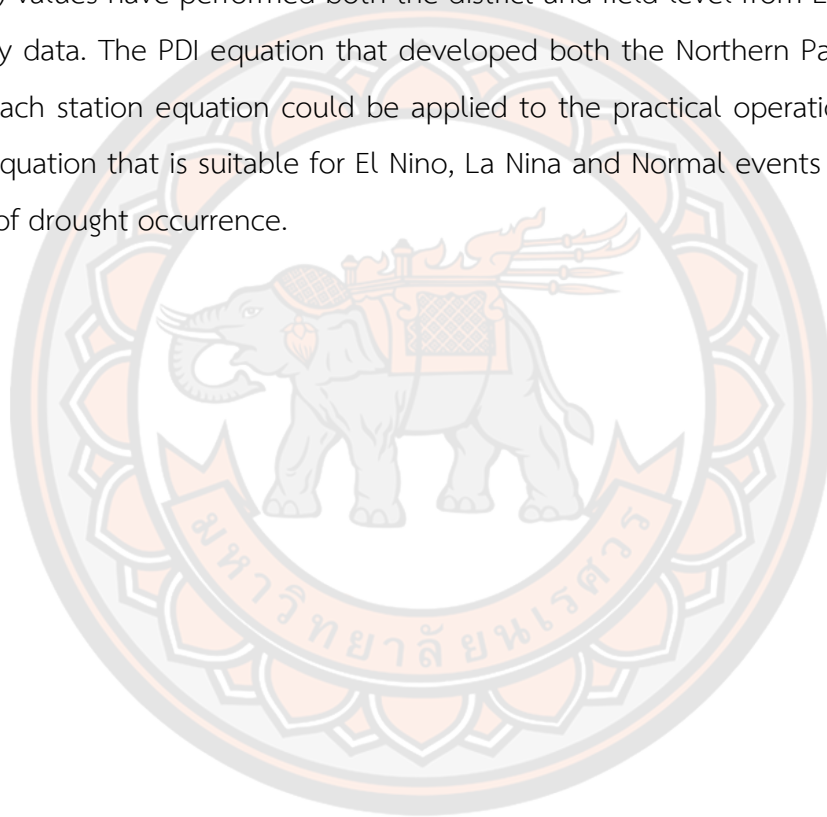


Title	THE DEVELOPMENT OF THE PRECISION DROUGHT INDEX USING INTERDISCIPLINARY OF METEOROLOGY AND SATELLITE DURING ENSO EVENT
Author	APHANTREE YUTTAPHAN
Advisor	Associate Professor Sombat Chuenchooklin, Ph.D.
Co-Advisor	Somchai Baimoung, Ph.D.
Academic Paper	Ph.D. Dissertation in Environmental Engineering, Naresuan University, 2021
Keywords	Drought, Precision Drought Index, Vegetation Condition Index

ABSTRACT

Climate change and climate variability have caused droughts in many countries as well as the Northern Part of Thailand. To overcome this problem, the appropriate technique should be developed for higher accuracy monitoring the drought area and intensity. The outcome would be very useful information for planning the effects of drought mitigation. Therefore, this research focused on integrating the meteorological drought indices by using interdisciplinary meteorology and satellite for developing the precision drought index. This index would correspond to the effect of drought on agriculture in the study area during ENSO event. The meteorological drought indices were calculated by using meteorological data during 1951-2016 in 10 stations of the Northern Part. These drought indices consisted of the Standardized Precipitation Index (SPI), the Deciles Index and the Moisture Available Index (MAI) at 1, 2 and 3 month timescale as well as the monthly Palmer Drought Severity Index (PDSI). In addition, The Terra (MODIS) satellite data during 2000-2016 were used to calculate the Vegetation Condition Index (VCI). Development of the PDI using the multiple regression technique used the data in the period of January-April and November-December during 2000-2014. The average VCI within 3 kilometers radius surrounding each meteorological station was used as the dependent variable and the meteorological drought indices were used as

independent variables. The processing consists of 2 steps; selection of suitable drought indices for the PDI development and process of constructing the PDI equation. The results are the PDI equations for the Northern Part and each station for El Nino, La Nina and Normal events, respectively. The verification of PDI equations had been compared with the VCI during 2015-2016 and the record of drought affected area. In addition, the validation of VCI to indicate the drought in the study area for the PDI development by analysis the Normalize Difference Vegetation Index (NDVI) values have performed both the district and field level from Landsat and field survey data. The PDI equation that developed both the Northern Part equation and the each station equation could be applied to the practical operations by choosing the equation that is suitable for El Nino, La Nina and Normal events and suitable for area of drought occurrence.



ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษา
ขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่เห็นความสำคัญในการพัฒนาบุคลากร พร้อมทั้งสนับสนุนข้อมูลและ
เครื่องมืออุปกรณ์ ขอขอบคุณกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลภัยแล้ง
ขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ขอขอบคุณคณะอาจารย์ที่ปรึกษา
ที่ให้ความเอาใจใส่ ดูแล และให้คำปรึกษาแนะนำ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และเพื่อนนักศึกษาคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน ขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนร่วมงานที่สนับสนุนและให้
กำลังใจตลอดระยะเวลาในการศึกษา



อภันตรี ยุทธพันธ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
ประกาศคุณูปการ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	๗
อักษรย่อ.....	1
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัยและข้อจำกัดในการศึกษา.....	3
1.4 การเผยแพร่ผลการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทบทวนการศึกษาที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับความแห้งแล้ง.....	5
2.2 ดรรชนีความแห้งแล้ง.....	18
2.3 ดรรชนีความแห้งแล้งรวม.....	44
2.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	58
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	64
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	64

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย.....	65
3.3 คำสำคัญ (Key Word).....	68
3.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	69
3.5 วิธีดำเนินการ.....	71
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	104
4.1 ผลลัพธ์ของการคำนวณดัชนี SPI.....	104
4.2 ผลลัพธ์ของการคำนวณดัชนี Deciles.....	108
4.3 ผลลัพธ์ของการคำนวณดัชนี MAI.....	112
4.4 ผลลัพธ์ของการคำนวณดัชนี PDSI.....	117
4.5 ผลลัพธ์ของการคำนวณดัชนี VCI.....	119
4.6 ผลลัพธ์ของการสร้างสมการดัชนีความแห้งแล้งแม่น้ำ (PDI).....	123
4.7 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของสมการดัชนี PDI.....	128
4.8 ผลการตรวจสอบความแห้งแล้งจากดัชนี VCI กับรายงานสถานการณ์ภัยแล้ง..	134
4.9 ผลการตรวจสอบดัชนี NDVI ของดาวเทียม Terra (MODIS) กับดาวเทียม Landsat ในระดับอำเภอ.....	137
4.10 ผลการตรวจสอบดัชนี NDVI ของดาวเทียม Landsat ในระดับสนาม.....	140
4.11 ผลการตรวจสอบดัชนี NDVI ของดาวเทียม Terra (MODIS) กับดาวเทียม Landsat ในระดับจุดภาพบริเวณสำรวจภาคสนาม.....	151
4.12 การเปรียบเทียบดัชนี PDI กับดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ใน เชิงพื้นที่.....	152
บทที่ 5 บทสรุป.....	162
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	162

5.2 อภิปรายผล.....	164
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	166
บรรณานุกรม.....	168
ภาคผนวก.....	182
ประวัติผู้วิจัย.....	243



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 การจำแนกระดับความรุนแรงของดรรรชนี PNI	19
ตาราง 2 การจำแนกระดับความรุนแรงของดรรรชนี SPI.....	21
ตาราง 3 การจำแนกระดับความรุนแรงของดรรรชนี Deciles.....	22
ตาราง 4 การจำแนกระดับความรุนแรงของดรรรชนี MAI	33
ตาราง 5 การจำแนกระดับความรุนแรงของดรรรชนี PDSI.....	40
ตาราง 6 การจำแนกสถานะพืชของดรรรชนี NDVI	42
ตาราง 7 การจำแนกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งของดรรรชนี VCI	43
ตาราง 8 การจำแนกขนาดของความแห้งแล้งของ United States Drought Monitor	44
ตาราง 9 การจำแนกระดับความแห้งแล้งของดรรรชนี CDI	47
ตาราง 10 การจำแนกระดับความแห้งแล้งของดรรรชนี CI ประเทศจีน	49
ตาราง 11 การศึกษาและการประยุกต์ใช้ดรรรชนีความแห้งแล้ง	50
ตาราง 12 ค่าถ่วงน้ำหนักรายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ	87
ตาราง 13 จังหวัดประกาศเขตภัยพิบัติฯ (ภัยแล้ง) ในภาคเหนือจากรายงานสถานการณ์สาธารณสุขภัย ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม - 20 กุมภาพันธ์ 2559.....	99
ตาราง 14 ตัวอย่างผลการคำนวณปริมาณฝนสะสมรายเดือน และปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคม 2557 ในภาคเหนือ	104
ตาราง 15 ดรรรชนี SPI สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	105
ตาราง 16 ความน่าจะเป็นของปริมาณฝนสะสมรายเดือน และปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคมในภาคเหนือ.....	109

ตาราง 17 ดรรชนี Deciles สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	110
ตาราง 18 ตัวอย่างผลการคำนวณ PE สะสมรายเดือน และ PE สะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคม 2557 ในภาคเหนือ	113
ตาราง 19 ดรรชนี MAI สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	114
ตาราง 20 ดรรชนี PDSI สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	117
ตาราง 21 ดรรชนี VCI สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	121
ตาราง 22 สมการดรรชนี PDI ของภาคเหนือ.....	124
ตาราง 23 สมการดรรชนี PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในเหตุการณ์เอลนีโญ.....	125
ตาราง 24 สมการดรรชนี PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในเหตุการณ์ลานีญา.....	126
ตาราง 25 สมการดรรชนี PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในเหตุการณ์ปกติ	126
ตาราง 26 ดรรชนี PDI จากสมการของภาคเหนือและดรรชนี VCI ของสถานีอุตุนิยมวิทยา เชียงรายในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญและลานีญา ระหว่าง พ.ศ. 2558-2559	130
ตาราง 27 ค่า RMSE และ MBE ของการประมาณค่าดรรชนี PDI โดยใช้สมการของ ภาคเหนือ.....	131
ตาราง 28 ดรรชนี PDI จากสมการของแต่ละสถานีและดรรชนี VCI ของสถานีอุตุนิยมวิทยา เชียงรายในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ระหว่าง พ.ศ. 2558 - 2559.....	132
ตาราง 29 ค่า RMSE และ MBE ของการประมาณค่าดรรชนี PDI โดยใช้สมการของแต่ละ สถานีอุตุนิยมวิทยา	133
ตาราง 30 จังหวัดประกาศเขตภัยพิบัติฯ (ภัยแล้ง) ในภาคเหนือจากรายงานสถานการณ์ สาธารณภัย วันที่ 15 มีนาคม 2559.....	134

ตาราง 31 พื้นที่ความแห้งแล้งจากดรชนี VCI ในแต่ละอำเภอที่ประกาศเขตภัยพิบัติฯ เดือนมีนาคม 2559	136
ตาราง 32 จุดสำรวจภาคสนามและค่าเฉลี่ยดรชนี NDVI ของแปลงตัวอย่าง.....	142
ตาราง 33 ดรชนี SPI สูงสุดและต่ำสุดของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	203
ตาราง 34 จำนวนครั้งที่มีค่าดรชนี Deciles สูงสุดและต่ำสุดของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาใน ภาคเหนือ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	213
ตาราง 35 ดรชนี MAI สูงสุดและต่ำสุดของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	223
ตาราง 36 ดรชนี PDSI รายเดือนสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาใน ภาคเหนือ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	237
ตาราง 37 ดรชนี VCI รายเดือนสูงสุดและต่ำสุดบริเวณแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาใน ภาคเหนือ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	242

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 ลำดับการเกิดและผลกระทบของความแห้งแล้ง	7
ภาพ 2 ตำแหน่งของร่องความกดอากาศต่ำ ทิศทางมรสุม และทางเดินของพายุหมุนเขตร้อน.....	10
ภาพ 3 สภาวะปกติ (ก) สภาวะเอลนีโญ (ข) และสภาวะลานีญา (ค).....	14
ภาพ 4 พื้นที่ Nino.....	15
ภาพ 5 ความสัมพันธ์ของ 6 ดรรชนีภัยแล้งกับขนาดความรุนแรงของความแห้งแล้งใน United States Drought Monitor.....	45
ภาพ 6 แผนที่แสดง United States Drought Monitor	46
ภาพ 7 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือของประเทศไทย.....	65
ภาพ 8 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	70
ภาพ 9 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาดรรชนีความแห้งแล้งแม่นยำภายใต้เหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ.....	72
ภาพ 10 ปริมาณฝนเฉลี่ยระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคมของสถานีอุตุนิยมวิทยา จำนวน 10 สถานีที่ใช้ศึกษาในภาคเหนือ	76
ภาพ 11 ปริมาณฝนเฉลี่ยระหว่างเดือนตุลาคม-ธันวาคม และมกราคม-เมษายน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 10 สถานีที่ใช้ศึกษาในภาคเหนือ.....	77
ภาพ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมดรรชนีความผิดปกติของความชื้นดิน (Σz) กับระยะเวลา (t) ที่เกิดความแห้งแล้งสูงสุดของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงรายและเพชรบูรณ์. 85	
ภาพ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยกับอุปทานของความชื้นเฉลี่ย อุปสงค์ของความชื้นเฉลี่ย และความแตกต่างของความชื้นสัมบูรณ์เฉลี่ยของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ	86

ภาพ 14 การประมวลผลข้อมูลดาวเทียม Terra (MODIS) สำหรับประมาณค่าดัชนี VCI....	89
ภาพ 15 การประมวลผลข้อมูลดาวเทียม Landsat สำหรับประมาณค่าดัชนี NDVI.....	96
ภาพ 16 เครื่อง Spectroradiometer รุ่น FieldSpec HandHeld 2	98
ภาพ 17 ตำแหน่งจุดสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนามครั้งที่ 1 และ 2.....	100
ภาพ 18 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	106
ภาพ 19 ตัวอย่างผลลัพธ์ดัชนี SPI ราย 3 เดือนของเดือนมีนาคม 2557.....	108
ภาพ 20 ผลลัพธ์ค่าดัชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	111
ภาพ 21 ตัวอย่างผลลัพธ์ดัชนี Deciles ราย 3 เดือนของเดือนมีนาคม 2557	112
ภาพ 22 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	115
ภาพ 23 ตัวอย่างผลลัพธ์ดัชนี MAI ราย 3 เดือนของเดือนมีนาคม 2557.....	116
ภาพ 24 ผลลัพธ์ค่าดัชนี PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	118
ภาพ 25 ตัวอย่างผลลัพธ์ดัชนี PDSI ของเดือนมีนาคม 2557.....	119
ภาพ 26 ตัวอย่างผลลัพธ์ดัชนี NDVI เดือนมีนาคม 2557 ซ้อนทับด้วยแผนที่ภาคเหนือ	120
ภาพ 27 ตัวอย่างผลลัพธ์ดัชนี VCI เดือนมีนาคม 2557 ซ้อนทับด้วยแผนที่ภาคเหนือ	120
ภาพ 28 ผลลัพธ์ค่าดัชนี VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	122
ภาพ 29 ตัวอย่างผลลัพธ์ดัชนี VCI ของเดือนมีนาคม 2557.....	122

ภาพ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างดรชนี NDVI จากข้อมูลดาวเทียม Landsat กับดรชนี NDVI จากข้อมูลดาวเทียม Terra (MODIS) ในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ.....	139
ภาพ 31 ดรชนี NDVI วันที่ 3 เมษายน 2559 บริเวณจุดสำรวจที่ 10 ตำบลห้วยข้าวก่ำ อำเภोजุน จังหวัดพะเยา.....	141
ภาพ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยดรชนี NDVI จากข้อมูลดาวเทียม Landsat กับค่าเฉลี่ยดรชนี NDVI จากข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามของแปลงตัวอย่าง.....	151
ภาพ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจุดภาพของดรชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) กับค่าเฉลี่ยดรชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat ในพื้นที่เดียวกัน.....	152
ภาพ 34 ดรชนี PDI ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 กับ ดรชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559.....	154
ภาพ 35 ดรชนี PDI ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 กับ ดรชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559.....	156
ภาพ 36 ดรชนี PDI ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 กับ ดรชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559.....	159
ภาพ 37 ดรชนี PDI และ PDSI ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559.....	161
ภาพ 38 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	183
ภาพ 39 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	184
ภาพ 40 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงรายระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	185
ภาพ 41 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	186

ภาพ 42 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	187
ภาพ 43 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	188
ภาพ 44 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปาง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	189
ภาพ 45 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปาง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	190
ภาพ 46 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเกษตรน่าน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	191
ภาพ 47 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเกษตรน่าน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	192
ภาพ 48 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	193
ภาพ 49 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	194
ภาพ 50 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเกษตรรอยมุเซอ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	195
ภาพ 51 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเกษตรรอยมุเซอ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	196
ภาพ 52 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	197
ภาพ 53 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	198

ภาพ 54 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	199
ภาพ 55 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	200
ภาพ 56 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	201
ภาพ 57 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ของสถานี อุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	202
ภาพ 58 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร เชียงใหม่ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	204
ภาพ 59 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	205
ภาพ 60 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร ลำปาง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	206
ภาพ 61 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรน่าน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	207
ภาพ 62 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรี ลำโพง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	208
ภาพ 63 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรดอย มูเซอ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	209
ภาพ 64 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	210
ภาพ 65 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	211

ภาพ 66 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร พิจิตร ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	212
ภาพ 67 ผลลัพธ์ค่าดัชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร เชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	214
ภาพ 68 ผลลัพธ์ค่าดัชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยา เชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	215
ภาพ 69 ผลลัพธ์ค่าดัชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร ลำปาง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	216
ภาพ 70 ผลลัพธ์ค่าดัชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร น่าน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	217
ภาพ 71 ผลลัพธ์ค่าดัชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร ศรีสะเกษ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	218
ภาพ 72 ผลลัพธ์ค่าดัชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร ดอยมูเซอ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	219
ภาพ 73 ผลลัพธ์ค่าดัชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยา พิษณุโลก ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	220
ภาพ 74 ผลลัพธ์ค่าดัชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยา เพชรบูรณ์ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	221
ภาพ 75 ผลลัพธ์ค่าดัชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร พิจิตร ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	222
ภาพ 76 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร เชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	224
ภาพ 77 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	225

ภาพ 78 ผลลัพธ์ค่าตรวจ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร ลำปาง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	226
ภาพ 79 ผลลัพธ์ค่าตรวจ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยากรรณาน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	227
ภาพ 80 ผลลัพธ์ค่าตรวจ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรี ลำโพง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	228
ภาพ 81 ผลลัพธ์ค่าตรวจ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรดอย มูเซอ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	229
ภาพ 82 ผลลัพธ์ค่าตรวจ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	230
ภาพ 83 ผลลัพธ์ค่าตรวจ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	231
ภาพ 84 ผลลัพธ์ค่าตรวจ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร พิจิตร ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	232
ภาพ 85 ผลลัพธ์ค่าตรวจ PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	233
ภาพ 86 ผลลัพธ์ค่าตรวจ PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	233
ภาพ 87 ผลลัพธ์ค่าตรวจ PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปาง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	234
ภาพ 88 ผลลัพธ์ค่าตรวจ PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยากรรณาน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	234
ภาพ 89 ผลลัพธ์ค่าตรวจ PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีลำโพง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	235

ภาพ 90 ผลลัพธ์ค่าตรวจ PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรดอยมูเซอ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	235
ภาพ 91 ผลลัพธ์ค่าตรวจ PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	236
ภาพ 92 ผลลัพธ์ค่าตรวจ PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559	236
ภาพ 93 ผลลัพธ์ค่าตรวจ PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	237
ภาพ 94 ผลลัพธ์ค่าตรวจ VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	238
ภาพ 95 ผลลัพธ์ค่าตรวจ VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	238
ภาพ 96 ผลลัพธ์ค่าตรวจ VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปาง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	239
ภาพ 97 ผลลัพธ์ค่าตรวจ VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรน่าน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	239
ภาพ 98 ผลลัพธ์ค่าตรวจ VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสะเกษ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	240
ภาพ 99 ผลลัพธ์ค่าตรวจ VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรดอยมูเซอ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	240
ภาพ 100 ผลลัพธ์ค่าตรวจ VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	241
ภาพ 101 ผลลัพธ์ค่าตรวจ VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....	241

ภาพ 102 ผลลัพธ์ค่าดัชนี VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559.....242



อักษรย่อ

PDI	=	Precision Drought Index
SPI	=	Standardized Precipitation Index
MAI	=	Moisture Available Index
PDSI	=	Palmer Drought Severity Index
PE	=	Potential Evapotranspiration
VCI	=	Vegetation Condition Index
NDVI	=	Normalize Difference Vegetation Index
NIR	=	Near Infrared
MODIS	=	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
ENSO	=	Enso - El Nino / Southern Oscillation
ONI	=	Oceanic Niño Index
WMO	=	World Meteorological Organization
FAO	=	Food and Agriculture Organization of the United Nation
LP DAAC	=	Land Processes Distributed Active Archive Center
USGS	=	United States Geological Survey
CPC	=	Climate Prediction Center
IPCC	=	Intergovernmental Panel on Climate Change
RMSE	=	Root Mean Square Error
MBE	=	Mean Bias Error
สภช	=	สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ความแห้งแล้งเป็นภัยในรูปแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีสาเหตุหลักมาจากมีปริมาณฝนตกน้อยกว่าปกติมาก อันเป็นผลเนื่องมาจากการที่สภาพภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลง (Climate Change) หรือจากการผันแปรภูมิอากาศ (Climate variability) (World Meteorological Organization and Global Water Partnership, 2010)

โดยสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงมีลักษณะที่ชัดเจนประการหนึ่งคือการเกิดสภาวะที่โลกร้อนขึ้น (Global Warming) หรือการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวพื้นเฉลี่ยทั่วโลก ซึ่งได้ส่งผลกระทบทำให้ความถี่และความรุนแรงของความแห้งแล้งในบางภูมิภาคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC, 2007, 2013) ส่วนการผันแปรภูมิอากาศก็เป็นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งของการเกิดความแห้งแล้ง โดยเฉพาะปรากฏการณ์เอลนีโญ (ENSO: El Niño-Southern Oscillation) ที่เป็นสาเหตุหลักอย่างหนึ่งของการผันแปรภูมิอากาศโลก (Kiladis & Diaz, 1989; Smith et al., 2006; Trenberth, 1997; Trenberth et al., 2002) โดยปรากฏการณ์ร่วมกันของบรรยากาศและมหาสมุทรหรือเอลนีโญนี้ประกอบด้วยเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ ซึ่งในสภาวะเหตุการณ์เอลนีโญจะมีการเพิ่มขึ้นของฝนในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตศูนย์สูตร ขณะที่มีการลดลงของฝนในออสเตรเลีย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แอฟริกาใต้ และทางเหนือของอเมริกาใต้ ส่วนสภาวะลานีญาลักษณะของฝนจะตรงกันข้าม (Brown et al., 2009; Espinoza Villar et al., 2009; Gu et al., 2007; Hendon, 2003; Nel, 2009; Smith & Ropelewski, 1997; Trenberth et al., 2002) ดังนั้นการแปรปรวนของเอลนีโญจึงส่งผลต่อความแห้งแล้ง (Rouault & Richard, 2005; Trenberth et al., 2014; Vicente-Serrano et al., 2011)

ผลกระทบจากความแห้งแล้งเกิดขึ้นอย่างชัดเจนในหลายประเทศของโลก ดังเห็นได้จากการทบทวนการประเมินความต้องการหลังภัยพิบัติใน 53 ประเทศกำลังพัฒนา ระหว่าง พ.ศ. 2549-2559 ที่ดำเนินการโดยองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018) พบว่า 23 เปอร์เซ็นต์ของความเสียหายและการสูญเสียทั้งหมดที่เกิดจากภัยธรรมชาติขนาดกลางถึงขนาดใหญ่อยู่ในด้านการเกษตร และความเสียหายและการสูญเสียจากความแห้งแล้งเป็นสาเหตุหลักที่มีต่อการเกษตรถึง 83 เปอร์เซ็นต์

สำหรับประเทศไทยจากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศ 58 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2494-2551 ของศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา (2553) พบว่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก และการศึกษาของ Yuttaphan et al. (2016) พบว่าจำนวนพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยเฉลี่ยราย 10 ปี มีแนวโน้มลดลง ส่วนปรากฏการณ์เอลนีโญมีผลต่อสภาวะฝนและอุณหภูมิของประเทศไทย โดยปริมาณฝนของประเทศไทยส่วนใหญ่ต่ำกว่าปกติในปีเอลนีโญและสูงกว่าปกติในปีลานีญา โดยเฉพาะในฤดูร้อนและต้นฤดูฝนเป็นระยะที่เอลนีโญมีผลกระทบต่อสภาวะฝนของประเทศไทยชัดเจนกว่าช่วงอื่น รวมทั้งทุกภาคของประเทศไทยมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติในปีเอลนีโญและต่ำกว่าปกติในปีลานีญาทุกฤดู (มันทนาและนงค์นาค, 2545) ส่วนจำนวนพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยในปีเอลนีโญมีจำนวนน้อยกว่าปีลานีญาและปีปกติ (Yuttaphan et al., 2016)

ความแห้งแล้งในประเทศไทยเกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี และส่งผลกระทบต่อเกษตรกรซึ่งถือว่าเป็นประชากรส่วนใหญ่ของประเทศ รวมทั้งสร้างความสูญเสียทางเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2558) โดยสถิติความเสียหายของภัยแล้งในประเทศไทย 12 ปี ย้อนหลังระหว่าง พ.ศ. 2548-2559 จากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย พบว่าในปี พ.ศ. 2548 ได้เกิดภัยแล้งที่รุนแรงและสร้างความเสียหายมากที่สุด โดยมีพื้นที่ประสบภัยแล้งจำนวน 71 จังหวัด ราษฎรได้รับความเดือดร้อน 11,147,627 คน พื้นที่การเกษตรได้รับความเสียหาย 13,736,660 ไร่ คิดเป็นมูลค่าความเสียหายทั้งสิ้น 7,565,861,139 บาท

ปัจจุบันความแห้งแล้งเป็นปัญหาที่สำคัญและมีความจำเป็นเร่งด่วนที่ทุกประเทศจะต้องมีการพัฒนาการติดตามและเตือนภัยความแห้งแล้งที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อจัดการความเสี่ยงและบรรเทาผลกระทบจากความแห้งแล้ง (World Meteorological Organization and Global Water Partnership, 2010) โดยในการติดตามและเตือนภัยความแห้งแล้งปัจจุบัน พบว่าเทคนิคและวิธีการใช้ตัวบ่งชี้และดัชนีความแห้งแล้งได้ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยในการติดตามความแห้งแล้ง นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้เทคนิคของการรับรู้ระยะไกลจากดาวเทียมในการติดตามสภาวะความแห้งแล้ง (Kogan, 1995; McVicar & Jupp, 1998; Thenkabail et al., 2004; Vogt et al., 2000)

สำหรับประเทศไทยหน่วยงานที่รับผิดชอบในการติดตามและเตือนภัยเกี่ยวกับความแห้งแล้งคือกรมอุตุนิยมวิทยา ได้มีการนำดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาใช้ในการติดตามและประเมินความแห้งแล้งจากข้อมูลการตรวจวัดสารประกอบอุตุนิยมวิทยาในปัจจุบัน เพื่อคาดการณ์แนวโน้มร่วมกับผลการพยากรณ์อากาศในอนาคตเพื่อเตือนภัยความแห้งแล้ง สำหรับดัชนีความแห้งแล้งที่เผยแพร่ทางเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา (www.tmd.go.th) ได้แก่ ดรรชนี Standardized precipitation Index (SPI) ราย 60 และ 90 วัน ดรรชนี Deciles รายปี และ ดรรชนี Moisture Available Index (MAI) ราย 10 วัน

การติดตามความแห้งแล้งของประเทศไทยโดยใช้ดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาข้างต้นมีความถูกต้องในระดับหนึ่ง ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่า หากมีการศึกษาวิจัยของประเทศไทยโดยนำดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ที่เป็นที่ยอมรับและใช้การอยู่ในประเทศไทย ซึ่งแสดงถึงความแห้งแล้งของสภาพอากาศมาบูรณาการผสมผสานกันโดยใช้สหวิทยาการด้านอุตุนิยมวิทยาและดาวเทียมเพื่อพัฒนาให้เป็นดัชนีความแห้งแล้งที่มีความแม่นยำสอดคล้องกับความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นบนพื้นดินหรือพื้นที่การเกษตรที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยแล้ว ก็จะเป็นการเพิ่มความถูกต้องให้มากยิ่งขึ้นในการติดตามและเตือนภัยความแห้งแล้ง และเพื่อให้ผลสัมฤทธิ์ที่จะได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงตามสภาวะอากาศที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เพิ่มแนวคิดที่จะสร้างดัชนีความแห้งแล้งแม่นยำโดยเฉพาะสำหรับแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงเป็นเครื่องมือหรือแนวทางที่มีคุณภาพนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานเพื่อติดตามสภาวะความแห้งแล้งที่จะส่งผลกระทบต่อภาคเกษตรและเตือนภัยความแห้งแล้งได้อย่างเหมาะสมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งสำหรับเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลดาวเทียม และมีวัตถุประสงค์ย่อย ดังนี้

- 1) เพื่อหาดัชนีความแห้งแล้งจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา
- 2) เพื่อหาดัชนีความแห้งแล้งจากข้อมูลการรับรู้ระยะไกลจากดาวเทียม
- 3) เพื่อพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งแม่นยำ โดยบูรณาการสหวิทยาการด้านอุตุนิยมวิทยาและดาวเทียมจากข้อ 1) และ 2) สำหรับแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัยและข้อจำกัดในการศึกษา

1) การศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกภาคเหนือของประเทศไทยเป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากความแห้งแล้งในประเทศไทยจะส่งผลกระทบต่อตรงกับการเกษตร โดยเฉพาะบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งเป็นแหล่งเศรษฐกิจสำคัญด้านการเกษตร

2) การศึกษาวิจัยนี้เกี่ยวกับความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา จึงได้ใช้วิธีการแบ่งภูมิภาคของประเทศไทยในทางอุตุนิยมวิทยาที่พิจารณารูปแบบภูมิอากาศ ซึ่งภาคเหนือของประเทศไทยประกอบด้วย 15 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ อุตรดิตถ์ สุโขทัย ตาก กำแพงเพชร พิษณุโลก พิจิตร และเพชรบูรณ์ (วีรัช, 2538)

3) เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย สภาวะความแห้งแล้งของประเทศไทยจะเกิดขึ้นส่วนมากในฤดูหนาวและฤดูร้อน ดังนั้นการพัฒนาระบบความแห้งแล้งแม่นยำจึงได้ใช้ข้อมูลเฉพาะระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน และพฤศจิกายน-ธันวาคม

4) การศึกษาเพื่อพัฒนาระบบความแห้งแล้งแม่นยำสำหรับกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ได้แก่ ข้อมูลปริมาณฝน ระหว่าง พ.ศ. 2494-2559 ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความหนาแน่นอากาศ ระหว่าง พ.ศ. 2524-2559 จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือที่มีการตรวจวัดสารประกอบอุตุนิยมวิทยาทุกตัวแปรดังกล่าว จำนวน 10 สถานี รวมทั้งข้อมูลการรับรู้ระยะไกลจากดาวเทียม Terra (MODIS) รายละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตร ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 และข้อมูลจากดาวเทียม Landsat รายละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร ในปี พ.ศ. 2554, 2557, 2558 และ 2559

5) เนื่องจากการตรวจวัดข้อมูลความหนาแน่นอากาศของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือมีจำนวน 10 สถานี และข้อมูลความเร็วลมเริ่มต้นตรวจวัดตั้งแต่ พ.ศ.2524 ทำให้มีข้อจำกัดของข้อมูลในการศึกษาคำนวณระบบความแห้งแล้งที่ต้องใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาต่างๆ หลายตัวแปรต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลายาวนาน ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้ข้อมูลดังกล่าวจากสถานีอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษาจำนวน 10 สถานี ระหว่าง พ.ศ. 2524-2559 เว้นแต่การคำนวณระบบความแห้งแล้งที่ต้องการเฉพาะข้อมูลปริมาณฝนอย่างเดียวได้ใช้ข้อมูลระหว่าง พ.ศ. 2494-2559 เนื่องจากได้มีการตรวจวัดและเก็บข้อมูลปริมาณฝนเป็นระยะเวลายาวนาน

1.4 การเผยแพร่ผลการศึกษา

จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถตีพิมพ์วารสารวิชาการ และนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ดังนี้

วารสารวิชาการ

Yuttaphan, A., Chuenchooklin, S. & Baimoung, S. (2016). The Trend of Numbers of Tropical Cyclone Moves toward Thailand under Climate Change. Naresuan University Engineering Journal, Vol.11, Supplement, 1, May 2016. 53-56 [DOI: <https://doi.org/10.14456/nuej.2016.9>]

การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

Yuttaphan, A., Chuenchooklin, S. & Baimoung, S. (2020). Meteorological Drought Index for the Northern Part of Thailand. 2020 International Conference on Urban Sustainability, Environment, and Engineering (CUSME 2020). Bali, Indonesia. 20-21 January 2020

บทที่ 2

ทบทวนการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับความแห้งแล้ง

ความแห้งแล้งเป็นภัยธรรมชาติชนิดหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศซึ่งเกิดขึ้นในทุกภูมิภาคของโลก สาเหตุของการเกิดความแห้งแล้งนั้นทั้งจากธรรมชาติและการทำงานของมนุษย์ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การพัฒนาด้านอุตสาหกรรม และการตัดไม้ทำลายป่า เป็นต้น สำหรับประเทศไทยความแห้งแล้งส่วนใหญ่เนื่องจากการผันแปรสภาพภูมิอากาศที่ทำให้มีฝนตกน้อยกว่าปกติหรือฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล ซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกว่าฝนแล้งหรือฝนทิ้งช่วง (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2544) สำหรับความรุนแรงของความแห้งแล้งจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ฝนไม่ตก หรือผลกระทบที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการที่ฝนไม่ตก (Sivakumar et al., 2010) โดยภาคเหนือของประเทศไทยก็เป็นพื้นที่หนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากความแห้งแล้ง

2.1.1 ภาคเหนือของประเทศไทย

การแบ่งภูมิภาคของประเทศไทยทำได้หลายวิธีแล้วแต่วัตถุประสงค์ของการนำไปใช้และมีประโยชน์ช่วยให้สามารถเข้าใจถึงลักษณะเฉพาะของแต่ละพื้นที่ได้ชัดเจน อาทิเช่น

1) การแบ่งภูมิภาคทางภูมิศาสตร์ของคณะกรรมการภูมิศาสตร์แห่งชาติภายใต้การกำกับดูแลของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ อาศัยเกณฑ์ด้านลักษณะภูมิประเทศเป็นสำคัญ รวมทั้งพิจารณาลักษณะทางด้านภูมิอากาศ วัฒนธรรมด้านเชื้อชาติ ภาษา และความเป็นอยู่ของคนในท้องถิ่นด้วย ซึ่งได้แบ่งประเทศไทยออกเป็น 6 ภาค และภาคเหนือประกอบด้วย 9 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย น่าน พะเยา เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน แพร่ ลำปาง ลำพูน และอุตรดิตถ์

2) การแบ่งภูมิภาคของคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ซึ่งได้แบ่งประเทศไทยออกเป็น 6 ภาค และภาคเหนือประกอบด้วย 17 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย น่าน พะเยา เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน แพร่ ลำปาง ลำพูน ตาก อุตรดิตถ์ พิชณุโลก สุโขทัย เพชรบูรณ์ พิจิตร กำแพงเพชร นครสวรรค์ และ อุทัยธานี (นฤมล, ม.ป.ป.)

3) การแบ่งภูมิภาคทางอุตุนิยมวิทยาของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่พิจารณารูปแบบภูมิอากาศ ซึ่งได้แบ่งประเทศไทยออกเป็น 5 ภาค และภาคเหนือประกอบด้วย 15 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ อุตรดิตถ์ สุโขทัย ตาก กำแพงเพชร พิชณุโลก พิจิตร และเพชรบูรณ์ (วีรัช, 2538)

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทยจะใช้เกณฑ์ภาคเหนือประกอบด้วย 17 จังหวัด โดยจังหวัดนครสวรรค์และอุทัยธานีที่อยู่ทางตอนล่างของภาค เมื่อพิจารณาตามการแบ่งภูมิภาคทางอุตุนิยมวิทยาแล้วทั้งสองจังหวัดนี้จะอยู่ในภาคกลาง

ภาคเหนือมีลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ตอนบนเป็นที่สูง ภูเขา ป่าไม้ และแหล่งต้นน้ำลำธาร พื้นที่ตอนล่างเป็นภูเขาสูงทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออก ตอนกลางเป็นพื้นที่ราบลุ่ม (คณะกรรมการบูรณาการนโยบายพัฒนาภาค, 2561) ภูมิอากาศส่วนใหญ่เป็นแบบฝนมรสุม เว้นแต่บริเวณตอนกลางของภาค บริเวณจังหวัดลำพูน ลำปาง กำแพงเพชร บางส่วนของจังหวัดอุตรดิตถ์ และตาก เป็นแบบทุ่งหญ้าสะวันนา กล่าวคือร้อนชื้นและมีช่วงแล้งชัดเจน (วิรัช, 2538)

ภาคเหนือประสบปัญหาอุทกภัย ภัยแล้ง การพังทลายของดิน หมอกควันและฝุ่นละอองขนาดเล็ก และแผ่นดินไหวเป็นประจำ และมีแนวโน้มรุนแรงขึ้น สาเหตุมาจากปัจจัยภายในที่มีการรุกล้ำพื้นที่ป่าซึ่งเป็นพื้นที่ลาดชันเพื่อขยายพื้นที่เพาะปลูกและการเผาป่า รวมถึงสภาพอากาศที่มีความแปรปรวน พื้นที่เกษตรส่วนใหญ่อยู่นอกเขตชลประทาน การบริหารจัดการน้ำในพื้นที่เกษตรยังไม่ทั่วถึง (คณะกรรมการบูรณาการนโยบายพัฒนาภาค, 2561)

2.1.2 ประเภทของความแห้งแล้ง

ความแห้งแล้งอาจถูกกำหนดจากหลายมุมมองที่แตกต่างกัน และหมายถึงสิ่งที่ไม่เหมือนกันในบุคคลที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสนใจหรือภูมิหลังของแต่ละบุคคล (Dunkel, 2009) โดยทั่วไปความแห้งแล้งแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

2.1.2.1 ความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorological drought) คือ การขาดความชุ่มชื้นเป็นเวลานานผิดปกติ (Palmer, 1965) ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณฝนที่ตกต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทางภูมิอากาศ หรืออาจกล่าวว่าเป็นช่วงเวลาของสภาพอากาศแห้งแล้งผิดปกติ โดยช่วงแห้งแล้งจะต้องผิดปกติสำหรับเฉพาะสถานที่และเฉพาะเวลานั้นของปี

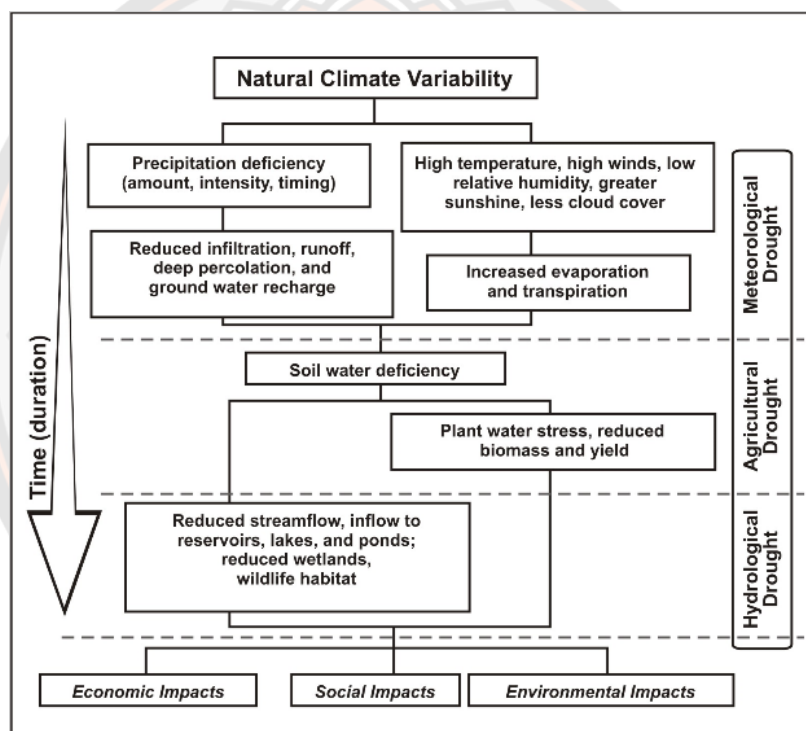
2.1.2.2 ความแห้งแล้งทางการเกษตร (Agricultural drought) โดยทั่วไปหมายถึงการขาดแคลนความชื้นในดินบริเวณรากพืช หรือความชื้นในดินขาดแคลนสำหรับพืชที่จะนำไปใช้ประโยชน์ แต่เนื่องจากพืชต่างชนิดกันมีความต้องการที่ต่างกันและเปลี่ยนแปลงไปขณะที่พืชเจริญเติบโตและสุกแก่ สภาพอากาศแห้งขนาดหนึ่งอาจจะเป็นความแห้งแล้งทางการเกษตรขณะที่พืชกำลังเจริญเติบโต แต่อาจจะเป็นที่ต้องการในขณะที่เมล็ดกำลังสุกแก่ ดังนั้นการจะเป็นความแห้งแล้งทางการเกษตรหรือไม่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของปีและชนิดของพืชที่ปลูกในภูมิภาคนั้นๆ รวมทั้งปริมาณฝน

2.1.2.3 ความแห้งแล้งทางอุทกวิทยา (Hydrological drought) เป็นภาวะการลดลงต่ำกว่าปกติของระดับน้ำที่ไหลในลำน้ำและแหล่งกักเก็บน้ำ เช่น แม่น้ำ ลำธาร ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ

หรือเขื่อน รวมทั้งการลดลงของระดับน้ำใต้ดิน ความแห้งแล้งทางอุทกวิทยาจะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณน้ำที่เคลื่อนผ่านพื้นดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ พืชไร่จะเริ่มได้รับผลกระทบเมื่อดินชั้นบนแห้งและรากพืชไม่สามารถที่จะดูดน้ำได้มากเท่าที่ต้องการ หลังจากนั้นระดับน้ำใต้ดินเริ่มลดลง และเมื่อเวลาผ่านไปจะมีการลดลงในการไหลของน้ำใต้ดินก่อนนำไปสู่การลดระดับลงของแม่น้ำ

2.1.2.4 ความแห้งแล้งทางเศรษฐกิจและสังคม (Socioeconomic drought) หมายถึง ความแห้งแล้งซึ่งมีผลกระทบต่อกิจกรรมทางเศรษฐกิจของมนุษย์ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อการขาดแคลนน้ำส่งผลกระทบต่ออุปทานของสินค้าและบริการที่ให้กับชุมชน (Allaby, 2003)

ลำดับการเกิดและผลกระทบของความแห้งแล้งทั้ง 4 ประเภทแสดงดังภาพ 1



ภาพ 1 ลำดับการเกิดและผลกระทบของความแห้งแล้ง

ที่มา: National Drought Mitigation Center, n.d.

โดยทุกประเภทของความแห้งแล้งมีต้นกำเนิดจากการขาดฝนหรือความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา สำหรับผลกระทบที่จะเกิดเป็นความแห้งแล้งประเภทใดนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาและลำดับความรุนแรงของการขาดฝน

2.1.3 สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดฝนในประเทศไทย

ฝนที่ตกในประเทศไทยเกิดขึ้นได้จากสาเหตุหลายประการ เช่น มรสุม ร่องความกดอากาศต่ำ พายุหมุนเขตร้อน หย่อมความกดอากาศต่ำ การพาความร้อน แนวพัดสอบของลม คลื่นกระแสลมตะวันตก คลื่นกระแสลมตะวันออก และการยกตัวของมวลอากาศเมื่อเคลื่อนมาปะทะเทือกเขา เป็นต้น แต่ปัจจัยที่สำคัญและเกิดขึ้นเป็นประจำ ได้แก่

2.1.3.1 มรสุม ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากมรสุม 2 ชนิด คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

มรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทยระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม มรสุมนี้จะนำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียมาสู่ประเทศไทย ทำให้มีเมฆมากและฝนชุกทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามบริเวณชายฝั่งทะเลและเทือกเขาด้านรับลมจะมีฝนมากกว่าบริเวณอื่น ส่วนมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดปกคลุมประเทศไทยระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ มรสุมนี้จะพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งเข้ามาปกคลุมประเทศไทย ทำให้ท้องฟ้าโปร่ง อากาศหนาวเย็นและแห้งแล้งทั่วไป โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนภาคใต้จะมีฝนชุกโดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออก เนื่องจากมรสุมนี้นำความชุ่มชื้นจากอ่าวไทยเข้ามาปกคลุม

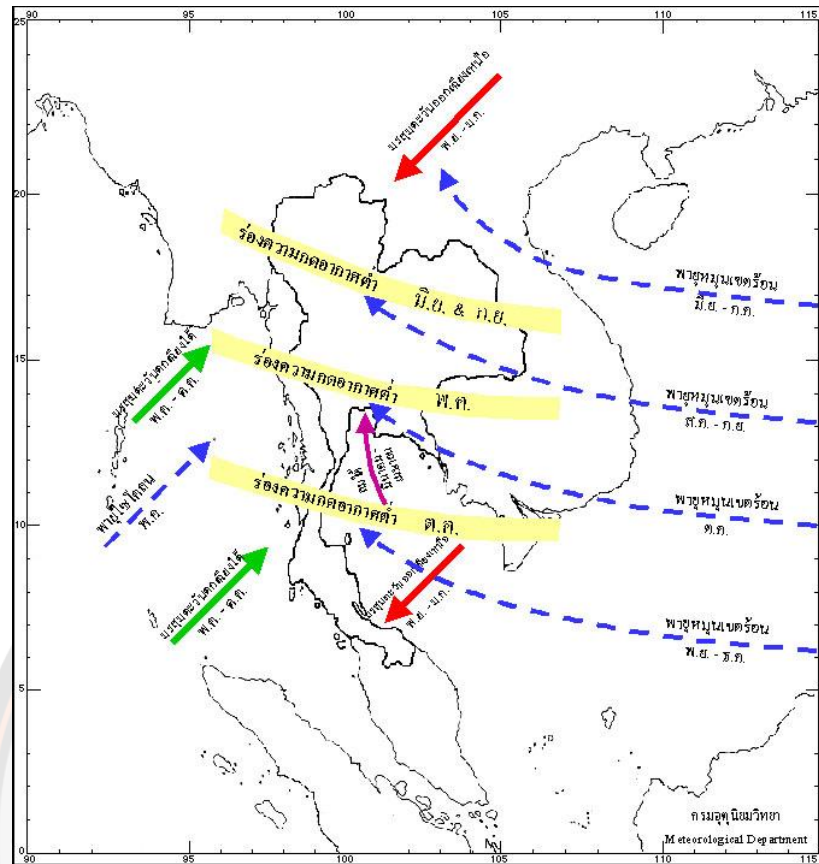
2.1.3.2 ร่องความกดอากาศต่ำ ซึ่งเป็นแนวปะทะระหว่างอากาศซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ที่คาดไปรอบๆ โลกคล้ายกับเป็นอีควีเตอร์ของอากาศ แต่จะเคลื่อนไปมาได้ตามแนวโคจรของดวงอาทิตย์ (declination) แนวนี้จะมีชื่อเรียกได้หลายอย่าง เช่น ร่องมรสุม (monsoon trough) หรือร่องความกดอากาศต่ำ (low pressure trough) เพราะเป็นแนวที่มีความกดอากาศต่ำ และแบ่งลมมรสุมออกเป็น 2 ฝ่าย คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ หรือจะเรียกว่าแนวปะทะเขตร้อน (Intertropical convergence zone) ซึ่งร่องความกดอากาศต่ำนี้มักจะมีฝนตกชุก เพราะมีการยกตัวของอากาศขึ้นสู่เบื้องบน มีการก่อตัวของเมฆ ทำให้เกิดฝนตกเป็นบริเวณกว้าง โดยเฉพาะเมื่อมีกระแสลมวนอยู่ในแนวนี้ด้วยจะทำให้มีฝนตกหนักได้

ร่องความกดอากาศต่ำนี้จะเริ่มพาดอยู่ในแนวละติจูดของประเทศไทยประมาณเดือนพฤษภาคม ซึ่งในแต่ละปีอาจเร็วหรือช้ากว่านี้ได้ โดยพาดผ่านภาคใต้ก่อนแล้วจึงเลื่อนขึ้นไปพาดผ่านภาคกลางและภาคเหนือตามลำดับ เมื่อร่องความกดอากาศต่ำนี้เคลื่อนผ่านพื้นที่ประเทศไทยจนไปพาดอยู่บริเวณประเทศจีนตอนใต้แล้ว ประเทศไทยจะไม่ค่อยมีฝนตก ซึ่งจะอยู่ในช่วงกลางฤดูฝนประมาณเดือนมิถุนายนต่อต้นเดือนกรกฎาคม ซึ่งจะเรียกว่า ช่วงฝนทิ้ง (dry spell) โดยจะมีระยะเวลาประมาณ 7 วันจนถึง 1 เดือน อาจทำให้เกิดความแห้งแล้งและผลเสียหายทางด้านเกษตรกรรมได้ (ปราณี, 2532)

2.1.3.3 พายุหมุนเขตร้อน เป็นพายุที่เกิดขึ้นในเขตร้อน คือบริเวณละติจูดระหว่าง $23 \frac{1}{2}^{\circ}N$ และ $23 \frac{1}{2}^{\circ}S$ ที่ศูนย์กลางพายุเป็นบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำสุด และจะมีลมพัดเวียนเข้าหาศูนย์กลางคล้ายวงก้นหอยในทิศทวนเข็มนาฬิกาสำหรับพายุที่เกิดในซีกโลกเหนือ ส่วนพายุที่เกิดในซีกโลกใต้ลมจะพัดเวียนเข้าหาศูนย์กลางในทิศตามเข็มนาฬิกา โดยในขั้นแรกก่อนที่จะเกิดเป็นพายุหมุนเขตร้อนจะก่อตัวเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำ ต่อมาจะทวีกำลังแรงขึ้นเป็นพายุดีเปรสชัน โดยถือเอาเกณฑ์ความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางไม่เกิน 34 นอต (63 กม./ชม.) แต่ถ้าพายุยังคงทวีกำลังแรงขึ้นเป็นลำดับ และมีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางระหว่าง 34-63 นอต (63-117 กม./ชม.) เรียกว่าพายุโซนร้อน และความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางตั้งแต่ 64 นอต (118 กม./ชม.) ขึ้นไป เรียกว่า พายุไต้ฝุ่น

โดยปกติพายุหมุนเขตร้อนจะก่อตัวขึ้นในทะเลซึ่งมีความชื้นสูง และเมื่อเคลื่อนขึ้นสู่แผ่นดินที่มีความชื้นน้อยกว่า ประกอบกับมีลักษณะภูมิประเทศเป็นสิ่งกีดขวางความรุนแรงทำให้พายุอ่อนกำลังลงและจะสลายตัวไปในที่สุด เดือนเมษายนเป็นเดือนแรกของปีที่พายุเริ่มเคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยทางภาคใต้ แต่มีโอกาสน้อย พายุเริ่มมีโอกาสเคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยมากขึ้นตั้งแต่เดือนพฤษภาคม โดยส่วนใหญ่จะเป็นพายุที่มีแหล่งกำเนิดในอ่าวเบงกอลหรือทะเลอันดามันเคลื่อนมาจากด้านตะวันตกเข้าสู่ประเทศไทยตอนบน และตั้งแต่เดือนมิถุนายนเป็นต้นไปพายุส่วนใหญ่จะมีแหล่งกำเนิดในมหาสมุทรแปซิฟิกหรือทะเลจีนใต้เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยทางด้านตะวันออก โดยระหว่างเดือนมิถุนายน-สิงหาคมทางเดินของพายุส่วนใหญ่จะมีทิศทางไปทางเหนือหรือทิศเหนือก่อนไปทางตะวันตกเข้าสู่ประเทศจีนหรืออ่าวตังเกี๋ย และมีโอกาสที่พายุจะเคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยตอนบนในบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เดือนกันยายน-ตุลาคมแนวทางเดินของพายุจะเริ่มมีทิศทางไปทางตะวันตกมากขึ้นและมีโอกาสเคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยได้ในทุกพื้นที่ สำหรับเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมพายุส่วนใหญ่จะเคลื่อนเข้าสู่ภาคใต้

ฝนที่ตกเนื่องจากพายุหมุนเขตร้อนจะเป็นฝนที่ตกต่อเนื่องเป็นบริเวณกว้าง และมีปริมาณมากในพื้นที่ที่พายุเคลื่อนผ่าน รวมทั้งมีลมแรงก่อให้เกิดความเสียหายได้ทั้งนี้แล้วแต่ความรุนแรงของพายุ (กลุ่มภูมิอากาศ, 2546) สำหรับทางเดินของพายุหมุนเขตร้อน ทิศทางมรสุม และตำแหน่งของร่องความกดอากาศต่ำในช่วงเวลาต่างๆ ของปี แสดงดังภาพ 2



ภาพ 2 ตำแหน่งของร่องความกดอากาศต่ำ ทิศทางมรสุม และทางเดินของพายุหมุนเขตร้อน

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.

2.1.4 การผันแปรและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ภูมิอากาศ (climate) เป็นลักษณะอากาศเฉลี่ย (average weather) สำหรับพื้นที่และในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งสามารถอธิบายในทางสถิติของค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางและการแปรปรวนของปริมาณในองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง เช่น อุณหภูมิ ฝน ความกดอากาศ ความชื้น และลม เป็นต้น หรือการรวมองค์ประกอบดังกล่าว เช่น ชนิดของลักษณะอากาศและปรากฏการณ์ที่เป็นปกติของสถานที่ ภูมิภาค หรือของโลกโดยรวม (World Meteorological Organization, 2011) สำหรับช่วงระยะเวลาของลักษณะอากาศเฉลี่ยอาจตั้งแต่เดือนถึงพันหรือล้านปี โดยทั่วไปจะใช้ระยะเวลา 30 ปี ตามที่กำหนดโดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก

ในปัจจุบันคำว่า การผันแปรและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมักจะมี ความเข้าใจและนำไปใช้สับสนกัน โดยการผันแปรภูมิอากาศเป็นการผันแปรในสภาวะเฉลี่ยและสถิติอื่นๆ ของ

ภูมิอากาศทั้งในหน่วยพื้นที่และเวลา นอกเหนือไปจากการผันแปรของแต่ละเหตุการณ์สภาพอากาศ ซึ่งคำว่า "การผันแปรภูมิอากาศ" มักจะใช้เพื่อแสดงการเบี่ยงเบนของสถิติภูมิอากาศในช่วงเวลาที่กำหนด (เช่น เดือน ฤดูกาล หรือปี) เมื่อเปรียบเทียบกับสถิติภูมิอากาศระยะยาวสำหรับช่วงเวลาเดียวกันของปีปฏิทิน การผันแปรอาจเนื่องมาจากกระบวนการภายในที่อยู่ในระบบภูมิอากาศ หรือจากการผันแปรของปัจจัยภายนอกในธรรมชาติหรือการกระทำของมนุษย์ (World Meteorological Organization, n.d.)

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศตามความหมายของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่สามารถพิสูจน์ได้ทางสถิติ จากการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยหรือการแปรผันในคุณสมบัติ และการเปลี่ยนแปลงนี้คงอยู่ต่อเนื่องเป็นเวลานาน โดยทั่วไปหลายสิบปีหรือนานกว่านั้น ซึ่งหมายรวมถึงการเปลี่ยนแปลงใดๆ ทางภูมิอากาศไม่ว่าจะเนื่องมาจากความผันแปรตามธรรมชาติหรือเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งแตกต่างจากความหมายที่ใช้ตามกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) ที่ว่าการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ หมายถึงการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศอันเป็นผลทางตรงและทางอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ ที่ทำให้องค์ประกอบของบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไป นอกเหนือจากการผันแปรตามธรรมชาติ (IPCC, 2008)

2.1.5 ความผันแปรภูมิอากาศและความแห้งแล้ง

โดยทั่วไปภูมิอากาศจะกำหนดจากค่าเฉลี่ยในระยะเวลา 30 ปี ซึ่งปกติภูมิอากาศจะผันแปรทั้งในหน่วยเวลาที่ยาวและสั้น สำหรับการผันแปรในหน่วยเวลา 2-3 ปีถึง 20-30 ปี (น้อยกว่าช่วงเวลามาตรฐานในการเฉลี่ยภูมิอากาศ) จะหมายถึงการผันแปรภูมิอากาศ ส่วนการผันแปรในหน่วยเวลาที่มากกว่า 30 ปี (มากกว่าช่วงเวลามาตรฐานในการเฉลี่ยภูมิอากาศ) จะหมายถึงการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Oglesby, 2009)

ความแห้งแล้งในประเทศไทยส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากการผันแปรของภูมิอากาศ ที่ส่งผลให้สภาพอากาศร้อนและมีฝนตกน้อยกว่าปกติ ที่มีสาเหตุเนื่องจากความผิดปกติของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2536) ได้แก่

1) สภาวะอากาศในฤดูร้อนที่ร้อนมากกว่าปกติ

โดยปกติแล้วในช่วงฤดูร้อน บริเวณความกดอากาศสูงที่มีคุณสมบัติร้อนขึ้นจากมหาสมุทรแปซิฟิก (Sub-Tropical High Pressure Area) จะแผ่เข้ามาปกคลุมประเทศไทยเป็นครั้งคราว ถ้าปีใดความกดอากาศสูงดังกล่าวแผ่เข้ามาปกคลุมประเทศไทยบ่อยครั้งและติดต่อกันเป็นระยะเวลานานแล้ว ในปีนั้นอากาศในประเทศไทยจะร้อนกว่าปกติ

2) การพัดพาของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

โดยปกติในช่วงฤดูฝน มรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะพัดนำเอาความชื้นจากทะเลเข้าสู่ประเทศไทยทำให้เกิดฝนตกเป็นประจำ ถ้าหากว่าปีใดมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เกิดในช่วงระยะเวลาสั้นๆ จะขาดความชื้นที่จะสนับสนุนให้เกิดฝนได้แล้ว ปีนั้นปริมาณฝนจะน้อยกว่าปกติ สภาพความแห้งแล้งจะเกิดขึ้นได้

3) ตำแหน่งร่องมรสุม ทำให้ฝนตกในพื้นที่ไม่ต่อเนื่อง

โดยปกติร่องมรสุมจะเคลื่อนตามแนวโคจรของดวงอาทิตย์ผ่านประเทศไทยใน 2 ช่วง คือ ช่วงแรกประมาณเดือนมีนาคม-กรกฎาคม เคลื่อนจากใต้ไปเหนือ และช่วงหลังประมาณเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายน จากเหนือลงใต้ ซึ่งในการเคลื่อนที่ 2 ช่วง จะทำให้เกิดฝนตกในบริเวณที่เคลื่อนผ่านอย่างต่อเนื่อง แต่ในบางปีตำแหน่งของการเกิดร่องมรสุมจะไม่ต่อเนื่องและไม่ชัดเจน จึงทำให้ปีนั้นปริมาณฝนน้อยกว่าปกติ

4) พายุดีเปรสชันเคลื่อนผ่านประเทศไทยน้อยกว่าปกติ

โดยปกติแล้ว ถ้าประเทศไทยมีพายุดีเปรสชันเคลื่อนผ่านเข้ามาในช่วงฤดูฝนปีละประมาณ 3-4 ลูก ในช่วงเวลาที่ห่างกันพอสมควรแล้ว จะเป็นผลดีอย่างมากต่อการเกษตรกรรมของประเทศไทย ในทางตรงกันข้ามถ้าปีใดประเทศไทยมีพายุดีเปรสชันเคลื่อนผ่านเข้ามาเพียง 1-2 ลูก หรือไม่มีพายุดีเปรสชันเลย ปีนั้นประเทศไทยจะเกิดปัญหาความแห้งแล้ง

จะเห็นได้ว่าความแห้งแล้งในประเทศไทยนั้นจะเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัยหรือมีสาเหตุการเกิดหลายประการด้วยกัน และโดยปกติความแห้งแล้งในประเทศไทย จะเกิดใน 2 ช่วง ได้แก่

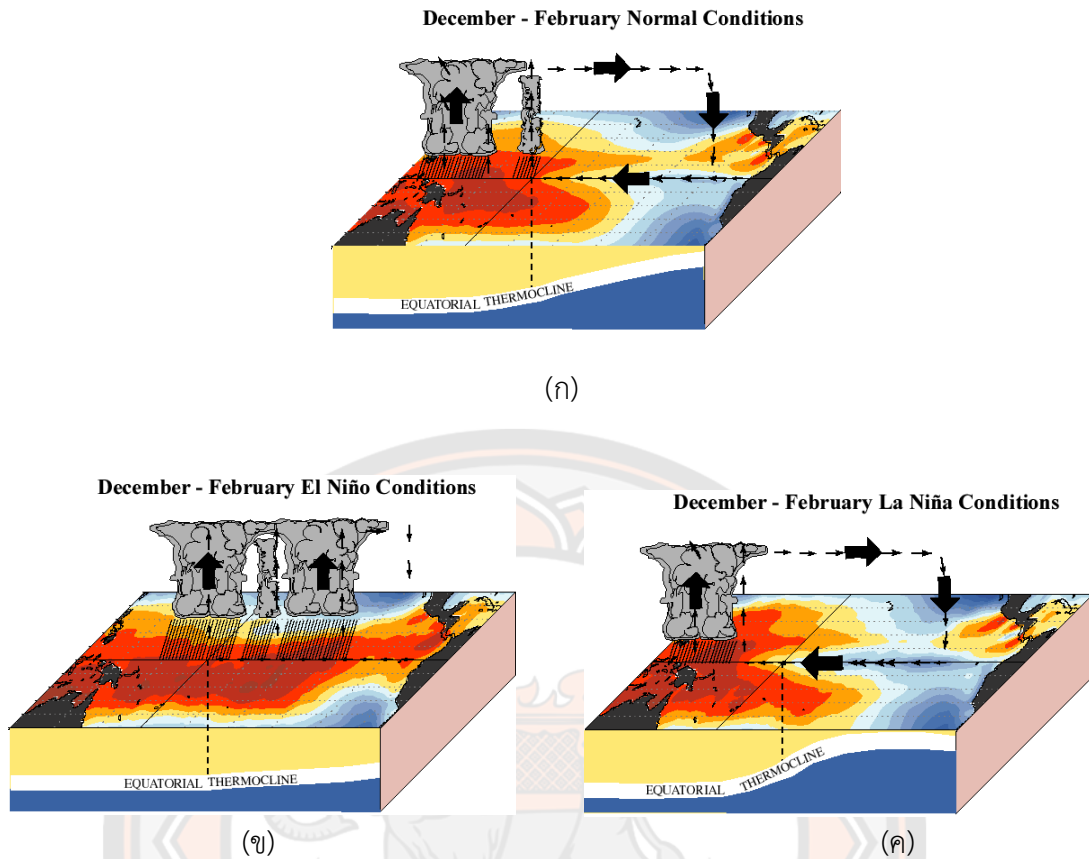
1) ช่วงฤดูหนาวต่อเนื่องถึงฤดูร้อน กล่าวคือ ช่วงตั้งแต่สิ้นฤดูฝน (ครึ่งหลังของเดือนตุลาคมเป็นต้นไป) บริเวณประเทศไทยตอนบนจะมีปริมาณฝนลดลงเป็นลำดับ และมีฝนน้อยจนกระทั่งเข้าสู่ฤดูฝนใหม่อีกครั้งหนึ่งในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมของปีถัดไป ซึ่งลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี ปริมาณฝนที่ตกในช่วงนี้จะน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับฝนที่ตกในฤดูฝน แต่ถ้าปีใดฝนที่ตกในฤดูฝนที่มาก่อนหน้านี้หรือประกอบกับฝนที่ตกในช่วงนี้มีปริมาณน้อยกว่าปกติก็จะทำให้เกิดความแห้งแล้งขึ้น

2) ประมาณกลางฤดูฝน (ปลายเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม) จะมีฝนทิ้งช่วงเกิดขึ้นประมาณ 1-2 สัปดาห์ โดยปริมาณฝนในช่วงดังกล่าวนี้จะลดลง แต่ถ้าปีใดปริมาณฝนที่ตกในช่วงต้นฤดูฝนมีน้อยหรือประกอบกับเกิดฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานานกว่าปกติก็จะทำให้เกิดความแห้งแล้งและส่งผลกระทบต่อเกษตรได้

2.1.6 เอลนีโญและลานีญา (El Niño and La Niña)

เอลนีโญ เป็นปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในตอนกลางและตอนกลางค่อนไปทาง ตะวันออก (central and east-central) ของมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อนหรือเขตศูนย์สูตรอุ่นขึ้นกว่า ปกติ ส่วนลานีญาเป็นปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณดังกล่าวเย็นลงกว่าปกติ สำหรับคำว่า เอนโซ่ (Enso - El Niño / Southern Oscillation) จะเกี่ยวกับการเชื่อมโยงและการผันแปรของ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล ฝนที่ก่อตัวในแนวตั้ง (convective rainfall) ความกดอากาศผิวพื้น และการ หมุนเวียนทั่วไป (general circulation) ที่เกิดขึ้นบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกเขตศูนย์สูตร กล่าวคือ เอลนีโญเป็นสภาวะอุ่น (warm phase) ของเอนโซ่และลานีญาเป็นสภาวะเย็น (cold phase) ของ เอนโซ่ โดยในช่วงที่เกิดเอลนีโญจะสังเกตเห็นความกดอากาศต่ำกว่าปกติบริเวณด้านตะวันออกของ มหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อนและความกดอากาศสูงกว่าปกติบริเวณประเทศอินโดนีเซียและด้าน ตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน ซึ่งรูปแบบของความกดอากาศนี้จะเกี่ยวเนื่องต่อการอ่อน กำลังของลมตะวันออกเฉียงใต้ประจำในเขตศูนย์สูตรหรือลมค้าตะวันออก (easterly trade winds) (Climate Prediction Center, 2005)

ปกติลมค้าจะพัดปกคลุมบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกเขตศูนย์สูตร โดยพัดจากทิศตะวันออก ไปทิศตะวันตก ลมนี้จะพัดพามวลอากาศอุ่นขึ้นและผิวน้ำทะเลที่อุ่นไปสะสมอยู่ด้านตะวันตกของ มหาสมุทรแปซิฟิกในรูปของแอ่งน้ำอุ่นขนาดใหญ่ (warm pool) อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่อุ่นจะทำให้เกิด การถ่ายเทความร้อนและความชื้นเข้าสู่บรรยากาศซึ่งเป็นขบวนการที่เรียกว่า การยกตัวของ บรรยากาศ (atmospheric convection) อากาศที่อุ่นจะยกตัวขึ้นไปสู่บรรยากาศและถ้ามีความชื้น เพียงพอจะทำให้เกิดการก่อตัวของเมฆและฝน อากาศที่แห้งกว่าจะเคลื่อนที่ไปทางตะวันออกและจม ตัวลงสู่ชั้นบรรยากาศระดับล่างบริเวณด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งรูปแบบของการยกตัว ของอากาศทางด้านตะวันตกและจมตัวลงทางด้านตะวันออก รวมทั้งการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก ของอากาศบริเวณผิวพื้น เป็นการหมุนเวียนแบบวอล์คเกอร์ (The Walker Circulation) (ภาพ 3(ก))



ภาพ 3 สถานะปกติ (ก) สถานะเอลนีโญ (ข) และสถานะลานีญา (ค)

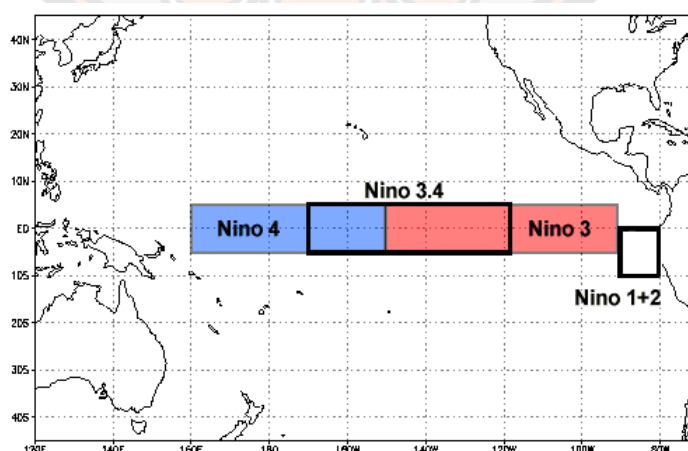
ที่มา: Climate Prediction center, 2005

ในช่วงเอลนีโญลมค้าตะวันออกเฉียงใต้ในบรรยากาศระดับล่างจะอ่อนกำลังลง ส่งผลให้อ่างน้ำอุ่นขนาดใหญ่ซึ่งเป็นบริเวณที่เกี่ยวข้องกับการก่อตัวของเมฆและฝนในแนวตั้งเคลื่อนไปอยู่บริเวณตอนกลางและด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิก ส่วนลมตะวันตกที่พัดอยู่ในบรรยากาศระดับบนก็จะมีกำลังอ่อนลง ซึ่งแสดงถึงการหมุนเวียนแบบวอร์คเกอร์มีกำลังที่อ่อนกว่าปกติ สำหรับการอุ่นขึ้นกว่าปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะเกี่ยวข้องกับการลึกลงของรอยต่อระหว่างชั้นน้ำอุ่นและน้ำเย็นที่เรียกว่า เทอร์โมไคลด์ (Thermocline) บริเวณตอนกลางและด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิก ประกอบกับการอ่อนกำลังลงของขบวนการไหลขึ้น (upwelling) ของน้ำที่เย็นกว่าจากระดับล่างของมหาสมุทรชั้นมายังผิวน้ำบริเวณทางตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลยิ่งอุ่นขึ้น (Bureau of Meteorology. Australia, 2014) (ภาพ 3(ข)) ดังนั้นในช่วงเอลนีโญ บริเวณตอนกลางและด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกจึงมีฝนมากกว่าปกติ ขณะที่บริเวณทางตอนเหนือของประเทศออสเตรเลีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์จะมีฝนตกน้อยกว่าปกติ

สำหรับลานีญาเป็นปรากฏการณ์ที่ตรงข้ามกันกับเอลนีโญ ซึ่งในช่วงที่เกิดลานีญา บริเวณประเทศอินโดนีเซียและด้านตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อนจะมีความกดอากาศต่ำกว่าปกติและบริเวณด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อนมีความกดอากาศสูงกว่าปกติ สมค้าตะวันออกเฉียงใต้จะแห้งแล้งและหนาวเย็นแบบวอร์คเกอร์จะแรงขึ้นกว่าปกติ แอ่งน้ำอุ่นขนาดใหญ่และบริเวณที่มีเมฆและฝนก่อตัวในแนวตั้งจะถูกจำกัดอยู่บริเวณด้านตะวันตกสุดของมหาสมุทรแปซิฟิก ส่วนบริเวณด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกอุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเลจะเย็นกว่าปกติ และระดับเทอร์โมไคลด์เคลื่อนขึ้นใกล้กับผิวน้ำเนื่องจากขบวนการไหลขึ้นของน้ำที่เย็นกว่าจากระดับล่างของมหาสมุทรมายังผิวน้ำมีความรุนแรง (Bureau of Meteorology. Australia, 2014) (ภาพ 3(ค)) อุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเลที่เย็นกว่าปกติจะยับยั้งการก่อตัวของเมฆและฝนในบริเวณดังกล่าว ในขณะที่จะมีฝนตกมากบริเวณประเทศอินโดนีเซียและทางตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก

ตัวบ่งชี้การเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญามีหลายอย่าง ตัวบ่งชี้ที่สำคัญคือ

- Oceanic Niño Index (ONI) จะพิจารณาจากอุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเลที่ต่างจากค่าปกติในบริเวณ Nino 3.4 (ละติจูด 5°N - 5°S , ลองจิจูด 120° - 170°W) ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดพื้นที่ที่เกิดเอลนีโญและลานีญาในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อนเป็น 5 บริเวณ ดังภาพ 4 เพื่อประโยชน์ในการติดตามเอลนีโญและลานีญา โดย ONI เป็นค่าเฉลี่ยของผลต่างจากค่าปกติของอุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเลในระยะเวลา 3 เดือนต่อเนื่องกัน (running mean) บริเวณ Nino 3.4 และมีการคำนวณ ONI เดือนละครั้ง ซึ่ง ONI ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ +5 หมายถึงช่วงที่เป็นสภาวะอุ่นหรือเอลนีโญ และค่า ONI ที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ -5 หมายถึงช่วงที่เป็นสภาวะเย็นหรือลานีญา รวมทั้งค่า ONI ที่แสดงว่าเป็นสภาวะอุ่นหรือเย็นจะต้องเกิดขึ้นต่อเนื่องกันอย่างน้อย 5 ครั้ง



ภาพ 4 พื้นที่ Niño

ที่มา: National Centers for Environmental Information, n.d.

- Southern Oscillation Index (SOI) เป็นการวัดการผันแปรของความกดอากาศที่เกิดขึ้นในพื้นที่ขนาดใหญ่ระหว่างด้านตะวันตกและด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน ในช่วงที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญา โดย SOI จะพิจารณาจากความแตกต่างของความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลที่ตรวจวัดได้ระหว่างเมือง Darwin ประเทศออสเตรเลีย (ตัวแทนของบริเวณด้านตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน) และเกาะ Tahiti (ตัวแทนของบริเวณด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน) ค่า SOI เป็นลบ แสดงถึงความกดอากาศต่ำกว่าปกติที่ Tahiti และสูงกว่าปกติที่ Darwin ซึ่งช่วงระยะเวลานานที่ SOI มีค่าเป็นลบจะสอดคล้องกับผิวน้ำทะเลที่อุ่นกว่าปกติ บริเวณด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกตามลักษณะของช่วงที่เกิดเอลนีโญ ในทางตรงกันข้ามถ้าช่วงระยะเวลานานที่ SOI มีค่าเป็นบวกจะสอดคล้องกับผิวน้ำทะเลที่เย็นกว่าปกติของบริเวณดังกล่าว ตามลักษณะของช่วงที่เกิดลานีญา

ทั้งเอลนีโญและลานีญาเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศเหนือมหาสมุทร และบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นก่อให้เกิดผลกระทบไม่เพียงแต่ในขอบเขตมหาสมุทรแปซิฟิกและบริเวณใกล้เคียงเท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบต่อพื้นที่ซึ่งอยู่ไกลออกไปด้วย สำหรับประเทศไทยการผันแปรของฝนขึ้นอยู่กับหลายตัวแปรซึ่งปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งที่อาจมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน โดยมันทนา และณรงค์นาค (2545) ได้ศึกษาพบว่าในปีเอลนีโญปริมาณฝนของประเทศไทยส่วนใหญ่ต่ำกว่าปกติ และสูงกว่าปกติในปีลานีญา โดยเฉพาะฤดูร้อนและต้นฤดูฝนเป็นระยะที่เอลนีโญและลานีญา มีผลกระทบต่อสภาวะฝนของประเทศไทยชัดเจนกว่าช่วงอื่น

2.1.7 การติดตามและพยากรณ์ความแห้งแล้ง

ความแห้งแล้งเป็นเหตุการณ์ทางภูมิอากาศที่มีการเกิดซ้ำ ส่งผลให้เกิดการขาดแคลนน้ำ การสูญเสียทางเศรษฐกิจ และผลกระทบทางสังคม การเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับสถานการณ์ความแห้งแล้งจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ รวมทั้งมีความต้องการวิธีการที่เหมาะสมในการบอกจำนวนผลกระทบของความแห้งแล้ง การติดตาม และรายงานการพัฒนาของสถานการณ์ภัยแล้ง (Thenkabail et al., 2004) โดยในปัจจุบันเทคนิควิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์และกำหนดสภาวะความแห้งแล้งมีหลายวิธี ได้แก่

1) การใช้ตัวบ่งชี้ (Indicator) ที่เกี่ยวกับความแห้งแล้ง ซึ่งตัวบ่งชี้ได้จากการวัดตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา อุทกวิทยา การเกษตร และเศรษฐกิจสังคม ที่แสดงศักยภาพของความแห้งแล้งที่เกี่ยวกับการขาดแคลนน้ำ เช่น ปริมาณฝน ระดับน้ำในแม่น้ำ ความชื้นในดิน น้ำใต้ดิน (Ground water) ปริมาณกักเก็บของอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลผลกระทบของความแห้งแล้ง รายงานสภาวะพืชและผลผลิต เป็นต้น

2) การใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ซึ่งสามารถทำได้โดยวิธีการ

2.1) ดรรชนีความแห้งแล้ง (Index) ซึ่งเป็นวิธีการที่จะได้สารสนเทศเกี่ยวกับความแห้งแล้งโดยการเปรียบเทียบสภาวะปัจจุบันกับสารสนเทศในอดีตที่ผ่านมาโดยยึดหลักการคำนวณทางสถิติ เช่น ดรรชนี Standardized Precipitation Index (SPI) และดรรชนี Palmer Drought Severity Index (PDSI) เป็นต้น

2.2) แบบจำลอง (Model) ทางคณิตศาสตร์ที่ให้ผลลัพธ์เกี่ยวกับตัวบ่งชี้ของความแห้งแล้ง เช่น แบบจำลองความชื้นในดิน (Soil moisture model) และ แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff model) เป็นต้น

3) การใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกล (Remote sensing) ที่ได้จากดาวเทียม ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการติดตามและตรวจวัดความแห้งแล้ง โดยนำข้อมูลการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นต่างๆ ที่ตรวจวัดได้มาคำนวณหา ดรรชนีที่บ่งชี้ถึงความแห้งแล้ง เช่น ดรรชนีชี้วัดของพืชพรรณ (Vegetation condition index: VCI) ดรรชนีความเครียดจากการขาดน้ำของพืช (Crop water stress index) เป็นต้น

ความแห้งแล้งเป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อน และตัวบ่งชี้เพียงหนึ่งชนิดอาจจะไม่เพียงพอสำหรับอธิบายคุณลักษณะของความแห้งแล้งทั้งหมด แม้ว่าความแห้งแล้งจะเกิดขึ้นจากการขาดแคลนน้ำเป็นระยะเวลานานก็ตาม การบูรณาการข้อมูลฝนกับตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับความแห้งแล้งจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการติดตามสถานการณ์ความแห้งแล้งที่มีประสิทธิภาพและระบบเตือนภัยล่วงหน้า (Wilhite, 2005)

โดยในช่วง 20 ปีที่ผ่านมามีความสนใจในระดับโลกและมีการพัฒนา ดรรชนีใหม่เพิ่มขึ้นที่เหมาะสมสำหรับระดับและการใช้งานที่แตกต่างกันทั้งเชิงพื้นที่และเวลา เครื่องมือใหม่เหล่านี้ทำให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจและผู้กำหนดนโยบายมีทางเลือกมากขึ้น (World Meteorological Organization and Global Water Partnership, 2016)

สำหรับการพยากรณ์ความแห้งแล้งตามปกติแล้วจะทำโดยใช้ข้อมูลการพยากรณ์ตัวแปรภูมิอากาศรายเดือนจนถึงรายฤดูเป็นข้อมูลนำเข้าของ ดรรชนีความแห้งแล้ง โดยทั่วไปแล้วจะมีวิธีการพยากรณ์ความแห้งแล้ง 2 แบบ คือ

1) วิธีการทางสถิติ (Statistical method) ซึ่งหลายเทคนิคทางสถิติ เช่น Autoregressive Moving Average (ARMA), Independent Component Analysis (ICA) และ Artificial Neural Network (ANN) เป็นต้น ได้ถูกนำมาใช้สำหรับพยากรณ์ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาที่บ่งชี้ถึงความแห้งแล้ง

2) วิธีพลวัต (Dynamic method) เป็นวิธีที่ขึ้นอยู่กับแบบจำลองลักษณะอากาศหรือภูมิอากาศ ซึ่งการพยากรณ์ความแห้งแล้งโดยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับพยากรณ์ตัวแปรภูมิอากาศที่เกี่ยวข้อง

และการคำนวณดรชนีความแห้งแล้งจากตัวแปรภูมิอากาศนั้น นอกจากนี้ข้อมูลการพยากรณ์ตัวแปรภูมิอากาศ เช่น ปริมาณฝนและอุณหภูมิ ยังสามารถนำเข้าแบบจำลองพื้นผิวดิน (land surface model) เพื่อพยากรณ์ความชื้นในดินและน้ำท่าซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความแห้งแล้งทางการเกษตรและอุทกวิทยา

2.2 ดรชนีความแห้งแล้ง

ดรชนีความแห้งแล้ง คือ ดรชนีที่เกี่ยวข้องกับบางส่วนของผลกระทบสะสมจากการขาดแคลนความชื้นที่ผิดปกติและเป็นเวลานาน (World Meteorological Organization, 1986) ซึ่งในทางอุตุนิยมวิทยาโดยปกติแล้ววิธีที่ใช้ในการเข้าถึงสถานการณ์ความแห้งแล้ง คือการสร้างดรชนีโดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ซึ่งถ้าดรชนีมีสมการที่เหมาะสมและมีข้อจำกัดเป็นที่รู้จักดีแล้วดรชนีนั้นจะเป็นประโยชน์อย่างมาก (Dunkel, 2009)

2.2.1 ดรชนีความแห้งแล้งที่ได้จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่

2.2.1.1 Percent of Normal Index: PNI

วิธีการวิเคราะห์ความเบี่ยงเบนที่แตกต่างไปจากค่าปกติของปริมาณฝน ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเมื่อใช้วิเคราะห์สำหรับพื้นที่เดียวหรือฤดูกาลเดียว โดยคำนวณจากสมการ

$$PNI = \frac{P}{\bar{P}} \times 100 \quad (2.1)$$

เมื่อ P คือ ปริมาณฝน

\bar{P} คือ ค่าปกติของปริมาณฝน (ค่าเฉลี่ย 30 ปีของปริมาณฝน)

ดรชนี PNI สามารถคำนวณได้หลากหลายรายช่วงเวลาต่างๆ โดยทั่วไปช่วงเวลาเป็นรายเดือน รายฤดูกาล หรือรายปี โดยค่าปกติของฝนในหนึ่งพื้นที่ที่กำหนดนั้นจะเท่ากับ 100 % และเนื่องจากมีความแตกต่างของปริมาณฝนที่บันทึกในแต่ละสถานที่และเวลา จึงไม่สามารถเปรียบเทียบค่าดรชนี PNI กับต่างสถานที่ได้ (Willeke et al., 1994)

ดรชนี PNI เป็นที่นิยมสำหรับการสื่อสารระดับความแห้งแล้งต่อสาธารณะ และเนื่องจากความเรียบง่ายในการตรวจวัดฝนในภูมิภาคจึงเป็นดรชนีที่ดีและมีประสิทธิภาพที่สุดที่ใช้ในประเทศอิหร่านสำหรับอธิบายลักษณะความแห้งแล้ง (Eslamian et al., 2017) สำหรับการจำแนกระดับความรุนแรงของดรชนี PNI ดังตาราง 1

ตาราง 1 การจำแนกระดับความรุนแรงของดรรรชนี PNI

ค่าดรรรชนี PNI	ระดับ
มากกว่า 80	ปกติ (Normal)
70 ถึง 80	แห้งแล้งเล็กน้อย (Weak drought)
55 ถึง 70	แห้งแล้งปานกลาง (Moderately drought)
40 ถึง 50	แห้งแล้งรุนแรง (Severe drought)
น้อยกว่า 40	แห้งแล้งรุนแรงที่สุด (Extreme drought)

ที่มา: Eslamin et al., 2017

2.2.1.2 Standardized Precipitation Index: SPI

พัฒนาขึ้นจากแนวคิดของ (McKee et al., 1993) เพื่อเฝ้าดูสถานะแห้งแล้งในช่วงเวลาต่างๆ ที่กำหนด เช่น 1 เดือน, 2 เดือน, 3 เดือน....จนถึง 12 เดือน จากปริมาณฝนสะสมในช่วงเวลาที่สนใจโดยดรรรชนี SPI ยึดหลักการของความน่าจะเป็นของปริมาณฝนสำหรับช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งความน่าจะเป็นของปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จะถูกแปลงเป็นดรรรชนี (World Meteorological Organization, 2012)

Thom (1966) พบการกระจายในรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงแบบแกมมา (Gamma Distribution) จะเข้ากันพอเหมาะกับรูปแบบการกระจายของฝนในระยะยาว แต่เนื่องจากค่าดรรรชนี SPI จะต้องใช้ฝนรวมเป็นหลักจึงได้พิจารณาจากฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (cumulative probability density function) ของปริมาณฝนรวม แล้วทำการแปลง (transform) ให้เป็นค่าปกติมาตรฐาน Z ซึ่งจะได้ค่า SPI ที่ต้องการแล้วนำมาจัดรูปแบบความรุนแรงที่บอกถึงระดับความชุ่มชื้นและความแห้งแล้งของปริมาณฝนในแต่ละพื้นที่

ฟังก์ชันการแจกแจงแบบแกมมาจะกำหนดโดยฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็น (Probability density function: $g(x)$) ดังนี้

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{เมื่อ } x > 0 \quad (2.2)$$

โดยที่ $\alpha > 0$, $\beta > 0$ และ $x > 0$
 α คือ shape parameter

β คือ scale parameter

x คือ ปริมาณฝน

$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$ คือ แกมมาฟังก์ชัน

โดยค่าประมาณของ α และ β คือ

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2.3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (2.4)$$

และ

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (2.5)$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลฝน

ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นสะสม (Cumulative probability density function: $G(x)$) ดังสมการ

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (2.6)$$

ถ้าให้ $t = x/\hat{\beta}$ จะได้

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (2.7)$$

เนื่องจากแกมมาฟังก์ชันจะหาค่าไม่ได้เมื่อ $x = 0$ แต่โดยทั่วไปแล้วปริมาณฝนจะมีค่า 0 (ไม่มีรายงานฝนตก) ดังนั้นจึงต้องแปลงฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นสะสม ดังนี้

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (2.8)$$

เมื่อ q คือ ความน่าจะเป็นที่จะไม่มีรายงานฝนตก ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนวันที่ไม่มีฝนตก (m) หารด้วยจำนวนวันที่เราศึกษา (n) จากนั้นนำค่า $H(x)$ มาแปลงเป็นค่าปกติมาตรฐาน (standard normal) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งคือค่า SPI นั้นเอง ซึ่งมีสมการในการประมาณค่า Z หรือ SPI โดย Abramowitz and Stegun (1965) ดังนี้

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{เมื่อ } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (2.9)$$

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{เมื่อ } 0.5 < H(x) < 1 \quad (2.10)$$

โดยที่ $t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)}$ เมื่อ $0 < H(x) \leq 0.5$ (2.11)

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)}$$
 เมื่อ $0.5 < H(x) < 1$ (2.12)

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517 & d_1 &= 1.432788 \\ c_1 &= 0.802853 & d_2 &= 0.189269 \\ c_2 &= 0.010328 & d_3 &= 0.001308 \end{aligned}$$

สำหรับเกณฑ์การจำแนกระดับความรุนแรงของดรชนี SPI ดังตาราง 2

ตาราง 2 การจำแนกระดับความรุนแรงของดรชนี SPI

ค่าดรชนี SPI	ระดับ
มากกว่าหรือเท่ากับ 2	ชุ่มชื้นมากที่สุด
1.50 ถึง 1.99	ชุ่มชื้นมาก
1.00 ถึง 1.49	ชุ่มชื้นปานกลาง
-0.99 ถึง 0.99	ใกล้เคียงค่าปกติ
-1.00 ถึง -1.49	แห้งแล้งปานกลาง
-1.50 ถึง -1.99	แห้งแล้งรุนแรง
น้อยกว่าหรือเท่ากับ -2	แห้งแล้งรุนแรงที่สุด

ที่มา: World Meteorological Organization, 2012

โดยในปี พ.ศ. 2552 มีการประชุมเชิงปฏิบัติการระดับภูมิภาคในเรื่องดรชนีและระบบเตือนภัยสำหรับความแห้งแล้งที่ประเทศสหรัฐอเมริกาและมีการอนุมัติปฏิญญาลิงคอล์นซึ่งเสนอแนะให้หน่วยงานอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาแห่งชาติทั่วโลกใช้ดรชนี SPI เพื่อแสดงลักษณะความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา ร่วมกับดรชนีความแห้งแล้งอื่นที่ใช้อยู่ในหน่วยงาน นอกจากนี้ยังได้เสนอแนะให้มีการพัฒนาคู่มือการใช้ดรชนี SPI ต่อมาปี พ.ศ. 2554 ในการประชุมอุตุนิยมวิทยาโลกครั้งที่ 16 ได้มีมติรับรองข้อเสนอแนะทั้งสองนี้ และให้มีการจัดทำและเผยแพร่คู่มือดรชนี SPI ในภาษาต่างๆ ทางราชการทั้งหมดของสหประชาชาติ (World Meteorological Organization, 2012)

2.2.1.3 Deciles Index

Gibbs and Maher (1967) ได้พัฒนาเทคนิคของการจัดลำดับข้อมูลปริมาณฝนออกเป็น 10 ช่วงเท่าๆ กัน เพื่อเป็นตัวบ่งบอกถึงความแห้งแล้ง โดยเทคนิคนี้จะแบ่งการแจกแจงของปริมาณฝนที่ได้ถูกบันทึกในช่วงเวลาที่ยาวนานนั้นออกเป็น 10 ช่วงของการแจกแจง และเรียกแต่ละช่วงนี้ว่า Deciles โดย Deciles แรกจะเป็นปริมาณฝนที่ไม่เกินกว่า 10% ต่ำสุดของปริมาณฝนซึ่งเคยเกิดขึ้น สำหรับ Deciles ลำดับที่สอง คือ ปริมาณฝนที่ไม่เกินกว่า 20% ต่ำสุดของปริมาณฝนที่เคยเกิดขึ้น และจะคำนวณต่อเนื่องจนกระทั่งปริมาณฝนได้กำหนดถึง deciles ลำดับที่สิบ คือ ปริมาณฝนมากที่สุดที่ได้ถูกบันทึกในช่วงเวลาที่ยาวนานนั้น สำหรับเกณฑ์การจำแนกระดับความรุนแรงของดรชนี Deciles ดังตาราง 3

ตาราง 3 การจำแนกระดับความรุนแรงของดรชนี Deciles

Deciles	ระดับ
deciles 1-2 : ต่ำสุด 20%	ต่ำกว่าปกติมาก
deciles 3-4 : ถัดจากต่ำสุด 20%	ต่ำกว่าปกติ
deciles 5-6 : กึ่งกลาง 20%	ใกล้เคียงปกติ
deciles 7-8 : ถัดจากสูงสุด 20%	สูงกว่าปกติ
deciles 9-10 : สูงสุด 20%	สูงกว่าปกติมาก

ที่มา: Gibbs and Maher, 1967

วิธี deciles ได้ถูกเลือกสำหรับการตรวจวัดความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาในระบบการติดตามความแห้งแล้งของออสเตรเลีย (Australian Drought Watch System) เนื่องจากการคำนวณง่ายกว่า ต้องการข้อมูลน้อยกว่า และมีสมมุติฐานน้อยกว่า Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Smith et al., 1993) ข้อเสียอย่างหนึ่งของระบบ deciles คือ การบันทึกภูมิอากาศที่ยาวนานมีความจำเป็นเพื่อที่จะคำนวณ Deciles ได้แม่นยำ (Sivakumar et al., 2010)

ดรชนีความแห้งแล้งทั้ง 3 ชนิดข้างต้น ได้แก่ Percent of Normal, SPI และ Deciles เป็นลักษณะของดรชนีความแห้งแล้งบนพื้นฐานทางสถิติ ซึ่งเป็นการนำข้อมูลที่ได้เก็บบันทึกมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติในรูปแบบต่างๆ และจำแนกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้ง นอกจากนี้ยังมีดรชนีความแห้งแล้งที่อาศัยหลักพื้นฐานของสมดุลน้ำในดิน โดยพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่เข้ามาและออกจากดินที่บริเวณใดบริเวณหนึ่ง ซึ่งน้ำที่เข้ามาเพื่อเพิ่มความชื้นในดินคือน้ำฝน ส่วนน้ำที่ออกจากดินทำให้ความชื้นในดินลดลงประกอบด้วย น้ำที่สูญเสียไปโดยการคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration) น้ำไหลบ่าผิวดิน (Runoff) และน้ำซึมลงในดิน (Percolation) ซึ่งดรชนีที่ใช้หลักการของสมดุลน้ำอาจไม่ได้ใช้ทุกตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในดิน แต่จะมีตัวแปรหลักที่สำคัญคือ ปริมาณฝนและการคายระเหยน้ำ

สำหรับการคายระเหยน้ำเป็นผลรวมของน้ำที่สูญเสียไปโดยการคายน้ำของพืชและการระเหยจากผิวดินที่พืชขึ้นอยู่ (Allen et al., 1998) นั่นคือการใช้ น้ำของพืช โดยปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพอากาศ ชนิดและอายุของพืช ปริมาณความชื้นในดิน และชนิดของดิน เหล่านี้จะเป็นตัวควบคุมปริมาณการคายระเหยน้ำ สำหรับปัจจัยของสภาพอากาศที่สำคัญซึ่งมีผลต่อการคายระเหยน้ำ ได้แก่ รังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศ เนื่องจากการคายระเหยน้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงใช้วิธีการหาค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำ (Potential evapotranspiration: PE) ซึ่งเป็นการคายระเหยน้ำในบริเวณที่ปกคลุมด้วยพืชที่มีอัตราการใช้น้ำไม่ขึ้นกับอายุและดินมีความชื้นเพียงพอที่พืชจะนำไปใช้ได้ตลอดเวลา เพื่อให้การคายระเหยน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพอากาศอย่างเดียว (วิบูลย์, 2526) หรืออาจกล่าวได้ว่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเป็นปริมาณน้ำที่จะสูญเสียไปจากการคายระเหยน้ำสู่บรรยากาศได้สูงสุดในสภาวะอากาศขณะนั้น และศักยภาพการคายระเหยน้ำจะมีประโยชน์ในการหาการคายระเหยน้ำหรือการใช้น้ำของพืชชนิดต่างๆ ได้จากสมการ

$$ET_{crop} = K_c \times PE \quad (2.13)$$

โดย

ET_{crop} คือ การใช้น้ำของพืชที่ต้องการทราบ [mm]

K_c คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชดังกล่าว

ซึ่งศักยภาพการคายระเหยน้ำ (PE) สามารถหาได้โดยตรงโดยตรงจากการทดลอง ด้วยวิธีการตรวจวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพีช (Lysimeter) ในแปลงทดลองภายใต้สภาวะที่กำหนด แต่วิธีการนี้จะไม่ทำในทางปฏิบัติ เนื่องจากต้องใช้เวลาและมีค่าใช้จ่ายสูง (Gavilan et al., 2006) และในทางอ้อมจากการประมาณค่าโดยอาศัยข้อมูลสารประกอบอนุกรมวิธาน ด้วยวิธีที่ต้องการข้อมูลเพียงชนิดเดียว หรือวิธีที่ต้องการข้อมูลหลายชนิดในการคำนวณ ซึ่งมีหลายวิธีที่สำคัญ ได้แก่

1) วิธีสมดุลพลังงาน (Energy balance method) หรือวิธีอัตราส่วนของโบเวน (Bowen ratio method)

วิธีสมดุลพลังงานใช้สำหรับการหาค่าการคายระเหยน้ำจริง (Actual evapotranspiration) ซึ่งสมดุลพลังงานจะพิจารณาพลังงานที่พื้นผิวได้รับ พลังงานที่สูญเสียไปทั้งเนื่องจากการคายระเหยน้ำ (Latent heat) และการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ (sensible heat) และพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในดิน โดยสมการสมดุลพลังงาน ดังนี้

$$R_n = H + LE + G \quad (2.)$$

เมื่อ	R_n	คือ พลังงานรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ (W/m^2)
	H	คือ พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทให้กับโมเลกุลของอากาศ (W/m^2)
	LE	คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการคายระเหยน้ำ (W/m^2)
	G	คือ พลังงานความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (W/m^2)

Bowen (1926) ได้เสนอวิธีการหาพลังงานที่ใช้ในการคายระเหยน้ำและพลังงานที่ถ่ายเทให้กับอากาศ

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{C_p P}{0.622} \times \frac{(T_s - T_a)}{e_s - e_a} \quad (2.15)$$

เมื่อ	β	คือ อัตราส่วนของโบเวน
	C_p	คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ ($kJ/^\circ C/kg$)
	P	คือ ความกดอากาศ (kPa)
	T_s	คือ อุณหภูมิอากาศผิวพื้น ($^\circ C$)
	T_a	คือ อุณหภูมิอากาศระดับบน ($^\circ C$)
	e_s	คือ ความดันไอน้ำที่พื้นผิว (kPa)
	e_a	คือ ความดันไอน้ำระดับบน (kPa)

จากสมการที่ (2.15) แทนค่า H ในสมการที่ (2.14) จะได้

$$LE = (R_n - G)/(1 + \beta) \quad (2.16)$$

โดยในการหาการคายระเหยน้ำจริงด้วยวิธีนี้จะต้องมีข้อมูลอุณหภูมิและความดันไอน้ำที่ 2 ระดับความสูง

2) วิธี aerodynamic

วิธีนี้ใช้สำหรับหาค่าการคายระเหยน้ำจริง โดยใช้ความเร็วลมเป็นส่วนสำคัญในการคำนวณการสูญเสียน้ำ Thornthwaite and Holzman (1939) ได้เสนอสมการทาง aerodynamic สำหรับการคายระเหยน้ำของพืชต้นเตี้ย ดังนี้

$$E = \frac{\rho K^2 (q_1 - q_2) (u_2 - u_1)}{\left(\ln \frac{z_2}{z_1} \right)^2} \quad (2.17)$$

เมื่อ E คือ การคายระเหยน้ำ
 ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ
 k คือ ค่าคงที่ของ Von Karman มีค่าเท่ากับ 0.4
 u_1 และ u_2 คือ ความเร็วลม ที่ระดับความสูง z_1 และ z_2
 q_1 และ q_2 คือ ความชื้นจำเพาะที่ระดับความสูง z_1 และ z_2

ต่อมาสมการนี้ได้ถูกขยายเพิ่มเติมสำหรับพืชต้นสูง โดย Pasquill (1950) มีรูปแบบสมการดังนี้

$$E = \frac{\rho K^2 (q_1 - q_2) (u_2 - u_1)}{\left(\ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d} \right)^2} \quad (2.18)$$

เมื่อ d คือ zero plane displacement

Rider (1957) ศึกษาการสูญเสียจากพื้นผิวต่างๆ ด้วยวิธี Aerodynamic และได้สมการใหม่ที่มีพื้นฐานมาจาก Thornthwaite and Holzman (1942) ดังที่ปรับปรุงโดย Pasquill (1949) ดังนี้

$$E = \frac{3.46 \times 10^{-5} (e_1 - e_2) (u_2 - u_1)}{\left(\ln \frac{z_2 - d}{z_1 - d} \right)^2} \quad (2.19)$$

เมื่อ e_1 และ e_2 คือ ความดันไอน้ำ ที่ระดับความสูง z_1 และ z_2 (kPa)

T คือ อุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}\text{K}$)

การใช้วิธีนี้ต้องมีข้อมูลความดันไอน้ำและอุณหภูมิที่ 2 ระดับความสูง และความเร็วมวลอย่างน้อย 4 ระดับความสูง เพื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างความเร็วมวลกับความสูงในการหาค่า zero plane displacement

3) วิธี combined

วิธีนี้ได้รวมเอาวิธีสมดุลพลังงานและวิธี aerodynamic เข้าไว้ด้วยกันและใช้สำหรับประมาณค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำ ซึ่งวิธี combined ที่สำคัญ ได้แก่

3.1) วิธี Penman

Penman (1948) ได้รวมวิธีสมดุลพลังงานและวิธี aerodynamic เพื่อที่จะได้วิธีประมาณค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำที่ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลการตรวจวัดในหลายระดับ และสมการของ Penman อยู่บนพื้นฐานของหลักการทางฟิสิกส์ที่สมเหตุสมผล (Chang, 1971) Penman ได้ประมาณค่าการระเหยน้ำจากพื้นผิวน้ำ (Open water surface) และใช้เป็นการระเหยอ้างอิง (reference evaporation) เมื่อคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของพืชจะได้การประมาณค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำจากพื้นผิวที่มีพืชปกคลุม (Bos et al., 1996)

Penman ได้กำหนดศักยภาพการคายระเหยน้ำเป็นการระเหยจากพืชสีเขียวที่สุด มีสีเหมือนหญ้า ปกคลุมพื้นดินตลอดทั้งพื้นที่ มีความสูงเท่ากัน และไม่ขาดน้ำ (Penman, 1956) สมการ Penman ต้องการข้อมูลการตรวจวัดอากาศเพียงหนึ่งระดับความสูงจากพื้นดิน โดยมีสมการดังนี้

$$E_0 = \frac{\Delta Q_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \quad (2.20)$$

เมื่อ	E_0	คือ การระเหยน้ำจากพื้นผิวน้ำ (Open water surface) [mm/day]
	Δ	คือ ความชันของกราฟความดันไอน้ำสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่อุณหภูมิ T [kPa/°C]
	γ	คือ psychrometric constant [kPa/°C]
	Q_n	คือ รังสีดวงอาทิตย์สุทธิ เทียบเป็นอัตราการระเหยน้ำ [mm/day]

โดย

$$Q_n = (1-r)Q_A(0.18 + 0.55n/N) - \sigma T^4(0.56 - 0.092\sqrt{e_d})(0.10 - 0.90n/N) \quad (2.21)$$

เมื่อ	Q_A	คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่เหนือบรรยากาศโลก เทียบเป็นอัตราการระเหยน้ำ [mm/day]
-------	-------	---

r	คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวน้ำ Penman ใช้ค่า 0.5 สำหรับผิวน้ำ 0.1 สำหรับพื้นดินที่เปียก และ 0.2 สำหรับพืชสีเขียวและสด
n	คือ ความนานแสงแดด [hour]
N	คือ ความนานแสงแดดสูงสุดที่จะเกิดขึ้นได้ [hour]
T	คือ อุณหภูมิ [$^{\circ}\text{C}$]
e_d	คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง [kPa]
E_a	คือ องค์ประกอบทาง aerodynamic เทียบเป็นอัตราการระเหยน้ำ [mm/day]

โดย

$$E_a = 0.35(e_a - e_d)(1 + u_2/100) \quad (2.22)$$

เมื่อ	e_a	คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ T [kPa]
	u_2	คือ ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร [mile/day]

สมการของ Penman ประมาณค่ารังสีดวงอาทิตย์สุทธิจากความนานแสงแดด อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศ ถ้ามีการตรวจวัดรังสีดวงอาทิตย์สุทธิหรือสามารถหารังสีดวงอาทิตย์สุทธิได้จากรังสีคลื่นสั้นที่ได้มีการตรวจวัด ก็ควรใช้ข้อมูลเหล่านี้แทน (Chang, 1971)

3.2) วิธี FAO Modified Penman

Doorenbos and Pruitt (1977) นำเสนอวิธี FAO Modified Penman ซึ่งได้ปรับปรุงวิธี Penman เพื่อให้การประมาณค่าการใช้น้ำอ้างอิงมีความแม่นยำขึ้น โดยการปรับปรุงประกอบด้วย

- ปรับปรุงฟังก์ชันของลมในเทอมของ aerodynamic
 - มี Adjustment factor ที่คำนึงถึงสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นที่มีความแตกต่างกันของรังสีดวงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน
 - ข้อสมมุติว่าค่าเฉลี่ยรายวันของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทให้ดินมีค่าเป็นศูนย์
- สำหรับวิธี FAO Modified Penman ได้มีการกำหนดลักษณะของพืชอ้างอิง (reference crop) เป็นพื้นผิวกว้างใหญ่ปกคลุมด้วยหญ้าสีเขียวสูง 0.08 ถึง 0.15 เมตร ซึ่งมีระดับความสูงใกล้เคียงกัน การเจริญเติบโตสมบูรณ์ปกคลุมพื้นดินอย่างทั่วถึง และไม่ขาดน้ำ โดยสมการ FAO Modified Penman มีดังนี้

$$ET_o = c[W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)] \quad (2.23)$$

เมื่อ	ET_o	คือ การคายระเหยน้ำจากพืชอ้างอิง หรือ ศักยภาพการคายระเหยน้ำ [mm/day]
	c	คือ Adjustment factor เพื่อชดเชยสำหรับข้อผิดพลาดของสภาพอากาศกลางวันและกลางคืน
	W	คือ weighting factor ของอุณหภูมิ สำหรับผลกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ที่มีต่อ ET_o
	$(1-W)$	คือ weighting factor ของอุณหภูมิ สำหรับผลกระทบของลมและความชื้นที่มีต่อ ET_o
	e_s	คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวเฉลี่ยของบรรยากาศ [kPa]
	e_a	คือ ความดันไอน้ำเฉลี่ยของบรรยากาศ [kPa]
	R_n	คือ รังสีดวงอาทิตย์สุทธิ เทียบเป็นอัตราการระเหยน้ำ [mm/day]

โดย

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (2.24)$$

$$R_{ns} = (0.25 + 0.5n/N)R_a \quad (2.25)$$

เมื่อ	R_{ns}	คือ รังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้นสุทธิ เทียบเป็นอัตราการระเหยน้ำ [mm/day]
	R_{nl}	คือ รังสีดวงอาทิตย์คลื่นยาวสุทธิ เทียบเป็นอัตราการระเหยน้ำ [mm/day]
	R_a	คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่เหนือบรรยากาศ เทียบเป็นอัตราการระเหยน้ำ [mm/day]
	n	คือ ความนานแสงแดด [hour]
	N	คือ ความนานแสงแดดสูงสุดที่จะเกิดขึ้นได้ [hour]
	$f(u)$	คือ ฟังก์ชันของลม

โดย

$$f(u) = 0.27 \left(1 + \frac{u}{100} \right) \quad (2.26)$$

เมื่อ	u	คือ ระยะทางลมใน 24 ชั่วโมง ที่ความสูง 2 เมตร [km/day]
-------	-----	---

3.3) วิธี FAO Penman-Monteith

เนื่องจากมีเหตุการณ์ที่แสดงว่าวิธี FAO Modified Penman ประมาณค่าการคายระเหยน้ำของพืชสูงเกินจริง ดังนั้น Monteith (1965) จึงใช้หลักการทางฟิสิกส์ในลักษณะเดียวกับวิธี Penman และพัฒนาสมการที่สามารถอธิบายถึงการคายน้ำจากพื้นผิวที่มีพืชชนิดเดียวกัน ซึ่งกว้างใหญ่และแห้ง การปกคลุมดินอย่างทั่วถึง และให้น้ำอย่างเหมาะสม ซึ่งเป็นที่ทราบกันในนามสมการ Penman-Monteith (Bos et al., 1996) โดยสมการนอกจากเป็นการรวมวิธีสมดุลพลังงาน

และ aerodynamic แล้วยังขยายถึงอิทธิพลของพืชเกี่ยวกับปัจจัยของความต้านทาน ได้แก่ ความต้านทานพื้นผิว ซึ่งเป็นความต้านทานในการเคลื่อนที่ของไอน้ำผ่านรูใบ พื้นผิวใบ และผิวดิน และความต้านทาน aerodynamic ซึ่งเป็นความต้านทานในระดับบนของต้นพืชในการเคลื่อนที่ของอากาศเหนือพื้นผิวที่ปกคลุมด้วยพืช (Allen et al., 1998; Stewart, 1989)

สำหรับวิธี FAO Penman-Monteith ยึดหลักวิธีการพัฒนาของสมการ Penman-Monteith และได้กำหนดพื้นผิวอ้างอิงให้เป็นมาตรฐานเพื่อที่การคายระเหยน้ำจากพื้นผิวอ้างอิงมีความชัดเจนและวิธีการนี้จะให้ค่าที่สอดคล้องกันในทุกภูมิภาคและภูมิอากาศ โดยกำหนดพืชอ้างอิงเป็นพืชในสมมติฐานที่สมมุติความสูง 0.12 เมตร มีความต้านทานพื้นผิว 70 s/m และค่า albedo (สัดส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนกลับต่อรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับ) เท่ากับ 0.23 พืชอ้างอิงนี้คล้ายคลึงกับพื้นผิวกว้างใหญ่ปกคลุมด้วยหญ้าสีเขียวที่มีระดับความสูงใกล้เคียงกัน การเจริญเติบโตสมบูรณ์ ปกคลุมพื้นดินอย่างทั่วถึง และมีน้ำเพียงพอ ซึ่งวิธี FAO Penman-Monteith นี้สามารถแก้ไขข้อบกพร่องของวิธี FAO Modified Penman และค่าที่ได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลของทั่วโลกที่เกี่ยวกับการใช้น้ำจริง (Allen et al., 1998) สมการ FAO Penman-Monteith ดังนี้

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2.27)$$

เมื่อ	ET_0	คือ การคายระเหยน้ำอ้างอิง หรือ ศักยภาพการคายระเหยน้ำ [mm/day]
	R_n	คือ รังสีดวงอาทิตย์สุทธิ [MJ/m^2 , day]
	G	คือ soil heat flux [MJ/m^2 , day]
	T	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายวันที่ความสูง 2 เมตร [$^{\circ}\text{C}$]
	U_2	คือ ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร [m/sec]
	e_s	คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวเฉลี่ยของบรรยากาศ [kPa]
	e_a	คือ ความดันไอน้ำเฉลี่ยของบรรยากาศ [kPa]
	Δ	คือ ความชันของกราฟความดันไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิที่อุณหภูมิ T [kPa/ $^{\circ}\text{C}$]
	γ	คือ psychometric constant [kPa/ $^{\circ}\text{C}$]

การศึกษาเปรียบเทียบการประมาณค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิงด้วยวิธีต่างๆ ของ Jensen et al. (1990) แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมั่นในวิธี Penman-Monteith ในการปฏิบัติงานภายใต้สภาพภูมิอากาศต่างๆ และการประชุมปรึกษาของผู้เชี่ยวชาญในเรื่องแนวทาง

ปรับปรุงการประมาณความต้องการน้ำของพืชที่จัดขึ้นที่กรุงโรม (Smith, 1990) ได้ลงความเห็นเสนอแนะวิธี FAO Penman-Monteith เป็นสมการที่ปฏิบัติงานได้ดีที่สุดในการประมาณค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำและการคายระเหยน้ำจริง (Bos et al., 1996)

4) วิธี Empirical

วิธีนี้ได้จากการหาความสัมพันธ์ของการคายระเหยน้ำกับข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยที่เกี่ยวข้อง โดยตัวอย่างของวิธี Empirical ได้แก่

4.1) วิธี Thornthwaite

Thornthwaite (1948) เสนอสมการสำหรับประมาณค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำซึ่งมีพื้นฐานมาจากการศึกษาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปทั้งจากถึงวัดการใช้น้ำและลุ่มน้ำในบริเวณตอนกลางและตะวันออกของสหรัฐอเมริกา มีสมการดังนี้

$$PE = 1.6(10T/I)^a \quad (2.28)$$

เมื่อ PE คือ ศักยภาพการคายระเหยน้ำในช่วงเวลา 30 วัน และแต่ละวันมี 12 ชั่วโมง [cm]
 T คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน [$^{\circ}C$]
 I คือ ดรรชนีความร้อนรายปี เป็นผลรวมของดรรชนีความร้อนรายเดือน (i) ตลอดปี
 โดย

$$I = (T/5)^{1.514} \quad (2.29)$$

$$a = 0.000000675I^3 - 0.0000771I^2 + 0.01792I + 0.49239 \quad (2.30)$$

ศักยภาพการคายระเหยน้ำที่ได้จากสมการนี้จะถูกปรับแก้ด้วยความยาวนานของวันที่แท้จริงและจำนวนวันในแต่ละเดือนเพื่อให้ได้ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือน

สมการ Thornthwaite ใช้งานได้ดีในลักษณะภูมิอากาศแบบอุณหภูมิภาคพื้นทวีป แต่ในพื้นที่อื่นๆ การนำไปใช้งานประสบผลสำเร็จน้อย และจุดอ่อนของวิธี Thornthwaite คือการใช้เฉพาะข้อมูลอุณหภูมิอย่างเดียว ไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยของรังสีดวงอาทิตย์และลม นอกจากนี้ตามวิธี Thornthwaite การคายระเหยน้ำจะไม่มีเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส แม้ว่าในความจริงการคายระเหยน้ำอาจจะมีเพียงเล็กน้อย รวมทั้งอุณหภูมิสูงสุดรายวันของเดือนที่อยู่ในช่วงฤดูหนาวอาจมีค่าสูงกว่าศูนย์องศาเซลเซียส (Chang, 1971)

4.2) วิธี Blaney-Criddle

Blaney and Morin (1942) ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยน้ำ กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความยาวของชั่วโมงกลางวัน จากการตรวจวัดที่ New Mexico และ Texas ดังนี้

$$U = KTp(114 - h) \quad (2.31)$$

เมื่อ	U	คือ การใช้น้ำของพืชรายเดือน [inches]
	K	คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop coefficient)
	T	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน [$^{\circ}\text{F}$]
	p	คือ เปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันรายเดือน [%]
	h	คือ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน [%]

ต่อมา Blaney and Criddle (1950) ได้ปรับปรุงสมการให้ง่ายขึ้น โดยตัดเทอมของความชื้นสัมพัทธ์ออก มีสมการดังนี้

$$U = \frac{KTp}{100} \quad (2.32)$$

วิธี Blaney-Criddle ได้มีการปรับปรุงโดย FAO (Doorenbos & Pruitt, 1977) สำหรับประมาณค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ด้วยข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด และลม ซึ่งมีสมการดังนี้

$$ET_o = c[p(0.46T + 8)] \quad (2.33)$$

เมื่อ	ET_o	คือ การคายระเหยน้ำจากพืชอ้างอิง สำหรับเดือนที่พิจารณา [mm/day]
	T	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน สำหรับเดือนที่พิจารณา [$^{\circ}\text{C}$]
	p	คือ ค่าเฉลี่ยรายวันของเปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวัน สำหรับเดือนและละติจูดที่พิจารณา [%]
	c	คือ Adjustment factor ซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด ความนานแสงแดด และความเร็วลมในช่วงเวลากลางวัน

4.3) วิธี Makkink

Makkink (1957) ได้สมการความสัมพันธ์ของรังสีดวงอาทิตย์กับการคายระเหยน้ำจากการทดลองที่ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยการวัดศักยภาพการคายระเหยน้ำของหญ้าด้วยถังวัดการคายระเหยน้ำ ซึ่งมีสมการดังนี้

$$E = 0.61Q \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} - 0.12 \quad (2.34)$$

เมื่อ	E	คือ ศักย์การคายระเหยน้ำ [mm/day]
	Q	คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับ เทียบเป็นอัตราการระเหยน้ำ [mm/day]
	Δ	คือ ความชันของกราฟความดันไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิที่อุณหภูมิ T [kPa/°C]
	γ	คือ psychrometric constant [kPa/°C]

5) วิธีถาดวัดน้ำระเหย

ถาดวัดน้ำระเหยเป็นการวัดอิทธิพลร่วมกันของรังสีดวงอาทิตย์ ลม อุณหภูมิ และความชื้นต่อการระเหยน้ำจากผิวน้ำ ซึ่งพีชก็ตอบสนองกับสภาพภูมิอากาศเดียวกันนี้ แต่มีหลายปัจจัยหลักอาจทำให้มีความแตกต่างกันในการสูญเสียน้ำ ดังนั้นจึงหาความสัมพันธ์ระหว่างการระเหยน้ำจากถาดวัดน้ำระเหยและการคายน้ำของพีชอ้างอิง ได้ผลลัพธ์เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดน้ำระเหย (Doorenbos & Pruitt, 1977)

อัตราการระเหยน้ำจากถาดวัดน้ำระเหยนั้นขึ้นอยู่กับขนาด สี วัสดุที่ใช้ ความลึกของน้ำในถาด และองค์ประกอบอื่นๆ ดังนั้นองค์การอุทกนิยามวิทยาโลกจึงกำหนดถาดวัดน้ำระเหยมาตรฐานขึ้น คือ ถาดวัดน้ำระเหยแบบ U.S. Class A หรือ Class A Pan ถาดวัดน้ำระเหยชนิดนี้ทำด้วยเหล็กเคลือบสังกะสีหรือโลหะผสม รูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 120 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร ติดตั้งบนฐานไม้สูงจากพื้นดิน 10 เซนติเมตร ระดับน้ำในถาดต่ำกว่าขอบถาด 5 เซนติเมตร และเมื่อระดับน้ำในถาดลดต่ำกว่าขอบถาดประมาณ 10 เซนติเมตร จึงปรับระดับน้ำใหม่ นอกจากนี้มีถาดวัดน้ำระเหยชนิดอื่นที่ใช้กัน คือ Colorado sunken pan สำหรับการคายระเหยน้ำจากพีชอ้างอิง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$ET_o = K_p \cdot E_{pan} \quad (2.35)$$

เมื่อ	ET_o	คือ การคายระเหยน้ำจากพีชอ้างอิง หรือ ศักย์การคายระเหยน้ำ [mm/day]
	E_{pan}	คือ การระเหยน้ำจากถาดวัดน้ำระเหย [mm/day]
	K_p	คือ สัมประสิทธิ์ของถาดวัดน้ำระเหย

สัมประสิทธิ์ของถาดวัดน้ำระเหยนอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของถาดวัดน้ำระเหยแล้ว ยังขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมโดยรอบถาดวัดน้ำระเหยด้วย

2.2.1.4 Moisture Available Index: MAI

Hargreaves (1972) ได้กำหนดดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช ซึ่งเป็นอัตราส่วนของค่าความน่าจะเป็นของปริมาณฝนที่ระดับ 75% หรือฝนที่คาดหวังได้ (Dependable Rainfall) กับ ศักยภาพคายระเหยน้ำของพืช (Potential Evapotranspiration, PE) ซึ่งแนวคิดดังกล่าวได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการติดตามสถานะฝนในช่วงที่ผ่านมาว่าเพียงพอสำหรับพืชหรือไม่ โดยใช้ค่าปริมาณฝนที่ตรวจวัดมาแทนค่าความน่าจะเป็นของปริมาณฝนที่ระดับ 75% ดังสมการ

$$MAI = P/PE \quad (2.36)$$

เมื่อ MAI คือ ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช

P คือ ปริมาณฝน

PE คือ ศักยภาพคายระเหยน้ำของพืช

สำหรับเกณฑ์การแบ่งระดับความรุนแรงของดัชนี MAI ดังตาราง 4

ตาราง 4 การจำแนกระดับความรุนแรงของดัชนี MAI

ค่าดัชนี MAI	ระดับ
0.00 - 0.33	พืชขาดน้ำรุนแรง
0.34 - 0.67	พืชขาดน้ำปานกลาง
0.68 - 1.00	พืชขาดน้ำเล็กน้อย
1.01 - 1.33	พืชได้รับน้ำพอเพียง
มากกว่าหรือเท่ากับ 1.34	พืชได้รับน้ำมากเกินไป

ที่มา: Hargreaves, 1972

ดัชนี MAI ได้ถูกนำไปใช้ร่วมกับดัชนีความแห้งแล้งอื่นๆ ในการติดตามขนาดและผลกระทบจากการผิดปกติของปริมาณฝนที่นำไปสู่ความแห้งแล้งในประเทศฟิลิปปินส์ (Guzman, n.d.)

2.2.1.5 Palmer Drought Severity Index: PDSI

ปี 1965 Palmer ได้พัฒนาดัรรชนีเพื่อวัดการเบี่ยงเบนของอุปทานของความชื้น (moisture supply) โดยใช้หลักแนวคิดเรื่องอุปสงค์และอุปทานของสมการสมดุลน้ำ ที่คำนึงถึงมากกว่าเพียงการขาดน้ำในพื้นที่หนึ่ง

วัตถุประสงค์ของดัรรชนี PDSI เพื่อให้ได้การวัดสภาพความชื้นที่เป็นมาตรฐาน และการเปรียบเทียบโดยใช้ดัรรชนีสามารถทำระหว่างสถานที่และระหว่างเดือน ซึ่งขั้นตอนวิธีการคำนวณดัรรชนี PDSI มีดังนี้

1) การคำนวณเริ่มต้นด้วยสมดุลน้ำทางภูมิอากาศ (climatic water balance) โดยใช้ข้อมูลอุตุวิทยารายเดือนที่ได้มีการบันทึกไว้

สมการสมดุลน้ำ ประกอบด้วย การคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration) การเติมน้ำในดิน (Soil recharge) น้ำไหลบ่าผิวดิน (Runoff) และการสูญเสียความชื้น (Moisture loss) และใช้วิธีการ empirical ในการประมาณค่าความชื้นในดิน โดยแบ่งชั้นของดินเป็น 2 ระดับ และดินชั้นบนหรือชั้นผิวน้ำถูกสมมุติที่จะสามารถเก็บความชื้นที่ความจุสนาม (field capacity)

โดยการสูญเสียจากการคายระเหยน้ำจากระดับดินชั้นผิวน้ำหรือ surface layer (L_s) จะสมมุติให้เกิดขึ้นที่อัตราสูงสุด (Potential rate) จนกว่าน้ำที่มีอยู่ในดินชั้นผิวน้ำจะหมดไป หลังจากนั้นความชื้นในดินชั้นล่างหรือ underlying layer (L_u) จึงจะสูญเสียไปได้ และการสูญเสียจากดินชั้นล่างจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นดินตอนเริ่มต้น ศักยภาพการคายระเหยน้ำ (PE) และความจุของน้ำมีได้ (Available water capacity: AWC) ดังนั้น

ถ้า $PE > P$,

$$L_s = \min[S_s, (PE - P)] \quad (2.37)$$

$$L_u = [(PE - P) - L_s]S_u / AWC \quad , \quad L_u \leq S_u \quad (2.38)$$

เมื่อ P คือ ปริมาณฝน

S_s คือ ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินชั้นผิวน้ำ ขณะเริ่มต้นของเดือน

S_u คือ ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินชั้นล่าง ขณะเริ่มต้นของเดือน

นอกจาก PE แล้วยังมีอีก 3 เทอม คือ

- ศักยภาพเติมน้ำในดิน (Potential recharge: PR) คือปริมาณความชื้นที่ต้องการเพื่อที่จะทำให้ดินมีความชื้นที่ความจุสนาม

$$PR = AWC - (S_s + S_u) \quad (2.39)$$

- ศักยภาพสูญเสียความชื้น (Potential loss: PL) คือปริมาณความชื้นที่สามารถสูญเสียจากดินโดยการคายระเหยน้ำในระหว่างช่วงที่ไม่มีฝนตก

$$PL = PL_s + PL_u \quad (2.40)$$

เมื่อ $PL_s = \min(PE, S_s) \quad (2.41)$

$$PL_u = (PE - PL_s)S_u / AWC \quad , PL_u \leq S_u \quad (2.42)$$

- ศักยภาพไหลบ่าของผิวดิน Potential runoff (PRO) กำหนดจากความแตกต่างระหว่าง potential precipitation และ potential recharge โดย Palmer (1965) ได้กำหนดให้ potential precipitation เท่ากับ AWC ดังนั้น

$$PRO = AWC - PR = S_s + S_u \quad (2.43)$$

2) การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ทางภูมิอากาศของแต่ละเดือน ได้แก่ สัมประสิทธิ์การคายระเหยน้ำ สัมประสิทธิ์การเติมน้ำในดิน สัมประสิทธิ์การไหลบ่าน้ำผิวดิน และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความชื้น ดังสมการ

$$\alpha_i = \overline{ET}_i / \overline{PE}_i \quad (2.44)$$

เมื่อ α_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การคายระเหยน้ำของเดือน i
 \overline{ET}_i คือ ค่าเฉลี่ยการคายระเหยน้ำของเดือน i
 \overline{PE}_i คือ ค่าเฉลี่ยศักยภาพการคายระเหยน้ำของเดือน i
 i คือ เดือนที่พิจารณา มีค่าเท่ากับ 1, 2, ..., 12 หมายถึงเดือนมกราคม, กุมภาพันธ์, ..., ธันวาคม ตามลำดับ

$$\beta_i = \overline{R}_i / \overline{PR}_i \quad (2.45)$$

เมื่อ β_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเติมน้ำในดินของเดือน i
 \overline{R}_i คือ ค่าเฉลี่ยการเติมน้ำในดินของเดือน i
 \overline{PR}_i คือ ค่าเฉลี่ยศักยภาพการเติมน้ำในดินของเดือน i

$$\gamma_i = \overline{RO}_i / \overline{PRO}_i \quad (2.46)$$

เมื่อ γ_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่าน้ำผิวดินของเดือน i

\overline{RO}_i คือ ค่าเฉลี่ยการไหลบ่าน้ำผิวดินของเดือน i

\overline{PRO}_i คือ ค่าเฉลี่ยศักยภาพการไหลบ่าน้ำผิวดินของเดือน i

$$\delta_i = \overline{L}_i / \overline{PL}_i \quad (2.47)$$

เมื่อ δ_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความชื้นของเดือน i

\overline{L}_i คือ ค่าเฉลี่ยการสูญเสียความชื้นของเดือน i

\overline{PL}_i คือ ค่าเฉลี่ยศักยภาพการสูญเสียความชื้นของเดือน i

3) การคำนวณค่าปริมาณที่ควรจะเป็น หรือ CAFEC (Climatically Appropriate for Existing Conditions) สำหรับการคายระเหยน้ำ การเติมน้ำในดิน การไหลบ่าน้ำผิวดิน การสูญเสียความชื้น และปริมาณฝนของเดือนนั้นๆ ได้แก่ ค่าการคายระเหยน้ำที่ควรจะเป็น ($\hat{E}T$) ค่าการเติมน้ำในดินที่ควรจะเป็น (\hat{R}) ค่าการไหลบ่าน้ำผิวดินที่ควรจะเป็น ($\hat{R}O$) ค่าการสูญเสียความชื้นที่ควรจะเป็น (\hat{L}) และค่าปริมาณฝนที่ควรจะเป็น (\hat{P}) ดังนี้

$$\hat{E}T = \alpha_i PE \quad (2.48)$$

$$\hat{R} = \beta_i PR \quad (2.49)$$

$$\hat{R}O = \gamma_i PRO \quad (2.50)$$

$$\hat{L} = \delta_i PL \quad (2.51)$$

$$\hat{P} = \alpha_i PE + \beta_i PR + \gamma_i PRO + \delta_i PL \quad (2.52)$$

4) การคำนวณดัชนีความชื้นที่ผิดปกติ (Moisture anomaly index: z) โดยความแตกต่าง (d) ระหว่างปริมาณฝนจริง (P) และปริมาณฝนที่ควรจะเป็น (CAFEC precipitation: \hat{P}) เป็นตัวบ่งชี้ถึงการขาดแคลนน้ำหรือภาวะที่มีน้ำล้นเกิด (water deficiency or surplus) ของสถานีและเดือนนั้น ซึ่งความแตกต่างนี้จะถูกแปลงเป็นดัชนีของความชื้นที่ผิดปกติ (z)

$$d = P - \hat{P} \quad (2.53)$$

$$z = k_i d \quad (2.54)$$

เมื่อ k_i คือค่าถ่วงน้ำหนัก (weighting factor) สำหรับเดือน i ได้จาก

$$k_i = (\overline{PE}_i + \overline{R}_i) / (\overline{P}_i + \overline{L}_i) \quad (2.55)$$

เมื่อ \overline{P}_i คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนของเดือน i

5) การคำนวณความรุนแรงของความแห้งแล้ง (X_i) ของเดือนที่พิจารณาจากดรชนีของความชื้นที่ผิดปกติ (z_i) ในเดือนเดียวกัน และสมการทั่วไปในการคำนวณดรชนี PDSI (X_i) ซึ่ง Palmer (1965) ได้จัดทำสำหรับประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ข้อมูลของรัฐ Kansas และ Iowa ซึ่งให้เหตุผลในการเลือกใช้พื้นที่ทั้งสองเนื่องจากมีลักษณะภูมิอากาศที่แตกต่างกันและจะทำให้เกิดการประเมินความแห้งแล้งที่มีความหมายในท้องถิ่น ซึ่งมีสมการดังนี้

$$X_i = 0.897X_{i-1} + z_i/3 \quad (2.56)$$

เมื่อ X_{i-1} คือความรุนแรงของความแห้งแล้งของเดือนที่ผ่านมา

แต่หากต้องการหาสมการคำนวณดรชนี PDSI สำหรับพื้นที่ศึกษาก็สามารถทำได้โดยใช้ข้อมูลของพื้นที่ศึกษา ดังเช่น Xu et al. (2012) ได้ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลพื้นที่ศึกษาบริเวณลุ่มน้ำ Laohahe ประเทศจีน โดยวิธีการหาสมการทั่วไปในการคำนวณดรชนี PDSI ตามวิธีที่ Palmer (1965) ดำเนินการได้ใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 2 สถานีซึ่งอยู่ในพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิอากาศแตกต่างกันมาหาผลรวมดรชนีของความชื้นที่ผิดปกติ ($\sum z$) และระยะเวลาที่มีความชื้นที่ผิดปกติของแต่ละสถานี โดย Palmer ได้กำหนดความรุนแรงของความแห้งแล้งเป็น mild, moderate, severe, extreme และให้ตัวเลขเป็น -1, -2, -3, -4 ตามลำดับเพื่อความสะดวก และได้ calibrate โดยใช้ความแห้งแล้งสูงสุด (most severe drought) ของช่วงเวลาต่างๆ และกำหนดค่า เป็น -4 แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการสร้างกราฟหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรชนีความผิดปกติของความชื้นดิน ($\sum z$) และระยะเวลา ในรูปแบบสมการดังนี้

$$\sum z_i = (mt + b)X_i \quad (2.57)$$

Wells et al. (2004) ได้อธิบายการได้มาของสมการทั่วไปในการคำนวณการสนับสนุนความรุนแรงของความแห้งแล้งรายเดือนสำหรับดรชนี PDSI กล่าวคือสมมุติให้การเปลี่ยนแปลงของค่า X_i ใดๆ ที่จะทำให้ระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งคงที่ คือ

$$X_i = pX_{i-1} + qz_i \quad (2.58)$$

โดยค่า duration factor (p, q) สามารถคำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ m, b และ c ซึ่งเป็นค่าของ calibration index = -4 ดังนี้

$$p = 1 - \frac{m}{m + b} \quad (2.59)$$

$$q = \frac{c}{m + b} \quad (2.60)$$

6) การปรับค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อประมาณค่าถ่วงน้ำหนัก (K) ใหม่มาใช้ในสมการที่ (2.54) ซึ่งจากเดิมใช้สัญลักษณ์แทนค่าถ่วงน้ำหนักด้วย k และคำนวณจากข้อมูลแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา การปรับค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มด้วยการใช้สมการที่ (2.57) มาหาค่า $\sum z$ สำหรับความแห้งแล้งสูงสุดในช่วงระยะเวลา 12 เดือน (a) ของทุกสถานีในพื้นที่ศึกษา โดยแทนค่า $X = -4$, $t = 12$ จะได้ค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ย (\bar{K})

$$\bar{K} = a \div \sum d \quad (2.61)$$

และเพื่อให้ K ใหม่ขึ้นอยู่กับอุปทานของความชื้นเฉลี่ย (\bar{P} และ \bar{L}) และ อุปสงค์ของความชื้นเฉลี่ย (\bar{PE} , \bar{R} และ \bar{RO}) รวมทั้งเป็นส่วนกลับของค่าความแตกต่างของความชื้นสัมบูรณ์เฉลี่ย (\bar{D}) ดังนั้นจึงหาค่าของตัวแปรเหล่านี้ของทุกสถานีจากค่าเฉลี่ยรายปีแล้วหารด้วย 12 และทำการสร้างกราฟโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากทุกสถานีเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง \bar{K} และ $(\bar{PE} + \bar{R} + \bar{RO}/\bar{P} + \bar{L})/\bar{D}$ จากนั้นนำสมการที่ได้นี้มาหาค่า K' หรือค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละเดือน โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีในแต่ละเดือน

ขั้นตอนต่อไปจะทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อให้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแห้งแล้งสามารถเปรียบเทียบระหว่างสถานีหรือพื้นที่ได้ โดยจะหาค่า weight average departure (\bar{DK}') สำหรับแต่ละเดือนแล้วนำมาบวกกันทั้ง 12 เดือนในแต่ละสถานี จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้ข้อมูลของทุกสถานีได้เป็นค่า c แล้วคำนวณค่า K จากสมการ

$$K = (c/\sum \bar{DK}')K' \quad (2.62)$$

7) การกำหนดการสิ้นสุดของความแห้งแล้งและชุ่มชื้น Palmer (1965) ได้กำหนดค่าต่ำสุดของการเริ่มต้นและสิ้นสุดความแห้งแล้งที่ X เท่ากับ -0.5 หรือเมื่ออยู่ในระดับความรุนแรงในช่วงใกล้เคียงปกติ (near normal) ระหว่าง -0.5 ถึง 0.5 ดังนั้นจะสามารถทราบความชื้นที่ต้องการในการลดระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งถึง X มีค่าเท่ากับ -0.5 ได้จากสมการที่ (2.58) โดยกำหนด $X_i = -0.5$ จะได้ทราบค่า Z ที่ทำให้ความแห้งแล้งสิ้นสุดใน 1 เดือน (Z_e) คือ

$$Z_e = eX_{i-1} + f \quad (2.63)$$

เมื่อ e และ f เป็นค่าคงที่

สำหรับปริมาณ Z ต่ำสุดที่จะเกิดขึ้นในเดือนถัดไปแล้วทำให้ $X = -0.5$ ได้กำหนดเป็นค่าคงที่ g ซึ่งจะเกิดขึ้นกรณีที่ $\Delta X = 0$ หรือค่า X_i และ $X_{i-1} = -0.5$ และหาได้จากสมการที่ (2.58) เพราะฉะนั้นค่าของ $Z \geq g$ จะมีผลให้ความแห้งแล้งสิ้นสุด ดังนั้น effective wetness (U_w) คือ

$$U_w = Z - g \quad (2.64)$$

ถ้าจำนวนของความชื้นที่ต้องการในการสิ้นสุดความแห้งแล้งในเดือนแรกที่มีความชุ่มชื้น (Z_e) มีค่ามากกว่า effective wetness (U_w) ของเดือนนั้น ความรุนแรงของความแห้งแล้งจะลดลงแต่ยังไม่สิ้นสุด และในเดือนถัดมานี้จะต้องการความชื้นน้อยลงในการที่จะสิ้นสุดความแห้งแล้ง และผลรวมของความชื้นที่ต้องการในการสิ้นสุดความแห้งแล้งจะเป็น Z_e ใหม่ที่คำนวณสำหรับเดือน i บวกกับความชื้นสะสมที่อยู่ก่อนหน้า หรือ $Z_e + \sum_{j=0}^{j=j^*} U_{i-j} - U_i$ เมื่อ $U = U_w$ และ i คือเดือนที่เริ่มต้นพิจารณา ส่วน j คือจำนวนเดือนที่ย้อนหลัง และ j^* คือเดือนแรกที่มีความชุ่มชื้น โดยถ้า $\sum U_w < 0$ จะได้ $\sum U = 0$ เพื่อไม่ให้ความน่าจะเป็นมีค่าเป็นลบ ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความน่าจะเป็นของการสิ้นสุดความแห้งแล้ง (P_e) คือ

$$P_e = \left(\sum_{j=0}^{j=j^*} U_{i-j} / Z_e + \sum_{j=0}^{j=j^*} U_{i-j} - U_i \right) \times 100 \quad (2.65)$$

ในทำนองเดียวกันสำหรับช่วงชุ่มชื้น การหาปริมาณ Z_e ที่จะทำให้สิ้นสุดช่วงชุ่มชื้น (wet spell) ใน 1 เดือน โดยแทนค่า $X_i = +0.5$ ในสมการที่ (2.58) จะได้

$$Z_e = eX_{i-1} - f \quad (2.66)$$

และจากการที่ช่วงแห้งแล้งสามารถสิ้นสุดแม้ว่าสภาพอากาศจะมีความแห้งแล้งเล็กน้อยกว่าปกติ ในลักษณะเดียวกันช่วงชุ่มชื้นสามารถสิ้นสุดเมื่อสภาพอากาศมีความชุ่มชื้นไม่มากต่อเนื่องกัน โดยค่า Z ต่ำสุดซึ่งกำหนดเป็นค่าคงที่ h ที่จะทำให้ X_i และ $X_{i-1} = +0.5$ หาได้จากสมการที่ (2.58) ดังนั้นค่า $Z \leq h$ จะมีผลให้ช่วงชุ่มชื้นสิ้นสุด และ effective dryness (U_d) คือ

$$U_d = Z - h \quad (2.67)$$

และสมการที่ (2.65) สามารถใช้ในการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความน่าจะเป็นของการสิ้นสุดช่วงชุ่มชื้น โดยกำหนดให้ $U = U_d$

ในการประมาณความรุนแรงของความแห้งแล้ง X หรือดรชณี PDSI จากข้อมูล Z รายเดือนที่ต่อเนื่องระยะยาว จะติดตามช่วงชุ่มชื้นและช่วงแห้งแล้งได้ โดยกรณีเวลาที่ไม่เกิดช่วงชุ่มชื้นหรือช่วงแห้งแล้งขึ้นก็จะสามารถคำนวณความน่าจะเป็นของการเริ่มต้นช่วงชุ่มชื้นและช่วงแห้งแล้ง

ซึ่งหลังจากที่ความน่าจะเป็นมีค่า 100 เปอร์เซ็นต์และถ้าช่วงชุ่มชื้นหรือช่วงแห้งแล้งอย่างใดอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นนั้นยังดำเนินต่อไปก็จะเปลี่ยนไปหาความน่าจะเป็นของการสิ้นสุดช่วงดังกล่าว และในเวลาเดียวกันก็จะหาความน่าจะเป็นของการเกิดช่วงที่มีลักษณะตรงกันข้าม สำหรับเกณฑ์การจำแนกระดับความรุนแรงจากค่าดัชนี PDSI ดังตาราง 5

ตาราง 5 การจำแนกระดับความรุนแรงของดัชนี PDSI

ค่าดัชนี PDSI	ระดับ
มากกว่าหรือเท่ากับ 4.0	ชุ่มชื้นมากที่สุด (Extremely wet)
3.0 ถึง 3.99	ชุ่มชื้นมาก (Very wet)
2.0 ถึง 2.99	ชุ่มชื้นปานกลาง (Moderately wet)
1.0 ถึง 1.99	ชุ่มชื้นเล็กน้อย (Slightly wet)
0.5 ถึง 0.99	เริ่มชุ่มชื้น (Incipient wet spell)
0.49 ถึง -0.49	ใกล้เคียงปกติ (Near Normal)
-0.5 ถึง -0.99	เริ่มแห้งแล้ง (Incipient drought)
-1.0 ถึง -1.99	แห้งแล้งเล็กน้อย (Mild drought)
-2.0 ถึง -2.99	แห้งแล้งปานกลาง (Moderately drought)
-3.0 ถึง -3.99	แห้งแล้งรุนแรง (Severe drought)
น้อยกว่าหรือเท่ากับ -4.0	แห้งแล้งรุนแรงที่สุด (Extreme drought)

ที่มา: Palmer, 1965

ดัชนี PDSI เป็นที่นิยมและใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการประยุกต์ที่หลากหลายทั่วทั้งสหรัฐอเมริกา และเป็นดัชนีที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการวัดผลกระทบที่ไวต่อสภาพความชื้นในดินดังเช่นเกษตรกรรม (Willeke et al., 1994)

2.2.2 ดรรชนีความแห้งแล้งที่ได้จากข้อมูลการรับรู้ระยะไกล

ตัวอย่างของดรรชนีความแห้งแล้งที่ได้จากข้อมูลการรับรู้ระยะไกล ได้แก่

2.2.2.1 Normalize Difference Vegetation Index: NDVI

ดรรชนีพืชพรรณได้ถูกนำมาใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของพืช โดยดรรชนีที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ดรรชนีความแตกต่างพืชพรรณ (Normalize Difference Vegetation Index: NDVI) เสนอโดย Tucker (1979) ซึ่งใช้หลักความจริงที่ว่า พืชที่สมบูรณ์จะมีการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) ต่ำ เนื่องจากการดูดกลืนของคลอโรฟิลล์และเม็ดสี (Pigment) อื่นๆ และมีการสะท้อนสูงในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near infrared: NIR) เนื่องจากการสะท้อนโดยเนื้อเยื่อ mesophyll spongy ในใบพืช (Campbell, 1987) และเมื่อการดูดกลืนของคลอโรฟิลล์เริ่มลดลง เนื่องจากใบพืชแก่ลงตามฤดูกาลหรือความเครียดจากสิ่งแวดล้อม พืชดังกล่าวจะมีการสะท้อนในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นเพิ่มขึ้น (Jensen, 2000)

ดรรชนี NDVI เป็นอัตราส่วนของการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่นสีแดง (*red*) กับ *NIR* ดังสมการ

$$NDVI = (NIR - red) / (NIR + red) \quad (2.68)$$

NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 เนื่องจากใบพืชที่สมบูรณ์จะสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าน้อยในช่วงคลื่นสีแดงและมีการสะท้อนสูงในช่วงคลื่น NIR ดังนั้นจะมีค่า NDVI สูง ส่วนใบพืชที่อ่อนแอ NDVI จะมีค่าลดลง โดยค่า NDVI ของพืชอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 1 สำหรับพื้นที่ที่ไม่ใช่พืช เช่น แหล่งน้ำจะมีค่า NDVI เป็นลบ เนื่องจากคุณสมบัติการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของน้ำ ส่วนพื้นดินว่างเปล่าจะมีค่า NDVI ใกล้เคียงกับ 0 เนื่องจากการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสูงทั้งในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและ NIR (Lillesand & Kiefer, 1994)

NDVI ได้ถูกนำมาใช้ประเมินความแห้งแล้งทางการเกษตร โดยเปรียบเทียบสถานะของพืชด้วยค่า NDVI ของพื้นที่หนึ่งๆ ในช่วงเวลาเดียวกันของแต่ละปี ในประเทศอินเดียบริเวณพื้นที่เขตภูมิอากาศแบบแห้ง (Nandeesh & Ramu, 2015) โดยการจำแนกสถานะพืชสำหรับประเมินความแห้งแล้งทางการเกษตร ดังตาราง 6

ตาราง 6 การจำแนกสถานะพืชของดัชนี NDVI

ค่าดัชนี NDVI	สถานะพืช (Vegetation Status)
0	ไม่มีพืช (No Vegetation)
0.1	มีพืชต่ำอย่างรุนแรง (Severely low Vegetation)
0.2	มีพืชต่ำเล็กน้อย (Slightly low Vegetation)
0.3	มีพืชปานกลาง (Moderate Vegetation)
0.4	มีพืชค่อนข้างดี (Better Vegetation)
0.5	มีพืชดี (Good Vegetation)
>0.5	มีพืชสูง (High Vegetation)

ที่มา: Nandeesh and Ramu, 2015

2.2.2.2 Vegetation condition index: VCI

เนื่องจาก NDVI ถูกกำหนดโดยปัจจัยต่างๆ ประกอบด้วย ชนิดของพืช ลักษณะของระบบนิเวศน์ ชีพลักษณะ (Phenology) ดิน และลักษณะภูมิประเทศ (Di et al., 1994) เหตุนี้จึงไม่สามารถเปรียบเทียบ NDVI ในเชิงพื้นที่ได้ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน (non-homogeneous) ดังนั้นเมื่อจะใช้ NDVI ในการประเมินผลกระทบของลักษณะอากาศต่อพืช ส่วนของ NDVI ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะอากาศจะต้องทำให้เด่นชัดขึ้นโดยแยกออกจากส่วนของสภาพแวดล้อม ด้วยวัตถุประสงค์นี้ Kogan (1990) เสนอให้ขยายเชิงเส้นของค่า NDVI จาก 0 (NDVI ต่ำสุด: $NDVI_{min}$) ถึง 100 (NDVI สูงสุด: $NDVI_{max}$) สำหรับแต่ละจุดภาพ (Pixel) และเดือน (สัปดาห์) ได้เป็นดัชนีใหม่ ชื่อว่า ดรรชนีชี้วัดของพืชพรรณ (Vegetation condition index: VCI) และกำหนดดังสมการ

$$VCI_j = 100(NDVI_j - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (2.69)$$

เมื่อ $NDVI_j$ คือ ค่า NDVI ของเดือน (สัปดาห์) ที่ศึกษา
 $NDVI_{max}$ คือ ค่า NDVI สูงสุดของเดือน (สัปดาห์) เดียวกันในหลายปี
 $NDVI_{min}$ คือ ค่า NDVI ต่ำสุดของเดือน (สัปดาห์) เดียวกันในหลายปี
 โดยคำนวณในแต่ละจุดภาพ

VCI เหมือนราวกับว่าเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับลักษณะอากาศที่อยู่ใน NDVI โดยผันแปรจาก 0 ถึง 100 สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพพืชพรรณจากไม่ดีที่สุดจนถึงดีที่สุด (Kogan, 1995) โดยค่า VCI ประมาณ 50 จะแสดงถึงสภาพพืชพรรณที่ปานกลาง และค่า VCI ระหว่าง 50 ถึง 100 จะแสดงถึงสภาพพืชพรรณที่ดีหรือสูงกว่าสภาพปกติ ส่วนสภาวะความแห้งแล้งในระดับความรุนแรงต่างๆ จะเกิดขึ้นเมื่อ VCI มีค่าต่ำกว่า 50 โดย Kogan (1995) แสดงว่า ค่า VCI ที่ต่ำกว่า 35 สามารถที่จะนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะความแห้งแล้ง และแนะนำสำหรับการวิจัยในอนาคตควรมีการแบ่งระดับของ VCI ตามความรุนแรงของความแห้งแล้งในช่วงระหว่าง 0 ถึง 35

Yagci et al. (2011) ได้ศึกษาติดตามความแห้งแล้งทางการเกษตรจากข้อมูลดาวเทียมที่ตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจ Moderate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ในประเทศสหรัฐอเมริกาและได้จำแนกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งของดรชนี VCI ดังตาราง 7

ตาราง 7 การจำแนกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งของดรชนี VCI

ค่าดรชนี VCI	ระดับ
>32 ถึง 40	แห้งผิดปกติ (Abnormally dry)
>24 ถึง 32	แห้งแล้งปานกลาง (Moderate drought)
>16 ถึง 24	แห้งแล้งรุนแรง (Severe drought)
>8 ถึง 16	แห้งแล้งรุนแรงที่สุด (Extreme drought)
0 ถึง 8	แห้งแล้งผิดปกติ (Exceptional drought)

ที่มา: Yagci et al., 2011

2.2.2.3 Temperature Condition Index: TCI

TCI ได้ถูกนำเสนอโดย Kogan (1995, 1997) ซึ่งมีขั้นตอนวิธีคำนวณคล้ายกับ VCI แต่เปลี่ยนเป็นแสดงถึงการตอบสนองของพืชต่ออุณหภูมิ โดยขึ้นอยู่กับความจริงที่ว่าอุณหภูมิผิวเรือนพุ่ม (canopy) ของพืชหรืออุณหภูมิผิวดินจะสูงขึ้นกับการขาดน้ำที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการลดลงของความชื้นในการระเหย สมการของ TCI ดังนี้

$$TCI_j = 100(BT_{max} - BT_j)/(BT_{max} - BT_{min}) \quad (2.70)$$

เมื่อ BT คือ อุณหภูมิความสว่าง (Brightness temperature)

BT_{max} คือ ค่า BT สูงสุดของเดือน (สัปดาห์) เดียวกันในหลายปี

BT_{min} คือ ค่า BT ต่ำสุดของเดือน (สัปดาห์) เดียวกันในหลายปี

โดยค่า TCI ประมาณ 50% จะแสดงถึงสภาพอุณหภูมิที่ปานกลางหรือปกติ เมื่อ TCI เข้าใกล้ 100% นั่นคือค่า BT ของเดือนนั้นเท่ากับค่าต่ำสุดของระยะเวลายาวนานในอดีต ถ้า TCI มีค่าต่ำ (เข้าใกล้ 0) แสดงถึงอากาศที่ร้อนมากในเดือนนั้น เมื่อ TCI เท่ากับ 0% นั่นคือค่า BT ของเดือนนั้นเท่ากับค่าสูงสุดของระยะเวลายาวนานในอดีต ซึ่งถ้า TCI มีค่าต่ำต่อเนื่องหลายเดือนจะแสดงถึงการพัฒนาหรือการมีอยู่ของความแห้งแล้ง โดยในการศึกษาของ Yagci et al. (2011) ยังได้จำแนกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งของดรรรชนี TCI โดยใช้เกณฑ์เดียวกับกับดรรรชนี VCI

2.3 ดรรรชนีความแห้งแล้งรวม

จากแนวคิดที่ว่าไม่มีทางที่ดรรรชนีภัยแล้งเพียงหนึ่งตัวจะสามารถแสดงผลกระทบของความแห้งแล้งทั้งด้านอุตุนิยมิวิทยา การเกษตร และอุทกวิทยาได้ ดังนั้นในการติดตามความแห้งแล้งโดยรวมดรรรชนีชนิดต่าง ๆ จึงได้ถูกนำมาใช้ นอกจากนี้ในปัจจุบันในหลายประเทศได้มีการพัฒนาดรรรชนีความแห้งแล้งรวมเพื่อนำมาใช้ในการติดตามสภาวะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้น ตัวอย่างของดรรรชนีความแห้งแล้งรวม ได้แก่

2.3.1 ดรรรชนีความแห้งแล้งรวมประเทศสหรัฐอเมริกา United States Drought Monitor

United States Drought Monitor ได้พัฒนาและใช้ติดตามความแห้งแล้งของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ ค.ศ. 1999 (Svoboda et al., 2002) โดยจำแนกขนาดของความแห้งแล้งตาม Percentile โอกาสการเกิดในปีใดๆ จาก 100 ปี ดังตาราง 8

ตาราง 8 การจำแนกขนาดของความแห้งแล้งของ United States Drought Monitor

การจำแนก	สภาพความแห้งแล้ง	Percentile โอกาสการเกิด
D0	แห้งผิดปกติ (Abnormally dry)	20 ถึง \leq 30
D1	แห้งแล้งปานกลาง (Moderate drought)	10 ถึง \leq 20
D2	แห้งแล้งรุนแรง (Severe drought)	5 ถึง \leq 10
D3	แห้งแล้งรุนแรงที่สุด (Extreme drought)	2 ถึง \leq 5
D4	แห้งแล้งผิดปกติ (Exceptional drought)	\leq 2

ที่มา: Svoboda et al., 2002

ในการจำแนกได้แบ่งความแห้งแล้งเป็น 4 ระดับ คือ D1, D2, D3 และ D4 สำหรับระดับที่ D0 กำหนดเป็นสภาพแห้งผิดปกติ ซึ่งอาจเป็นสภาพที่เกิดขึ้นก่อนความแห้งแล้งหรือแสดงถึงผลกระทบที่ยังอยู่หลังจากเหตุการณ์ความแห้งแล้ง

โดยดรชนีนี้จะขึ้นอยู่กับดรชนีความแห้งแล้ง 6 ชนิด คือ ดรชนี PDSI, ดรชนีความชื้นในดินจากศูนย์พยากรณ์ภูมิอากาศ (Climate Prediction Center (CPC) soil moisture model percentiles), ดรชนี Streamflow Percentiles จาก United States Geological Survey (USGS), ดรชนี Percent of Normal ของปริมาณฝน, ดรชนี SPI และดรชนี Vegetation Health Index (VHI) จากข้อมูลการรับรู้ระยะไกล สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างทั้ง 6 ดรชนีและระบบการจำแนกขนาดของความแห้งแล้งนี้แสดงดังภาพ 5

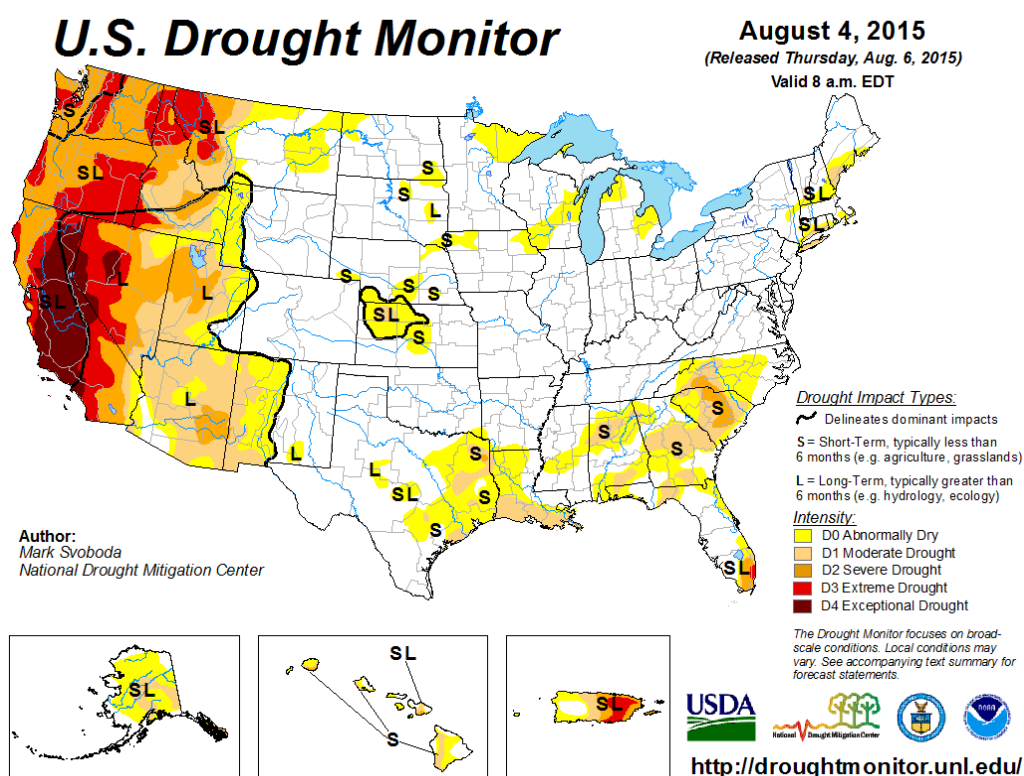
Drought Monitor classification							
Drought type		Associated ranges of objective indicators					
Category	Description	Palmer drought	CPC soil moisture	USGS weekly	Percent of normal	Standardized precipitation	Satellite vegetation
D0	Abnormally dry	-1.0 to -1.9	21-30	21-30	< 75% for 3 months	-0.5 to -0.7	36-45
D1	Moderate drought	-2.0 to -2.9	11-20	11-20	< 70% for 3 months	-0.8 to -1.2	26-35
D2	Severe drought	-3.0 to -3.9	6-10	6-10	< 65% for 6 months	-1.3 to -1.5	16-25
D3	Extreme drought	-4.0 to -4.9	3-5	3-5	< 60% for 6 months	-1.6 to -1.9	6-15
D4	Exceptional drought	-5.0 or less	0-2	0-2	< 65% for 12 months	-2.0 or less	1-5

ภาพ 5 ความสัมพันธ์ของ 6 ดรชนีภัยแล้งกับขนาดความรุนแรงของความแห้งแล้งใน United States Drought Monitor

ที่มา: Svoboda et al., 2002

ดรชนี United States Drought Monitor ได้นำเสนอในรูปแบบของแผนที่ทุกสัปดาห์ทาง website โดยนอกจากจะมีการจำแนกขนาดของความแห้งแล้งแล้วยังได้แสดงชนิดของผลกระทบที่เกิดขึ้นโดดเด่นในพื้นที่ เนื่องจากความแห้งแล้ง หมายถึงการขาดแคลนความชื้นจนกระทั่งเกิดผลกระทบ โดยใช้ตัวอักษร S (Short-Term) คือ น้อยกว่า 6 เดือน เช่น การเกษตร พืชหญ้าเลี้ยงสัตว์

และ L (Long-Term) คือ มากกว่า 6 เดือน เช่น อุทกวิทยา นิเวศน์วิทยา สำหรับตัวอย่างแผนที่แสดง United States Drought Monitor ดังภาพ 6



ภาพ 6 แผนที่แสดง United States Drought Monitor

ที่มา: National Drought Mitigation Center, 2015

2.3.2 ดรรชนีความแห้งแล้งรวมของ FAO, Combined Drought Index: CDI

ดรรชนี CDI ได้พัฒนาขึ้นโดย Food and Agriculture Organization of the United Nation: FAO (2011) ซึ่งอาศัยหลักการเปรียบเทียบทางสถิติ โดยการวัดสภาพปัจจุบันว่ามีการเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยที่มีระยะเวลายาวนานหลายปีอย่างไร เพื่อใช้ติดตามความแห้งแล้งรายสัปดาห์หรือรายเดือน ซึ่งประกอบด้วย 3 ดรรชนี คือ ดรรชนี Precipitation Drought Index (PDI) ที่พิจารณาปริมาณฝนและจำนวนของช่วงสัปดาห์ (เดือน) ต่อเนื่องที่มีปริมาณฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ย, ดรรชนี Vegetation Drought Index (VDI) ที่พิจารณา NDVI และจำนวนของช่วงสัปดาห์ (เดือน) ต่อเนื่องที่มี NDVI ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย และดรรชนี Temperature Drought Index (TDI) ที่พิจารณาอุณหภูมิและ

จำนวนของช่วงสัปดาห์ (เดือน) ต่อเนื่องที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าเฉลี่ย โดยดรชนี CDI จะคำนวณด้วยวิธี ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของทั้ง 3 ดรชนี และการคำนวณ CDI สำหรับเดือน m ของปี i มีสมการดังนี้

$$CDI_{i,m} = 0.5 \times PDI_{i,m} + 0.25 \times TDI_{i,m} + 0.25 \times VDI_{i,m} \quad (2.71)$$

ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักสะท้อนให้เห็นว่าปริมาณฝนเป็นสิ่งสำคัญในขบวนการของความแห้งแล้งมากกว่าอีกสองปัจจัย สมการที่ (2.71) แสดงการคำนวณโดยทั่วไปของดรชนี CDI และใช้กับ รายเดือนหรือหน่วยเวลาที่นานกว่า แต่ถ้าคำนวณในช่วงสัปดาห์สมการสามารถดัดแปลงเพื่อสะท้อน ความจริงที่ว่าโดยทั่วไปปริมาณฝนในวันปัจจุบันหรือความชื้นของดินในพื้นที่ที่กำหนดมีแนวโน้มที่จะ ส่งผลกระทบต่อพืชในพื้นที่ประมาณ 2 ช่วงสัปดาห์ ดังนั้นสมการสำหรับช่วงสัปดาห์ m ของปี i คือ

$$CDI_{i,m} = 0.5 \times PDI_{i,m} + 0.25 \times TDI_{i,m} + 0.25 \times VDI_{i,m+2} \quad (2.72)$$

สมการข้างต้นง่ายสำหรับการวิเคราะห์เหตุการณ์ในอดีต แต่ในการติดตามความแห้งแล้ง ในเวลาจริง ค่าดรชนี VDI สำหรับช่วงเวลาที่ $m+2$ จะยังไม่ทราบ ดังนั้นจะนำค่า NDVI ในปัจจุบัน มาใช้แทนในสมการ

จากนิยามของ CDI ที่ประกอบด้วยดรชนีที่ได้จากปริมาณฝน NDVI และอุณหภูมิ ซึ่ง เปรียบเทียบค่าจริงในปัจจุบันกับค่าเฉลี่ยในระยะเวลาก่อนหน้า ค่า CDI เท่ากับ 1 แสดงถึงสภาวะเฉลี่ย ถ้าค่า CDI มากกว่า 1 แสดงว่าชุ่มชื้นกว่าค่าเฉลี่ย และถ้าค่า CDI น้อยกว่า 1 แสดงว่าแห้งกว่าค่าเฉลี่ย และได้จำแนกระดับความแห้งแล้งของดรชนี CDI สำหรับทวีปแอฟริกา ดังตาราง 9

ตาราง 9 การจำแนกระดับความแห้งแล้งของดรชนี CDI

ค่าดรชนี CDI	ระดับ
>1.0	ไม่แห้งแล้ง (No drought)
1.0 – 0.8	แห้งแล้งเล็กน้อย (Mild)
0.8 – 0.6	แห้งแล้งปานกลาง (Moderate)
0.6 – 0.4	แห้งแล้งรุนแรง (Severe)
<0.4	แห้งแล้งรุนแรงที่สุด (Extreme)

ที่มา: FAO, 2011

2.3.3 ดรรชนีความแห้งแล้งรวมประเทศจีน Comprehensive Index: CI

ดรรชนี CI พัฒนาโดย Beijing Climate Center ของกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศจีน ซึ่งคำนวณจากดรรชนี SPI และดรรชนีความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity index: M) ดังนี้

$$CI = aSPI_{30} + bSPI_{90} + cM_{30} \quad (2.73)$$

เมื่อ SPI_{30} คือ ดรรชนี SPI ราย 30 วัน

SPI_{90} คือ ดรรชนี SPI ราย 90 วัน

M_{30} คือ ดรรชนีความชื้นสัมพัทธ์ราย 30 วัน

a , b และ c คือ ค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเท่ากับ 0.4, 0.4 และ 0.8 ตามลำดับ ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยเฉพาะค่าที่อยู่ในระดับแห้งแล้งตั้งแต่เล็กน้อยขึ้นไปจนถึงแห้งแล้งรุนแรงที่สุดของดรรชนี SPI_{30} , SPI_{90} และ M_{30} หารด้วยค่าต่ำสุดของดรรชนี SPI_{30} , SPI_{90} และ M_{30} ตามลำดับ (Cheng et al., 2018)

สำหรับดรรชนีความชื้นสัมพัทธ์แสดงถึงสมดุลระหว่างปริมาณฝนและการคายระเหยน้ำในช่วงระยะเวลาหนึ่ง คำนวณดังนี้

$$MI_{30} = \frac{P_{30} - PE_{30}}{PE_{30}} \quad (2.74)$$

เมื่อ P_{30} คือ ปริมาณฝนรวมในช่วงเวลา 30 วันที่ผ่านมา [mm]

PE_{30} คือ ปริมาณศักยภาพการคายระเหยน้ำรวมในช่วงเวลา 30 วันที่ผ่านมา [mm]

เนื่องจากดรรชนี CI สามารถระบุถึงความผิดปกติทางภูมิอากาศของปริมาณฝนทั้งระยะสั้นในช่วงเดือน (30 วัน) และระยะยาวในช่วงฤดูกาล (90 วัน) ดังนั้นดรรชนี CI จึงเหมาะสำหรับการติดตามความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาและประเมินความแห้งแล้งในอดีต (Cheng et al., 2018) สำหรับการจำแนกขนาดความรุนแรงของดรรชนี CI ดังตาราง 10

ตาราง 10 การจำแนกระดับความแห้งแล้งของดัชนี CI ประเทศจีน

ค่าดัชนี CI	ระดับ
>-0.6	ไม่แห้งแล้ง (No drought)
>-1.2 ถึง -0.6	แห้งแล้งเล็กน้อย (Slight drought)
>-1.8 ถึง -1.2	แห้งแล้งปานกลาง (Moderate drought)
>-2.4 ถึง -1.8	แห้งแล้งรุนแรง (Heavy drought)
\geq -2.4	แห้งแล้งรุนแรงที่สุด (Extreme drought)

ที่มา: Wang et al., 2014

ดัชนีความแห้งแล้งที่ได้จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลการรับรู้ระยะไกลได้มีการศึกษาและนำไปประยุกต์เพื่อตรวจวัด ติดตาม และประเมินความแห้งแล้งในด้านต่างๆ ทั้งทางด้านอุตุนิยมวิทยา อุทกวิทยา และการเกษตร ดังตัวอย่างในตาราง 11

ตาราง 11 การศึกษาและการประยุกต์ใช้ดัชนีความแห้งแล้ง

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	ข้อมูลที่ใช้	วิธีการ	จุดสำคัญ	อ้างอิง
1	ประเทศไทย	ปริมาณฝนรายปี	ดัชนี PNI และ Deciles	ประเมินสภาวะฝนแล้ง	นงคณาถ (2537)
2	ประเทศไทย	ปริมาณฝนและน้ำระเหยเฉลี่ยรายเดือน	ดัชนี MAI	ศึกษาปริมาณน้ำน้อยที่สุดที่พืชไร่ต้องการ	กมลศรี (2538)
3	ทั่วโลก	อุณหภูมิและปริมาณฝนรายเดือน ในรูปแบบ grid	ดัชนี PDSI	ตรวจสอบการผันแปรของช่วงชุ่มชื้นและแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาของทั่วโลกในศตวรรษที่ 20	Dai et al. (1998)
4	จังหวัด Cordoba ประเทศอาร์เจนตินา	ข้อมูลดาวเทียม NOAA และข้อมูลผลผลิตข้าวโพด	ดัชนี VCI และ TCI	การตรวจหาความแห้งแล้งและประเมินผลกระทบที่มีต่อผลผลิตข้าวโพด	Seiler et al. (1998)
5	ลุ่มน้ำแม่กลอง	ปริมาณฝนรายวันและจำนวนวันที่มีฝนตก	ดัชนี PNI, Deciles, Generalized Monsoon Index (GMI) และ Aridity Index วิธีการกำหนดค่าคะแนน	ประเมินความแห้งแล้งด้วยดัชนีความแห้งแล้ง ร่วมกับการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	อภิรัฐ (2544)
6	ประเทศฟิลิปปินส์	ปริมาณฝน และการคายระเหยน้ำรายเดือน	ดัชนี MAI	แผนที่ความเปราะบางต่อเหตุการณ์เอลนีโญสำหรับข้าวและข้าวโพด	Jose et al. (2002)
7	เกาะ Rarotonga ประเทศนิวซีแลนด์	ปริมาณฝนรายเดือน	ดัชนี SPI, Deciles และ Rainfall depreciation	ประเมินความเหมาะสมของดัชนีความแห้งแล้งในการชี้วัดความแตกต่างจากปกติของปริมาณฝนเพื่อบริหารจัดการน้ำประปา	Parakoti & Scott (2002)

ตาราง 11 (ต่อ)

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	ข้อมูลที่ใช้	วิธีการ	จุดสำคัญ	อ้างอิง
8	ประเทศ อินเดีย	ข้อมูลดาวเทียม NOAA ข้อมูล ผลผลิตพืชและ ปริมาณฝน	ดรรรชนี VCI และ TCI	ติดตามความแห้งแล้ง และ ตรวจสอบความสัมพันธ์ ระหว่างดรรรชนี VCI และ TCI กับสภาพความ แห้งแล้ง	Singh et al. (2003)
9	ประเทศ ไทย	ปริมาณฝนราย เดือน	ดรรรชนี SPI ราย 3, 6 และ 12 เดือน	วิเคราะห์ความรุนแรงของ ความแห้งแล้ง	ชลาสัย (2547)
10	ประเทศ ไทย	ข้อมูลอุตุนิยม วิทยารายวัน และ ข้อมูลดาวเทียม NOAA และ Landsat5	ดรรรชนี PDSI, NDVI	การจำแนกความแห้งแล้ง ทางอุตุนิยมวิทยา โดย วิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างดรรรชนี PDSI กับ NDVI และสภาพความจริง ในพื้นที่	สมชาย และคณะ (2548)
11	ทั่วโลก	ความน่าจะเป็น ของปริมาณฝนที่ ระดับ 75% และ ศักยภาพการคายระเหย น้ำ	ดรรรชนี MAI	แผนที่ดรรรชนี MAI รายปี รายเดือน และรายสัปดาห์ ในโครงการจัดทำชุดแผนที่ ภูมิอากาศและน้ำของโลก	Hargreaves and Keller (2005)
12	ตอนกลาง ของ ประเทศ โปแลนด์	ปริมาณฝนราย เดือน	ดรรรชนี SPI ราย 3, 6, 12, 24 และ 48 เดือน	วิเคราะห์ความแห้งแล้ง ทางอุตุนิยมวิทยา	Labeledzki (2007)
13	ประเทศ ไทย	ปริมาณฝน อุณหภูมิต่ำ ความชื้น สัมพัทธ์ ความเร็ว ลม และความนาน แสงแดดรายวัน	ดรรรชนี MAI ราย 10 วัน	ศึกษาลักษณะเฉลี่ยของ ความชื้นในดินที่เป็น ประโยชน์สำหรับพืชจาก ดรรรชนี MAI	อภันตรี (2551)

ตาราง 11 (ต่อ)

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	ข้อมูลที่ใช้	วิธีการ	จุดสำคัญ	อ้างอิง
14	ลุ่มน้ำยม	ปริมาณฝนรายปี และรายฤดูกาล และข้อมูลภัยแล้ง	ดรรรชนี Average, Deciles, SPI, GMI และ Average Seasonal Change Index (ASCI)	พัฒนาดรรรชนี ASCI โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของฝนรายเดือนในฤดูกาลที่พิจารณา กับการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยในอดีต และศึกษาดรรรชนีชี้วัดภัยแล้งที่เหมาะสม จากการเปรียบเทียบกับข้อมูลภัยแล้ง	จิรภัทร (2551)
15	ลุ่มน้ำมูลตอนบน	ปริมาณฝนรายเดือน และข้อมูลภัยแล้ง	ดรรรชนี SPI รายปี รายฤดูกาล รายช่วง ฤดูกาลเพาะปลูก และเดือนเมษายน	ศึกษาดรรรชนี SPI ในการชี้วัดความแห้งแล้งเชิงเกษตรกรรมของข้าวและพืชไร่ที่เหมาะสม	พาพนันท์ (2551)
16	ลุ่มน้ำ Ruhr ประเทศเยอรมัน	ปริมาณฝนรายวัน	ดรรรชนี SPI ราย 1, 3, 6, 9, 12 และ 24 เดือน	ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความถี่ ความต่อเนื่อง และความรุนแรงของความแห้งแล้ง	Khadr et al. (2009)
17	ลุ่มน้ำ Evinos ประเทศกรีซ	ปริมาณฝน และปริมาณการไหลของแม่น้ำ	ดรรรชนี SPI, Streamflow Drought Index (SDI) และวิธี Markov chain	พัฒนาดรรรชนี SDI โดยใช้วิธีการเดียวกันกับดรรรชนี SPI แต่ใช้ข้อมูลปริมาณการไหลของแม่น้ำแทน ข้อมูลปริมาณฝน และคาดหมายความเป็นไปได้ที่สภาวะความแห้งแล้ง	Nalbantis and Tsakiris (2009)

ตาราง 11 (ต่อ)

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	ข้อมูลที่ใช้	วิธีการ	จุดสำคัญ	อ้างอิง
18	จังหวัด ขอนแก่น	ปริมาณฝน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิสูงสุดและ ต่ำสุด ความเร็วลม ความนานแสงแดด การระเหยของน้ำ และการใช้ ประโยชน์ที่ดิน	โปรแกรม CROPWAT คำนวณความ ต้องการน้ำของพืช และระบบ สารสนเทศ ภูมิศาสตร์ในการ ซ้อนทับและ วิเคราะห์ข้อมูล	พัฒนาตรรชนีความ แห้งแล้งกรณีที่มีพืช ปกคลุมจากสัดส่วนของ ปริมาณฝนกับปริมาณ ความต้องการน้ำของพืช และกรณีที่ไม่มีพืชปกคลุม จากสัดส่วนของปริมาณ ฝนกับปริมาณการระเหย ของน้ำ	ฐิตินันท์ (2554)
19	ประเทศ ไทย	ข้อมูลอุตุนิยม วิทยา ข้อมูล ดาวเทียม Terra และข้อมูลความชื้น ในดิน	ตรรชนี Effective Drought Index, GMI, SPI, MAI, Aridity Anomaly Index, NDVI และ ตรรชนีความชื้นใน ดินที่คำนวณได้ จากดาวเทียม	ศึกษาตรรชนีความ แห้งแล้งต่างๆ และ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างตรรชนีความ แห้งแล้งกับความชื้นในดิน ที่ตรวจวัดภาคสนาม	ส่วนอุตุ นิยมวิทยา เกษตร (2554, 2555)
20	ประเทศ บังคลาเทศ	ปริมาณฝนราย เดือน และข้อมูล เหตุการณ์ความ แห้งแล้งในอดีต	ตรรชนี SPI ราย 1, 3, 6, 9, 12 และ 24 เดือน	วิเคราะห์ความแห้งแล้ง เปรียบเทียบกับสถิติความ แห้งแล้งในอดีต	Rafiuddin et al. (2011)
21	จังหวัด Thal Doab ประเทศ ปากีสถาน	ข้อมูลดาวเทียม Landsat และ Spot ข้อมูล อุตุนิยมวิทยาและ การเกษตร	ตรรชนี NDVI, SPI วิธีการ weighting linear combination	แผนที่แสดงความรุนแรง ของความแห้งแล้งด้าน อุตุนิยมวิทยาและด้าน การเกษตร	Shaheen and Baig (2011)

ตาราง 11 (ต่อ)

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	ข้อมูลที่ใช้	วิธีการ	จุดสำคัญ	อ้างอิง
22	ประเทศไทย	ข้อมูลอุตุนิยม วิทยา	ดรชนี PDSI, SPI, Stream flow weekly, MAI และ NDVI	ศึกษาวิจัยการกำหนด ดรชนีภัยแล้งรวมทั้ง เหมาะสมสำหรับประเทศ ไทย จากดรชนีภัยแล้ง รายสัปดาห์ ร่วมกับระบบ สารสนเทศภูมิศาสตร์ โดย กำหนดค่าคะแนนความ เสี่ยงและค่าถ่วงน้ำหนัก ของดรชนีจากความ คิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ	บัญชา และคณะ (2556)
23	ประเทศ อิหร่าน	ดรชนี PDSI ความชื้นในดิน อุณหภูมิ และ ปริมาณฝนราย เดือน	วิเคราะห์ดรชนี PDSI และความ สัมพันธ์กับความชื้น ในดิน อุณหภูมิ และปริมาณฝน	ประเมินความรุนแรงและ การผันแปรของความ แห้งแล้งในเชิงพื้นที่และ เวลา	Zoljoodi and Didevarasl (2013)
24	ตะวันออก และตอน กลางของ ประเทศจีน	ข้อมูลอุตุนิยม วิทยา ข้อมูล ดาวเทียม ข้อมูลน้ำ ผิวดิน สภาพการ เจริญเติบโตของพืช และข้อมูลชีวมวล ได้แก่ Land Cover, Ecological Region, Irrigation Agriculture Region, Soil Available Water Capacity และ Elevation และ ข้อมูลภัยแล้ง	ดรชนี SPI, NDVI, VCI, TCI, Land Surface Temperature, Vegetation Supply Water Index, Percent of Average Seasonal Greenness และ Start of Season Anomaly เทคนิค data-mining และ วิธี Linear Regression	พัฒนาดรชนี Integrated Surface Drought Index (ISDI) โดยการรวมดรชนี ความแห้งแล้งและตัวแปร ชีวฟิสิกส์ ด้วยวิธี Linear Regression ที่มีค่าเฉลี่ย ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า และสัมพันธ์สูงกว่า และ ตรวจสอบดรชนี ISDI โดยเปรียบเทียบกับข้อมูล ภัยแล้ง	Wu et al. (2013)

ตาราง 11 (ต่อ)

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	ข้อมูลที่ใช้	วิธีการ	จุดสำคัญ	อ้างอิง
25	ลุ่มน้ำ Yangtze ตอนบนในประเทศจีน	ปริมาณการไหลของแม่น้ำรายวัน	ดรรรชนี SDI ราย 12 เดือน	ประเมินความแห้งแล้งทางอุทกวิทยา	Hong et al. (2015)
26	ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ตอนบน	ปริมาณฝนรายวัน และข้อมูลดาวเทียม Terra (MODIS)	ดรรรชนี SPI ราย 10, 30, 60 และ 90 วัน และดรรรชนี VCI	ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดรรรชนี SPI กับผลกระทบของความแห้งแล้งที่มีต่อพืชพรรณ	Baimoung et al. (2015)
27	ตะวันออกของทวีปแอฟริกา	ข้อมูลปริมาณฝนและความชื้นในดินรายเดือน ราย ละเอียดเชิงพื้นที่ $2/3^{\circ} \times 1/2^{\circ}$	วิธี Ensemble Streamflow Prediction (ESP) ดรรรชนี Multivariate Standardized Drought Index (MSDI)	ประยุกต์ใช้แนวคิดของ ESP เพื่อพยากรณ์ฝนและความชื้นในดินรายฤดู และนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ในการพยากรณ์ดรรรชนี MSDI	Aghakou-chak (2015)
28	ลุ่มน้ำแม่กลอง ลุ่มน้ำยม และลุ่มน้ำชี	ข้อมูลอุตุนิยม วิทยา ข้อมูล ปริมาณน้ำท่า และข้อมูลดาวเทียม Terra (MODIS) และความชื้นของดิน	ดรรรชนี PDSI, SPI, MAI, Weekly Stream Flow และ NDVI วิธี กำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก	พัฒนาดรรรชนีความแห้งแล้งรวมรายสัปดาห์ โดยการคัดเลือกดรรรชนี และกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ และตรวจสอบดรรรชนีความแห้งแล้งรวมกับการสำรวจภาคสนาม และความชื้นของดิน	อภิรัฐ (2559)

ตาราง 11 (ต่อ)

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	ข้อมูลที่ใช้	วิธีการ	จุดสำคัญ	อ้างอิง
29	ลุ่มน้ำ สะแกกรัง	ปริมาณฝน และ ข้อมูลการวิเคราะห์ ความแห้งแล้งของ กรมทรัพยากรน้ำ	ดรรรชนี SPI และ Meteorological Drought Index	ศึกษาระดับความรุนแรง ของความแห้งแล้งทาง อุตุนิยมวิทยาจากดรรรชนี ความแห้งแล้งเปรียบเทียบ กับข้อมูลการวิเคราะห์ ความแห้งแล้งของกรม ทรัพยากรน้ำ	พัฒนาและ คณะ (2559)
30	ลุ่มน้ำชี	ปริมาณฝน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิสูงสุดและ ต่ำสุด ความเร็วลม และรังสีดวง อาทิตย์ และข้อมูล ภัยแล้ง	ดรรรชนี SPI, Standardized Precipitation Evapotranspi- ration Index (SPEI) และ Standardized Precipitation Actual Evapo- transpiration Index (SPA EI)	ประเมินสมรรถนะของ ดรรรชนีความแห้งแล้ง 3 ชนิด ได้แก่ ดรรรชนี SPI, SPEI และ SPA EI โดย เปรียบเทียบกับข้อมูล ภัยแล้ง และศึกษา แนวโน้มความแห้งแล้ง ของลุ่มน้ำชี	Homdee et al. (2016)
31	ลุ่มน้ำ สะแกกรัง	ปริมาณฝนราย เดือน	ดรรรชนี SPI และ วิธีการพยากรณ์ ปริมาณฝน 3 วิธี คือ Single Moving Average, Simple Exponential Smoothing และ Double Exponential Smoothing	วิเคราะห์ความแห้งแล้ง ทางอุตุนิยมวิทยาจาก ดรรรชนี SPI และศึกษา พยากรณ์ปริมาณฝนราย เดือน จากนั้นพยากรณ์ ดรรรชนี SPI โดยใช้ข้อมูล ผลการพยากรณ์ปริมาณ ฝน	Wichita- rapong- sakun et al. (2016)

ตาราง 11 (ต่อ)

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	ข้อมูลที่ใช้	วิธีการ	จุดสำคัญ	อ้างอิง
32	แม่น้ำยม	ปริมาณการไหล ของแม่น้ำรายวัน	คำนวณปริมาณ การไหลขณะที่ น้อยกว่าระดับ จำกัดและความถี่ ในรอบการเกิดซ้ำ 2, 5, 10 และ 20 ปี	วิเคราะห์ความถี่และความ รุนแรงของความแห้งแล้ง ทางอุทกวิทยาในแม่น้ำยม	Sawatpru and Konyai (2016)
33	ประเทศ ยูกันดา	ปริมาณฝนรายปี และรายเดือน	ดรรชนี Deciles รายปีและราย เดือน	ศึกษาการเกิดและความ รุนแรงของความแห้งแล้ง ทางอุตุนิยมวิทยา	Mulinde et al. (2016)
34	ประเทศ ไทย	ข้อมูลดาวเทียม FY2 และ Terra (MODIS)	ดรรชนี SPI, SDT และ Drought Severity Index (DSI)	วิเคราะห์ความล่อแหลม จากดรรชนีความแห้งแล้ง และนำไปจัดทำแผนที่ ความเปราะบาง	Raksapat- charawong et al. (2017)
35	ประเทศ บราซิล	ข้อมูลอุตุนิยม วิทยา และชุด ข้อมูลการ คาดการณ์ ภูมิอากาศ CMIP5	ดรรชนี PDSI	ประเมินผลกระทบของ ความชื้นในดินจากดรรชนี PDSI เพื่อสนับสนุนการ วางแผนยุทธศาสตร์ ทางการเกษตรเกี่ยวกับ ความแห้งแล้ง	Rossato et al. (2017)
36	ทั่วโลก	ข้อมูลดาวเทียม Terra(MODIS) และข้อมูลความชื้น ของดิน	ดรรชนี Standardize Difference Temperature (SDT)	พัฒนาดรรชนี SDT โดยใช้ วิธีการเดียวกันกับดรรชนี SPI แต่ใช้ข้อมูลความ แตกต่างของอุณหภูมิ ผิวพื้นระหว่างกลางวัน และกลางคืนแทนข้อมูล ปริมาณฝน และตรวจสอบ ความสัมพันธ์ระหว่าง ดรรชนี SDT กับความชื้น ของดิน	Oki (2017)

ตาราง 11 (ต่อ)

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา	ข้อมูลที่ใช้	วิธีการ	จุดสำคัญ	อ้างอิง
37	ประเทศ อิหร่าน	ปริมาณฝนรายปี	ดรรรชนี PNI	วิเคราะห์รูปแบบของความ แห้งแล้งเชิงพื้นที่	Jokar and Masoudi (2018)
38	จังหวัด Hebei เมือง Beijing และ Tianjin ประเทศจีน	ข้อมูลอุตุนิยม วิทยา ข้อมูล ดาวเทียม Terra(MODIS) และ TRMM ข้อมูลขนาดพื้นที่ ปลูกพืชที่ประสบ ภัยแล้งและผลผลิต ข้าวสาลี	ดรรรชนี CI, VCI, TCI และ Precipitation Condition Index รายเดือน และ ดรรรชนี SPI ราย 3 เดือน	พัฒนาดรรรชนี Comprehensive Drought Index of Remote sensing (CDIR) โดยการรวมดรรรชนีความ แห้งแล้ง ด้วยเทคนิค multi-regression และ ตรวจสอบความถูกต้อง กับดรรรชนี SPI ราย 3 เดือน ขนาดพื้นที่ปลูกพืช ที่ประสบภัยแล้งและ ผลผลิตข้าวสาลี	Yu et al. (2019)
39	ภาคเหนือ ของ ประเทศ ไทย	ข้อมูลอุตุนิยม วิทยา และข้อมูล ดาวเทียม Terra (MODIS) และ ข้อมูลภัยแล้ง	ดรรรชนี SPI, Deciles และ MAI ราย 1, 3 และ 6 เดือน ดรรรชนี PDSI รายเดือน	วิเคราะห์เปรียบเทียบ ดรรรชนีความแห้งแล้งทาง อุตุนิยมวิทยาต่างๆ กับ ข้อมูลภัยแล้ง ทั้งกรณีที่มี ความแห้งแล้งและไม่มี ความแห้งแล้ง และศึกษา แนวโน้มของความแห้งแล้ง	Yuttaphan et al. (2020)

2.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.4.1 การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ที่มีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรที่เป็นต้นเหตุซึ่งเรียกว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรที่เป็นผลซึ่งเรียกว่าตัวแปรตาม โดยสามารถประมาณค่าได้จากสมการ

$$Y = a + bX \quad (2.76)$$

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตาม (Dependent variable)
 x คือ ตัวแปรอิสระ (Independent variable)
 a, b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ที่แสดงถึงจุดตัดแกน Y และความชันของเส้นสมการถดถอยตามลำดับ

2.4.2 การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (multiple linear regression)

เป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่เป็นต้นเหตุจำนวนตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปกับตัวแปรตามจำนวน 1 ตัวที่เป็นผล โดยความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้นตรงและสามารถประมาณค่าได้จากสมการ

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (2.77)$$

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตาม
 X_1, X_2, \dots, X_k คือ ตัวแปรอิสระ
 a, b_1, b_2, \dots, b_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์

2.4.3 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2 หรือ r^2)

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ หมายถึง สัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปรอิสระ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม Y ได้ ดังนั้นถ้า R^2 มีค่ามากแสดงว่าความผันแปรของ X มีอิทธิพลต่อการผันแปรของ Y ได้มาก โดยที่

$$R^2 = \frac{\text{ความแปรปรวนของ } Y \text{ ที่เกิดจาก } X}{\text{ความแปรปรวนของ } Y \text{ ทั้งหมด}} \quad (2.78)$$

ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า เปอร์เซ็นต์ที่ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y มีค่ามาก หรือ X มีความสัมพันธ์กับ Y มาก แต่ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า เปอร์เซ็นต์ที่ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y มีค่าน้อย

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจะมีความหมายเหมือนกับ ความหมายของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย แต่เปลี่ยนจากตัวแปรอิสระ X เป็น X_1, X_2, \dots, X_k

$$R^2 = \frac{\text{ความแปรปรวนของ } Y \text{ เนื่องจากอิทธิพลของ } X_1, X_2, \dots, X_k}{\text{ความแปรปรวนของ } Y \text{ ทั้งหมด}} \quad (2.79)$$

2.4.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: R หรือ r)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นค่าที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม Y กับตัวแปรอิสระ X ว่ามีความสัมพันธ์มากน้อยเพียงใด ค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้จากการถอดรากที่สองของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

ถ้า R มีค่าเป็นลบ แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม แต่ถ้า R มีค่าเป็นบวก แสดงว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

ถ้า R มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและมีความสัมพันธ์กันมาก ถ้า R มีค่าเข้าใกล้ -1 หมายถึง X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามและมีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้า R มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย และถ้า $R = 0$ แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน

ในการทำงานเดียวกันสำหรับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม Y กับตัวแปรอิสระ X_1, X_2, \dots, X_k

2.4.5 ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง หมายถึง ส่วนหนึ่งของประชากรที่นำมาศึกษาซึ่งเป็นตัวแทนของประชากร โดยที่ประชากร หมายถึง สมาชิกทุกหน่วยของสิ่งที่สนใจศึกษา (เอมอร์, ม.ป.ป.) ขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีผลต่อความน่าเชื่อถือของการสรุปผลงานวิจัย แต่ความจริงแล้วไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอนตายตัวว่าจะต้องใช้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวนเท่าใด การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างผู้วิจัยควรคำนึงถึงสิ่งต่างๆ ประกอบกัน เช่น ค่าใช้จ่าย เวลา วัตถุประสงค์ ลักษณะประชากร และความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ เป็นต้น ซึ่งสูตรการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีหลายวิธี แล้วแต่กรณี ดังนี้

1) กรณีทราบขนาดของประชากร ได้แก่

- สูตรของ Yamane (1973)

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (2.80)$$

เมื่อ n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N คือ ขนาดของประชากร

e คือ ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

- สูตรของ (Krejcie & Morgan, 1970)(Krejcie & Morgan, 1970)(Krejcie & Morgan, 1970)(Krejcie & Morgan, 1970)

$$n = \frac{\chi^2 N p (1-p)}{e^2 (N-1) + \chi^2 p (1-p)} \quad (2.81)$$

เมื่อ χ^2 คือ ค่าไคสแควร์ที่ degree of freedom เท่ากับ 1 และระดับความเชื่อมั่น 95% ($\chi^2 = 3.841$)

P คือ สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร (ถ้าไม่ทราบให้กำหนด $P = 0.5$)

2) กรณีไม่ทราบขนาดประชากร

- สูตรของ Cochran (1977) สำหรับต้องการประมาณค่าสัดส่วนของประชากร มี 2 กรณี คือ

กรณีทราบสัดส่วนของประชากรจากงานวิจัยที่ผ่านมา ใช้สูตร

$$n = \frac{p(1-p)Z^2}{e^2} \quad (2.82)$$

กรณีไม่ทราบสัดส่วนของประชากร ใช้สูตร

$$n = \frac{Z^2}{4e^2} \quad (2.83)$$

เมื่อ Z คือ ค่าปกติมาตรฐาน ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด
ถ้าระดับความเชื่อมั่น 90% หรือระดับนัยสำคัญ 0.10 ค่า $Z=1.65$
ถ้าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่า $Z=1.96$
ถ้าระดับความเชื่อมั่น 99% หรือระดับนัยสำคัญ 0.01 ค่า $Z=2.58$

- สูตรของ Cochran (1977) สำหรับต้องการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร

$$n = \frac{\sigma^2 Z^2}{e^2} \quad (2.84)$$

เมื่อ σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

การสำรวจตัวแปรที่ได้ประมาณค่าเป็นส่วนประกอบหนึ่งของการตรวจสอบความถูกต้องและขนาดของกลุ่มตัวอย่างของการสำรวจก็มีความสำคัญเท่าเทียมกัน Patel and Srivastava

(2013) ได้อธิบายเรื่องการวางแผนการสำรวจพื้นที่สำหรับการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมที่ใช้ช่วงคลื่นเรดาร์ (Synthetic Aperture Radar: SAR) ว่าการวางแผนการสำรวจพื้นที่จำเป็นต้องกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบความถูกต้องล่วงหน้าเนื่องจากการสำรวจพื้นที่จะต้องดำเนินการให้สอดคล้องกับการผ่านของดาวเทียม จำนวนขั้นต่ำของจุดตรวจสอบที่ต้องการสำหรับดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องสามารถกำหนดโดยใช้วิธี precision power ที่เสนอโดย Brooks and Barcikowski (1996) ซึ่งขนาดของกลุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบความถูกต้องสามารถได้จากการพิจารณาว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการตรวจสอบแบบไขว้ (cross validation) ไม่ได้ลดลงมากกว่าที่ผู้ใช้กำหนดอัตราของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับจำนวนตัวแปรต้นที่กำหนด โดยขนาดของกลุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบความถูกต้อง ($N_{validation}$) จะคำนวณจากสูตร

$$N_{validation} = \frac{p + 1 \times (2 - R_m^2 - pp \times R_m^2)}{(R_m^2 - pp \times R_m^2)} \quad (2.85)$$

เมื่อ R_m^2 คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการพัฒนาแบบจำลอง
 pp คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการตรวจสอบแบบไขว้ที่ต้องการให้ไม่น้อยกว่าร้อยละเท่าใดของ R_m^2
 p คือ จำนวนตัวแปรต้น

2.4.6 การทดสอบความถูกต้อง

สถิติที่นำมาใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองต่างๆ มีหลายชนิด ได้แก่

1) รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error: RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x'_i - x_i)^2} \quad (2.86)$$

เมื่อ x_i คือ ค่าของข้อมูลจริง
 x'_i คือ ค่าที่ได้จากการประมาณ
 n คือ จำนวนของข้อมูล

เป็นการวัดความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากการประมาณของแบบจำลอง ซึ่ง RMSE มีค่าเป็นบวกเสมอเพราะว่าเป็นการวัดความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (absolute deviation) โดย RMSE มีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง หรือ RMSE มีค่าต่ำกว่าแสดงถึงแบบจำลองที่ดีกว่า

2) ความคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ย (Mean bias error: MBE)

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x'_i - x_i) \quad (2.87)$$

เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบหรืออคติ ซึ่ง MBE จะบ่งชี้ถึงแนวโน้มของแบบจำลองว่าค่าผลลัพธ์ที่ได้จะมีแนวโน้มสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าจริง ค่า MBE ที่เข้าใกล้ศูนย์จะเป็นที่ต้องการ แต่การประมาณค่าสูงเกินจริงของแต่ละข้อมูลจะถูกถ่วงน้ำหนักโดยข้อมูลอื่นที่ประมาณค่าต่ำกว่าจริง

3) ร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean percentage error)

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - x'_i}{x_i} \right) \times 100 \quad (2.88)$$

เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยของร้อยละของความคลาดเคลื่อนที่แบบจำลองประมาณค่าแตกต่างจากค่าจริง เนื่องจากสมการจะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนจริงเช่นเดียวกับ MBE ดังนั้นความคลาดเคลื่อนที่เป็นบวกและลบสามารถชดเชยกัน ซึ่งค่า MPE ที่เข้าใกล้ศูนย์จะเป็นที่ต้องการ โดยค่า MPE ระหว่าง -10% ถึง 10% ได้พิจารณาว่ายอมรับได้ (Sarsah & Uba, 2013) แต่ข้อเสียของ MPE คือจะไม่สามารถหาค่าได้สำหรับข้อมูลจริงที่มีค่าเท่ากับศูนย์

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาตรรกะความแข็งแรงแม่นยำระหว่างเหตุการณ์เอนไซม์สำหรับพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมิวิทยาและข้อมูลดาวเทียมมีขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 พื้นที่ศึกษา

ในการศึกษานี้กำหนดให้ภาคเหนือของประเทศไทยเป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากความแข็งแรงในประเทศไทยจะส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับการเกษตร และภาคเหนือเป็นแหล่งเศรษฐกิจสำคัญด้านการเกษตร นอกจากนี้เมื่อเกิดความแข็งแรงอย่างรุนแรงในภาคเหนือไม่เพียงส่งผลกระทบต่อภาคเท่านั้น แต่ยังมีส่งผลกระทบต่อพื้นที่อื่น เนื่องจากแม่น้ำในภาคเหนือเป็นแหล่งต้นน้ำที่ใช้ในภาคกลางและเมืองหลวงของประเทศ

โดยลักษณะภูมิประเทศของภาคเหนือส่วนใหญ่เป็นป่าเขา มีพื้นที่ทำการเกษตรประมาณ 1 ใน 5 ของพื้นที่ทำการเกษตรทั้งประเทศ และเป็นแหล่งผลิตพืชสำคัญ ได้แก่ ข้าว อ้อย ข้าวโพด และถั่วเหลือง มีปริมาณผลผลิตประมาณหนึ่งในสี่ของผลผลิตทั้งประเทศ ขณะที่พืชสำคัญอื่น เช่น ลำไย ลิ้นจี่ กระเทียม ใบยาสูบเวอร์จิเนียและเบอร์เลย์ หอมแดง และหอมหัวใหญ่ เกือบทั้งหมดผลิตในภาคเหนือ นอกจากนั้นภาคเหนือยังเป็นแหล่งต้นน้ำของภาคกลาง กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล (ธนาคารแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.) โดยเป็นแหล่งต้นกำเนิดแม่น้ำสายสำคัญ เช่น แม่น้ำปิง วัง ยม และน่าน ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำเจ้าพระยา และน้ำฝนเป็นทรัพยากรน้ำที่สำคัญต่อการประกอบอาชีพเกษตรกรรม

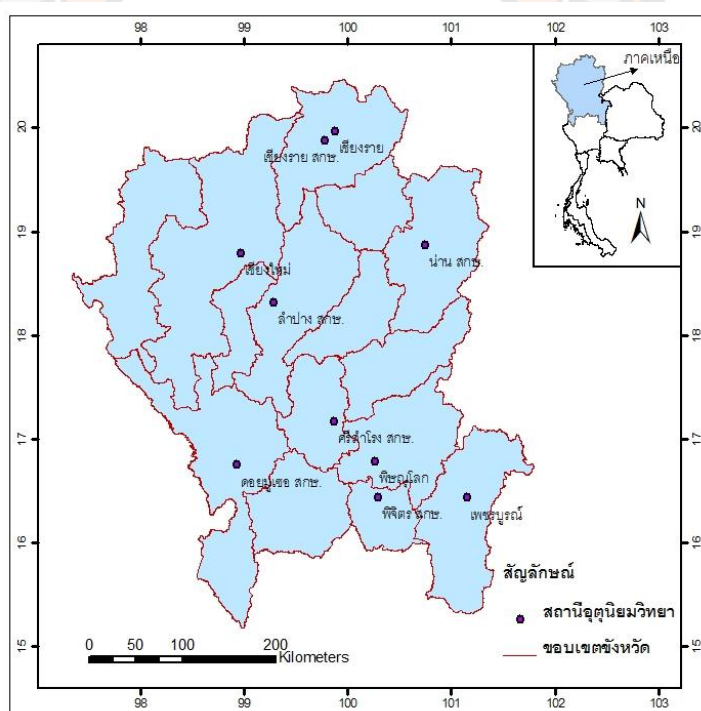
จากการแบ่งภาคทางอุตุนิยมิวิทยาของประเทศไทยซึ่งพิจารณาจากรูปแบบภูมิอากาศ (วิรัช, 2538) ภาคเหนือประกอบด้วย 15 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ อุตรดิตถ์ สุโขทัย ตาก กำแพงเพชร พิษณุโลก พิจิตร และเพชรบูรณ์ โดยภาคเหนืออยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมสองชนิด คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งจะนำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียเข้ามาทำให้มีฝนชุกทั่วไป กับมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งจะพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากประเทศมองโกเลียและจีนเข้ามาปกคลุมทำให้มีอากาศหนาวเย็นและแห้งทั่วไป ภาคเหนือมีลักษณะภูมิอากาศแบ่งเป็น 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน (ระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือน

พฤษภาคม) ฤดูฝน (ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม) และฤดูหนาว (ระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์) ปริมาณฝนรวมตลอดปีเฉลี่ยของภาคเหนือ 1230.9 มิลลิเมตร ส่วนอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่า 26.2 องศาเซลเซียส

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาวิจัยเพื่อที่จะพัฒนาตรรกษณ์ความแห้งแล้งแม่นยำในที่นี้ได้ใช้ข้อมูลด้านต่างๆ ได้แก่

3.2.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ซึ่งเป็นข้อมูลการตรวจวัดตัวแปรด้านภูมิอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยาของกรมอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือจำนวน 10 สถานี ได้แก่ สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย เชียงใหม่ พิชญ์โลก และเพชรบูรณ์ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย ลำปาง น่าน ศรีสำโรง ดอยมูเซอ และพิจิตร โดยตำแหน่งที่ตั้งของสถานีฯ ดังกล่าวแสดงในลักษณะของแผนที่ดังภาพ 7



ภาพ 7 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือของประเทศไทย

สำหรับรายละเอียดของข้อมูลตัวแปรอุตุนิยมวิทยาที่นำมาใช้มีดังนี้

- 1) ข้อมูลปริมาณฝนรายวัน ระหว่าง พ.ศ. 2494-2559
- 2) ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความนาน แสงแดดรายวัน ระหว่าง พ.ศ. 2524-2559

3) ข้อมูลความสูงของสถานีอุตุนิยมวิทยาเหนือระดับน้ำทะเล และความสูงเหนือพื้นดินของเสาวัดลมซึ่งใช้ในการตรวจวัดทิศทางและความเร็วลมที่ติดตั้งอยู่ในสถานีอุตุนิยมวิทยาทั้ง 10 สถานี โดยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลการตรวจวัดจากสถานีหลักของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีระบบการตรวจสอบความถูกต้อง (Quality Control) ของข้อมูลการตรวจวัดสารประกอบอุตุนิยมวิทยาตามมาตรฐานขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization: WMO) ในการปฏิบัติงานจริงจะดำเนินการ 2 วิธี คือ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการตรวจสอบอัตโนมัติในเบื้องต้น หลังจากนั้นมีการตรวจสอบโดยเจ้าหน้าที่ที่ชำนาญการของกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับกราฟแสดงข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความนานแสงแดดรายเดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ ทั้ง 10 สถานี ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559 แสดงในภาคผนวก ก

3.2.2 ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลที่ได้จากเครื่องมือบันทึกหรือตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นต่างๆ ที่ติดอยู่กับดาวเทียม Terra และ Landsat ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน และพฤศจิกายน-ธันวาคม ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) ข้อมูลผลิตภัณฑ์โมดิส (MODIS Product) เป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของดาวเทียมที่ติดตั้งระบบบันทึกข้อมูล Moderate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ทั้งดาวเทียม Terra และ Aqua แล้วถูกส่งมายังสถานีภาคพื้นดิน หลังจากนั้นข้อมูลเหล่านี้จะถูกทำการจัดเก็บและประมวลผลให้สามารถนำไปใช้งานหรือศึกษาต่อไป โดยผลิตภัณฑ์โมดิสจำแนกออกเป็นกลุ่มต่างๆ ได้แก่ 1. ระดับ 1 (Level 1) 2. ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับบรรยากาศ (Atmosphere Products) 3. ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับพื้นผิวโลก (Land Products) 4. ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับหิมะ (Cryosphere Products) และ 5. ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับมหาสมุทร (Ocean Products)

โดยข้อมูลผลิตภัณฑ์โมดิสที่นำมาใช้ในการศึกษานี้เป็นข้อมูลรายวันที่ครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ เนื่องจากการศึกษาในระดับภูมิภาค มีข้อมูลจากดาวเทียมทุกวัน ขนาดของข้อมูลใช้พื้นที่ในการจัดเก็บและประมวลผลน้อยกว่าข้อมูลจากดาวเทียมที่มีรายละเอียดสูง โดยใช้ข้อมูลผลิตภัณฑ์จากดาวเทียม Terra รายวันระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1.1) ข้อมูลการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นดิน (Surface reflectance) ซึ่งอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับพื้นผิวโลก รหัสผลิตภัณฑ์คือ MOD09GQ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ประมาณการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นดินเหมือนกับว่าได้ตรวจวัดในระดับพื้นผิวโลก ในช่วงคลื่นสีแดง และ NIR (ช่วงคลื่นที่ 1 และ 2) ที่มีความยาวคลื่น 620-670 nm และ 841-876 nm ตามลำดับ และความละเอียดภาพ (Spatial resolution) 250 เมตร

1.2) ข้อมูล Cloud Mask ซึ่งอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับบรรยากาศ รหัสผลิตภัณฑ์คือ MOD35_L2 เป็นข้อมูลที่บอกให้ทราบว่าในแต่ละจุดภาพ (pixel) นั้นมีเมฆปกคลุมหรือไม่มีเมฆปกคลุม ความละเอียดภาพ 1000 เมตร

1.3) ข้อมูล Geo-location Data Set ซึ่งอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ระดับ 1 รหัสผลิตภัณฑ์คือ MOD03 เป็นข้อมูลเชิงตำแหน่ง ความสูงเหนือพื้นดิน มุม zenith และมุม azimuth ของดวงอาทิตย์ และดาวเทียม สำหรับแต่ละการตรวจวัดของ MODIS ซึ่งข้อมูลนี้จะนำมาใช้สำหรับการปรับแก้เชิงพิกัดของข้อมูล Cloud Mask

โดยข้อมูลผลิตภัณฑ์โมดิสจากดาวเทียม Terra ทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษานี้ได้ Download ผ่านทางเว็บไซต์ของ Land Processes Distributed Active Archive Center: LP DAAC (<https://lpdaac.usgs.gov/>)

2) ข้อมูลการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ตรวจวัดที่เครื่องบันทึกเหนือบรรยากาศ (Top of atmosphere radiance) จากดาวเทียม Landsat 5 และ Landsat 8 ซึ่งมีระบบบันทึกข้อมูล Thematic Mapper (TM) และ Operation Land Imager (OLI) ตามลำดับ มีความละเอียดภาพ 30 เมตร ในพื้นที่ภาคเหนือ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2554, 2557, 2558 และ 2559 ประกอบด้วยข้อมูล ดังนี้

พ.ศ. 2554

- วันที่ 8 กุมภาพันธ์ พิกัดข้อมูล path/row ที่ 131/046 และ 131/047
- วันที่ 12 มีนาคม พิกัดข้อมูล path/row ที่ 131/047
- วันที่ 21 มีนาคม พิกัดข้อมูล path/row ที่ 130/046
- วันที่ 15 เมษายน พิกัดข้อมูล path/row ที่ 129/049
- วันที่ 22 เมษายน พิกัดข้อมูล path/row ที่ 130/046 130/047 130/048 และ 130/049

พ.ศ. 2557

- วันที่ 25 กุมภาพันธ์ พิกัดข้อมูล path/row ที่ 130/048
- วันที่ 13 มีนาคม พิกัดข้อมูล path/row ที่ 130/046 และ 130/047
- วันที่ 5 เมษายน พิกัดข้อมูล path/row ที่ 131/046 131/047 และ 131/048
- วันที่ 14 เมษายน พิกัดข้อมูล path/row ที่ 130/046 และ 130/047
- วันที่ 23 เมษายน พิกัดข้อมูล path/row ที่ 129/048

พ.ศ. 2558

- วันที่ 28 กุมภาพันธ์ พิกัดข้อมูล path/row ที่ 130/048 และ 130/049
- วันที่ 7 มีนาคม พิกัดข้อมูล path/row ที่ 131/047 และ 131/048
- วันที่ 9 มีนาคม พิกัดข้อมูล path/row ที่ 129/048 และ 129/049

- วันที่ 17 เมษายน พิกัดข้อมูล path/row ที่ 130/047 130/048 และ 130/019 พ.ศ. 2559
- วันที่ 15 กุมภาพันธ์ พิกัดข้อมูล path/row ที่ 130/048 และ 130/049
- วันที่ 3 เมษายน พิกัดข้อมูล path/row ที่ 130/047 และ 130/048
- วันที่ 10 เมษายน พิกัดข้อมูล path/row ที่ 131/047

โดยข้อมูลจากดาวเทียม Landsat ได้ Download ผ่านทางเว็บไซต์ของ United States Geological Survey : USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)

3.2.3 ข้อมูลดรชนี Oceanic Niño Index (ONI) ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 ได้จากเว็บไซต์ของ Climate Prediction Center: CPC (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>) ซึ่งดรชนี ONI เป็นค่าเฉลี่ยของผลต่างจากค่าปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในระยะเวลา 3 เดือนต่อเนื่องกัน (running mean) ในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตศูนย์สูตรบริเวณละติจูด $5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S}$ และลองจิจูด $120^{\circ} - 170^{\circ}\text{W}$ หรือบริเวณ Nino 3.4 และได้นำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงช่วงเวลาที่มึปรากฏการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ

3.2.4 ข้อมูลสถานการณ์ภัยแล้ง จากรายงานสถานการณ์สาธารณภัยประจำวัน ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2554, 2557, 2558 และ 2559 ซึ่งได้รายงานสถานการณ์ภัยแล้ง เช่น พื้นที่ประสบภัย จำนวนคนและครัวเรือนที่ประสบภัย และความเสียหายของพื้นที่การเกษตร (ไร่) เป็นต้น และรายงานเป็นรายจังหวัดและอำเภอ โดย Download ผ่านทางเว็บไซต์ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (<http://www.disaster.go.th/>)

3.2.5 ข้อมูลแผนที่แสดงขอบเขตจังหวัดและอำเภอในภาคเหนือ มาตราส่วนของ 1:20,000

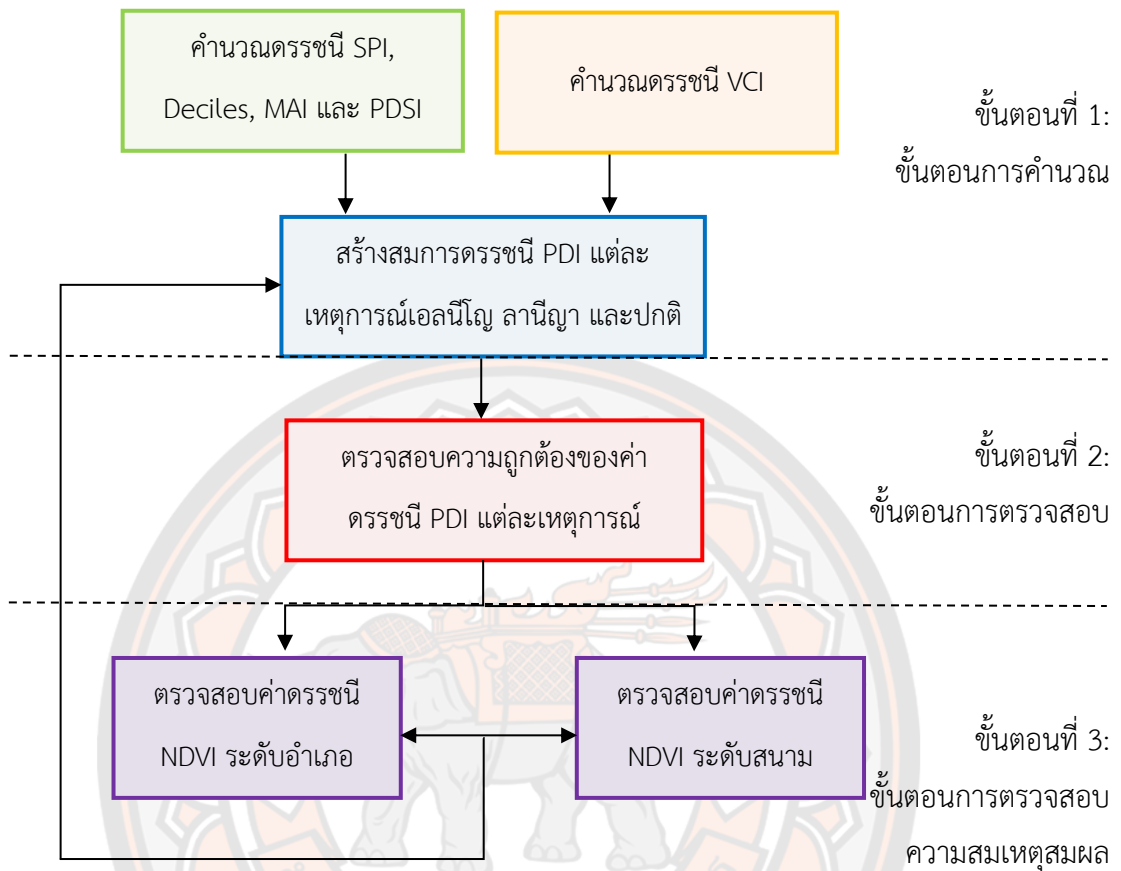
3.3 คำสำคัญ (Key Word)

3.3.1 ดรชนีความแห้งแล้งแม่นยำ (Precision Drought Index: PDI) คือ การนำดรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ มาบูรณาการผสมผสานกันเพื่อให้ได้ดรชนีความแห้งแล้งที่เหมาะสมและสามารถใช้ติดตามสภาวะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ได้

3.3.2 ดรชนีชี้วัดของพืชพรรณ (Vegetation Condition Index: VCI) คือ ดรชนีแสดงถึงสภาพพืชพรรณของพื้นที่ที่มีความแตกต่างจากสภาพต่ำสุดที่มีการเกิดขึ้นของพื้นที่นั้นอย่างไร โดยประเมินจากความสมบูรณ์ของพืชในรูปแบบของดรชนีความแตกต่างพืชพรรณ (Normalize Difference Vegetation Index: NDVI) ที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม ซึ่งดรชนี VCI สามารถแสดงถึงความแห้งแล้งของพื้นที่ที่เกิดขึ้นจริง

3.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สภาพความแห้งแล้งโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ ความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา ความแห้งแล้งทางการเกษตร ความแห้งแล้งทางอุทกวิทยา และความแห้งแล้งทางเศรษฐกิจและสังคม โดยความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาจะเกิดขึ้นก่อน และความแห้งแล้งประเภทอื่นๆ จะเกิดตามมาในภายหลัง (National Drought Mitigation Center, n.d.) สำหรับสาเหตุหลักของความแห้งแล้งในประเทศไทยส่วนมากเกิดจากการขาดฝนหรือปริมาณฝนตกน้อยกว่าปกติ แต่เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยประกอบอาชีพทางการเกษตร และความแห้งแล้งในประเทศไทยส่วนใหญ่มีผลกระทบต่อเกษตรกรรม (ชวลิตและคณะ, 2548) โดยการศึกษาครั้งนี้ได้คำนึงถึงความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาที่ว่าเมื่อเกิดขึ้นแล้วในระดับใดที่ส่งผลให้เกิดความแห้งแล้งทางการเกษตร ซึ่งในทางอุตุนิยมวิทยาการเข้าถึงสถานการณ์ความแห้งแล้งจะใช้ดัชนีที่ได้มาจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นจึงได้ดำเนินการศึกษาและพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งแม่นยำสอดคล้องกับสภาวะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจริงและส่งผลให้พื้นที่การเกษตรหรือพื้นที่พืชปกคลุมได้รับผลกระทบจากความแห้งแล้ง โดยจะบูรณาการสหวิทยาการด้านอุตุนิยมวิทยาและดาวเทียม ด้วยการนำดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งแสดงถึงความแห้งแล้งของสภาพอากาศ และดัชนีที่แสดงสภาพพืชพรรณซึ่งได้จากข้อมูลดาวเทียมมาบูรณาการผสมผสานกันเป็นดัชนีความแห้งแล้งรวมทางอุตุนิยมวิทยาที่มีความแม่นยำสอดคล้องกับความแห้งแล้งทางการเกษตรในพื้นที่ศึกษา และจากการตรวจสอบเอกสารพบว่าการศึกษาเกี่ยวกับดัชนีความแห้งแล้งรวมในประเทศไทยยังมีไม่มาก ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยได้เพิ่มแนวความคิดที่จะสร้างดัชนีความแห้งแล้งแม่นยำโดยเฉพาะสำหรับแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ ซึ่งยังไม่มีผู้ใดทำมาก่อน ดังแสดงในกรอบแนวคิดของการวิจัย ภาพ 8 เพื่อให้ผลลัพธ์จากการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตามและพยากรณ์สภาวะความแห้งแล้งจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาได้อย่างเหมาะสมในอนาคตต่อไป



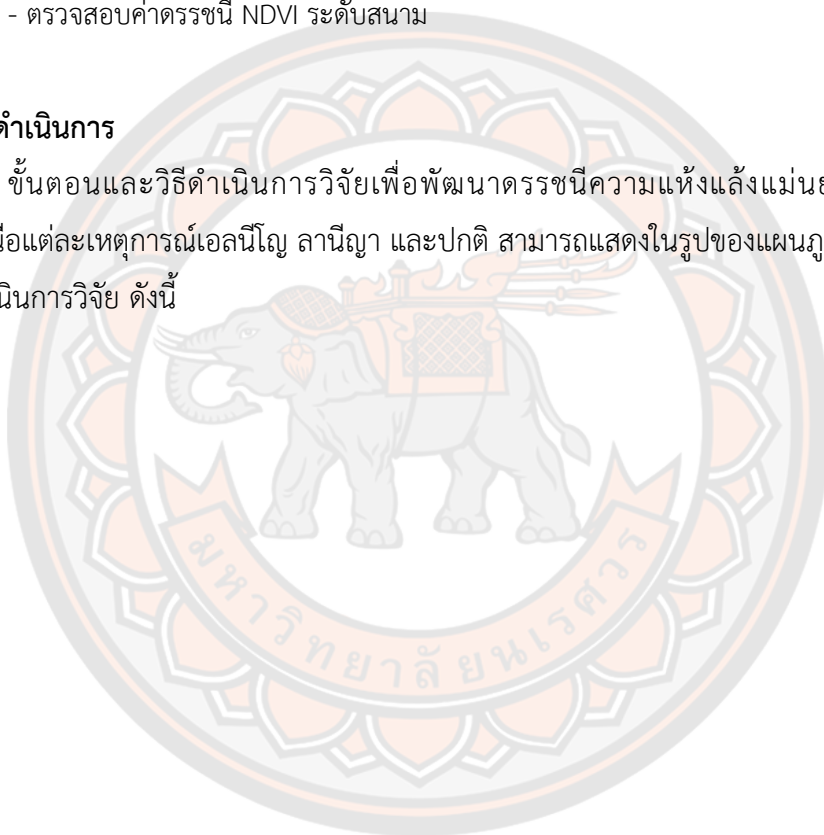
ภาพ 8 กรอบแนวคิดในการวิจัย

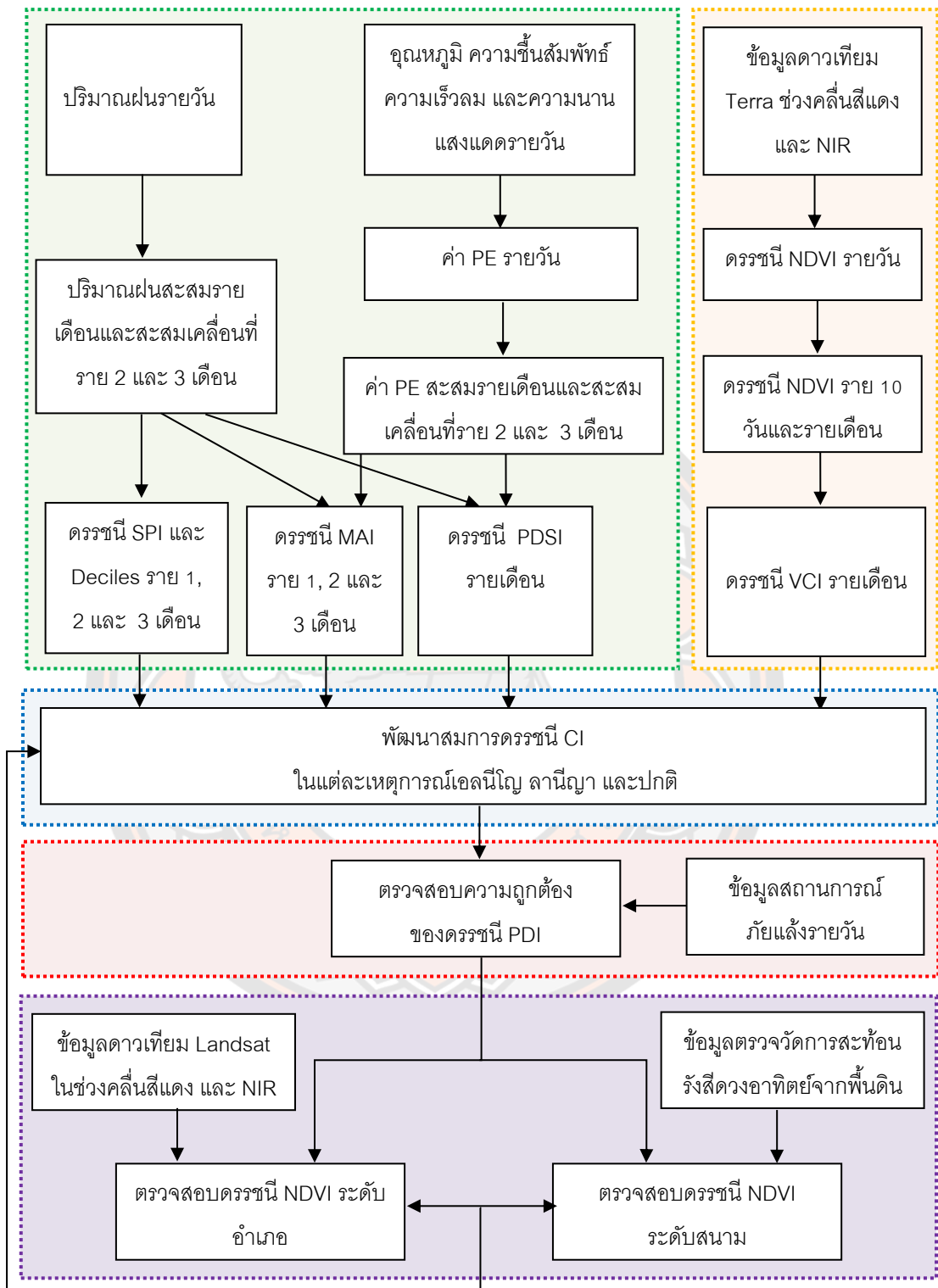
ดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาแต่ละดัชนีมีแนวคิดและใช้ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ต่างกันไป ซึ่งผู้วิจัยจะต้องเลือกใช้ให้ตรงตามวัตถุประสงค์ จำนวนข้อมูลที่มี ระยะเวลา และสภาพอากาศของพื้นที่ (Hayes et al., 2007; Pantula, 2016) โดยการศึกษาพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งแม่นยำ (PDI) มีแนวความคิดว่าดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ที่ใช้ในปัจจุบันมีความถูกต้องในระดับหนึ่งอยู่แล้ว จึงจะต้องศึกษาว่าควรเลือกใช้ดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาชนิดใดที่สามารถแสดงถึงความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจริงของพื้นที่ศึกษา รวมทั้งถ้านำดัชนีต่างๆ นี้มารวมกันก็จะเพิ่มความถูกต้องมากขึ้น ดังนั้นจึงได้นำดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ SPI, Deciles, MAI และ PDSI มาผสมผสานกันเพื่อให้ได้ดัชนีความแห้งแล้งใหม่ที่มีความถูกต้องแม่นยำ และสอดคล้องกับความแห้งแล้งของพื้นที่ ซึ่งจะต้องพิสูจน์ว่าเป็นจริงตามแนวคิดหรือไม่ต่อไป โดยมีแนวทางใน 3 ขั้นตอนหลัก คือ

- 1) ขั้นตอนการคำนวณ ประกอบด้วย
 - คำนวณดัชนี SPI, Deciles, MAI และ PDSI
 - คำนวณดัชนี VCI
 - สร้างสมการดัชนี PDI แต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ
- 2) ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของดัชนี PDI แต่ละเหตุการณ์
- 3) ขั้นตอนการตรวจสอบความสมเหตุสมผล ประกอบด้วย
 - ตรวจสอบค่าดัชนี NDVI ระดับอำเภอ
 - ตรวจสอบค่าดัชนี NDVI ระดับสนาม

3.5 วิธีดำเนินการ

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งแม่นยำ (PDI) ในพื้นที่ภาคเหนือแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ สามารถแสดงในรูปของแผนภูมิดังภาพ 9 และมีการดำเนินการวิจัย ดังนี้





ภาพ 9 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาตรวจนี้ความแห้งแล้งแม่นยำภายใต้เหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ

1) คำนวณค่าดัชนีความแห้งแล้ง SPI, Deciles, MAI และ PDSI จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัดในสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 10 สถานีในภาคเหนือ สำหรับการเลือกดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาทั้ง 4 ชนิดที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ เนื่องจาก ดรรชนี SPI และดรรชนี PDSI เป็นดัชนีที่รู้จักอย่างแพร่หลายและใช้งานในหลายประเทศ (Hayes et al., 2007; Sivakumar et al., 2010; World Meteorological Organization, 2012) รวมทั้งประเทศไทย สำหรับดรรชนี SPI, MAI และ Deciles นั้น กรมอุตุนิยมวิทยาได้นำมาใช้ในการติดตามสถานะความแห้งแล้งของประเทศไทยอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งนำเสนอในรูปของแผนที่และเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา (www.tmd.go.th)

2) คำนวณค่าดัชนี VCI ซึ่งแสดงถึงความแห้งแล้งทางการเกษตรในพื้นที่ ดรรชนี VCI คำนวณโดยใช้หลักการเปรียบเทียบค่าของดรรชนี NDVI ในช่วงเวลาปัจจุบันว่าผันแปรอย่างไรกับค่าดรรชนี NDVI ต่ำสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันของอดีต สำหรับการเลือกใช้ดรรชนี VCI เนื่องจากดรรชนี NDVI เป็นดัชนีพืชพรรณที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย (USGS, 2018; Xue & Su, 2017) และดรรชนี VCI ได้ถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานการปฏิบัติงานเพื่อประเมินสถานะความแห้งแล้งทางการเกษตรในประเทศอินเดีย (Pantula, 2016) ซึ่งอยู่ในเขตร้อนเช่นเดียวกับประเทศไทย

3) สร้างสมการดรรชนี PDI โดยดำเนินการเลือกดัชนีความแห้งแล้งที่จะใช้ในสมการดรรชนี PDI ด้วยการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้ง SPI, Deciles, MAI และ PDSI กับค่าดัชนี VCI ด้วยวิธีการทางสถิติของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ ต่อจากนั้นจะนำดัชนีความแห้งแล้งที่ถูกเลือกเข้ามาในสมการความสัมพันธ์นี้มาพัฒนาสมการดรรชนี PDI ในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ ด้วยวิธีการทางสถิติของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยการกำหนดเงื่อนไขดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาแต่ละตัวเฉพาะค่าที่อยู่ในช่วงระดับใกล้เคียงค่าปกติเป็นต้นไปจนถึงแห้งแล้งรุนแรงที่สุด ดังนี้

ดรรชนี SPI กำหนดใช้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.99

ดรรชนี Deciles กำหนดใช้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6

ดรรชนี MAI กำหนดใช้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.33

ดรรชนี PDSI กำหนดใช้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.49

4) ตรวจสอบความถูกต้องของสมการดรรชนี PDI โดยใช้ข้อมูลดรรชนี VCI และข้อมูลสถานการณ์ภัยแล้งจากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

5) ตรวจสอบความสมเหตุสมผลของการนำดรรชนี VCI มาใช้บ่งบอกถึงความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจริงของพื้นที่ศึกษาสำหรับใช้ในการพัฒนาสมการดรรชนี PDI โดยในที่นี้ใช้ข้อมูลดรรชนี VCI ซึ่งคำนวณด้วยดรรชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) รายละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตร ดังนั้นจึงตรวจสอบดรรชนี NDVI ทั้งในระดับอำเภอ โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat ที่มีรายละเอียดเชิง

พื้นที่มากกว่า และในระดับสนาม โดยใช้ข้อมูลภาคสนาม เพื่อแสดงว่าดัชนี VCI สะท้อนความ
 แท้จริงของพื้นที่ศึกษาและมีความถูกต้องในการนำมาพัฒนาดัชนี PDI

โดยรายละเอียดของวิธีดำเนินการ มีดังนี้

3.5.1 การวิเคราะห์ช่วงเวลาเกิดความแห้งแล้งโดยพิจารณาจากข้อมูลฝนของภาคเหนือ

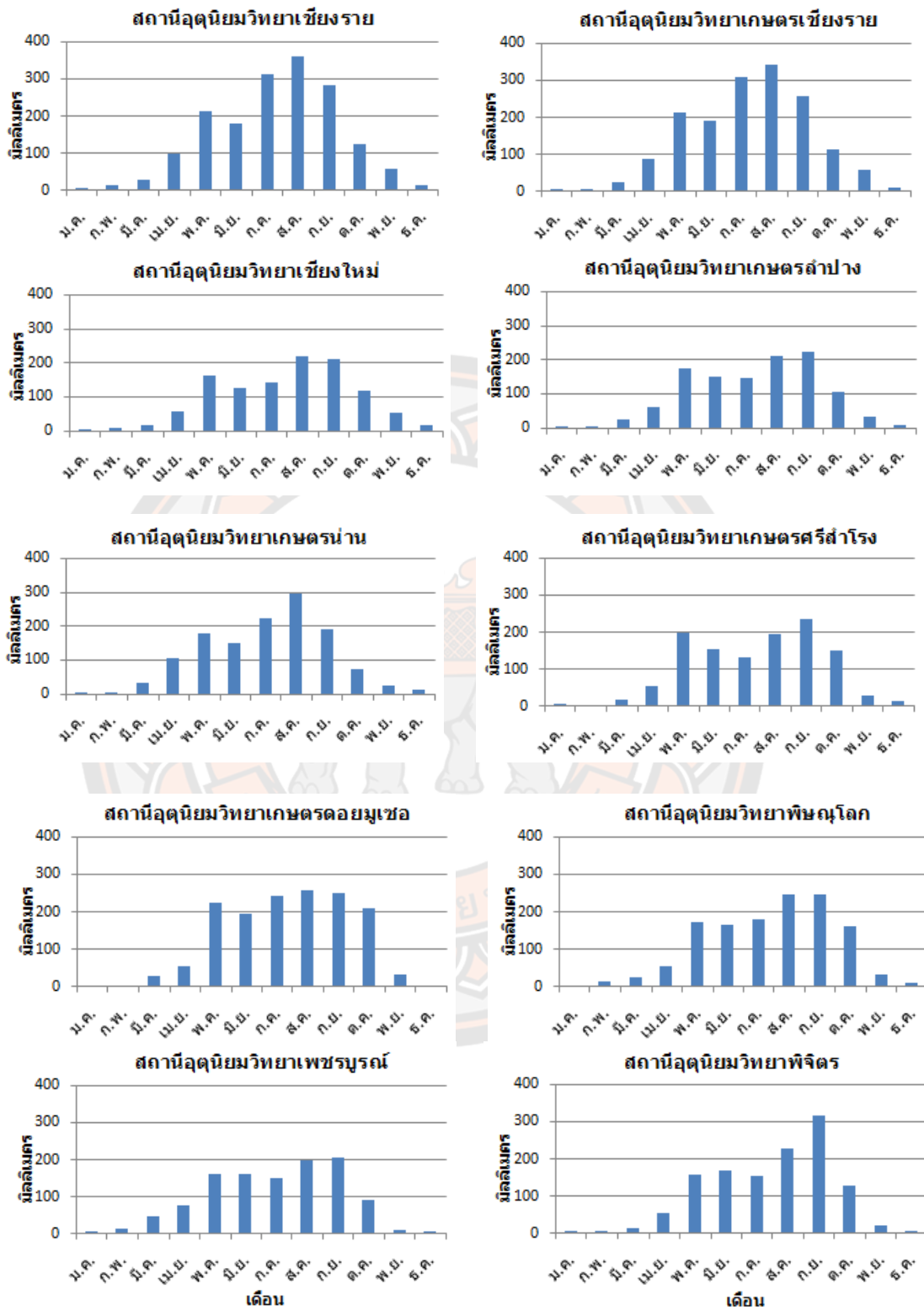
ภาคเหนือเป็นแหล่งผลิตข้าวและพืชไร่ที่สำคัญ ซึ่งพื้นที่เกษตรส่วนใหญ่อยู่นอกเขต
 ชลประทาน โดยมีสัดส่วนพื้นที่ชลประทานต่อพื้นที่เกษตรค่อนข้างต่ำเพียงร้อยละ 18.3 จึงเป็น
 ข้อจำกัดในการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตร ทั้งการเก็บกักน้ำไว้ในช่วงแล้ง และชลอน้ำในช่วง
 ฤดูฝนไม่ให้ท่วมพืชผลเสียหาย (คณะกรรมการบูรณาการนโยบายพัฒนาภาค, 2561) ดังนั้นฝนจึงเป็น
 ปัจจัยสำคัญต่อการดำเนินกิจกรรมและผลผลิตภาคเกษตร รวมทั้งการเกิดความแห้งแล้ง โดยความ
 แห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาจะพิจารณาถึงช่วงเวลายาวนานที่มีปริมาณฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทางภูมิอากาศ
 และพื้นที่ที่มีผลกระทบกับพืชความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาจะกลายเป็นความแห้งแล้งทาง
 การเกษตร ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อดินมีความชื้นไม่เพียงพอสำหรับความต้องการของพืชไร่ต่างๆ (Allaby,
 2003) โดยความแห้งแล้งทางการเกษตรจะพิจารณาถึงสภาพอากาศที่เกี่ยวข้องกับการขาดแคลนฝนใน
 ขนาดที่เพียงพอจะส่งผลเสียต่อผลผลิตพืชหรือในระยะเวลาการผลิต (Rosenberg, 1979)

สำหรับในที่นี้จะทำการศึกษาถึงการแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาในระดับที่จะส่งผลกระทบ
 กับพืชหรือเป็นความแห้งแล้งทางการเกษตร ดังนั้นการศึกษาลักษณะภูมิอากาศที่ก่อให้เกิดฝน รวมทั้ง
 ปริมาณและการกระจายของฝนโดยเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ทราบว่าช่วงเวลาใด
 ของปีที่มีปริมาณฝนตกไม่มากและหากมีปริมาณฝนตกน้อยกว่าปกติแล้วจะส่งผลให้ความชื้นในดินไม่
 เพียงพอต่อความต้องการของพืชที่ปลูกหรือเกิดความแห้งแล้งทางการเกษตรได้

ลักษณะภูมิอากาศของภาคเหนืออยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุม
 ตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เริ่มมีอิทธิพลตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมจนถึง
 กลางเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน เนื่องจากมรสุมนี้พัดพาอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียเข้ามา
 ทำให้ท้องฟ้ามีเมฆมากและมีฝนชุกทั่วไป ส่วนมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีอิทธิพลตั้งแต่กลางเดือน
 ตุลาคมจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว โดยมรสุมนี้พัดพามวลอากาศเย็นและแห้ง
 จากประเทศมองโกเลียและจีนเข้ามา ทำให้มีอากาศหนาวเย็นและแห้งทั่วไป ส่วนช่วงรอยต่อระหว่าง
 มรสุมทั้งสอง คือตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงฤดูร้อน ซึ่งเป็นระยะที่
 ทั่วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์ ทำให้ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ สภาพอากาศจึงร้อน
 อบอ้าวทั่วไป โดยในฤดูร้อนเนื่องจากสภาพอากาศที่ร้อนอบอ้าว จึงมีการยกตัวขึ้นของมวลอากาศ
 และอาจมีมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาในขณะที่มวลอากาศร้อนปกคลุมอยู่เหนือประเทศ

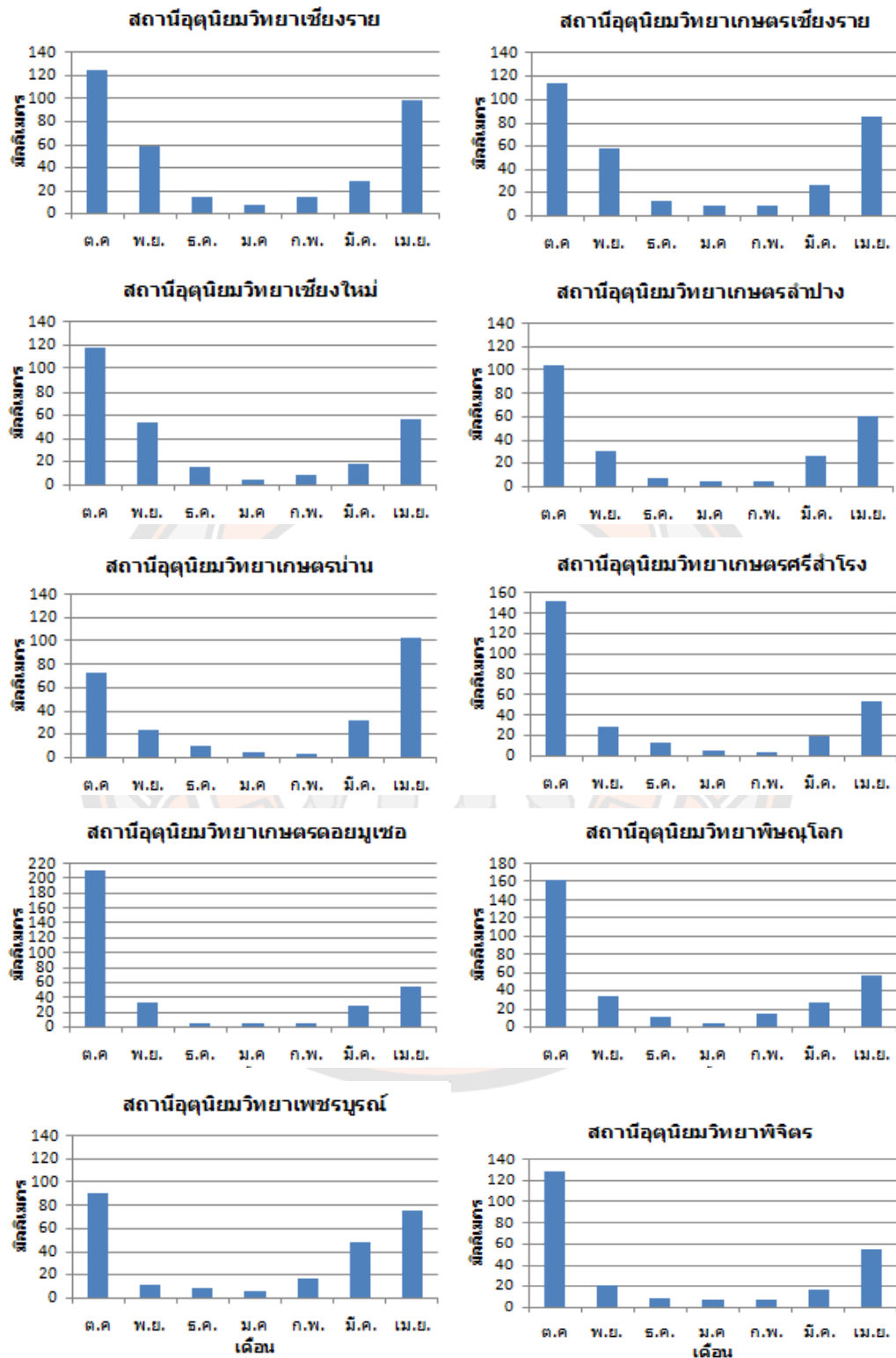
ไทย ทำให้เกิดการปะทะกันของมวลอากาศร้อนและเย็น ก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองได้ (ศูนย์ภูมิอากาศ, 2558)

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของฝนรายเดือนเฉลี่ยคาบ 30 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2524-2553 ตลอดทั้งปี ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือจำนวน 10 สถานี ดังภาพ 10 พบว่าในช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกันยายนปริมาณฝนรายเดือนในทุกสถานีฯ มากกว่า 100 มิลลิเมตร ส่วนในเดือนตุลาคมสถานีฯ ส่วนใหญ่มีปริมาณฝนมากกว่า 100 มิลลิเมตร เว้นแต่ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรน่านและสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์มีปริมาณฝน 72.9 และ 90.4 มิลลิเมตรตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลฝนรายเดือนเฉลี่ยคาบ 30 ปีของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ จำนวน 10 สถานีนี้มาวิเคราะห์เฉพาะตั้งแต่ช่วงปลายฤดูฝนต่อเนื่องถึงช่วงแล้งหรือระหว่างเดือน ตุลาคมถึงธันวาคมและต่อเนื่องกับเดือนมกราคมถึงเมษายนในปีถัดไป ดังภาพ 11 พบว่าโดยทั่วไป ปริมาณฝนในภาคเหนือจะเริ่มลดลงในเดือนพฤศจิกายนและลดลงอย่างมากจนกระทั่งทุกสถานีฯ มี ปริมาณฝนน้อยกว่า 20 มิลลิเมตรในเดือนธันวาคม กล่าวคือเดือนพฤศจิกายนปริมาณฝนยังมีพื้ช จะนำไปใช้ประโยชน์ และในเดือนธันวาคมซึ่งปริมาณฝนจะลดน้อยลง แต่พื้ชยังสามารถใช้ความชื้นใน ดินที่สะสมในช่วงฤดูฝนที่ผ่านมาได้ จะเห็นได้ว่าช่วงที่มีฝนน้อยระหว่างเดือนมกราคม-มีนาคม หรือ ประมาณ 3 เดือน ส่วนในเดือนเมษายนจะมีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นพื้ชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้หากพิจารณาข้อมูลฝนภาคเหนือในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนในแง่มุมของความแห้งแล้งทาง การเกษตร จะเห็นว่าโดยปกติมีปริมาณฝนไม่มาก และหากมีฝนตกน้อยกว่าปกติเป็นระยะเวลา 1 เดือนก็อาจส่งกระทบกับพื้ชที่อยู่ในระยะที่ต้องการน้ำมากในการสร้างผลผลิตได้ และยิ่งไปกว่านั้นหาก มีฝนตกน้อยต่อเนื่องและส่งผลให้พื้ชไม่ได้รับน้ำอย่างเพียงพอเป็นระยะเวลา 2 - 3 เดือนย่อมส่งผล กระทบต่อการเจริญเติบโตของพื้ชและผลผลิต ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกคาบเวลาในการคำนวณ ดรรชนีความแห้งแล้งสำหรับดรรชนีที่สามารถคำนวณได้ตามคาบเวลาที่ต้องการ คือราย 1, 2 และ 3 เดือน เพื่อให้สะท้อนถึงผลกระทบของความแห้งแล้งทางการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับการติดตาม สภาวะความแห้งแล้งระยะสั้นของ United State Drought Monitor ซึ่งได้ผสมผสานตัวบ่งชี้หรือ ดรรชนีต่างๆ หลายชนิดร่วมกันเพื่อติดตามความแห้งแล้งระยะสั้นและระยะยาว โดยระยะสั้นจะใช้ ดรรชนี PDSI รายเดือนและดรรชนี SPI ราย 1 และ 3 เดือนร่วมด้วย ส่วนระยะยาวจะใช้ดรรชนี SPI ราย 6, 12, 24 และ 60 เดือน โดยวิธีการผสมผสานในระยะสั้นจะถ่วงน้ำหนักดรรชนีทางด้านฝน และความชื้นในดินซึ่งใช้แสดงผลกระทบของการเกษตรนอกเขตชลประทานและสภาพทุ่งหญ้าเลี้ยง สัตว์ ส่วนวิธีการระยะยาวจะแสดงผลกระทบของความแห้งแล้งทางอุทกวิทยา (Pantula, 2016) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าดรรชนี SPI ราย 1-3 เดือน จะสอดคล้องกับการประเมินความแห้งแล้ง ทางการเกษตรด้วยความชื้นในดิน (Bussay et al., 1998; Labeledzki, 2007; Szalai & Szinell, 2000)



ภาพ 10 ปริมาณฝนเฉลี่ยระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคมของสถานี่อุตุนิยมวิทยา จำนวน 10 สถานี่ที่ใช้ศึกษาในภาคเหนือ

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา



ภาพ 11 ปริมาณฝนเฉลี่ยระหว่างเดือนตุลาคม-ธันวาคม และมกราคม-เมษายน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 10 สถานีที่ใช้ศึกษาในภาคเหนือ

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา

โดยในการคำนวณดัชนี SPI, Decilles และ MAI ในแต่ละเดือนด้วยคาบเวลาต่างๆ ได้แก่ 1, 2 และ 3 เดือน เนื่องจากดัชนี SPI และ Decilles ประเมินสภาพฝนที่จะเป็นประโยชน์หรือเป็นอุปทานของน้ำในช่วงคาบเวลาที่กำหนดซึ่งทำให้เห็นถึงผลกระทบของความแห้งแล้งจากการมีต้นทุนน้ำที่แตกต่างกัน และทำนองเดียวกันกับดัชนี MAI ที่ประเมินสภาพความชื้นในดินในคาบเวลาที่กำหนด ส่วนดัชนี PDSI ได้คำนวณเฉพาะรายเดือนเท่านั้น เนื่องจากดัชนี PDSI ประเมินสภาพความชื้นในดินโดยวิธีสมมูลน้ำที่คำนวณสะสมตั้งแต่อดีตจนถึงเดือนที่พิจารณา

3.5.2 การคำนวณดัชนี SPI

การศึกษานี้คำนวณดัชนี SPI โดยใช้การกระจายของฝนในรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงแบบแกมมา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Sukawat, 1979) ที่ได้ความน่าจะเป็นของฝนสำหรับประเทศไทยโดยการใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบแกมมาเข้ากับข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาในประเทศไทย สำหรับวิธีการประมาณค่าดัชนี SPI ของพื้นที่ศึกษา ดังนี้

3.5.2.1 นำข้อมูลปริมาณฝนรายวันตั้งแต่เริ่มตรวจวัด พ.ศ. 2494 ถึง พ.ศ. 2559 ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ มาคำนวณหาปริมาณฝนสะสมรายเดือน และปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือน

การหาค่าปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่จะใช้วิธีการหาผลรวมเคลื่อนที่ครั้งเดียว (Single Moving Sum) เป็นการหาผลรวมที่ต้องหาค่าผลรวมใหม่เมื่อมีข้อมูลใหม่เข้ามา 1 ค่าและตัดข้อมูลที่เก่าที่สุดออกไป 1 ค่า โดยวิธีการหาปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือน ดังสมการที่ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ

$$S_t = Y_t + Y_{t-1} \quad (3.1)$$

$$S_t = Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} \quad (3.2)$$

เมื่อ S_t คือ ค่าผลรวมของปริมาณฝนเคลื่อนที่ ณ เดือนที่ t

Y_t คือ ปริมาณฝนสะสมรายเดือน ณ เดือนที่ t

Y_{t-1} คือ ปริมาณฝนสะสมรายเดือน ณ เดือนที่ $t-1$

Y_{t-2} คือ ปริมาณฝนสะสมรายเดือน ณ เดือนที่ $t-2$

เช่น การหาปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 3 เดือนของเดือนมีนาคมหรือเดือนที่ 3 จะได้จาก

$S_3 = Y_3 + Y_2 + Y_1$ เมื่อมีข้อมูลใหม่คือปริมาณฝนสะสมของเดือนเมษายนหรือเดือนที่ 4 (Y_4) ก็จะได้

นำ Y_4 เข้ามาคำนวณและตัด Y_1 ออกไป เพื่อให้ได้ปริมาณฝนสะสมราย 3 เดือนตามเดิม จะได้

$$S_4 = Y_4 + Y_3 + Y_2$$

3.5.2.2 คำนวณค่าพารามิเตอร์ (α และ β) ของฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นที่ไม่มีรายงานฝนตกในแต่ละสถานี โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2494-2559

3.5.2.3 คำนวณ ค่าฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นสะสม $G(x)$ จากค่าพารามิเตอร์ (α และ β) และปริมาณฝนสะสมรายเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 จากนั้นแปลง $G(x)$ ให้รวมกรณีปริมาณฝนมีค่า 0 ได้เป็น $H(x)$

3.5.2.4 คำนวณค่าตรรกษี SPI รายเดือนจาก $H(x)$

3.5.2.5 คำนวณค่าตรรกษี SPI ราย 2 และ 3 เดือน โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือน จากข้อ 3.5.2.1 ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการคำนวณตรรกษี SPI รายเดือน

3.5.3 การคำนวณตรรกษี Deciles

การคำนวณตรรกษี Deciles ในที่นี้ ได้ประยุกต์ใช้หลักการหาความน่าจะเป็น ด้วยวิธี ranking order method (Doorenbos & Pruitt, 1977) ซึ่งมีวิธีดำเนินการ ดังนี้

3.5.3.1 นำข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2494 - 2559 จากข้อ 3.5.2.1 มาจัดเรียงลำดับจากมากไปน้อย และคำนวณค่าระดับความน่าจะเป็นที่ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90% ตามลำดับจากสมการ

$$Fa(m) = 100m/(n+1) \quad (3.3)$$

โดย $Fa(m)$ คือ ความน่าจะเป็น

m คือ ลำดับของข้อมูล

n คือ จำนวนข้อมูล

3.5.3.2 คำนวณตรรกษี Deciles รายเดือน จากค่าระดับความน่าจะเป็นและข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559

3.5.3.3 คำนวณตรรกษี Deciles ราย 2 และ 3 เดือน จากข้อมูลปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือนตามลำดับ จากข้อ 3.5.2.1 ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการคำนวณตรรกษี Deciles รายเดือน

3.5.4 การคำนวณดัชนี MAI

ดัชนี MAI ได้ถูกนำมาประยุกต์ในการติดตามสถานะฝนในช่วงที่ผ่านมาว่าเพียงพอสำหรับพืชหรือไม่ โดยใช้ค่าปริมาณฝนที่ตรวจวัดและศักย์การคายระเหยน้ำของพืชดังสมการ

$$MAI = P/PE \quad (3.4)$$

เมื่อ MAI คือ ดรรชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช

P คือ ปริมาณฝน

PE คือ ศักย์การคายระเหยน้ำของพืช

การศึกษานี้ได้ประมาณค่า PE โดยวิธี Reference Evapotranspiration ของ FAO Penman-Monteith method (Allen et al., 1998) เพราะว่าเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมประกอบที่มีผลต่อการใช้ น้ำของพืชมาอยู่ในสูตรทุกอย่าง ได้แก่ รังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ และข้อมูลดังกล่าวมีการตรวจวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทย รวมทั้งจากการศึกษาของ Jensen et al. (1990) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่า PE ที่แตกต่างกัน 20 วิธีในพื้นที่ชุ่มชื้น พื้นที่แห้งแล้ง และทุกพื้นที่รวมกัน สรุปว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเป็นจริงที่วัดโดยเครื่องมือวัดการใช้ น้ำของพืชแล้ว วิธีของ Penman-Monteith ให้ผลใกล้เคียงมากที่สุด ประกอบกับในที่ประชุมปรึกษาขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO expert consultaion) ในปี 1990 ได้ลงความเห็นว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุด (Kassam & Smith, 2001) โดยมีสมการ ดังนี้

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (3.5)$$

เมื่อ ET_0 คือ การคายระเหยน้ำอ้างอิง (Reference Evapotranspiration) หรือ PE [mm/day]

R_n คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ [MJ/m², day]

G คือ soil heat flux [MJ/m², day]

T คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายวันที่ความสูง 2 เมตร [°C]

U_2 คือ ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร [m/sec]

e_s คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวเฉลี่ยของบรรยากาศ [kPa]

e_a คือ ความดันไอน้ำเฉลี่ยของบรรยากาศ [kPa]

Δ คือ ความชันของกราฟความดันไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิที่อุณหภูมิ T [kPa/°C]

γ คือ psychometric constant [kPa/°C]

สำหรับค่าตัวแปรในสมการที่ (3.5) ได้มาจากสมการดังต่อไปนี้

1) Psychometric constant (γ)

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} = 0.665 \times 10^{-3} P \quad (3.6)$$

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} \quad (3.7)$$

เมื่อ

P คือ ความดันบรรยากาศมาตรฐานที่ 20 °C ที่ระดับน้ำทะเล [kPa]

c_p คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศชื้น มีค่า 1.013×10^{-3} MJ/Kg, °C

λ คือ ความร้อนแฝงของการระเหย มีค่า 2.45 MJ/Kg

ϵ คือ อัตราส่วนน้ำหนักโมเลกุลของไอน้ำต่ออากาศแห้ง = 0.622

z คือ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล [m]

2) ความชันของกราฟความดันไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิที่อุณหภูมิ T (Slope vapor pressure curve, Δ)

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp \left(\frac{17.27T}{T + 237.3} \right) \right]}{(T + 237.3)^2} \quad (3.8)$$

3) ความดันไอน้ำเฉลี่ยของบรรยากาศ (e_a)

$$e_a = e_s \frac{RH_{mean}}{100} \quad (3.9)$$

เมื่อ

RH_{mean} คือ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย [%]

4) ความดันไอน้ำอิ่มตัวเฉลี่ยของบรรยากาศ (e_s)

$$e_s = \frac{\left[0.6108 \exp \left(\frac{17.27T_{max}}{T_{min} + 237.3} \right) \right] + \left[0.6108 \exp \left(\frac{17.27T_{min}}{T_{min} + 237.3} \right) \right]}{2} \quad (3.10)$$

เมื่อ

T_{max} คือ อุณหภูมิสูงสุด [$^{\circ}\text{C}$]

T_{min} คือ อุณหภูมิต่ำสุด [$^{\circ}\text{C}$]

5) ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร (U_2)

$$U_2 = U_z \frac{4.87}{\ln(67.8Z - 5.42)} \quad (3.11)$$

เมื่อ

U_z คือ ความเร็วลมวัดที่ระดับความสูง Z เหนือพื้นดิน [m/s]

Z คือ ความสูงของเสาวัดลมเหนือพื้นดิน [m]

6) Soil heat flux (G)

ในการคำนวณ Soil heat flux สำหรับช่วงเวลายาวนาน

$$G = c_s \frac{T_i + T_{i-1}}{\Delta t} \Delta z \quad (3.12)$$

เมื่อ

c_s คือ ความจุความร้อนในดิน [$\text{MJ}/\text{m}^2, ^{\circ}\text{C}$]

T_i คือ อุณหภูมิอากาศที่เวลา i [$^{\circ}\text{C}$]

T_{i-1} คือ อุณหภูมิอากาศที่เวลา $i-1$ [$^{\circ}\text{C}$]

Δt คือ ความยาวของช่วงเวลา [day]

Δz คือ effective soil depth [m] มีค่า 0.10-0.20 m สำหรับช่วงเวลาสั้น

แต่จะมีค่า 2 m หรือมากกว่าสำหรับช่วงรายเดือน

สำหรับขนาดของ Soil heat flux สำหรับวันหรือ 10 วัน จะมีค่าน้อยมากจะละเลยได้

ดังนั้น $G = 0$

7) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ (R_n)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (3.13)$$

เมื่อ

R_{ns} คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้นสุทธิ [$\text{MJ}/\text{m}^2, \text{day}$]

R_{nl} คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์คลื่นยาวสุทธิ [$\text{MJ}/\text{m}^2, \text{day}$]

สำหรับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้นสุทธิ (R_{ns}) คำนวณจาก

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (3.14)$$

$$R_s = \left(0.25 + 0.50_s \frac{n}{N} \right) R_a \quad (3.15)$$

เมื่อ

α คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อน มีค่า 0.23 สำหรับพืชที่ใช้อ้างอิงในสมการ

R_s คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้น [$\text{MJ}/\text{m}^2, \text{day}$]

n คือ ความนานแสงแดด [hour]

N คือ ความนานแสงแดดสูงสุดที่จะเกิดขึ้นได้ [hour]

R_a คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ขอบบนของบรรยากาศโลก [$\text{MJ}/\text{m}^2, \text{day}$]

โดย

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (3.16)$$

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s] \quad (3.17)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{2\pi}{365} J \right) \quad (3.18)$$

$$\delta = 0.409 \sin \left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39 \right) \quad (3.19)$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan \phi \tan \delta] \quad (3.20)$$

เมื่อ

G_{sc} คือ ค่าคงที่สุริยะ มีค่า $0.0820 \text{ MJ}/\text{m}^2, \text{min}$

d_r คือ ระยะทางสัมพัทธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

ω_s คือ sunset hour angle [rad]

ϕ คือ ละติจูด [rad]

δ คือ solar declination [rad]

J คือ วันของปี (Julian day)

ส่วนปริมาณรังสีดวงอาทิตย์คลื่นยาวสุทธิ (R_{nl}) คำนวณจาก

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] \left(0.34 - 0.14 \sqrt{e_a} \right) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (3.21)$$

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} z) R_d \quad (3.22)$$

เมื่อ

- σ คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann มีค่า 4.903×10^{-9} MJ/K⁴, m²,day
 $T_{max,K}$ คือ อุณหภูมิสูงสุด [K]
 $T_{min,K}$ คือ อุณหภูมิต่ำสุด [K]
 R_{so} คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้นเมื่อท้องฟ้าโปร่ง [MJ/m², day]

สำหรับขั้นตอนการประมาณค่าดัชนี MAI ของพื้นที่ศึกษา มีดังนี้

3.5.4.1 นำข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความนานแสงแดดรายวัน ระหว่าง พ.ศ. 2524-2559 รวมทั้งข้อมูลความสูงเหนือระดับน้ำทะเล และความสูงของเสาวัดลมเหนือ พื้นดินของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ มาคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในสมการ FAO Penman-Monteith แล้วจึงคำนวณค่า PE รายวัน (หมายเหตุ ในขั้นตอนนี้ได้คำนวณค่า PE รายวันตั้งแต่ พ.ศ. 2524 เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนของการประมาณค่าดัชนี PDSI ต่อไป)

3.5.4.2 คำนวณค่า PE สะสมรายเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559

3.5.4.3 คำนวณค่าดัชนี MAI รายเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 จากข้อมูล PE สะสมรายเดือนและปริมาณฝนสะสมรายเดือนจากข้อ 3.5.2.1

3.5.4.4 คำนวณค่า PE สะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือน โดยใช้วิธีเดียวกันกับการหา ปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ในข้อ 3.5.2.1

3.5.4.5 คำนวณค่าดัชนี MAI ราย 2 และ 3 เดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 จาก ข้อมูล PE สะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือน และข้อมูลปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือนตามลำดับ จากข้อ 3.5.2.1 ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการคำนวณดัชนี MAI รายเดือน

3.5.5 การคำนวณดัชนี PDSI

ขั้นตอนการประมาณค่าดัชนี PDSI ของพื้นที่ศึกษา มีดังนี้

3.5.5.1 คำนวณค่า PE สะสมรายเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2524-2559 โดยใช้ข้อมูล PE รายวันจากข้อ 3.5.4.1

3.5.5.2 คำนวณสมมูลน้ำรายเดือน และปริมาณต่างๆ ได้แก่ ศักยภาพเติมน้ำในดิน ศักย์น้ำไหลป่าผิวดิน และศักย์การสูญเสียความชื้น ระหว่าง พ.ศ. 2524-2559 โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝน สะสมรายเดือนจากข้อ 3.5.2.1 และค่า PE สะสมรายเดือน รวมทั้งข้อมูลความจุของน้ำมีได้ (AWC)

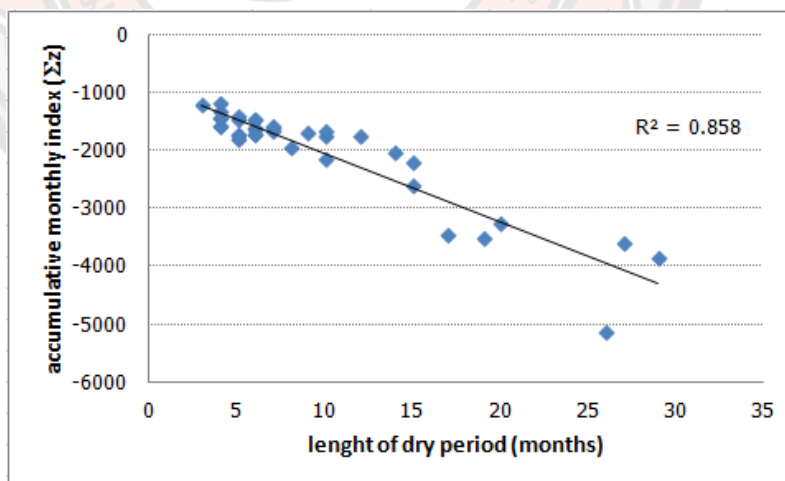
ของชุดดินบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ จากหนังสือ A catalogue of water retention functions of major soil series of Thailand (Yingjajaval, 1993)

3.5.5.3 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ทางภูมิอากาศประจำเดือน ได้แก่ สัมประสิทธิ์การคายระเหยน้ำ (α), สัมประสิทธิ์การเติมน้ำในดิน (β), สัมประสิทธิ์น้ำไหลบ่าผิวดิน (γ) และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความชื้น (δ)

3.5.5.4 ประมาณค่าปริมาณฝนที่ควรจะเป็น (\hat{P})

3.5.5.5 หาปริมาณความแตกต่าง (d) ระหว่างฝนที่ตกจริง (P) และฝนที่ควรจะเป็น (\hat{P}) ตามสภาพภูมิอากาศของบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยานั้นของเดือนที่พิจารณา

3.5.5.6 หาสมการในการคำนวณดัชนี PDSI ของพื้นที่ศึกษา โดยใช้ข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 2 สถานีที่มีลักษณะภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ข้อมูลสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงรายและเพชรบูรณ์ซึ่งมีลักษณะภูมิอากาศที่แตกต่างกันและเป็นตัวแทนของลักษณะภูมิอากาศของภาคเหนือตอนบนและตอนล่างที่แตกต่างกัน โดยคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก (k) แล้วนำไปหาบรรณดัชนีความชื้นที่ผิดปกติ (z) และผลรวมบรรณดัชนีความผิดปกติของความชื้นดิน (Σz) ตามลำดับของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาทั้งสองสถานี จากนั้นสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมบรรณดัชนีความผิดปกติของความชื้นดิน (Σz) และระยะเวลา (t) ที่เกิดความแห้งแล้งสูงสุด ($X_i = -4$) โดยใช้ข้อมูลทั้งหมดจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 2 สถานีนี้ร่วมกัน แสดงดังภาพ 12



ภาพ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมบรรณดัชนีความผิดปกติของความชื้นดิน (Σz) กับระยะเวลา (t) ที่เกิดความแห้งแล้งสูงสุดของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงรายและเพชรบูรณ์

จากกราฟได้สมการความสัมพันธ์ คือ

$$X_i = -4 \quad \Rightarrow \quad \sum z_i = -117.61t - 871.25 \quad (3.23)$$

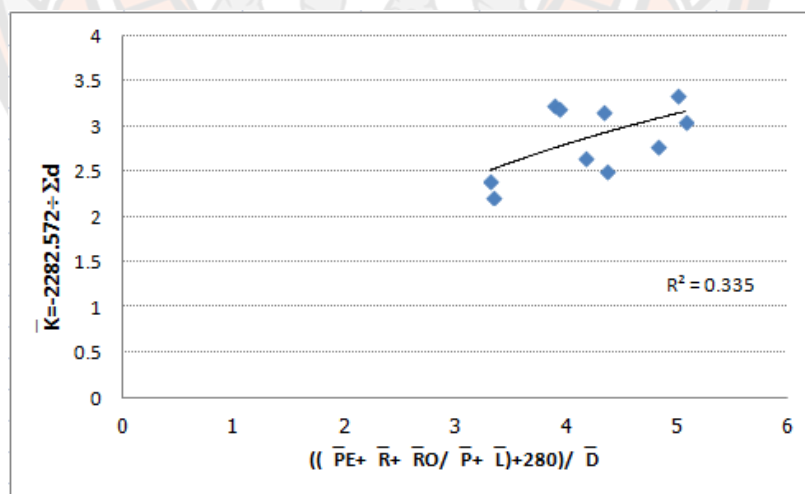
$$\text{หรือ} \quad \sum z_i = (29.4025t + 217.813)X_i \quad (3.24)$$

และได้สมการทั่วไปของการคำนวณครรชนี PDSI (X) ของพื้นที่ศึกษา คือ

$$X_i = 0.881X_{i-1} + z_i/247.215 \quad (3.25)$$

3.5.5.7 ปรับค่าถ่วงน้ำหนัก โดยการประมาณค่าถ่วงน้ำหนัก (K) ใหม่ด้วยข้อมูลของ สถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 10 สถานีในพื้นที่ศึกษา เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความแห้งแล้งระหว่าง สถานีหรือในพื้นที่ภาคเหนือได้ ซึ่งจากเดิม k คำนวณจากข้อมูลแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา โดยจะหาค่า $\sum z$ สำหรับความแห้งแล้งสูงสุดในช่วงระยะเวลา 12 เดือนของทุกสถานีอุตุนิยมวิทยา ซึ่งได้ค่า $\sum z$ เท่ากับ -2282.572 และค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ย (\bar{K}) เท่ากับ $-2282.572 \div \sum d$

จากนั้นจะสร้างกราฟโดยใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาทั้ง 10 สถานีในพื้นที่ศึกษา เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง \bar{K} กับ อุปทานของความชื้นเฉลี่ย (\bar{P} และ \bar{L}) อุปสงค์ของความชื้นเฉลี่ย (\bar{PE} , \bar{R} และ \bar{RO}) และความแตกต่างของความชื้นสัมบูรณ์เฉลี่ย (\bar{D}) ดังภาพ 13 และได้ สมการความสัมพันธ์ คือ



ภาพ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยกับอุปทานของความชื้นเฉลี่ย อุปสงค์ของความชื้นเฉลี่ย และความแตกต่างของความชื้นสัมบูรณ์เฉลี่ยของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ

$$K' = 1.5244 \ln \left[\left(\frac{\bar{PE} + \bar{R} + \bar{RO}}{\bar{P} + \bar{L}} + 280 \right) / \bar{D} \right] + 0.6894 \quad (3.26)$$

จากนั้นคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก (K) รายเดือนของแต่ละสถานีนีอิตุนิยมวิทยา ผลลัพธ์ดังตาราง 12

ตาราง 12 ค่าถ่วงน้ำหนักรายเดือนของสถานีนีอิตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ

สถานี	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.
เชียงใหม่	1.86	1.47	1.38	1.47	1.21	1.56	1.44	1.31	1.4	1.74	1.81	1.92
เชียงใหม่ สกษ.	2.17	1.77	1.53	1.67	1.35	1.57	1.39	1.33	1.59	1.79	1.9	2.2
ลำปาง	3.03	3.06	2.04	1.48	1.66	1.96	1.98	1.81	2.01	2.04	2.15	2.51
ลำปาง สกษ.	1.49	1.36	1.27	1.33	1.28	1.69	1.82	1.53	1.57	1.7	1.99	1.81
น่าน	1.86	1.56	1.45	1.71	1.49	2.05	1.54	1.41	1.67	2.12	2.21	2.08
น่าน สกษ.	3.25	3.29	2.31	1.67	1.34	2.02	1.94	2.11	1.89	1.81	2.35	2.68
ดอยมูเซอ	1.45	1.24	1.11	1.26	0.96	1.3	1.31	1.41	1.33	1.17	1.85	1.9
ดอยมูเซอ สกษ.	1.26	1.17	1.06	1.09	1.27	1.39	1.51	1.25	1.27	1.34	1.75	1.6
พิชัย	2.13	1.79	1.52	1.66	1.85	1.95	1.99	1.74	1.61	2.02	2.49	2.54
พิชัย สกษ.	2.35	1.85	1.36	1.38	1.46	1.6	1.82	1.65	1.59	1.8	2.19	2.37

หมายเหตุ: สกษ. หมายถึง สถานีอิตุนิยมวิทยาเกษตร

3.5.5.8 หาสมการการสิ้นสุดของความแห้งแล้งและชุ่มชื้น โดยในการคำนวณหาความชื้นที่ต้องการในการลดระดับความรุนแรงของค่า X ให้มีค่าเท่ากับ -0.5 หรือเข้าถึงระดับใกล้เคียงปกติ จะได้ค่า Z ที่ทำให้ความแห้งแล้งสิ้นสุดใน 1 เดือน (Z_e) คือ

$$Z_e = -217.796X_{i-1} - 123.608 \quad (3.27)$$

สำหรับ ปริมาณของ Z ต่ำสุด ที่จะเกิดขึ้นในเดือนถัดไปแล้วยังคงทำให้ $X = -0.5$ คือ $Z = -14.71$ และค่าของ $Z \geq -14.71$ จะมีผลให้ความแห้งแล้งสิ้นสุด และ effective wetness (U_w) คือ

$$U_w = Z + 14.71 \quad (3.28)$$

ในทำนองเดียวกันสำหรับช่วงชุ่มชื้น การหาปริมาณ Z_e ที่จะทำให้สิ้นสุดช่วงชุ่มชื้นใน 1 เดือน คือ

$$Z_e = -217.796X_{i-1} + 123.608 \quad (3.29)$$

เนื่องจากช่วงชุ่มชื้นสามารถสิ้นสุดเมื่อสภาพอากาศมีความชุ่มชื้นไม่มากนักต่อเนื่องกัน โดยค่า $Z \leq 14.71$ ที่มีผลให้ช่วงชุ่มชื้นสิ้นสุด และ effective dryness (U_d) คือ

$$U_d = Z - 14.71 \quad (3.30)$$

3.5.5.9 ประมวลค่าดัชนี DPSI (X) รายเดือนจากข้อมูล Z รายเดือนที่ใช้ค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ที่ปรับค่าแล้ว

3.5.6 การคำนวณดัชนี VCI จากข้อมูลดาวเทียม Terra (MODIS)

ดัชนี VCI คำนวณมาจากดัชนี NDVI ที่แสดงถึงความสมบูรณ์และความหนาแน่นของพืช ซึ่งดัชนี NDVI เป็นอัตราส่วนของการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นสีแดง (red) กับ NIR ดังสมการ

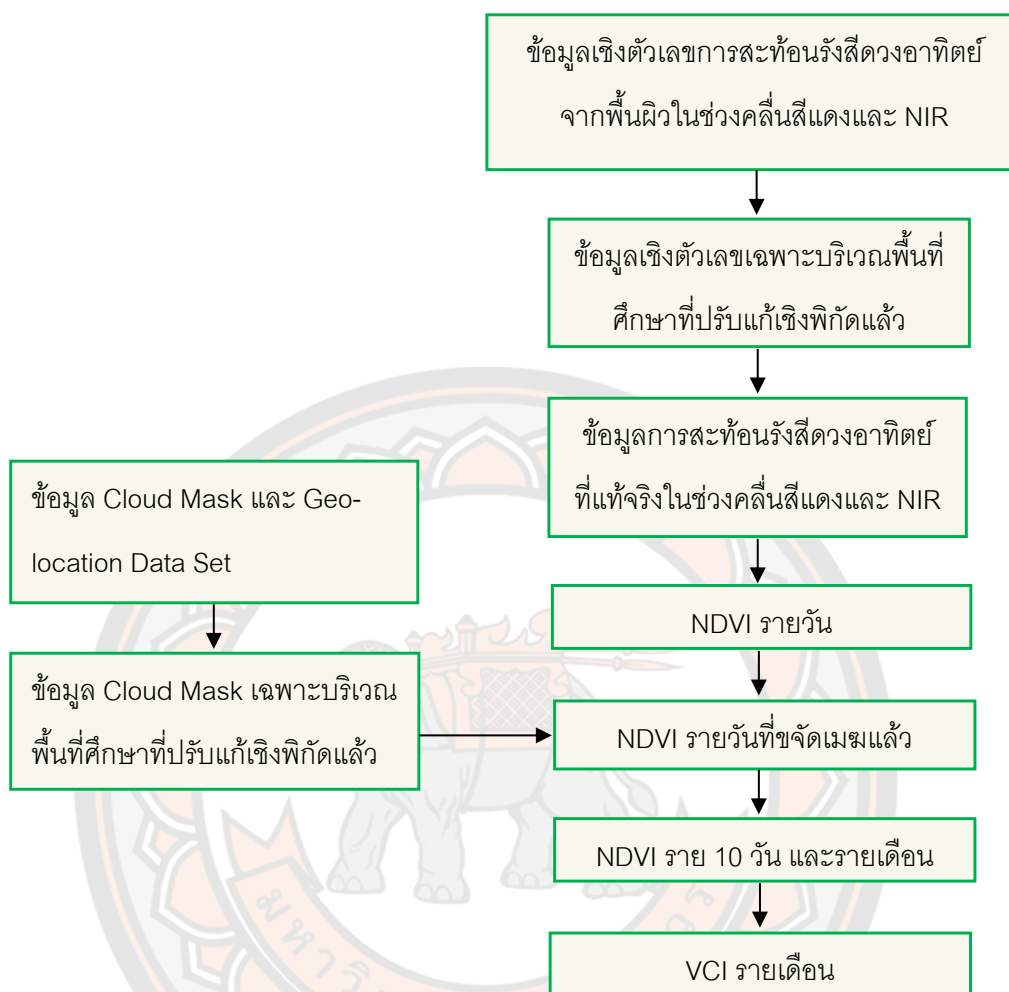
$$NDVI = (NIR - red) / (NIR + red) \quad (3.31)$$

โดยดัชนี VCI แสดงถึง NDVI ในปัจจุบันหรือช่วงเวลาที่เราสนใจว่ามีค่าใกล้เคียงอย่างไรกับค่า NDVI ต่ำสุดที่ได้จากการบันทึกในช่วงเวลายาวนาน (Thenkabail et al., 2004) ดังสมการ

$$VCI_j = 100(NDVI_j - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (3.32)$$

เมื่อ $NDVI_j$ คือ ค่า NDVI ของเดือนที่ศึกษา
 $NDVI_{max}$ คือ ค่า NDVI สูงสุดของเดือนเดียวกันในหลายปี
 $NDVI_{min}$ คือ ค่า NDVI ต่ำสุดของเดือนเดียวกันในหลายปี

สำหรับขั้นตอนวิธีประมวลผลเพื่อให้ได้ดัชนี VCI ได้แสดงในรูปแบบของแผนภูมิดังภาพ 14 และรายละเอียดดำเนินการ ดังนี้



ภาพ 14 การประมวลผลข้อมูลดาวเทียม Terra (MODIS) สำหรับประมาณค่าดัชนี VCI

3.5.6.1 นำข้อมูลเชิงตัวเลขการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวในช่วงคลื่นสีแดง และ NIR รายวันระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 ซึ่งอยู่ในประเภทไฟล์ HDF-EOS และอ้างอิงโดยเส้นโครงแผนที่แบบ Sinusoidal และยังไม่มีการปรับแก้เชิงพิกัด ซึ่งประกอบด้วยข้อมูล 2 ระยะเวลาจึงจะครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ มาทำการต่อภาพ (Mosaicking) และปรับแก้ข้อมูลเชิงพิกัด (Reprojection) เป็นระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic coordinate system) รวมทั้งตัดภาพ (Subset) ให้ครอบคลุมเฉพาะบริเวณพื้นที่ศึกษา ด้วยโปรแกรม MRT (USGS Earth Resources Observation and Science Center, 2011)

3.5.6.2 นำข้อมูล Cloud Mask รายวันระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 มาทำการปรับแก้ข้อมูลเชิงพิกัดให้เป็นระบบพิกัดภูมิศาสตร์ โดยจะต้องใช้ข้อมูล Cloud Mask ร่วมกับข้อมูล Geo-

location Data Set รวมทั้งตัดภาพเฉพาะบริเวณพื้นที่ศึกษา ด้วยโปรแกรม MRT Swath (USGS Earth Resources Observation and Science Center, 2010)

3.5.6.3 ขั้นตอนต่อจากนี้ไปจะทำการประมวลผลข้อมูลดาวเทียมใช้โปรแกรม ENVI โดยนำข้อมูลการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวจากข้อ 3.5.6.1 มาปรับแก้ (Calibrate) จากข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Number) ขนาด 8 บิต (Bit) เป็นค่าการสะท้อนที่แท้จริง โดยคูณด้วยค่า Scale factor ซึ่งเท่ากับ 0.0001

3.5.6.4 คำนวณค่า NDVI รายวัน โดยใช้ข้อมูลการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวที่แท้จริงในช่วงคลื่นสีแดง และ NIR รายวัน

3.5.6.5 นำข้อมูล NDVI รายวันมาขจัดเมฆหรือทำ Cloud Masking เพื่อกำจัด pixel ที่มีเมฆปกคลุมให้เป็นข้อมูลที่ไม่มีค่า โดยใช้ข้อมูล Cloud Mask จากข้อ 3.5.6.2 ซึ่งในขั้นตอนนี้บริเวณที่เป็นแหล่งน้ำจะถูกทำให้เป็นข้อมูลที่ไม่มีค่าด้วย

3.5.6.6 นำข้อมูล NDVI รายวันที่ขจัดเมฆแล้วมาผสมข้อมูล (Composite) เป็นข้อมูลราย 10 วันและรายเดือน โดยการหาค่าเฉลี่ย

3.5.6.7 หาค่า NDVI สูงสุด ($NDVI_{max}$) และ NDVI ต่ำสุด ($NDVI_{min}$) สำหรับแต่ละ Pixel ของข้อมูล NDVI รายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 เพื่อนำมาคำนวณหาดัรรชนี VCI รายเดือน จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของดัรรชนี VCI ในรัศมี 3 กิโลเมตรรอบสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ โดยขอบเขตพื้นที่ในรัศมี 3 กิโลเมตรได้มีการใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัรรชนีที่ได้จากข้อมูลดาวเทียมกับสารสนเทศที่ได้จากการตรวจวัดข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยา (Han et al.(2013), Baimoung et al. (2015))

3.5.7 การสร้างสมการดัรรชนีความแห้งแล้งแม่นยำ (PDI)

ดัรรชนีความแห้งแล้งแม่นยำได้พัฒนาขึ้นโดยการรวมดัรรชนีความแห้งแล้งชนิดต่างๆ เข้าด้วยกัน ดังเช่นดัรรชนีความแห้งแล้งรวมที่พัฒนาโดยองค์การ FAO จะใช้ดัรรชนีที่เกี่ยวกับฝน อุณหภูมิ และพืช และใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักโดยพิจารณาว่าปัจจัยหรือดัรรชนีใดมีความสำคัญกับความแห้งแล้งมากกว่ากัน (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011) ส่วนดัรรชนีความแห้งแล้งรวมทางอุตุนิยมวิทยาของกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศจีนได้ใช้ดัรรชนีความแห้งแล้งที่เกี่ยวกับฝนและดัรรชนีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างฝนกับการคายระเหยน้ำของพืช สำหรับค่าถ่วงน้ำหนักได้จากค่าเฉลี่ยของดัรรชนีเฉพาะค่าที่อยู่ในช่วงระดับความแห้งแล้งตั้งแต่เล็กน้อยขึ้นไปหารด้วยค่าต่ำสุดในอดีตของแต่ละดัรรชนีความแห้งแล้งที่นำมาใช้ (Cheng et al., 2018) รวมทั้งมีการพัฒนาดัรรชนีความแห้งแล้งรวมที่มีวิธีการเลือกดัรรชนีและกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักโดยการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ (บัญชาและคณะ, 2556) สำหรับการศึกษาจะพัฒนาดัรรชนีความแห้งแล้ง

แม่นยำ โดยวิธีการทางสถิติของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณดังที่ Wu et al. (2013) และ Yu et al. (2019) ได้ทำการศึกษาในประเทศจีนมาเป็นแนวทางในการพัฒนา ซึ่งการเลือกวิธีดังกล่าวนี้เหตุผลคือ ธรรมชาติความแห้งแล้งที่ได้จะแม่นยำสอดคล้องกับสถานะของพื้นที่ศึกษาเนื่องจากการเลือกตัวแปรตามที่น่ามาใช้ในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณในที่นี้จะใช้ค่าที่แสดงถึงผลกระทบของความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจริงกับพืชในพื้นที่ศึกษา

สำหรับการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระซึ่งเป็นต้นเหตุ จำนวนตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปกับตัวแปรตามซึ่งเป็นผลจำนวน 1 ตัว โดยความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้นตรง และสามารถประมาณค่าได้จากสมการ

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (3.33)$$

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตาม
 X_1, X_2, \dots, X_k คือ ตัวแปรอิสระ
 a, b_1, b_2, \dots, b_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์

โดยในที่นี้ได้เลือกดัชนี VCI เป็นตัวแปรตาม เนื่องจากดัชนี VCI สามารถสะท้อนสภาพการเจริญเติบโตของพืชและสามารถบ่งบอกถึงสถานการณ์ความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจริงของพื้นที่ ส่วนตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระได้เลือกดัชนีความแห้งแล้งซึ่งคำนวณจากปัจจัยหรือตัวบ่งชี้ของความแห้งแล้ง ดังนี้ 1) ดรรชนีความแห้งแล้งที่ได้จากข้อมูลปริมาณฝน ได้แก่ ดรรชนี SPI และ Deciles เนื่องจากน้ำฝนเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูก โดยเฉพาะในพื้นที่นอกเขตชลประทานที่อาศัยน้ำฝนในการเกษตรเพียงอย่างเดียว ซึ่งดรรชนี SPI สามารถนำมาใช้เพื่อแสดงถึงภาวะการขาดแคลนน้ำในเชิงปริมาณของช่วงเวลาที่น่าสนใจเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนในอดีต (Wu et al., 2013) ส่วนดรรชนี Deciles แสดงปริมาณสัมพัทธ์ของฝนที่ตกลงมาในช่วงเวลาที่น่าสนใจเปรียบเทียบกับ การกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนที่บันทึกไว้ในอดีตทั้งหมด (White et al., 1999) 2) ดรรชนีความแห้งแล้งที่ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณฝนและการคายระเหยน้ำของพืช ได้แก่ ดรรชนี MAI โดยการใช้น้ำของพืชหรือการคายระเหยน้ำของพืชจะเป็นปริมาณน้ำที่สูญเสียไปโดยการคายน้ำของพืชรวมกับปริมาณน้ำที่สูญเสียไปโดยการระเหยจากพื้นผิวดินที่พืชขึ้นอยู่ (Allen et al., 1998) ซึ่งดรรชนี MAI สามารถบ่งบอกได้ว่าปริมาณน้ำที่พืชได้รับจากฝนที่ตกมีเพียงพอกับความต้องการของพืชหรือไม่ หรือมีการขาดน้ำมากน้อยอย่างไร 3) ดรรชนี PDSI ซึ่งเป็นดรรชนีที่ไม่เพียงแต่จะรวมข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับปริมาณฝนและการคายระเหยน้ำของพืชเท่านั้น แต่ยังรวมปัจจัยความแตกต่างของภูมิภาคในปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดิน โดย PDSI มีประโยชน์ในการจำแนกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งซึ่งเปรียบเทียบในพื้นที่หรือภูมิภาคที่แตกต่างกันได้

การพัฒนาตรรกษณ์ PDI ดำเนินการใน 2 ขั้นตอนคือ 1) การเลือกตรรกษณ์ความแห้งแล้งที่จะใช้ในสมการตรรกษณ์ PDI ด้วยการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าตรรกษณ์ความแห้งแล้ง SPI, Deciles, MAI และ PDSI กับค่าตรรกษณ์ VCI ซึ่งแสดงถึงความแห้งแล้งทางการเกษตรในพื้นที่ ด้วยวิธีการทางสถิติของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ 2) การนำตรรกษณ์ความแห้งแล้งที่ถูกเลือกเข้ามาในสมการความสัมพันธ์ข้างต้นมาพัฒนาสมการตรรกษณ์ PDI ด้วยวิธีการทางสถิติของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยการกำหนดเงื่อนไขตรรกษณ์ความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาแต่ละตัวเฉพาะค่าที่อยู่ในช่วงระดับใกล้เคียงค่าปกติเป็นต้นไปจนถึงแห้งแล้งรุนแรงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการตรรกษณ์ความแห้งแล้งรวมประเทศจีนที่คำนวณจากค่าข้อมูลที่อยู่ในระดับแห้งแล้งตั้งแต่เล็กน้อยขึ้นไปจนถึงแห้งแล้งรุนแรงที่สุดของแต่ละตรรกษณ์ที่นำมาใช้

นอกจากนี้ในการศึกษาจะทำการพัฒนาตรรกษณ์ PDI ในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติที่จะเกิดขึ้นในแต่ละปี สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดว่าในแต่ละเดือนระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 เป็นเหตุการณ์ใดนั้นจะใช้ข้อมูลตรรกษณ์ Oceanic Niño Index (ONI) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยในระยะเวลา 3 เดือนที่ต่อเนื่องกันของผลต่างจากค่าปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตศูนย์สูตรบริเวณละติจูด $5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S}$ และลองจิจูด $120^{\circ} - 170^{\circ}\text{W}$ หรือบริเวณ Niño 3.4 โดยตรรกษณ์ ONI ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ +5 หมายถึงช่วงที่เป็นสภาวะอุ่นหรือเอลนีโญ และค่าตรรกษณ์ ONI ที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ -5 หมายถึงช่วงที่เป็นสภาวะเย็นหรือลานีญา รวมทั้งพิจารณา ค่าตรรกษณ์ ONI ที่แสดงว่าเป็นสภาวะอุ่นหรือเย็นจะต้องเกิดขึ้นต่อเนื่องกันอย่างน้อย 5 ครั้ง เนื่องจากค่าตรรกษณ์ ONI คำนวณจากข้อมูลในระยะเวลา 3 เดือนที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งมีการคาบเกี่ยวกัน เช่น มกราคม-มีนาคม กุมภาพันธ์-เมษายน มีนาคม-พฤษภาคม เป็นต้น ดังนั้นในการกำหนดว่าเดือนที่สนใจมีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา หรือปกติจะเลือกพิจารณาจากค่าตรรกษณ์ ONI ที่คำนวณโดยใช้ข้อมูลที่มีเดือนดังกล่าวอยู่ตรงกลาง สำหรับการเลือกใช้ตรรกษณ์ ONI เนื่องจากตรรกษณ์นี้ได้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีการผันแปรไม่มากกับการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ ตรงข้ามกับตรรกษณ์ SOI (Southern Oscillation Index) ที่ใช้ข้อมูลความกดของบรรยากาศ (Cane et al., 1994; Naylor et al., 2002)

สำหรับขนาดของข้อมูลที่ใช้ เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Terra (MODIS) ซึ่งเริ่มมีตั้งแต่ พ.ศ. 2543 จึงใช้ข้อมูลทั้งหมดเท่าที่มีระหว่าง พ.ศ. 2543-2557 ในการสร้างสมการตรรกษณ์ความแห้งแล้งรวมทางอุตุนิยมวิทยาของทั้งภาคเหนือและแต่ละสถานี โดยแยกในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ

ส่วนขั้นตอนของการพัฒนาตรรกษณ์ PDI มีรายละเอียดดังนี้

3.5.7.1 นำข้อมูลดัชนีความแห้งแล้งต่างๆ ได้แก่ ดรรชนี SPI, Deciles และ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ดรรชนี PDSI และ VCI รายเดือน จากข้อ 3.5.2 ถึง 3.5.6 ระหว่าง พ.ศ. 2543-2557 เฉพาะช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน และพฤศจิกายน-ธันวาคม มาจำแนกในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ โดยใช้ดรรชนี ONI ในการกำหนดช่วงเวลาที่มามีเหตุการณ์ดังกล่าว

3.5.7.2 เลือกตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการพัฒนา PDI โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้ง SPI, Deciles, MAI และ PDSI จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัดในสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 10 สถานีในภาคเหนือกับค่าดัชนี VCI ซึ่งแสดงถึงความแห้งแล้งทางการเกษตรในพื้นที่ ด้วยวิธีการทางสถิติของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ ซึ่งใช้ดรรชนี VCI เป็นตัวแปรตาม ส่วนดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ได้แก่ ดรรชนี SPI, Deciles และ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน และดรรชนี PDSI รายเดือนเป็นตัวแปรอิสระจำนวนทั้งสิ้น 10 ตัวแปร และการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในสมการโดยวิธีเพิ่มตัวแปรอิสระแบบขั้นตอน (Stepwise Regression) โดยจะเลือกตัวแปรอิสระของสมการที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) สูงสุดไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.5.7.3 พัฒนาสมการดรรชนี PDI ในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติด้วยวิธีการทางสถิติของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้ดรรชนี VCI เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระคือดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาที่ถูกเลือกเข้าในสมการในขั้นตอนที่ 3.5.7.2 ทุกตัว โดยการกำหนดเงื่อนไขดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาแต่ละตัว คือใช้ค่าดรรชนีความแห้งแล้งเฉพาะค่าที่อยู่ในช่วงระดับใกล้เคียงค่าปกติเป็นต้นไปจนถึงแห้งแล้งรุนแรงที่สุด ดังนี้

ดรรชนี SPI กำหนดใช้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.99

ดรรชนี Deciles กำหนดใช้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6

ดรรชนี MAI กำหนดใช้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.33

ดรรชนี PDSI กำหนดใช้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.49

3.5.8 ตรวจสอบความถูกต้องของสมการดรรชนี PDI

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของค่าดรรชนี PDI ที่คำนวณจากดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ กับค่าดรรชนี VCI ที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม ซึ่งถึงแม้ว่าดรรชนี PDI ได้พัฒนาจากดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาที่มีการกำหนดเงื่อนไขเฉพาะค่าที่อยู่ในช่วงระดับใกล้เคียงค่าปกติเป็นต้นไปจนถึงแห้งแล้งรุนแรงที่สุด เพื่อให้สมการที่ได้ถูกต้องสอดคล้องกับความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในพื้นที่ แต่ในการนำไปใช้จะใช้ข้อมูลค่าดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาที่

เกิดขึ้นจริงในเวลานั้นทั้งหมด ดังนั้นในการตรวจสอบความถูกต้องได้ใช้ข้อมูลทั้งหมดระหว่าง พ.ศ. 2558-2559 ช่วงเดือนมกราคม-เมษายน และพฤศจิกายน-ธันวาคม ซึ่งมีเฉพาะเหตุการณ์เอลนีโญ และลานีญาเท่านั้น โดยมีวิธีดำเนินการดังนี้

3.5.8.1 นำข้อมูลดัชนีความแห้งแล้งต่างๆ เฉพาะที่ถูกเลือกเข้าในสมการ จากข้อ 3.5.2 ถึง 3.5.5 ระหว่าง พ.ศ. 2558-2559 มาคำนวณค่าดัชนี PDI ด้วยสมการที่ได้พัฒนาขึ้นของภาคเหนือและแต่ละสถานี

3.5.8.2 นำข้อมูลดัชนี VCI ที่ประมาณค่าจากข้อมูลดาวเทียม Terra (MODIS) จากข้อ 3.5.6 ระหว่าง พ.ศ. 2558-2559 มาตรวจสอบความถูกต้องของดัชนี PDI ด้วยวิธีการทางสถิติของรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และ ความคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ย (MBE) โดยจะทำการตรวจสอบดัชนี PDI ของภาคเหนือและแต่ละสถานี

3.5.9 ตรวจสอบความแห้งแล้งจากดัชนี VCI กับรายงานสถานการณ์ภัยแล้ง

การตรวจสอบความแห้งแล้งของดัชนี VCI จากข้อมูลดาวเทียม Terra (MODIS) รายละเอียด 250 เมตร จะดำเนินการในระดับอำเภอ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงสภาพพืชพรรณที่บ่งชี้ถึงความแห้งแล้งด้วยวิธีของดัชนี VCI สอดคล้องกับสภาพความแห้งแล้งตามความเป็นจริงของพื้นที่หรือไม่ โดยใช้ข้อมูลรายงานสถานการณ์ภัยแล้งของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยในเดือนมีนาคม 2559 ซึ่งตรงกับเหตุการณ์เอลนีโญ และเนื่องจากรายงานสถานการณ์ภัยแล้งไม่ได้จำแนกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งว่ามากหรือน้อยอย่างไร ดังนั้นจึงพิจารณาเฉพาะเชิงพื้นที่ โดยได้ทำการตรวจสอบว่าอำเภอที่มีรายงานการเกิดสถานการณ์ภัยแล้งนั้น มีค่าระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งของดัชนี VCI ที่ได้จากดาวเทียมอยู่ในเกณฑ์ที่แห้งแล้งหรือไม่ ซึ่งมีวิธีดำเนินการดังนี้

3.5.9.1 นำข้อมูลสถานการณ์ภัยแล้งจากรายงานสถานการณ์สาธารณภัยประจำวัน ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยในเดือนมีนาคม 2559 ที่มีรายชื่ออำเภอต่างๆ ของประเทศไทย ที่ประสบสถานการณ์ภัยแล้ง มาหาว่ามีอำเภอใดบ้างในภาคเหนือที่มีรายงานประสบสถานการณ์ภัยแล้งต่อเนื่องกันมากกว่า 10 วัน

3.5.9.2 นำข้อมูลดัชนี VCI ที่ประมาณค่าจากข้อมูลดาวเทียม Terra (MODIS) ในเดือนมีนาคม 2559 จากข้อ 3.5.6 มาประมวลผลเพื่อให้ได้ข้อมูลดัชนี VCI เฉพาะที่อยู่ในขอบเขตพื้นที่อำเภอที่มีรายงานประสบสถานการณ์ภัยแล้ง

3.5.9.3 จำแนกพื้นที่ความแห้งแล้งในแต่ละอำเภอที่มีรายงานประสบสถานการณ์ภัยแล้ง จากค่าดัชนี VCI และโดยใช้เกณฑ์ระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งของดัชนี VCI ที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 เพื่อหาว่าอำเภอดังกล่าวมีขนาดพื้นที่ความแห้งแล้งเท่าไร

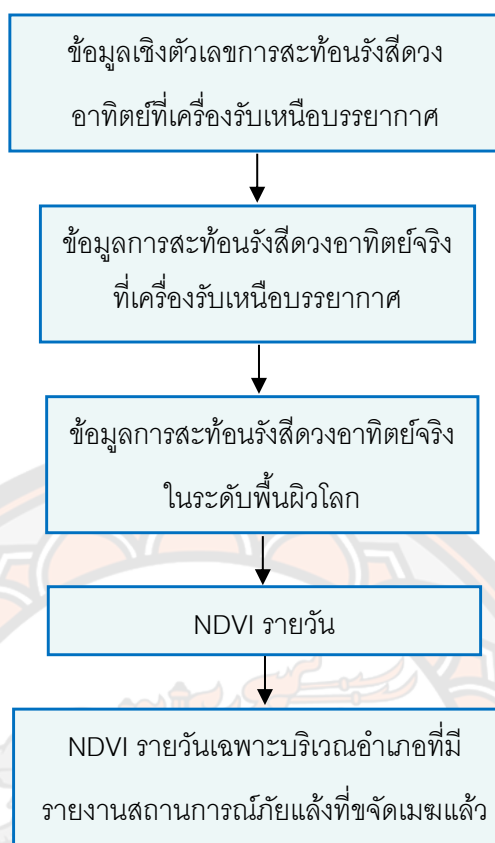
3.5.10 การตรวจสอบตรรกะ NDVI ของดาวเทียม Terra (MODIS) กับดาวเทียม Landsat ในระดับอำเภอ

ขั้นตอนนี้เป็น การตรวจสอบตรรกะ NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) รายละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตร ที่ใช้สำหรับคำนวณตรรกะ VCI ในการแสดงถึงความแห้งแล้งซึ่งส่งผลกับการเกษตรในพื้นที่ศึกษา กับข้อมูลตรรกะ NDVI จากดาวเทียม Landsat รายละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร ในรูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองในระดับอำเภอ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันที่จะทำให้ตรรกะความแห้งแล้งที่ได้จากข้อมูลรายละเอียด 250 เมตร สามารถสะท้อนความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีรายละเอียดมากกว่าหรือไม่

โดยในที่นี้จะทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตรรกะ NDVI แทนที่จะเป็นตรรกะ VCI นั้นมีสาเหตุเนื่องมาจากไม่มีข้อมูลตรรกะ VCI จากดาวเทียม Landsat และการตรวจสอบจะดำเนินการเฉพาะบริเวณอำเภอที่มีรายงานการเกิดสถานการณ์ภัยแล้งของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน ในปี พ.ศ.2558, 2554 และ 2557 ซึ่งตรงกับกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติตามลำดับ

สำหรับการตรวจสอบจะใช้ข้อมูลตรรกะ NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) ราย 10 วัน และตรรกะ NDVI จากดาวเทียม Landsat รายวันในระดับอำเภอ เนื่องจากจำนวนข้อมูลจากดาวเทียมซึ่งมีเมฆปกคลุมเฉพาะในบางพื้นที่หรือไม่มีเมฆปกคลุมทั้งอำเภอที่มีสถานการณ์ภัยแล้งในช่วงเวลาที่ศึกษานั้นมีจำนวนไม่มาก ดังนั้น เพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวจากดาวเทียม Landsat ทั้งหมดเท่าที่มีจึงได้เลือกใช้ข้อมูลตรรกะ NDVI ราย 10 วัน จากดาวเทียม Terra (MODIS) ซึ่งได้จากผสมข้อมูล (Composite) รายวันเป็นข้อมูลราย 10 วัน

โดยในขั้นตอนนี้จะต้องทำการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม Landsat เพื่อให้ได้ตรรกะ NDVI โดยใช้โปรแกรม ENVI ซึ่งขั้นตอนวิธีประมวลผลแสดงในรูปแบบของแผนภูมิดังภาพ 15 และการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตรรกะ NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) ราย 10 วัน และตรรกะ NDVI จากดาวเทียม Landsat รายวันในระดับอำเภอ มีรายละเอียดวิธีดำเนินการดังนี้



ภาพ 15 การประมวลผลข้อมูลดาวเทียม Landsat สำหรับประมาณค่าดัชนี NDVI

3.5.10.1 นำข้อมูลสถานการณ์ภัยแล้งจากรายงานสถานการณ์สาธารณสุขประจำวันของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน ในปี พ.ศ.2558, 2554 และ 2557 ซึ่งตรงกับกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ ตามลำดับ มาหารายชื่ออำเภอในภาคเหนือที่มีรายงานการเกิดสถานการณ์ภัยแล้ง

3.5.10.2 นำข้อมูลการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่เครื่องรับเหนือบรรยากาศจากดาวเทียม Landsat5 และ Landsat8 ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขขนาด 8 และ 16 บิต ตามลำดับ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2554, 2557 และ 2558 มาทำการปรับแก้ข้อมูลเชิงตัวเลขเป็นค่าการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จริง

3.5.10.3 ทำการปรับแก้เชิงบรรยากาศ เพื่อให้ได้ค่าการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จริงจากพื้นผิวที่ในระดับพื้นผิวโลก โดยใช้ FLAASH Module ในโปรแกรม ENVI

3.5.10.4 คำนวณค่าดัชนี NDVI รายวันโดยใช้ข้อมูลช่วงคลื่นสีแดง และ NIR โดยในข้อมูลดาวเทียม Landsat5 จะตรงกับ band 3 และ 4 ส่วนดาวเทียม Landsat8 จะตรงกับ band 4 และ 5 ตามลำดับ

3.5.10.5 นำค่าดัชนี NDVI รายวัน มาตัดภาพและลบข้อมูลให้มีข้อมูลเฉพาะบริเวณขอบเขตอำเภอที่มีรายงานสถานการณ์ภัยแล้งในขณะช่วงเวลานั้น รวมทั้งลบข้อมูลพื้นที่ที่มีเมฆปกคลุม โดยกำหนดพื้นที่ที่มีเมฆปกคลุมจากการวิเคราะห์ด้วยสายตา จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ย NDVI รายวันของดาวเทียม Landsat เฉพาะข้อมูลอำเภอที่มีรายงานสถานการณ์ภัยแล้งซึ่งไม่มีเมฆปกคลุมหรือมีเมฆปกคลุมขนาดพื้นที่น้อยกว่า 50% ของพื้นที่อำเภอ

3.5.10.6 นำข้อมูลดัชนี NDVI ราย 10 วันของดาวเทียม Terra (MODIS) ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2554, 2557 และ 2558 จากข้อ 3.5.6.6 มาตัดภาพและลบข้อมูลให้มีข้อมูลเฉพาะบริเวณขอบเขตอำเภอที่มีรายงานสถานการณ์ภัยแล้งในขณะช่วงเวลานั้น โดยจะดำเนินการกับข้อมูลดัชนี NDVI ราย 10 วันนี้เฉพาะข้อมูลในช่วงเวลาตรงกับที่มีข้อมูลดัชนี NDVI เฉลี่ยรายวันของดาวเทียม Landsat

3.5.10.7 นำข้อมูลขอบเขตพื้นที่ที่มีเมฆปกคลุมในดาวเทียม Landsat จากข้อ 3.5.10.5 มาใช้ในการลบข้อมูลดัชนี NDVI ราย 10 วันของดาวเทียม Terra (MODIS) เพื่อให้เหลือข้อมูลเฉพาะที่มีพื้นที่ตรงกับข้อมูล NDVI รายวันของดาวเทียม Landsat จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ย NDVI ราย 10 วันของดาวเทียม Terra (MODIS) บริเวณอำเภอที่มีรายงานสถานการณ์ภัยแล้งซึ่งไม่มีเมฆปกคลุม

3.5.10.8 หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ย NDVI ราย 10 วันจากดาวเทียม Terra (MODIS) และค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI รายวันจากดาวเทียม Landsat บริเวณอำเภอที่มีรายงานการเกิดสถานการณ์ภัยแล้งและไม่มีเมฆปกคลุม ในแต่ละกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ

3.5.11 การตรวจสอบดัชนี NDVI ของดาวเทียม Landsat ในระดับสนาม (field scale)

วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบดัชนี NDVI ของดาวเทียม Landsat ในระดับสนาม เพื่อให้ทราบถึงสภาพความเป็นจริงของพื้นที่การเกษตรเกี่ยวกับสภาวะพืชหรือลักษณะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้น และสภาพดังกล่าวที่เป็นอยู่เมื่อมีการตรวจวัดจะมีค่าดัชนี NDVI เท่าไร และดัชนี NDVI ที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามกับดัชนี NDVI ของดาวเทียม Landsat ในพื้นที่เดียวกันนั้นมีความสัมพันธ์สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะทำการสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยสำรวจสภาพพื้นที่การเกษตร และตรวจวัดการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวในพื้นที่การเกษตร ด้วยเครื่อง Spectroradiometer รุ่น FieldSpec HandHeld 2 (ASD Inc., 2010) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบมือถือ สามารถตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่นระหว่าง 325-1075 nm โดยรูปภาพของเครื่องมือดังกล่าวและการตรวจวัดแสดงดังภาพ 16



ภาพ 16 เครื่อง Spectroradiometer รุ่น FieldSpec HandHeld 2

สำหรับการกำหนดพื้นที่ในการสำรวจได้นำรายงานสถานการณ์สาธารณสุขประจำวันของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยที่มีการรายงานจังหวัดและอำเภอที่ประกาศเขตการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติกรณีฉุกเฉิน (ภัยแล้ง) มากำหนดพื้นที่หรืออำเภอที่จะทำการสำรวจ โดยเลือกเฉพาะพื้นที่ซึ่งอยู่ในอำเภอที่ได้มีการประกาศเขตพิบัติฯ (ภัยแล้ง) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2559 จนถึงวันที่ออกสำรวจ แม้ว่าได้มีการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยเรียบร้อยแล้วและยุติการประกาศเขตภัยแล้งของอำเภอนั้นก่อนวันที่ออกสำรวจก็ตาม โดยเลือกพื้นที่การเกษตรที่มีขนาดใหญ่กว่ารายละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat (30×30 เมตร) และปลูกพืชชนิดเดียวกัน สภาวะทางการเกษตรใกล้เคียงกัน และทำการตรวจวัดการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวในพื้นที่การเกษตรด้วยเครื่อง Spectroradiometer แบบสุ่มตรวจเป็นจุดห่างกันประมาณระยะการเดิน 15-25 ก้าว หลังจากนั้นจะนำข้อมูลการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นดินที่ตรวจวัดได้มาคำนวณหา ดรรชนี NDVI

ส่วนข้อมูลดรรชนี NDVI ของดาวเทียม Landsat เนื่องจากไม่มีข้อมูลการตรวจวัดของดาวเทียมดังกล่าวที่ครอบคลุมพื้นที่สำรวจเก็บข้อมูลภาคสนามตรงกับวันที่สำรวจเก็บข้อมูล จึงใช้ข้อมูลวันที่ใกล้เคียงมาประมวลผลดรรชนี NDVI

โดยการตรวจสอบดรรชนี NDVI ในระดับสนามมีรายละเอียดวิธีดำเนินการดังนี้

3.5.11.1 นำข้อมูลสถานการณ์ภัยแล้งจากรายงานสถานการณ์สาธารณสุขประจำวันของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยระหว่างวันที่ 1 มกราคม - 20 กุมภาพันธ์ 2559 มาหารายชื่อจังหวัดและอำเภอในภาคเหนือที่มีรายงานการเกิดสถานการณ์ภัยแล้งหรือถูกประกาศเขตภัยพิบัติฯ (ภัยแล้ง) ดังตาราง 13

ตาราง 13 จังหวัดประกาศเขตภัยพิบัติฯ (ภัยแล้ง) ในภาคเหนือจากรายงานสถานการณ์สาธารณสุข
ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม - 20 กุมภาพันธ์ 2559

ที่	จังหวัด	รายชื่ออำเภอที่ประกาศเขตภัยพิบัติฯ (ภัยแล้ง)
1	พิษณุโลก	เนินมะปราง พรหมพิราม วังทอง วัดโบสถ์ บางกระทุ่ม
2	เชียงราย	พาน
3	อุตรดิตถ์	เมือง
4	พะเยา	เมือง ดอกคำใต้ แม่ใจ จุน ภูพานยาว เชียงคำ
5	เชียงใหม่	ดอยเต่า สันกำแพง แม่ริม
6	พิจิตร	ตะพานหิน วชิรบำรุง บางมูลนาก วังทรายพูน เมือง สากเหล็ก
7	สุโขทัย	สวรรคโลก ศรีนคร ศรีสำโรง ศรีสำแล เมือง ศิริมาศ พงส์เสถียร บ้านด่านลานหอย

ที่มา: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2559

3.5.11.2 สํารวจเก็บข้อมูลภาคสนาม ดังภาพ 17 โดยครั้งที่ 1 สํารวจสภาพพื้นที่ การเกษตร และตรวจวัดการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวในพื้นที่การเกษตร ด้วยเครื่อง Spectroradiometer ระหว่างวันที่ 21-22 กุมภาพันธ์ 2559 จำนวน 5 จุด บริเวณจังหวัดพิจิตร สุโขทัย และพิษณุโลก ในอำเภอที่มีสถานการณ์ภัยแล้งจากรายงานของกรมป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย ดังนี้

วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2559 จังหวัดพิจิตร อำเภอเมืองและสากเหล็ก

วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2559 จังหวัดสุโขทัย อำเภอสวรรคโลก และจังหวัดพิษณุโลก อำเภอพรหมพิรามและบางกระทุ่ม

3.5.11.3 นำข้อมูลสถานการณ์ภัยแล้งจากรายงานสถานการณ์สาธารณสุขประจำวัน ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยระหว่างวันที่ 1 มกราคม - 24 มีนาคม 2559 มาหารายชื่อ จังหวัดและอำเภอในภาคเหนือที่มีรายงานการเกิดสถานการณ์ภัยแล้ง พบว่ามีอำเภอที่มีสถานการณ์ภัย แล้งเพิ่มขึ้นจากเดิมตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม - 20 กุมภาพันธ์ 2559 (ตาราง 13) มีจำนวน 2 อำเภอ คือ อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ และอำเภอสองแคว จังหวัดน่าน

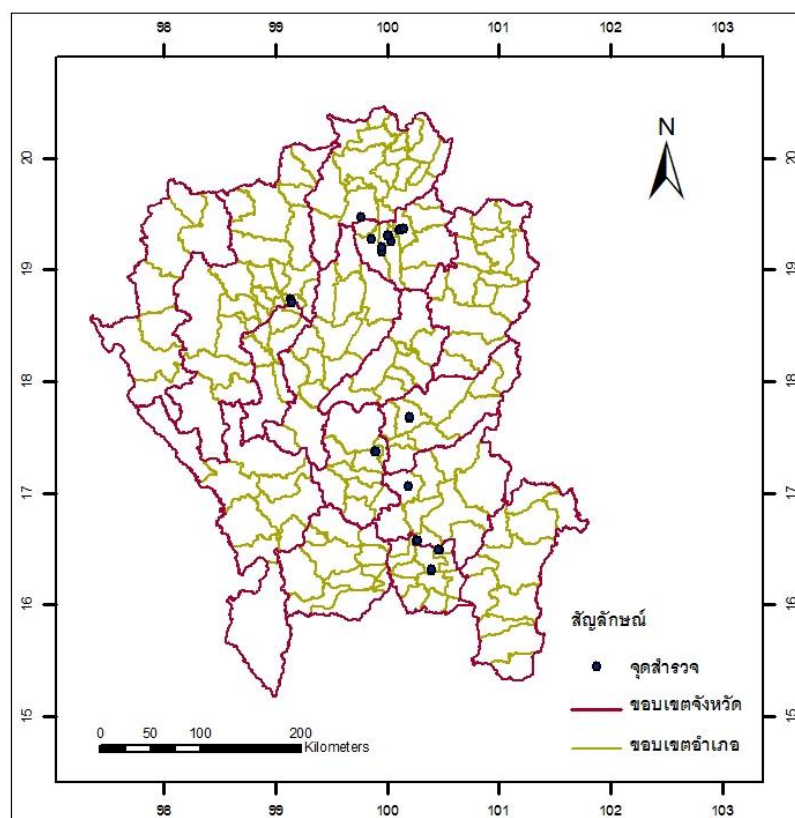
3.5.11.4 สํารวจเก็บข้อมูลภาคสนามครั้งที่ 2 โดยสํารวจสภาพพื้นที่การเกษตร และ ตรวจวัดการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวในพื้นที่การเกษตร ด้วยเครื่อง Spectroradiometer

ระหว่างวันที่ 26-28 มีนาคม 2559 จำนวน 11 จุด บริเวณจังหวัดอุดรดิตถ์ พะเยา เชียงราย และ เชียงใหม่ ในอำเภอที่มีสถานการณ์ภัยแล้งจากรายงานของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ดังนี้

วันที่ 26 มีนาคม 2559 จังหวัดอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง

วันที่ 27 มีนาคม 2559 จังหวัดพะเยา อำเภอดอกคำใต้ จุน ภูกามยาว และเมือง และ จังหวัดเชียงราย อำเภอพาน

วันที่ 28 มีนาคม 2559 จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอสันกำแพง



ภาพ 17 ตำแหน่งจุดสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนามครั้งที่ 1 และ 2

3.5.11.5 นำข้อมูลการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวที่ตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Spectroradiometer ในการสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนามทั้ง 2 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ยในช่วงคลื่นสีแดง และ NIR โดยใช้ช่วงความยาวคลื่นเดียวกันกับดาวเทียม Landsat8 คือความยาวคลื่น 636 - 673 และ 851-879 nm (Zanter, 2016) ตามลำดับ

3.5.11.6 คำนวณค่าดัชนี NDVI ของการตรวจวัดภาคสนาม จากข้อมูลค่าเฉลี่ยการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นดินในช่วงคลื่นสีแดง และ NIR

3.5.11.7 นำข้อมูลการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่เครื่องรับเหนือบรรยากาศจากดาวเทียม Landsat 8 ในวันที่ใกล้เคียงกับวันที่สำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม มาประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าดัชนี NDVI รายวัน โดยดำเนินการเช่นเดียวกับข้อ 3.5.10.2 - 3.5.10.4

สำหรับการตรวจวัดภาคสนามครั้งที่ 1 ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2559 ส่วนการสำรวจภาคสนามครั้งที่ 2 ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat วันที่ 3 และ 10 เมษายน 2559

3.5.11.8 นำค่าดัชนี NDVI รายวันของดาวเทียม Landsat มาตัดภาพให้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่สำรวจ จากนั้นหาค่าเฉลี่ย NDVI ของแต่ละแปลงตัวอย่าง โดยกำหนดขอบเขตของแปลงตัวอย่างจาก pixel ที่ติดกันและมีค่าใกล้เคียงกัน

3.5.11.9 คำนวณค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI ของการตรวจวัดภาคสนามด้วยเครื่องมือ Spectroradiometer ในแปลงตัวอย่าง โดยทำการเฉลี่ยเฉพาะค่าดัชนี NDVI ที่มีตำแหน่งการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Spectroradiometer อยู่ในขอบเขตของแปลงตัวอย่างที่ได้กำหนดในข้อ 3.5.11.8

3.5.11.10 หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ย NDVI ของการตรวจวัดภาคสนามและค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI รายวันจากดาวเทียม Landsat ในแปลงตัวอย่าง

3.5.12 การตรวจสอบ NDVI ของดาวเทียม Terra (MODIS) กับดาวเทียม Landsat ในระดับจุดภาพ

ขั้นตอนนี้จะทำการตรวจสอบดัชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) รายละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตร กับข้อมูลดัชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat รายละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร ในรูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองในระดับจุดภาพ (pixel) โดย 1 จุดภาพของข้อมูลจากดาวเทียม Terra (MODIS) กับค่าเฉลี่ยของ 8x8 จุดภาพของข้อมูลจากดาวเทียม Landsat ในตำแหน่งเดียวกัน เพื่อให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่และความถูกต้องเพิ่มขึ้นจากการตรวจสอบในระดับอำเภอ โดยจะดำเนินการกับจุดภาพข้อมูลดัชนี NDVI รายวันจากดาวเทียม Terra (MODIS) ที่ครอบคลุมพื้นที่สำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม เนื่องจากขนาดพื้นที่สำรวจมีขนาดเล็กกว่าขนาดพื้นที่ของอำเภอมาก และโอกาสที่จะได้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ไม่มีเมฆปกคลุมพื้นที่สำรวจมีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระดับอำเภอ และเนื่องจากดัชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat มีเฉพาะข้อมูลในวันที่ใกล้เคียงกับวันที่สำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม คือวันที่ 15 กุมภาพันธ์ และวันที่ 3 และ 10 เมษายน 2559 รวมทั้งพบว่าข้อมูลดัชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) ในวันที่ตรงกับที่มีข้อมูลจากดาวเทียม Landsat นั้นไม่มีข้อมูลบริเวณพิกัดข้อมูล path ซึ่งครอบคลุมพื้นที่สำรวจ จึง

เลือกใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Terra (MODIS) ในวันที่ใกล้เคียงกับวันที่มีข้อมูลจากดาวเทียม Landsat คือวันที่ 16 กุมภาพันธ์ และวันที่ 4 และ 11 เมษายน 2559 ตามลำดับ

สำหรับการตรวจสอบตรรกะ NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) กับตรรกะ NDVI จากดาวเทียม Landsat ในระดับจุดภาพ มีวิธีดำเนินการดังนี้

3.5.12.1 นำข้อมูลตรรกะ NDVI ของดาวเทียม Terra (MODIS) วันที่ 16 กุมภาพันธ์ และวันที่ 4 และ 11 เมษายน 2559 จากข้อ 3.5.6.5 มาอ่านค่าตรรกะ NDVI ของแต่ละจุดภาพที่ครอบคลุมพื้นที่สำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยเลือกจุดภาพที่ครอบคลุมตำแหน่งการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Spectroradiometer รวมทั้งสร้างข้อมูลพื้นที่รูปปิด (polygon) ของแต่ละจุดภาพนั้น

3.5.12.2 นำข้อมูลตรรกะ NDVI ของดาวเทียม Landsat วันที่ 15 กุมภาพันธ์ และวันที่ 3 และ 10 เมษายน 2559 จากข้อ 3.5.11.8 และข้อมูลพื้นที่รูปปิดของแต่ละจุดภาพของดาวเทียม Terra (MODIS) ที่ครอบคลุมพื้นที่สำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม มาทำการลบข้อมูลตรรกะ NDVI ของดาวเทียม Landsat ให้มีข้อมูลเฉพาะบริเวณขอบเขตพื้นที่รูปปิดหรือขนาดเท่ากับจุดภาพของดาวเทียม Terra (MODIS) จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ย NDVI ของดาวเทียม Landsat ในแต่ละพื้นที่รูปปิดนั้น

3.5.12.3 หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าจุดภาพของตรรกะ NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) และค่าเฉลี่ยตรรกะ NDVI จากดาวเทียม Landsat ในพื้นที่เดียวกันกับจุดภาพของดาวเทียม Terra (MODIS)

3.5.13 การเปรียบเทียบตรรกะ PDI กับตรรกะความแห้งแล้งทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยต่างๆ ในเชิงพื้นที่

การเปรียบเทียบแผนที่แสดงค่าตรรกะ PDI และตรรกะความแห้งแล้งทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยต่างๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของตรรกะ PDI ในการติดตามความแห้งแล้งในเชิงพื้นที่ว่ามีความสอดคล้องหรือแตกต่างจากการติดตามโดยใช้ตรรกะความแห้งแล้งทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยอื่นอย่างไร โดยจะดำเนินการเปรียบเทียบระหว่างเดือนมีนาคม - เมษายน 2559 ซึ่งตรงกับสถานการณ์เอลนีโญ สำหรับในช่วงฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2559 ได้ถูกเลือกเป็นกรณีศึกษาเปรียบเทียบความแห้งแล้งเนื่องจากปีก่อนหน้าในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวปริมาณฝนของพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยต่ำกว่าค่าปกติเกือบตลอดช่วง และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของประเทศไทยสูงกว่าค่าปกติทุกเดือน (ศูนย์ภูมิอากาศ, 2560a, 2560c) หลังจากนั้นในช่วงฤดูร้อนของปี พ.ศ.2559 บริเวณประเทศไทยตอนบนมีฝนน้อยและปริมาณต่ำกว่าค่าปกติตลอดช่วงฤดู (ศูนย์ภูมิอากาศ, 2560b) ประกอบกับรายงานสถานการณ์ภัยแล้งประจำวันที่ 29 เมษายน 2559 ของกรมป้องกันและบรรเทา

สาธารณสุข (2559) มีจังหวัดที่ประกาศเขตการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติกรณีฉุกเฉิน (ภัยแล้ง) จำนวน 32 จังหวัด 193 อำเภอ

สำหรับวิธีดำเนินการเพื่อจัดทำแผนที่แสดงดัชนีความแห้งแล้งต่างๆ มีดังนี้

3.5.13.1 นำข้อมูลดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ได้แก่ ดรรชนี SPI, Deciles, และ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน และดรรชนี PDSI รายเดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือจากข้อ 3.5.2 ถึง 3.5.5 ในเดือนมีนาคม - เมษายน 2559 ชนิดข้อมูลจุด (point data) มาแปลงเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) โดยใช้เทคนิควิธี Inverse Distance Weighting (IDW) ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และจัดทำในรูปแบบแผนที่ ด้วยโปรแกรม ArcMap

3.5.13.2 นำข้อมูลดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาที่ถูกเลือกเข้ามาในสมการ ดรรชนี PDI ของภาคเหนือในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือในเดือน มีนาคม - เมษายน 2559 มาคำนวณหาค่าดรรชนี PDI และจัดทำในรูปแบบแผนที่โดยใช้วิธีการเดียวกับที่ดำเนินการกับดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ในข้อ 3.5.13.1

3.5.13.3 เปรียบเทียบความแห้งแล้งในเชิงพื้นที่ระหว่างแผนที่แสดงดรรชนี PDI และแผนที่แสดงดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการดำเนินการตามขั้นตอนในบทที่ 3 ได้ผลลัพธ์ของการดำเนินการเพื่อพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งแม่น้ำบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยภายใต้เหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลลัพธ์ของการคำนวณดัชนี SPI

การคำนวณค่าดัชนี SPI ในเบื้องต้นได้นำข้อมูลปริมาณฝนรายวันของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือจำนวน 10 สถานี มาคำนวณหาปริมาณฝนสะสมรายเดือน และปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือน ปรากฏตามตัวอย่างผลลัพธ์ของ พ.ศ. 2557 ในการคำนวณปริมาณฝนสะสมรายเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และมีนาคม รวมทั้งปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคม โดยมีเดือนสุดท้ายตรงกับเดือนมีนาคม 2557 ดังตาราง 14

ตาราง 14 ตัวอย่างผลการคำนวณปริมาณฝนสะสมรายเดือน และปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคม 2557 ในภาคเหนือ

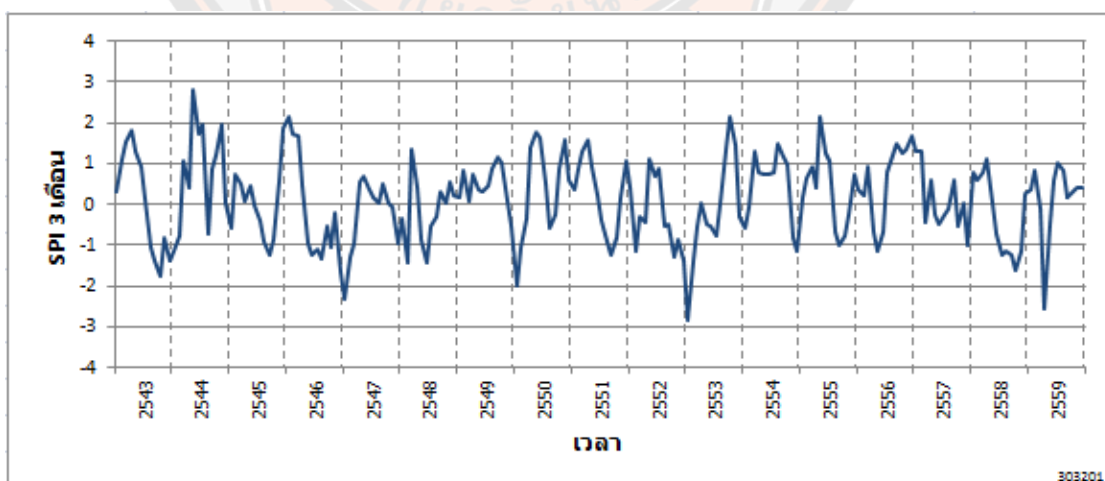
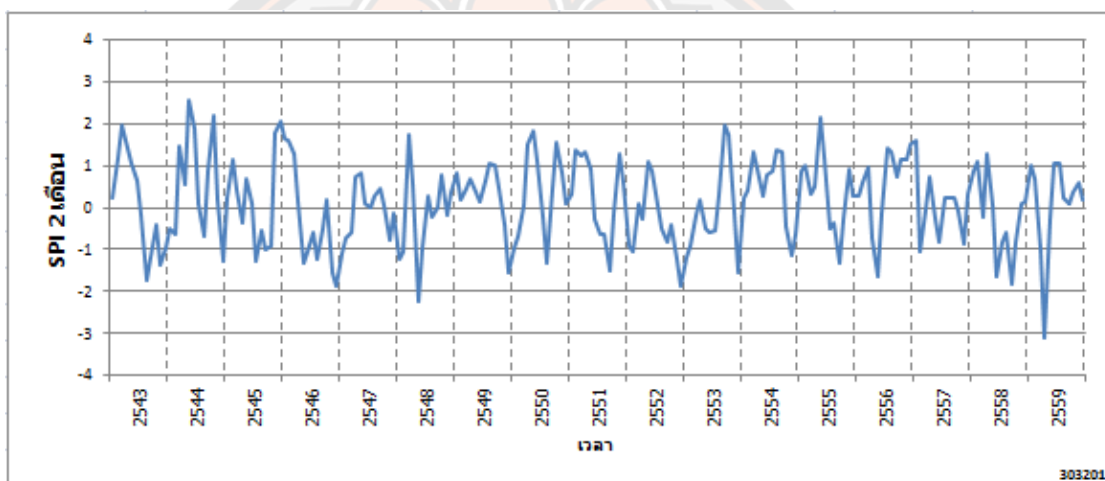
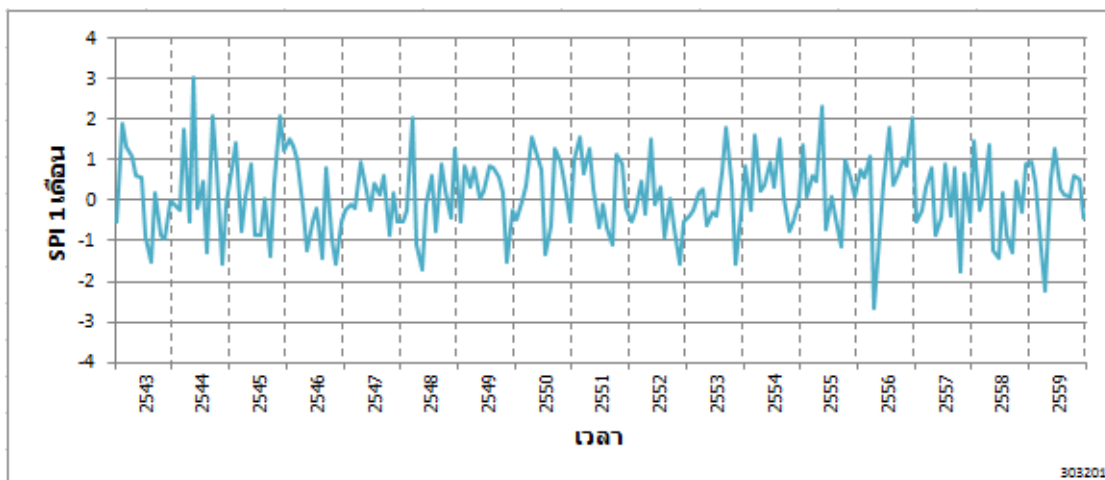
สถานี	ปริมาณฝนสะสมรายเดือน			ปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่	
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน
เชียงราย	0	0	27.5	27.5	27.5
เชียงราย สกษ.	0	0	74.5	74.5	74.5
เชียงใหม่	0	0	5.9	5.9	5.9
ลำปาง สกษ.	0	0	0.9	0.9	0.9
น่าน สกษ.	0	0.1	12.9	13	13
ศรีสำโรง สกษ.	0	3.3	0	3.3	3.3
ดอยมูเซอ สกษ.	0	0	0	0	0
พิษณุโลก	0	0.5	28.9	29.4	29.4
เพชรบูรณ์	0	0	4.3	4.3	4.3
พิจิตร สกษ.	0	0	5.5	5.5	5.5

จากนั้นปริมาณฝนสะสมดังกล่าวข้างต้นได้ถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือนของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 ผลลัพธ์ได้ค่าดัชนี SPI สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ดังตาราง 15 โดยดัชนี SPI ราย 1 เดือน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.01 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ในเดือนพฤษภาคม 2544 และค่าต่ำสุดเท่ากับ -3.56 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ ในเดือนตุลาคม 2547 สำหรับดัชนี SPI ราย 2 เดือน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.88 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ ในเดือนธันวาคม 2545 และค่าต่ำสุดเท่ากับ -3.6 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร ในเดือนพฤศจิกายน 2547 ส่วนดัชนี SPI ราย 3 เดือน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.21 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ ในเดือนมกราคม 2546 และค่าต่ำสุดเท่ากับ -3.77 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก ในเดือนเมษายน 2559

ตาราง 15 ดัชนี SPI สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

เดือน	ดัชนี SPI สูงสุด			ดัชนี SPI ต่ำสุด		
	ราย 1 เดือน	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน	ราย 1 เดือน	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน
มกราคม	2.26	2.44	3.21	-0.52	-1.24	-2.85
กุมภาพันธ์	2.7	2.38	2.27	-0.8	-1.73	-1.86
มีนาคม	2.22	2.07	2.08	-1.79	-2.24	-2.5
เมษายน	2.24	2.36	2.53	-2.72	-3.31	-3.77
พฤษภาคม	3.01	2.54	2.8	-2.88	-2.48	-2.4
มิถุนายน	1.85	2.14	2.09	-2.89	-3.11	-2.42
กรกฎาคม	2.45	2.67	2.33	-1.96	-2.23	-2.88
สิงหาคม	2.8	2.69	2.26	-2.33	-2.56	-2.13
กันยายน	2.61	2.65	2.79	-2.77	-2.13	-2.51
ตุลาคม	2.18	2.29	2.72	-3.56	-2.57	-2.56
พฤศจิกายน	2.85	2.46	2.67	-1.75	-3.6	-2.83
ธันวาคม	2.46	2.88	2.73	-0.52	-2.2	-3.6

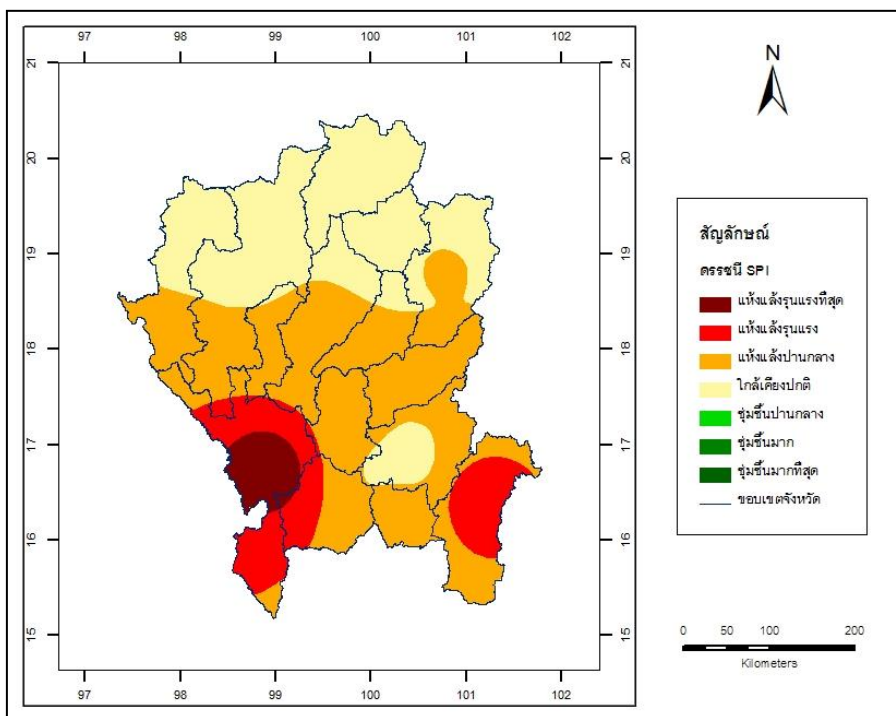
นอกจากนี้การวิเคราะห์ผลลัพธ์ยังพบว่าค่าต่ำที่สุดของดัชนี SPI ราย 1 เดือนของเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และธันวาคม มีค่าอยู่ในระดับความรุนแรงช่วง -0.99 ถึง 0.99 หรือใกล้เคียงค่าปกติ เนื่องจากในเดือนดังกล่าวส่วนมากจะไม่มีฝนตกหรือมีฝนตกน้อย แม้ว่าปริมาณฝนจะเท่ากับศูนย์หรือไม่มีฝนตกแต่ระดับความรุนแรงของดัชนี SPI ก็อยู่ในช่วงใกล้เคียงค่าปกติ โดยขอเสนอเป็นตัวอย่างของดัชนี SPI จำนวน 17 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงรายแสดงในรูปแบบกราฟ ดังภาพ 18



ภาพ 18 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

จากกราฟพบว่าระดับความรุนแรงของดรรรชนี SPI ราย 1 เดือนมีค่าอยู่ในระดับใกล้เคียงค่าปกติมากกว่าดรรรชนี SPI ราย 2 และ 3 เดือน โดยดรรรชนี SPI ราย 1 เดือนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.01 ในเดือนพฤษภาคม 2544 ซึ่งค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 2.0 ตรงกับระดับชุ่มชื้นมากที่สุด ส่วนค่าดรรรชนี SPI ราย 1 เดือนที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ -2.0 ตรงกับระดับแห้งแล้งรุนแรงที่สุดมีจำนวน 2 ค่า คือ -2.67 และ -2.23 ในเดือนเมษายน 2556 และเมษายน 2559 ตามลำดับ สำหรับดรรรชนี SPI ราย 2 เดือนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.54 ในเดือนพฤษภาคม 2544 และมีค่าอยู่ในระดับแห้งแล้งรุนแรงที่สุดจำนวน 2 ค่า คือ -2.23 และ -3.13 ในเดือนพฤษภาคม 2548 และเมษายน 2559 ตามลำดับ สำหรับดรรรชนี SPI ราย 3 เดือนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.80 ในเดือนพฤษภาคม 2544 และมีค่าอยู่ในระดับแห้งแล้งรุนแรงที่สุดจำนวน 4 ค่า คือ -2.34, -2.01, -2.85 และ -2.57 ในเดือนมกราคม 2547, มกราคม 2550, มกราคม 2553 และเมษายน 2559 ตามลำดับ สรุปได้ว่าสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 ดรรรชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาเดียวกัน ส่วนค่าซึ่งอยู่ในระดับแห้งแล้งรุนแรงที่สุดนั้นมีช่วงเวลาตรงกันเพียงช่วงเดียวคือเดือนเมษายน 2559 สำหรับกราฟแสดงดรรรชนี SPI ของสถานีอุตุนิยมวิทยาอีกจำนวน 9 สถานีแสดงในภาคผนวก ข

โดยผลลัพธ์ค่าดรรรชนี SPI แต่ละเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือจำนวน 10 สถานี สามารถนำมาวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยเทคนิควิธี Inverse Distance Weighting (IDW) ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ภาคเหนือแสดงดรรรชนี SPI ดังตัวอย่างในภาพ 19



ภาพ 19 ตัวอย่างผลลัพธ์ครรชนี้ SPI ราย 3 เดือนของเดือนมีนาคม 2557

4.2 ผลลัพธ์ของการคำนวณครรชนี้ Deciles

การคำนวณค่าครรชนี้ Deciles จะแบ่งการแจกแจงของปริมาณฝนออกเป็น 10 ช่วงเท่าๆ กัน ซึ่งในที่นี้ได้ประยุกต์วิธีการประมาณค่าความน่าจะเป็นแบบ ranking order method ที่ระดับความน่าจะเป็น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90% ของปริมาณฝนสะสมรายเดือนและปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือน โดยได้นำเสนอเพื่อเป็นตัวอย่างผลลัพธ์ค่าความน่าจะเป็นของปริมาณฝนสะสมดังกล่าวเฉพาะของเดือนมีนาคม ดังตาราง 16 จากนั้นค่าความน่าจะเป็นที่ระดับต่างๆ จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าครรชนี้ Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยา ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 ผลลัพธ์ได้ค่าครรชนี้ Deciles สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือนดังตาราง 17 โดยครรชนี้ Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 10 และต่ำสุดเท่ากับ 1 และพบว่าค่าต่ำสุดครรชนี้ Deciles ราย 1 เดือนของเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และธันวาคม ซึ่งมีปริมาณฝนเท่ากับศูนย์หรือไม่มีฝนตก ได้ค่าครรชนี้ Deciles เท่ากับ 3 ซึ่งอยู่ในระดับความรุนแรงช่วง 3 - 4 หรือฝนต่ำกว่าปกติ โดยแตกต่างจากเดือนอื่นๆ ที่มีค่าต่ำสุดที่อยู่ในระดับความรุนแรงช่วง 1 - 2 หรือฝนต่ำกว่าปกติมาก กรณีที่เป็นแบบนี้เนื่องจากในเดือนดังกล่าวส่วนมากจะไม่มีฝนตกหรือมีฝนตกน้อย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นี้เป็นลักษณะเดียวกันกับครรชนี้ SPI

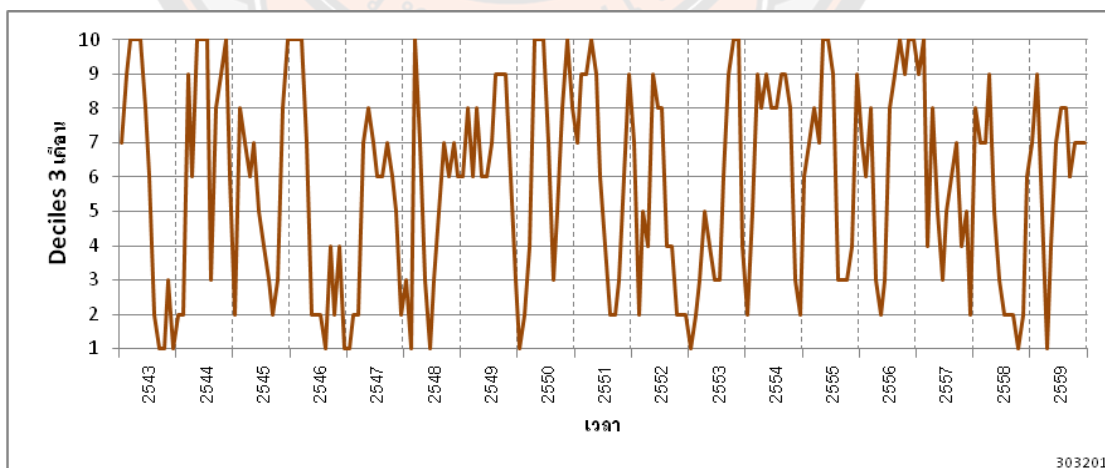
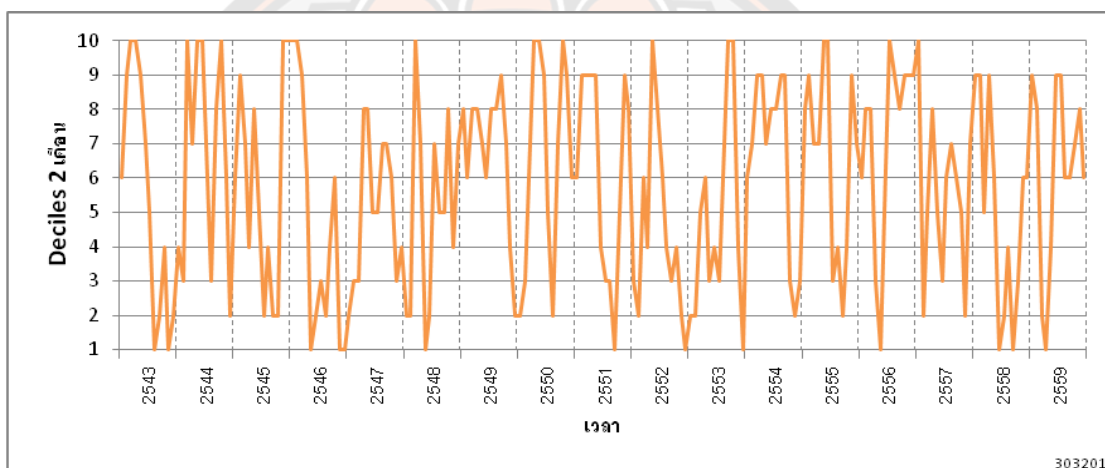
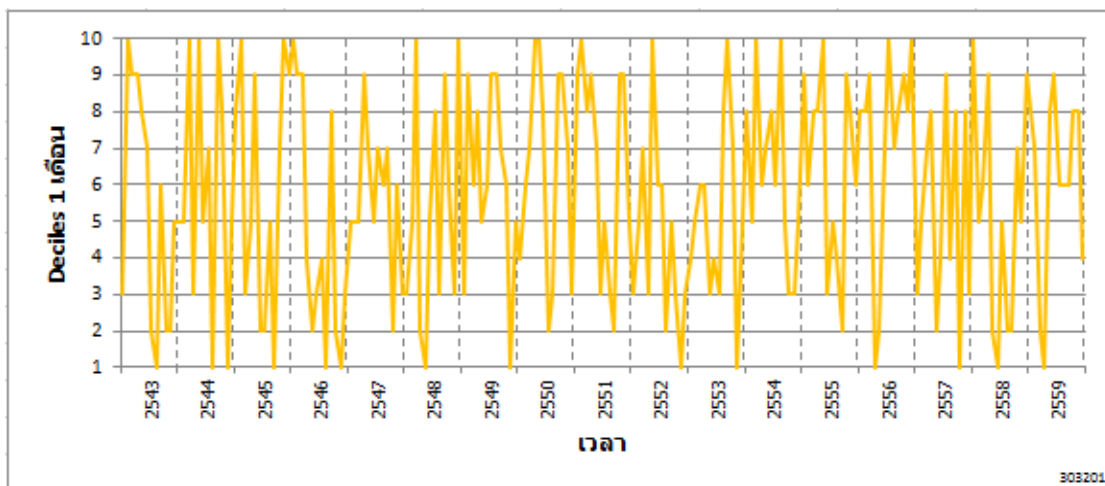
ตาราง 16 ความน่าจะเป็นของปริมาณฝนสะสมรายเดือน และปริมาณฝนสะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคมในภาคเหนือ

สถานี	ความน่าจะเป็น								
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
<u>ปริมาณฝนสะสมรายเดือน</u>									
เชียงใหม่	0	2.9	6.3	12.6	19.8	27.3	34	45.6	78.8
เชียงใหม่ สกษ.	0	4	8.6	12.4	17.2	28.3	47.6	65.3	111
ลำปาง	0	0	0.5	5.4	7.5	10.2	17.9	26.5	62
ลำปาง สกษ.	0	0	1.2	8.6	16.1	25.6	40.9	52.8	71.7
น่าน	0	2.4	9.1	15.9	20.1	24.8	31.4	50.2	70.5
น่าน สกษ.	0	0	1.6	7.5	13.5	19.4	34.5	46.4	67.8
ศรีสะเกษ	0	0	1.9	3.8	21	22.7	30.5	58.6	117.8
ศรีสะเกษ สกษ.	0.1	3.2	6.9	14.5	19.9	27.4	44.6	58.7	84.7
เพชรบูรณ์	0.3	6.8	16.6	20.8	29.8	41.8	53.6	69.4	121.2
เพชรบูรณ์ สกษ.	0	0.5	1.2	5.6	10.1	12	20.6	45	65.8
<u>ปริมาณฝนสะสมราย 2 เดือน</u>									
เชียงใหม่	3.7	10.8	15.8	22.3	28.2	32.4	45.1	71.2	99.4
เชียงใหม่ สกษ.	4.3	8.7	13.2	20.6	31.9	48.4	69.8	77.6	116.1
ลำปาง	0.1	2.2	6.2	8.3	13	17.8	27.2	52	78.7
ลำปาง สกษ.	0.4	2.3	13.2	17.8	24.5	38.2	50.2	69.5	85.4
น่าน	1.8	12.9	17.6	24.7	27.4	40.7	51.9	63.2	79.1
น่าน สกษ.	1.3	3.5	10.5	16.5	25.4	33.9	39.2	56	82.2
ศรีสะเกษ	0.8	2.1	4.1	12.4	22.5	36.2	62.4	93.6	121
ศรีสะเกษ สกษ.	4.1	8.3	17.2	26.9	34.1	50.2	66.1	72.7	103.7
เพชรบูรณ์	5.1	16.1	27.2	39.4	50	61.3	73	111.8	149.1
เพชรบูรณ์ สกษ.	2	5.6	9.6	12.3	20.5	30.2	48.7	54.7	79.7
<u>ปริมาณฝนสะสมราย 3</u>									
เชียงใหม่	7.2	15.8	24.4	31.7	38.5	56.5	81.3	98	118.8
เชียงใหม่ สกษ.	4.9	10.4	23.7	31.6	43.5	61.5	75.8	107.4	141.7
ลำปาง	1.2	5.7	8.4	14	17.8	27.3	57	74.6	95.2
ลำปาง สกษ.	0.4	3.3	14.5	21.7	40.8	52.7	66.9	82.2	100.8
น่าน	5.3	20.7	25	30.5	42	56.1	61.8	76.6	94.3
น่าน สกษ.	3.2	7.5	16.7	21.7	31.2	37.3	44.2	82.8	101.9
ศรีสะเกษ	0.8	3.5	10.7	26	48.2	58.7	86.7	106.2	128.5
ศรีสะเกษ สกษ.	7	17.2	26.2	32.1	46.9	59.3	67.5	78.7	108.3
เพชรบูรณ์	9.3	27.6	33.7	41.8	54.4	62.1	102.6	120.5	158.9
เพชรบูรณ์ สกษ.	5.9	9.2	13.1	17.6	30.7	41.3	50.7	72.8	93.5

ตาราง 17 ธรรมชาติ Deciles สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

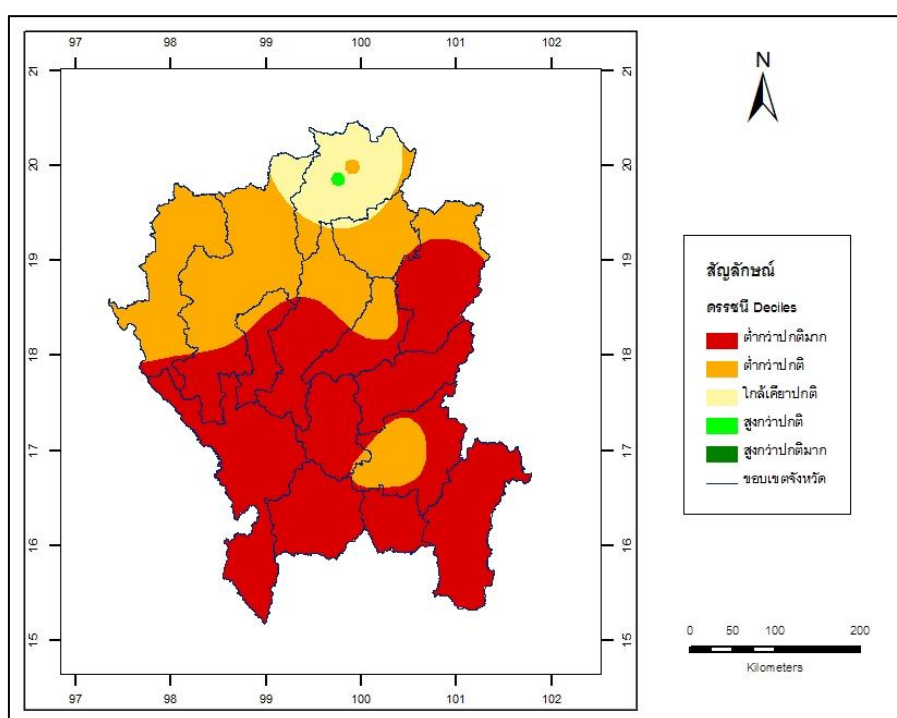
เดือน	ธรรมชาติ Deciles สูงสุด			ธรรมชาติ Deciles ต่ำสุด		
	ราย 1 เดือน	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน	ราย 1 เดือน	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน
มกราคม	10	10	10	3	2	1
กุมภาพันธ์	10	10	10	3	1	1
มีนาคม	10	10	10	1	1	1
เมษายน	10	10	10	1	1	1
พฤษภาคม	10	10	10	1	1	1
มิถุนายน	10	10	10	1	1	1
กรกฎาคม	10	10	10	1	1	1
สิงหาคม	10	10	10	1	1	1
กันยายน	10	10	10	1	1	1
ตุลาคม	10	10	10	1	1	1
พฤศจิกายน	10	10	10	1	1	1
ธันวาคม	10	10	10	3	1	1

โดยได้นำเสนอเป็นตัวอย่างของธรรมชาติ Deciles ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 แสดงในรูปแบบกราฟ ดังภาพ 20 และพบว่าระดับความรุนแรงของธรรมชาติ Deciles ราย 1 เดือนที่มีค่าอยู่ในช่วง 5 - 6 หรือระดับฝนใกล้เคียงปกติมีจำนวนมากกว่าธรรมชาติ Deciles ราย 2 และ 3 เดือน โดยค่าของธรรมชาติ Deciles ราย 2 และ 3 เดือนที่อยู่ในระดับฝนต่ำกว่าปกติมากขึ้นส่วนมากมีช่วงเวลาที่ตรงกัน และในทำนองเดียวกันกับค่าที่อยู่ในระดับความรุนแรงช่วง 9 - 10 หรือฝนสูงกว่าปกติมากขึ้นส่วนมากก็มีช่วงเวลาที่ตรงกัน ส่วนกราฟแสดงธรรมชาติ Deciles ของสถานีอุตุนิยมวิทยาอีกจำนวน 9 สถานีแสดงในภาคผนวก ค



ภาพ 20 ผลลัพธ์ค่าครชนิ Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

สำหรับผลลัพธ์ค่าตรรชนี Deciles ในแต่ละเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือจำนวน 10 สถานี สามารถวิเคราะห์เชิงพื้นที่และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ภาคเหนือแสดงตรรชนี Deciles ดังตัวอย่างในภาพ 21



ภาพ 21 ตัวอย่างผลลัพธ์ตรรชนี Deciles ราย 3 เดือนของเดือนมีนาคม 2557

4.3 ผลลัพธ์ของการคำนวณตรรชนี MAI

การคำนวณค่าตรรชนี MAI จะใช้ข้อมูลปริมาณฝนสะสมและศักยภาพการคายระเหยน้ำของพืช (PE) สะสม โดยข้อมูลปริมาณฝนสะสมนั้นได้มาจากผลลัพธ์ของการดำเนินการที่ผ่านมา ซึ่งในขั้นตอนนี้จะประมาณค่า PE รายวัน จากข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความนานแสงแดดรายวันของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือจำนวน 10 สถานี ด้วยวิธีการของ FAO Penman-Monteith method จากนั้นนำค่า PE รายวันมาหา PE สะสมรายเดือน และ PE สะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือน ตัวอย่างผลลัพธ์ของการคำนวณ PE สะสมของเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และมีนาคม รวมทั้ง PE สะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคม 2557 ดังตาราง 18

ตาราง 18 ตัวอย่างผลการคำนวณ PE สะสมรายเดือน และ PE สะสมเคลื่อนที่ราย 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคม 2557 ในภาคเหนือ

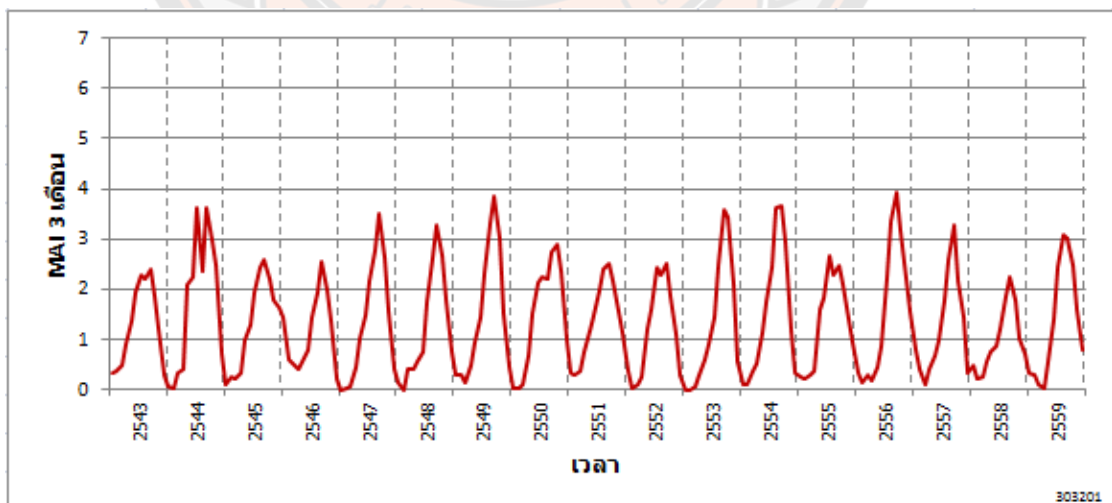
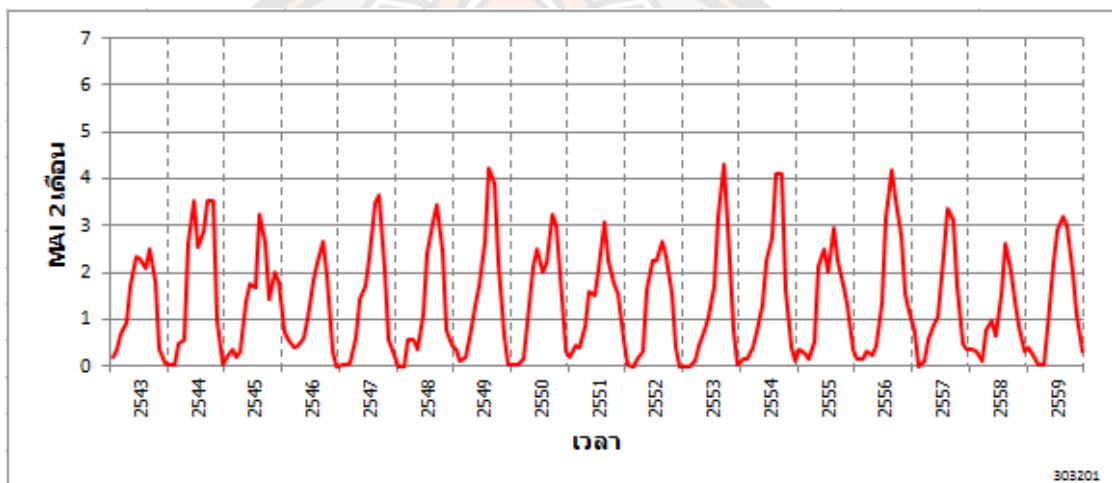
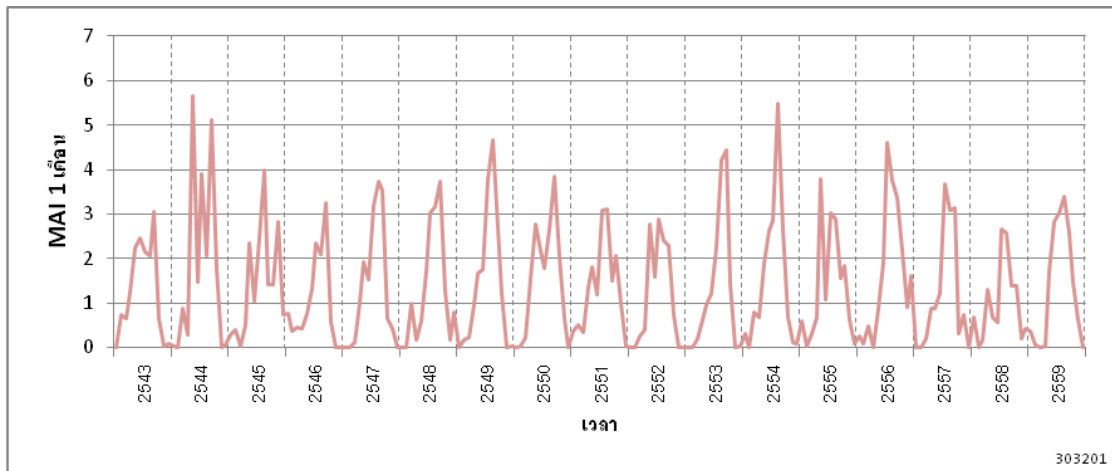
สถานี	PE สะสมรายเดือน			PE สะสมเคลื่อนที่	
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน
เชียงใหม่	84.24	105.67	130.41	236.08	320.32
เชียงใหม่ สกษ.	73.3	92.32	123.74	216.06	289.36
ลำปาง	89.53	102.16	139.7	241.86	331.39
ลำปาง สกษ.	82.7	95.85	126.4	222.25	304.95
น่าน	80.11	90.82	119.28	210.1	290.21
น่าน สกษ.	92.99	104.71	132.28	236.99	329.98
ศรีสะเกษ	89	106.49	144.65	251.14	340.14
ศรีสะเกษ สกษ.	107.91	123.02	164.75	287.77	395.68
พิษณุโลก	96.29	104.13	130.97	235.1	331.39
พิษณุโลก สกษ.	102.03	117.03	153.3	270.33	372.36

หลังจากนั้นข้อมูลปริมาณฝนและ PE สะสมได้ถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยา ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 ผลลัพธ์ได้ค่าดัชนี MAI สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือนดังตาราง 19 โดยดัชนี MAI ราย 1 เดือน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.59 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรน่าน ในเดือนสิงหาคม 2553 ดัชนี MAI ราย 2 เดือน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.15 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรดอยมูเซอ ในเดือนสิงหาคม 2555 และดัชนี MAI ราย 3 เดือน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.23 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรดอยมูเซอ ในเดือนกันยายน 2556 ส่วนค่าต่ำสุดของดัชนี MAI ทั้งราย 1, 2 และ 3 เดือน มีค่าเท่ากับ 0

ตาราง 19 ดรรชนี MAI สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

เดือน	ดรรชนี MAI สูงสุด			ดรรชนี MAI ต่ำสุด		
	ราย 1 เดือน	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน	ราย 1 เดือน	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน
มกราคม	1.11	0.92	1.83	0	0	0
กุมภาพันธ์	0.93	0.68	0.66	0	0	0
มีนาคม	2.04	0.94	0.68	0	0	0
เมษายน	1.86	1.56	1.09	0	0	0
พฤษภาคม	5.66	2.61	2.26	0.13	0.15	0.11
มิถุนายน	5.34	4.44	3.14	0.1	0.2	0.26
กรกฎาคม	5.81	4.46	4.19	0.43	0.51	0.49
สิงหาคม	6.59	5.15	4.65	0.54	0.76	0.7
กันยายน	6.53	5.12	5.23	0.71	1.07	1.07
ตุลาคม	5.45	4.38	4.37	0	0.62	0.75
พฤศจิกายน	3.88	2.9	3.03	0	0	0.46
ธันวาคม	1.96	2.66	2.12	0	0	0

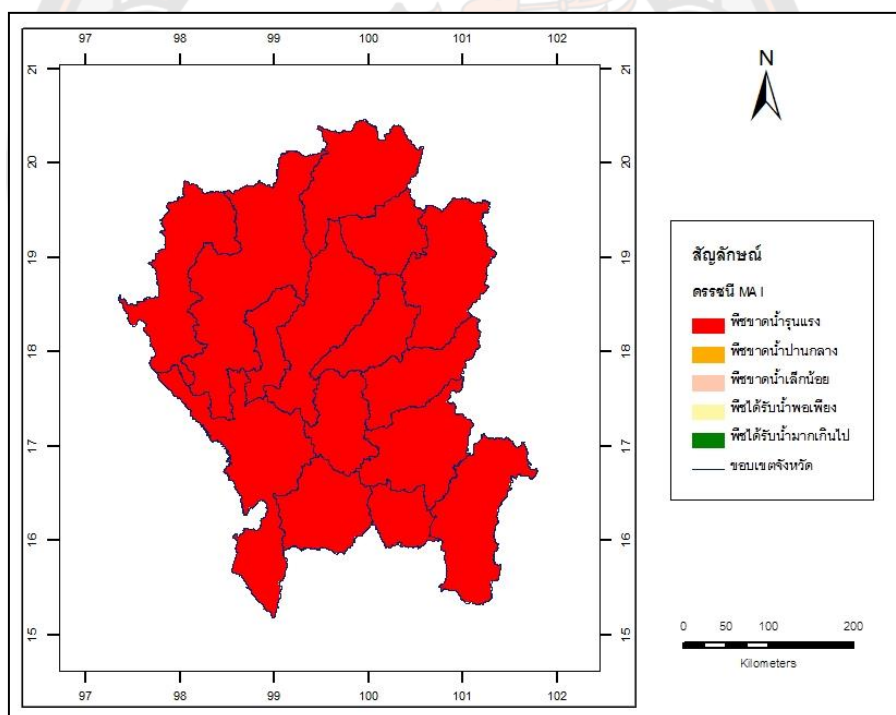
จากตาราง 19 ค่าดรรชนี MAI ต่ำสุดในแต่ละเดือนแสดงว่าระหว่างเดือนกรกฎาคม-กันยายน ค่าต่ำสุดของดรรชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน มีค่ามากกว่า 0.33 แสดงว่าในช่วงเดือนดังกล่าวพืชไม่มีการขาดน้ำรุนแรง โดยเฉพาะในเดือนกันยายนค่าต่ำสุดของดรรชนี MAI ราย 1 เดือนอยู่ในระดับความรุนแรงช่วง 0.68 - 1.00 หรือพืชขาดน้ำเล็กน้อยเท่านั้น และค่าต่ำสุดของดรรชนี MAI ราย 2 และ 3 เดือนอยู่ในระดับความรุนแรงช่วง 1.01 - 1.33 หรือพืชได้รับน้ำพอเพียง ซึ่งแสดงถึงลักษณะของปริมาณฝนที่ตกมากในเดือนกันยายนประกอบกับฝนที่ตกลงมาก่อนเดือนนี้ได้สะสมและทำให้ความชื้นในดินมีมากกว่าหรือเพียงพอกับความต้องการน้ำของพืช และอาจมีได้บ้างในเดือนกันยายนที่ปริมาณฝนตกน้อยกว่าปกติจนทำให้ดรรชนี MAI อยู่ในระดับที่พืชขาดน้ำเล็กน้อย กล่าวโดยสรุปคือ ดรรชนี MAI แสดงว่าเดือนกันยายนระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 ไม่มีความแห้งแล้งเกิดขึ้นจนส่งผลกระทบต่อพืชขาดน้ำในระดับปานกลางถึงรุนแรง โดยได้นำเสนอเป็นตัวอย่างของดรรชนี MAI ของสถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 แสดงในรูปแบบกราฟ ดังภาพ 22



ภาพ 22 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

จากกราฟเห็นได้ว่าตรรชนี MAI ราย 1 เดือน ส่วนมากมีค่าสูงกว่าตรรชนี MAI ราย 2 และ 3 เดือน แต่ถ้าเปรียบเทียบโดยแบ่งเกณฑ์ระดับความรุนแรงเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่พืชมีการขาดน้ำ ซึ่งมีค่าตรรชนี MAI น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 กับกรณีที่พืชได้รับน้ำพอเพียงหรือพืชได้รับน้ำมาก ซึ่งมีค่าตรรชนี MAI มากกว่า 1 แล้วจะเห็นว่าตรรชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน มีระยะเวลาที่เกิดกรณีดังกล่าวทั้ง 2 กรณีที่สอดคล้องกันเป็นส่วนมาก กล่าวคือในช่วงฤดูฝนส่วนมากตรรชนี MAI จะแสดงว่าพืชได้รับน้ำพอเพียงหรือพืชได้รับน้ำมาก ส่วนในช่วงฤดูแล้งและฤดูร้อนส่วนมากตรรชนี MAI จะแสดงว่าพืชมีการขาดน้ำ สำหรับกราฟแสดงตรรชนี MAI ของสถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัยอีกจำนวน 9 สถานี แสดงในภาคผนวก ง

โดยผลลัพธ์ค่าตรรชนี MAI ในแต่ละเดือนของสถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัยในภาคเหนือจำนวน 10 สถานี สามารถวิเคราะห์เชิงพื้นที่และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ภาคเหนือแสดงตรรชนี MAI ดังตัวอย่างในภาพ 23



ภาพ 23 ตัวอย่างผลลัพธ์ตรรชนี MAI ราย 3 เดือนของเดือนมีนาคม 2557

4.4 ผลลัพธ์ของการคำนวณดัชนี PDSI

การคำนวณค่าดัชนี PDSI จะใช้ข้อมูลปริมาณฝนและ PE สะสมรายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 10 สถานีในภาคเหนือ โดยผลลัพธ์ของดัชนี PDSI ได้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 ดังตาราง 20

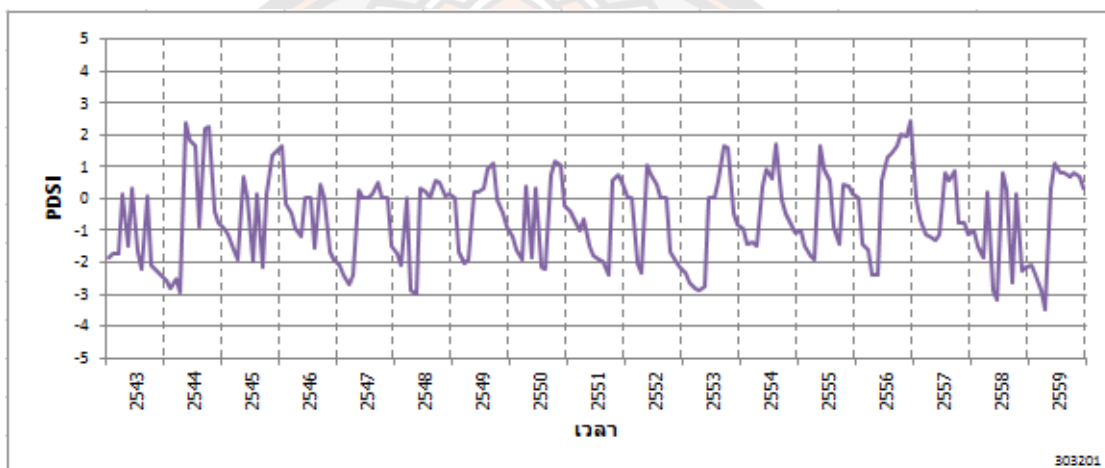
ตาราง 20 ดัชนี PDSI สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

เดือน	ดัชนี PDSI	
	สูงสุด	ต่ำสุด
มกราคม	4.81	-3.23
กุมภาพันธ์	4.67	-3.44
มีนาคม	3.6	-3.74
เมษายน	1.7	-4.19
พฤษภาคม	2.41	-5.04
มิถุนายน	1.86	-4.81
กรกฎาคม	2.78	-3.64
สิงหาคม	2.63	-4.12
กันยายน	3.86	-4.41
ตุลาคม	2.71	-3.94
พฤศจิกายน	3.64	-3.21
ธันวาคม	4.55	-3.18

โดยดัชนี PDSI มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.81 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ในเดือนมกราคม 2546 และค่าต่ำสุดเท่ากับ -5.04 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรงในเดือนพฤษภาคม 2554 และพบว่าค่าสูงสุดของดัชนี PDSI ในเดือนเมษายนและมิถุนายนอยู่ในระดับความรุนแรงช่วง 1.0 - 1.99 หรือชุ่มชื้นเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทย กล่าวคือในเดือนเมษายนซึ่งเป็นเดือนสุดท้ายในฤดูร้อนก่อนที่จะเข้าสู่ฤดูฝนในช่วงกลางเดือนพฤษภาคม แสดงถึงความชื้นที่สะสมอยู่ในดินจากฝนที่ตกในฤดูฝนของปีที่ผ่านมา รวมทั้งฝนตกในบางช่วงของฤดูหนาวและฤดูร้อน ได้สูญเสียน้ำโดยการระเหยน้ำและคายน้ำของพืชหรือจากปัจจัยอื่นๆ ทำให้ค่าสูงสุดของความชื้นในดินอยู่ในระดับที่ชุ่มชื้นเล็กน้อย ส่วนเดือนมิถุนายนเนื่องจากเป็นช่วงต้นฤดูฝนที่พื้นดินเริ่ม

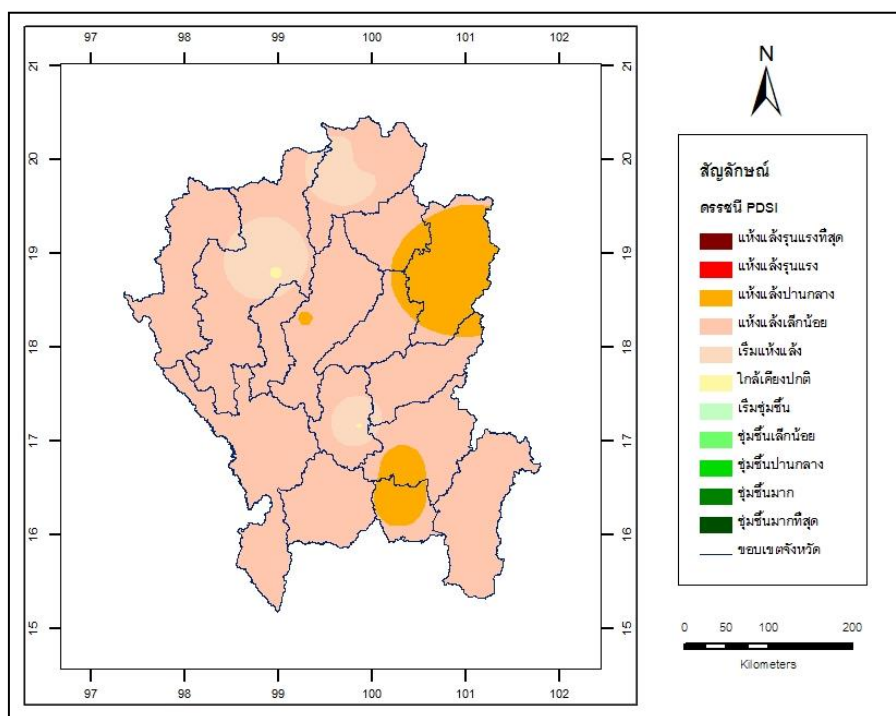
ได้รับน้ำฝนสะสม หลังจากขาดน้ำหรือได้รับน้ำฝนปริมาณไม่มากในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนที่ผ่านมา ทำให้ความชื้นในดินยังมีไม่มาก ประกอบกับเดือนนี้ส่วนมากจะมีลักษณะของฝนทิ้งช่วงที่มักเกิดในช่วงฤดูฝน ค่าดัชนี PDSI จึงอยู่ในระดับชุ่มชื้นเล็กน้อย

สำหรับการนำเสนอเป็นตัวอย่างของดัชนี PDSI รายเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงรายแสดงในรูปแบบกราฟ ดังภาพ 24 พบว่าดัชนี PDSI มีค่าอยู่ในระดับความรุนแรงในช่วง -3.0 ถึง -3.99 หรือระดับแห้งแล้งรุนแรงอยู่ 2 ครั้ง คือเดือนมิถุนายน 2558 และเดือนเมษายน 2559 ส่วนกราฟแสดงดัชนี PDSI ของสถานีอุตุนิยมวิทยาอีกจำนวน 9 สถานีแสดงในภาคผนวก จ



ภาพ 24 ผลลัพธ์ค่าดัชนี PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

โดยผลลัพธ์ค่าดัชนี PDSI ในแต่ละเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือจำนวน 10 สถานี สามารถวิเคราะห์เชิงพื้นที่และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ภาคเหนือแสดงดัชนี PDSI ดังตัวอย่างในภาพ 25

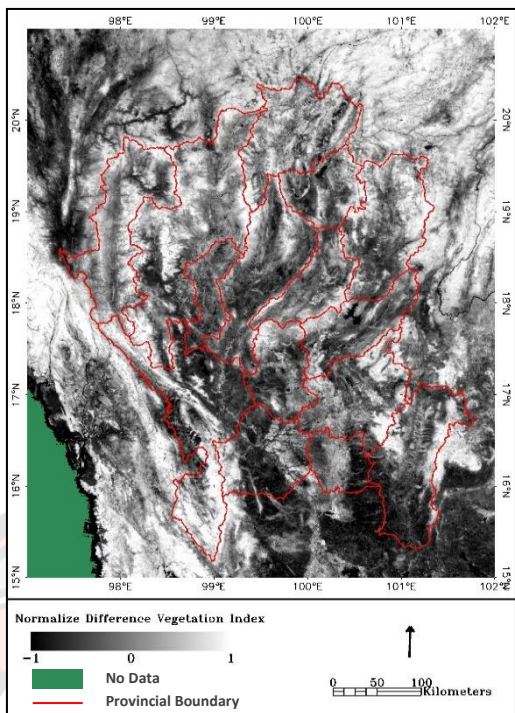


ภาพ 25 ตัวอย่างผลลัพธ์ดรชนี PDSI ของเดือนมีนาคม 2557

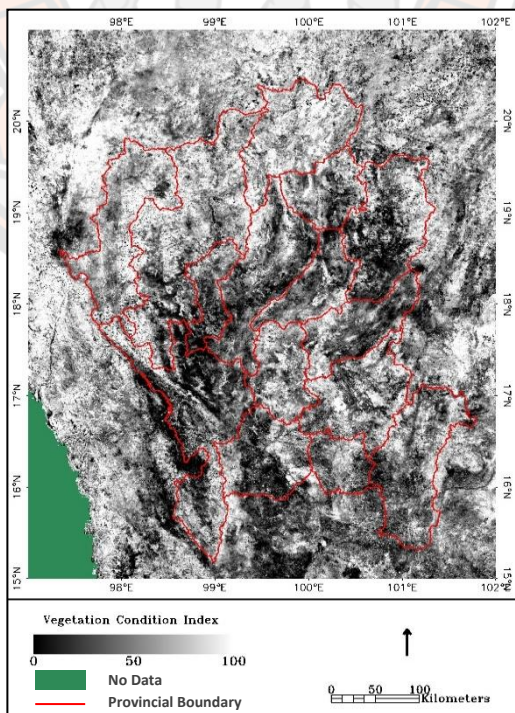
4.5 ผลลัพธ์ของการคำนวณดรชนี VCI

การศึกษานี้ได้คำนวณค่าดรชนี VCI จากข้อมูลดรชนี NDVI ในช่วงเวลาระยะยาวตั้งแต่ พ.ศ. 2543 - 2559 โดยประมาณค่าดรชนี NDVI รายวันด้วยข้อมูลการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวในช่วงคลื่นสีแดง (620-670 nm) และ NIR (841-876 nm) รายวัน จากดาวเทียม Terra (MODIS) ซึ่งมีความละเอียดภาพ 250 เมตร และนำดรชนี NDVI รายวันที่ได้มาทำการผสมข้อมูล โดยวิธีการหาค่าเฉลี่ยได้ผลลัพธ์เป็นดรชนี NDVI รายเดือน ซึ่งตัวอย่างของดรชนี NDVI เดือนมีนาคม 2557 ซ้อนทับด้วยแผนที่ภาคเหนือแสดงดังภาพ 26

ขั้นตอนต่อมาได้ทำการหาค่าดรชนี NDVI สูงสุดและต่ำสุดของแต่ละเดือน จากข้อมูลดรชนี NDVI รายเดือนของแต่ละเดือนระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 และนำไปใช้ในการประมาณค่าดรชนี VCI รายเดือน โดยตัวอย่างผลลัพธ์ของดรชนี VCI เดือนมีนาคม 2557 ซ้อนทับด้วยแผนที่ภาคเหนือแสดงดังภาพ 27



ภาพ 26 ตัวอย่างผลลัพธ์ดัชนี NDVI เดือนมีนาคม 2557 ซ้อนทับด้วยแผนที่ภาคเหนือ



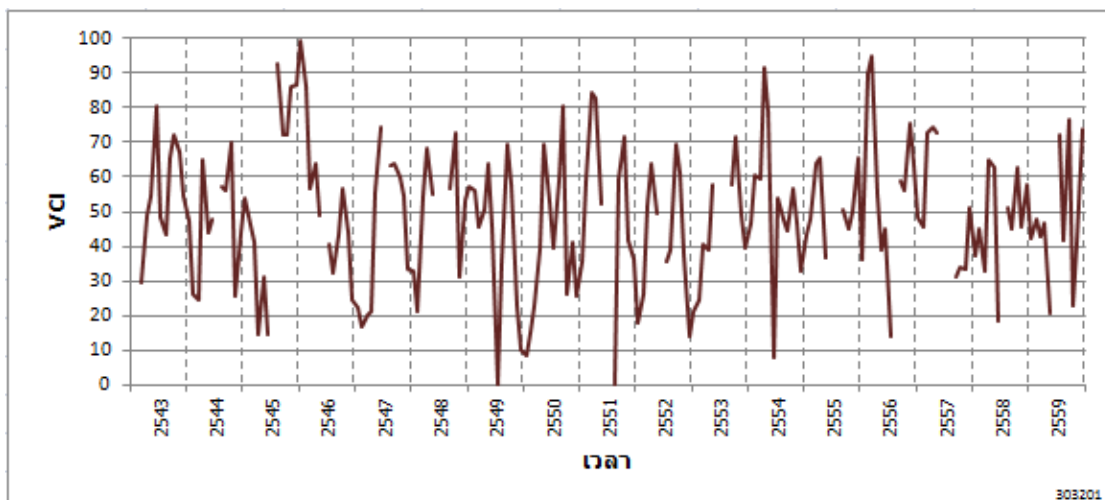
ภาพ 27 ตัวอย่างผลลัพธ์ดัชนี VCI เดือนมีนาคม 2557 ซ้อนทับด้วยแผนที่ภาคเหนือ

หลังจากนั้นได้หาค่าเฉลี่ยของดัชนี VCI ในรัศมี 3 กิโลเมตรรอบสถานีอุตุนิยมวิทยา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่เพียงพอและเป็นตัวแทนที่ดีสำหรับสภาวะแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ผลลัพธ์ของดัชนี VCI เฉลี่ยบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาทั้ง 10 สถานีในภาคเหนือ ระหว่าง พ.ศ.2543-2559 ได้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ดังตาราง 21 โดยดัชนี VCI มีค่าสูงสุดเท่ากับ 100 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรง ในเดือนสิงหาคม 2558 และค่าต่ำสุดเท่ากับ 0 จำนวน 5 สถานี คือ สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ในเดือนกรกฎาคม 2549 และเดือนสิงหาคม 2551 สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย ในเดือนกรกฎาคม 2549 สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ ในเดือนกรกฎาคม 2548 สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรงในเดือนพฤษภาคม 2543 และสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ในเดือนพฤษภาคม 2558 และเดือนกรกฎาคม 2546

ตาราง 21 ดัชนี VCI สูงสุดและต่ำสุดของภาคเหนือในแต่ละเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

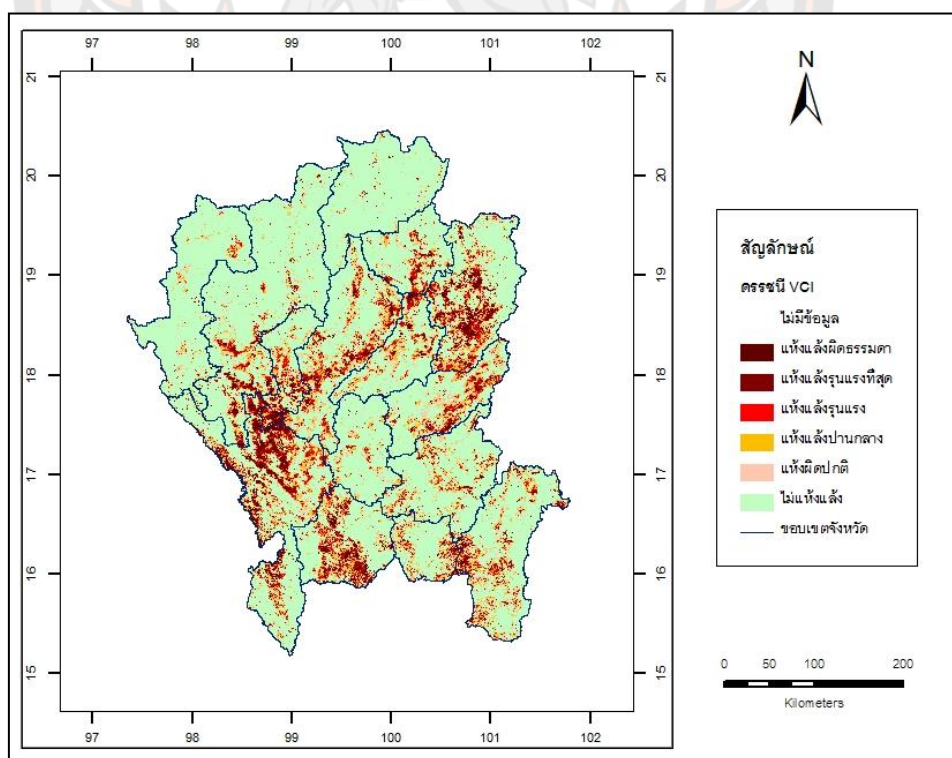
เดือน	ดัชนี VCI	
	สูงสุด	ต่ำสุด
มกราคม	99.24	1.24
กุมภาพันธ์	96.04	0.47
มีนาคม	94.79	0.15
เมษายน	99.06	3.01
พฤษภาคม	99.28	0
มิถุนายน	91.22	6.29
กรกฎาคม	91.38	0
สิงหาคม	100	0
กันยายน	93.67	4.12
ตุลาคม	89.11	14.16
พฤศจิกายน	90.74	22.89
ธันวาคม	89.1	5.22

สำหรับตัวอย่างของดัชนี VCI รายเดือน ระหว่าง พ.ศ. 2543-2559 บริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงรายแสดงในรูปแบบกราฟ ดังภาพ 28 พบว่าดัชนี VCI มีค่าอยู่ในระดับความรุนแรงในช่วง 0-8 หรือระดับแห้งแล้งพิศกรรมตา 2 ครั้ง คือในเดือนกรกฎาคม 2549 และเดือนสิงหาคม 2551 ส่วนกราฟแสดงดัชนี VCI บริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาอีกจำนวน 9 สถานีแสดงในภาคผนวก ฉ



ภาพ 28 ผลลัพธ์ค่าดัชนี VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

โดยตัวอย่างผลลัพธ์ของดัชนี VCI ซึ่งได้จำแนกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งและ
นำเสนอในรูปแบบของแผนที่ภาคเหนือแสดงดัชนี VCI ดังภาพ 29



ภาพ 29 ตัวอย่างผลลัพธ์ดัชนี VCI ของเดือนมีนาคม 2557

4.6 ผลลัพธ์ของการสร้างสมการถรชนีความแห้งแล้งแม่นยำ (PDI)

ในขั้นตอนการสร้างสมการถรชนี PDI ในแต่ละกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติได้ดำเนินการโดยนำข้อมูลถรชนีความแห้งแล้งต่างๆ และถรชนี VCI ที่แสดงถึงสภาพพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลการรับรู้ระยะไกล ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของขั้นตอนที่ผ่านมาในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน และพฤศจิกายน-ธันวาคม ระหว่าง พ.ศ. 2543-2557 มาจำแนกในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ โดยการกำหนดช่วงเวลาที่มีเหตุการณ์ดังกล่าวจากถรชนี ONI ซึ่งประกอบด้วยเดือนที่มีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติเท่ากับ 21, 22 และ 45 เดือนตามลำดับ จากนั้นได้พัฒนาถรชนี PDI ในแต่ละกรณีเหตุการณ์ของทั้งภาคเหนือและแต่ละสถานี

โดยเริ่มต้นจากการเลือกตัวแปรที่นำมาใช้ในการพัฒนาถรชนี PDI ด้วยวิธีการทางสถิติของการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ได้ดำเนินการโดยใช้ถรชนี VCI เป็นตัวแปรตาม และถรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ได้แก่ ถรชนี SPI, Deciles และ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ถรชนี PDSI รายเดือน จำนวน 10 ถรชนีเป็นตัวแปรอิสระ และใช้วิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในสมการเป็นแบบขั้นตอน ได้ผลลัพธ์คือตัวแปรอิสระของสมการที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) สูงสุด ที่นำไปใช้เป็นตัวแปรในสมการถรชนี PDI ที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยกำหนดเงื่อนไขค่าถรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาเฉพาะค่าที่อยู่ในช่วงระดับใกล้เคียงค่าปกติเป็นต้นไปจนถึงแห้งแล้งรุนแรงที่สุด คือ

ถรชนี SPI กำหนดใช้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.99

ถรชนี Deciles กำหนดใช้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6

ถรชนี MAI กำหนดใช้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.33

ถรชนี PDSI กำหนดใช้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.49

สำหรับผลลัพธ์ของการดำเนินการพัฒนาถรชนี PDI ของทั้งภาคเหนือและแต่ละสถานี โดยแยกในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ ดังนี้

4.6.1 ถรชนี PDI ของภาคเหนือ

การพัฒนาถรชนี PDI ของภาคเหนือนั้น ข้อมูลผลลัพธ์ของการคำนวณค่าถรชนี VCI และถรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 10 สถานีในภาคเหนือทั้งหมดได้ถูกนำมาเฉลี่ยเป็นข้อมูลรายภาค หลังจากนั้นจึงได้ทำการพัฒนาถรชนี PDI ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ และหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ ผลลัพธ์ได้รูปแบบสมการ ดังตาราง 22

ตาราง 22 สมการถดถอย PDI ของภาคเหนือ

เหตุการณ์	รูปแบบสมการถดถอยความแห้งแล้งแม่น้ำ (PDI)	R ²	n
เอลนีโญ	$PDI = 24.729 + 5.252Deciles3m + 5.899PDSI$	0.641	13
ลานีญา	$PDI = 56.762 + 12.279SPI2m$	0.311	15
ปกติ	$PDI = 20.263 + 5.31Deciles2m - 10.047SPI1m$	0.343	22

เมื่อ	Deciles2m	คือ ดรรชนี Deciles ราย 2 เดือน
	Deciles3m	คือ ดรรชนี Deciles ราย 3 เดือน
	PDSI	คือ ดรรชนี PDSI รายเดือน
	SPI1m	คือ ดรรชนี SPI รายเดือน
	SPI2m	คือ ดรรชนี SPI ราย 2 เดือน
	n	คือ จำนวนข้อมูล

จากสมการพบว่าแต่ละกรณีเหตุการณ์เอลนีโญสภาพพืชพรรณของพื้นที่ศึกษาที่แสดงถึงสถานะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นสามารถแสดงและบ่งชี้ด้วยความสัมพันธ์ของดรรชนี PDI กับดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาในรูปแบบสมการที่แตกต่างกัน โดยเหตุการณ์เอลนีโญได้สมการถดถอย PDI เป็นความสัมพันธ์ที่ประกอบด้วยดรรชนี Deciles ราย 3 เดือน และดรรชนี PDSI สำหรับเหตุการณ์ลานีญาได้สมการ PDI เป็นความสัมพันธ์กับดรรชนี SPI ราย 2 เดือน ส่วนเหตุการณ์ปกติได้สมการถดถอย PDI ประกอบด้วยดรรชนี Deciles ราย 2 เดือนและดรรชนี SPI รายเดือน ตามลำดับ

โดยสมการถดถอย PDI ของภาคเหนือในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ มีค่า R² เท่ากับ 0.604, 0.311 และ 0.343 ตามลำดับ สำหรับเกณฑ์การจำแนกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งของดรรชนี PDI จะใช้เกณฑ์การจำแนกเดียวกันกับดรรชนี VCI

4.6.2 ดรรชนี PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ

ในขั้นตอนนี้ใช้ข้อมูลการคำนวณค่าดรรชนี VCI และดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือมาทำการวิเคราะห์เพื่อพัฒนาดรรชนี PDI ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณและหาค่า R² ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในแต่ละกรณีเหตุการณ์ ดังนี้

4.6.2.1 เหตุการณ์เอลนีโญ

ผลลัพธ์ของการพัฒนาตรรกษานิ PDI เฉพาะในช่วงเวลาที่มีเหตุการณ์เอลนีโญ ได้รูปแบบสมการของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา ดังตาราง 23

ตาราง 23 สมการตรรกษานิ PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในเหตุการณ์เอลนีโญ

สถานี	รูปแบบสมการตรรกษานิความแห้งแล้งแม่นยำ (PDI)	R ²	n
เชียงใหม่	$PDI = 8.955 + 5.132Deciles2m + 11.271MAI3m$	0.566	11
เชียงใหม่ สกษ.	$PDI = 26.511 + 3.142Deciles3m + 8.419PDSI$	0.523	13
ลำปาง สกษ.	$PDI = 10.546 + 6.771Deciles3m$	0.564	8
ศรีสะเกษ สกษ.	$PDI = 29.672 + 38.539MAI2m$	0.323	20
ดอยมูเซอ สกษ.	$PDI = -58.876 + 20.682Deciles2m - 43.087SPI2m$	0.597	16
พิษณุโลก	$PDI = 53.827 + 9.419PDSI$	0.316	16
เพชรบูรณ์	$PDI = 3.733 + 9.116Deciles3m$	0.471	14
เมื่อ	MAI2m	คือ ตรรกษานิ MAI ราย 2 เดือน	
	MAI3m	คือ ตรรกษานิ MAI ราย 3 เดือน	

สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติเพื่อพัฒนาสมการตรรกษานิ PDI จากข้อมูลตรรกษานิ VCI และตรรกษานิความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ที่กำหนดเงื่อนไขเฉพาะค่าที่อยู่ในช่วงระดับใกล้เคียงค่าปกติเป็นต้นไปจนถึงแห้งแล้งรุนแรงที่สุดในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรน่านและพิจิตร พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างน้อยสำคัญทางสถิติ ทำให้สถานีดังกล่าวไม่มีสมการตรรกษานิ PDI

4.6.2.2 เหตุการณ์ลานีญา

ได้ดำเนินการในทำนองเดียวกับกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ แต่ใช้ข้อมูลเฉพาะในช่วงเวลาที่มีเหตุการณ์ลานีญามาทำการวิเคราะห์เพื่อพัฒนาตรรกษานิ PDI และได้รูปแบบสมการของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา ดังตาราง 24

ตาราง 24 สมการถดถอย PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในเหตุการณ์ลานีญา

สถานี	รูปแบบถดถอยความแห้งแล้งแม่น้ำ (PDI)	R ²	n
ลำปาง สกษ.	$PDI = 38.355 + 5.018Deciles2m + 9.582PDSI$	0.503	16
ศรีสำโรง สกษ.	$PDI = 64.229 + 15.418SPI3m$	0.343	12
พิษณุโลก	$PDI = 50.716 + 15.493SPI2m$	0.333	16

เมื่อ SPI3m คือ ดรรชนี SPI ราย 3 เดือน

สำหรับสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย เชียงใหม่ และเพชรบูรณ์ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย น่าน และพิจิตรไม่มีสมการถดถอย PDI เนื่องจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างข้อมูลดรรชนี VCI และดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ในการพัฒนาถดถอย PDI พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.6.2.3 เหตุการณ์ปกติ

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์เพื่อพัฒนาถดถอย PDI เฉพาะในช่วงเวลาที่มีเหตุการณ์ปกติ ได้รูปแบบสมการของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา ดังตาราง 25

ตาราง 25 สมการถดถอย PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในเหตุการณ์ปกติ

สถานี	รูปแบบถดถอยความแห้งแล้งแม่น้ำ (PDI)	R ²	n
เชียงราย	$PDI = 17.754 + 5.22Deciles2m$	0.221	20
เชียงราย สกษ.	$PDI = 2.783 + 0.982Deciles2m + 6.308Deciles3m$	0.388	16
ลำปาง สกษ.	$PDI = 37.942 + 1.433Deciles2m + 4.274Deciles3m - 16.611SPI1m + 16.674PDSI$	0.700	19
น่าน สกษ.	$PDI = 53.616 + 10.763SPI3m$	0.277	36
ศรีสำโรง สกษ.	$PDI = 56.985 + 11.38PDSI$	0.200	40
ดอยมูเซอ สกษ.	$PDI = 29.013 + 5.858Deciles3m - 31.453MAI1m$	0.296	28
พิษณุโลก	$PDI = 54.139 + 5.014PDSI$	0.104	39
เพชรบูรณ์	$PDI = 40.414 + 36.711MAI2m$	0.191	45

เมื่อ MAI1m คือ ดรรชนี MAI รายเดือน

ด้วยเหตุผลในการทำงานเดียวกันกับกรณีเหตุการณ์อื่นๆ ในเรื่องของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติเพื่อพัฒนาตรรชนี PDI ได้ผลลัพธ์คือสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ และสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตรไม่มีสมการตรรชนี PDI

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพัฒนาตรรชนี PDI จำนวน 3 กรณีเหตุการณ์ ได้รูปแบบต่างๆของสมการตรรชนี PDI ที่ประกอบด้วยตรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ โดยส่วนมากสมการตรรชนี PDI ประกอบด้วยตรรชนีความแห้งแล้งจำนวน 1 ตรรชนีเป็นส่วนมาก และรูปแบบรองลงมาจะประกอบด้วยตรรชนีความแห้งแล้งจำนวน 2 ตรรชนี โดยสมการตรรชนี PDI ของแต่ละสถานีจะประกอบด้วยตรรชนีความแห้งแล้งที่แตกต่างกัน แต่ก็มีที่เหมือนกันในสมการที่ประกอบด้วยตรรชนีความแห้งแล้งจำนวน 1 ตรรชนี ได้แก่ในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ พบรูปแบบสมการที่เหมือนกันจำนวน 2 สถานีซึ่งประกอบด้วยตรรชนี Deciles3m ส่วนกรณีเหตุการณ์ปกติพบรูปแบบสมการที่เหมือนกันจำนวน 2 สถานีซึ่งประกอบด้วยตรรชนี PDSI

ถ้าพิจารณาสมการตรรชนี PDI ของแต่ละสถานีในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ พบว่าตรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาที่ส่วนมากจะประกอบอยู่ในสมการตรรชนี PDI ของสถานีต่างๆ ในภาคเหนือ คือ ตรรชนี Deciles3m, Deciles2m และ PDSI ซึ่งสอดคล้องกับสมการตรรชนี PDI ของภาคเหนือกรณีเหตุการณ์เอลนีโญในตาราง 22 ที่ประกอบด้วยตรรชนี Deciles3m และ PDSI สำหรับกรณีเหตุการณ์ปกติก็เช่นเดียวกันคือ ตรรชนี Deciles3m, Deciles2m และ PDSI ส่วนมากจะประกอบอยู่ในสมการตรรชนี PDI ของสถานีต่างๆ ในภาคเหนือ และสมการตรรชนี PDI ของภาคเหนือกรณีเหตุการณ์ปกติก็ประกอบด้วยตรรชนี Deciles2m ด้วย

สำหรับการพัฒนาตรรชนี PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือในเหตุการณ์เอลนีโญได้รูปแบบของสมการจำนวน 7 สถานี เหตุการณ์ลานีญาได้รูปแบบของสมการจำนวน 3 สถานี และเหตุการณ์ปกติได้รูปแบบของสมการจำนวน 8 สถานี สำหรับการไม่มีรูปแบบของสมการนั้นเนื่องจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาแบบต่างๆ ซึ่งคำนวณจากข้อมูลตัวแปรอุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัดที่สถานีและตรรชนี VCI ที่เฉลี่ยในพื้นที่รัศมี 3 กิโลเมตรรอบสถานีนั้นไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจากผลลัพธ์ที่ได้พบว่าสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่และสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตรไม่มีรูปแบบของสมการตรรชนี PDI ทั้งในเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ อาจมีผลเนื่องมาจากตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะสภาพแวดล้อมโดยรอบสถานี โดยสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ตั้งอยู่ในเมือง พื้นที่โดยรอบเป็นอาคารบ้านเรือนและถนน ไม่ใช่พื้นที่การเกษตร ส่วนสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร แม้ว่าสภาพแวดล้อมโดยรอบสถานีจะเป็นพื้นที่เกษตรกรรม และทำการเพาะปลูกข้าวเป็นส่วนใหญ่ แต่ก็อยู่

ในพื้นที่เขตชลประทาน ดังนั้นปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา โดยเฉพาะปริมาณฝนจึงไม่ใช่ปัจจัยหลักในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช

สำหรับการไม่มีรูปแบบของสมการถดถอย PDI ในกรณีเหตุการณ์ลานีญาของสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 7 สถานีจากจำนวนทั้งหมด 10 สถานี อาจเนื่องจากการพัฒนาถดถอย PDI ในพื้นที่ใช้ข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน และพฤศจิกายน-ธันวาคม ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน และถดถอยความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาที่นำมาศึกษาทั้งหมดได้คำนวณโดยมีข้อมูลปริมาณฝนเป็นส่วนประกอบ ซึ่งจากผลการศึกษาวิจัยของมัทนาและนงคณา (2545) เกี่ยวกับปริมาณฝนเมื่อเกิดปรากฏการณ์ลานีญา พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยจะมีปริมาณฝนสูงกว่าค่าปกติ โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนและต้นฤดูฝน และถ้าลานีญาที่เกิดขึ้นมีกำลังปานกลางถึงรุนแรง ปริมาณฝนของประเทศไทยจะสูงกว่าค่าปกติมากขึ้น ประกอบกับการศึกษาวิจัยปริมาณฝนกรณีที่เกิดเหตุการณ์ลานีญาขนาดรุนแรงของมัทนาและสุตาพร (2542) สรุปว่าฤดูหนาวในช่วงประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ส่วนใหญ่จะมีฝนต่ำกว่าค่าปกติ และฤดูร้อนในช่วงประมาณเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคมทั่วทุกภาคของประเทศไทยมีฝนอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าค่าปกติ สำหรับการศึกษานี้ได้วิเคราะห์ทางสถิติ ระหว่างถดถอย VCI และถดถอยความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ที่มีการกำหนดค่าเงื่อนไขเพื่อพัฒนาถดถอย PDI ในพื้นที่ศึกษาภาคเหนือนั้นได้ใช้ข้อมูลช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนในกรณีที่มีเหตุการณ์ลานีญาทั้งหมดทุกเดือนร่วมกัน ดังนั้นปริมาณฝนที่ส่วนใหญ่จะต่ำกว่าค่าปกติในฤดูหนาว และสูงกว่าค่าปกติในฤดูร้อนในกรณีที่เกิดลานีญาขนาดรุนแรงอาจส่งผลให้การวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสถานีอุตุนิยมวิทยาเป็นส่วนใหญ่

จากตาราง 22 - 25 พบว่าสมการถดถอย PDI ของภาคเหนือและแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในเหตุการณ์เอลนีโญส่วนมากมีค่า R^2 สูงเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์อื่น เนื่องจากเหตุการณ์เอลนีโญเป็นปัจจัยหลักอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดสภาวะฝนน้อยกว่าปกติซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดความแห้งแล้งขึ้นในพื้นที่บ่อยครั้งกว่าเหตุการณ์ลานีญาและปกติ

4.7 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของสมการถดถอย PDI

การดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของสมการถดถอย PDI ใช้ข้อมูลที่มีอยู่ระหว่าง พ.ศ. 2558-2559 ในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน และพฤศจิกายน-ธันวาคม ซึ่งมีเฉพาะเหตุการณ์เอลนีโญและลานีญาเท่านั้น เนื่องจากในปี พ.ศ. 2558 นั้นได้เกิดเหตุการณ์เอลนีโญตลอดทั้งปี และต่อเนื่องจนถึงเดือนพฤษภาคม 2559 ต่อมาเดือนมิถุนายน-กรกฎาคมเป็นเหตุการณ์ปกติ หลังจากนั้นตั้งแต่เดือนสิงหาคมจนถึงสิ้นปี พ.ศ. 2559 เป็นเหตุการณ์ลานีญา ดังนั้นในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญจะมีข้อมูลจำนวน 10 เดือน ส่วนเหตุการณ์ลานีญาจะมีข้อมูลจำนวน 2 เดือน

โดยในการตรวจสอบความถูกต้องจะนำข้อมูลดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมิวิทยาต่างๆ มาประมาณค่าดัชนี PDI ตามสมการที่ได้พัฒนาขึ้นในขั้นตอนที่ผ่านมาสำหรับแต่ละกรณีเหตุการณ์ เอลนีโญและลานีญา จากนั้นผลลัพธ์ของดัชนี PDI ที่ได้จะนำมาตรวจสอบความถูกต้องกับค่าดัชนี VCI ที่ได้จากข้อมูลการรับรู้ระยะไกลของดาวเทียม Terra (MODIS) ในช่วงเวลาเดียวกัน ด้วยวิธีการทางสถิติของ RMSE และ MBE โดยจะดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้พัฒนาขึ้นทั้งของภาคเหนือและแต่ละสถานีอุตุนิยมิวิทยา ซึ่งมีผลลัพธ์ดังนี้

4.7.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของสมการดัชนี PDI ของภาคเหนือ

ในขั้นตอนนี้ได้ประมาณค่าดัชนี PDI รายเดือนในแต่ละสถานีอุตุนิยมิวิทยาด้วยสมการดัชนี PDI ของภาคเหนือจากตาราง 22 ในแต่ละกรณีเหตุการณ์เอลนีโญและลานีญา โดยใช้ข้อมูลดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมิวิทยาต่างๆ ของแต่ละสถานีอุตุนิยมิวิทยา จำนวน 10 สถานี ผลลัพธ์ได้ค่าดัชนี PDI รายเดือนของแต่ละสถานีในเหตุการณ์เอลนีโญและลานีญา โดยขอนำเสนอเป็นตัวอย่างผลลัพธ์ของการประมาณค่าดัชนี PDI รายเดือนด้วยสมการของภาคเหนือเปรียบเทียบกับดัชนี VCI รายเดือนจากข้อมูลดาวเทียมของสถานีอุตุนิยมิวิทยาเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2558-2559 ดังตาราง 26

ตาราง 26 ดรรชนี PDI จากสมการของภาคเหนือและดรรชนี VCI ของสถานีอุตุนิยมวิทยา
เชียงใหม่ในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญและลานีญา ระหว่าง พ.ศ. 2558-2559

พ.ศ.	เดือน	ดรรชนี PDI	ดรรชนี VCI
<u>เหตุการณ์เอลนีโญ</u>			
2558	มกราคม	60.75	37.21
2558	กุมภาพันธ์	52.87	45.18
2558	มีนาคม	50.5	32.79
2558	เมษายน	73.24	64.91
2558	พฤษภาคม	21.84	45.65
2558	ธันวาคม	43.53	57.97
2559	มกราคม	49.04	42.28
2559	กุมภาพันธ์	57.97	47.78
2559	มีนาคม	34.19	42.83
2559	เมษายน	9.34	46.83
<u>เหตุการณ์ลานีญา</u>			
2559	พฤษภาคม	64.2	41.23
2559	ธันวาคม	59.29	73.97

สำหรับค่า RMSE และ MBE ของการประมาณค่าดรรชนี PDI รายเดือนโดยใช้สมการของภาคเหนือที่ได้ดำเนินการในแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาของเหตุการณ์เอลนีโญและลานีญาแสดงดังตาราง 27 ซึ่งผลการประมาณค่าดรรชนี PDI รายเดือนในแต่ละสถานีด้วยสมการของภาคเหนือ ในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญจำนวน 10 เดือน พบว่ามีค่า RMSE ต่ำสุด 13.67 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรดอยมูเซอ และสูงสุด 34.97 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ และพบว่าค่า RMSE ของสถานีส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 20 สำหรับค่า MBE แสดงว่าการประมาณค่า PDI รายเดือนด้วยสมการของภาคเหนือในสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่มีแนวโน้มสูงกว่าความเป็นจริง ส่วนผลการประมาณค่าดรรชนี PDI รายเดือนในกรณีเหตุการณ์ลานีญาจำนวน 2 เดือน พบว่ามีค่า RMSE ต่ำสุด 2.47 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรง และสูงสุด 30.18 ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ สำหรับค่า MBE แสดงว่าการประมาณค่าดรรชนี PDI รายเดือนในสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรดอยมูเซอและพิจิตรมีแนวโน้มสูงกว่าความเป็นจริง ส่วนสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปางและน่านมีแนวโน้มต่ำกว่าความเป็นจริง

ตาราง 27 ค่า RMSE และ MBE ของการประมาณค่าตรรชนี PDI โดยใช้สมการของภาคเหนือ

ชื่อสถานี	เอลนีโญ		ลานีญา	
	RMSE	MBE	RMSE	MBE
เชียงราย	18.44	-1.02	19.28	4.14
เชียงราย สกษ.	19.18	-0.56	17.07	8.86
เชียงใหม่	34.97	23.72	30.18	30.17
ลำปาง สกษ.	13.81	-3.27	19.65	-18.18
น่าน สกษ.	14.48	-11.03	21.65	-21.02
ศรีสำโรง สกษ.	23.19	1.06	2.47	-0.9
ดอยมูเซอ สกษ.	13.67	-2.47	23.46	23.28
พิษณุโลก	16.75	0.16	9.89	9.82
เพชรบูรณ์	16.14	10.09	13.67	10.61
พิจิตร สกษ.	24.94	8.72	20.38	20.18

โดยค่า RMSE น้อยแสดงว่าตรรชนี PDI สามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับตรรชนี VCI ที่บ่งบอกถึงสภาวะความแห้งแล้งจริงที่เกิดกับพืชพรรณในพื้นที่ ส่วน RMSE ที่มีค่าสูงขึ้น แสดงถึงการประมาณความแห้งแล้งด้วยตรรชนี PDI มีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นตามลำดับ และหาก RMSE มีค่ามากกว่า 40 อาจทำให้ผลการประมาณความแห้งแล้งผิดพลาดจากสภาวะที่มีความแห้งแล้งอย่างผิดธรรมชาติเป็นสภาวะที่ไม่แห้งแล้งได้ โดยจากการพิจารณาการจำแนกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งของตรรชนี VCI ซึ่งนำมาใช้กับตรรชนี PDI ได้กำหนดเกณฑ์ที่จะเกิดความแห้งแล้งเมื่อค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 และแบ่งค่าเป็นช่วงต่างๆ กันที่มีความกว้างเท่ากับ 8 เป็นระดับความรุนแรง 5 ระดับ (Yagei et al, 2011) ดังนั้นถ้ามีความแห้งแล้งในระดับแห้งแล้งรุนแรงที่สุด (Extreme drought) ถึงแห้งแล้งผิดธรรมชาติ (Exceptional drought) เกิดขึ้น แม้ว่าค่าตรรชนี PDI ที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 24 ก็ยังคงแสดงว่ามีความแห้งแล้งเกิดขึ้นจริงแต่จะอยู่ในระดับความรุนแรงที่แตกต่างออกไป

4.7.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของสมการตรรชนี PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ

ขั้นตอนนี้ค่าตรรชนี PDI รายเดือนได้ประมาณค่าด้วยสมการตรรชนี PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญจากตาราง 23 และในกรณีเหตุการณ์ลานีญาจากตาราง

24 โดยใช้ข้อมูลดัชนีความแข็งแกร่งทางอุตสาหกรรมต่างๆ ของแต่ละสถานีอุตสาหกรรม และได้นำเสนอเป็นตัวอย่างผลลัพธ์ของการประมาณค่าดัชนี PDI รายเดือนด้วยสมการของแต่ละสถานีเปรียบเทียบกับดัชนี VCI รายเดือนจากข้อมูลดาวเทียมของสถานีอุตสาหกรรมเชียงรายในเหตุการณ์เอลนีโญ ระหว่าง พ.ศ. 2558-2559 ดังตาราง 28 ส่วนในกรณีเหตุการณ์ลานีญาไม่มีสมการคำนวณดัชนี PDI ของสถานีอุตสาหกรรมเชียงราย

ตาราง 28 ดัชนี PDI จากสมการของแต่ละสถานีและดัชนี VCI ของสถานีอุตสาหกรรมเชียงรายในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ระหว่าง พ.ศ. 2558 - 2559

พ.ศ.	เดือน	ดัชนี PDI	ดัชนี VCI
2558	มกราคม	60.55	37.21
2558	กุมภาพันธ์	57.62	45.18
2558	มีนาคม	37.55	32.79
2558	เมษายน	61.57	64.91
2558	พฤษภาคม	51.36	45.65
2558	ธันวาคม	47.97	57.97
2559	มกราคม	58.75	42.28
2559	กุมภาพันธ์	53.17	47.78
2559	มีนาคม	20.57	42.83
2559	เมษายน	14.43	46.83

สำหรับค่า RMSE และ MBE ของการประมาณค่าดัชนี PDI รายเดือนของสถานีอุตสาหกรรมในภาคเหนือ โดยใช้สมการของแต่ละสถานีอุตสาหกรรมในเหตุการณ์เอลนีโญและลานีญา ได้นำเสนอในตาราง 29

ตาราง 29 ค่า RMSE และ MBE ของการประมาณค่าตรรกษณิ PDI โดยใช้สมการของแต่ละสถานึ
 อดุณิยมหาวิทยาลัย

ชื่อสถานึ	เอลนึโณย		ลานึญา	
	RMSE	MBE	RMSE	MBE
เชึยงราย	16.47	0.01		
เชึยงราย สกษ.	22.46	-15.01		
ล่ำปาง สกษ.	15.1	-0.53	10.1	-4.09
ศรึสำโรง สกษ.	21.7	-10.8	7.71	7.61
ดอยมูเชอ สกษ.	14.22	6.42		
พึชณูโลก	17.01	-10.58	6.33	6.2
เพชชชบูรณึ	25.22	19.21		

จากการนำสมการของแต่ละสถานึอดุณิยมหาวิทยาลัยมาใช้ในประมาณค่าตรรกษณิ PDI รายเดือน ในกรณีเหตุการณ์เอลนึโณยจำนวน 10 เดือน พบว่ามีค่า RMSE ต่ำสุด 14.22 ที่สถานึอดุณิยมหาวิทยาลัยเกษตรดอยมูเชอ และสูงสุด 25.22 ที่สถานึอดุณิยมหาวิทยาลัยเพชชชบูรณึ และพบว่ามีค่า RMSE ของสถานึส่วนใหญ่มืค่าต่ำกว่า 20 สำหรับค่า MBE แสดงว่าการประมาณค่าตรรกษณิ PDI รายเดือนในสถานึอดุณิยมหาวิทยาลัยเพชชชบูรณึมืแนวโน้มสูงกว่าความเป็นจริง ส่วนสถานึอดุณิยมหาวิทยาลัยเกษตรเชึยงรายมืแนวโน้มต่ำกว่าความเป็นจริง สำหรับการประมาณค่าตรรกษณิ PDI รายเดือนในกรณีเหตุการณ์ลานึญาจำนวน 2 เดือนพบว่ามีค่า RMSE ต่ำสุด 6.33 ที่สถานึอดุณิยมหาวิทยาลัยพึชณูโลก และสูงสุด 10.1 ที่สถานึอดุณิยมหาวิทยาลัยเกษตรล่ำปาง สำหรับค่า MBE แสดงว่าการประมาณค่าตรรกษณิ PDI รายเดือนในสถานึอดุณิยมหาวิทยาลัยเกษตรล่ำปางและศรึสำโรง สถานึอดุณิยมหาวิทยาลัยพึชณูโลกมืแนวโน้มที่ไม่แตกต่างจากความเป็นจริงมาก

สำหรับการเปรียบเทียบค่า RMSE ของการประมาณค่าตรรกษณิ PDI รายเดือนด้วยสมการที่แตกต่างกันระหว่างสมการของภาคเหนือและสมการของแต่ละสถานึอดุณิยมหาวิทยาลัย โดยพึจารณาว่าสมการใดมืค่า RMSE ต่ำกว่า ซึ่งแสดงถึงสมการนั้นสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าหรือเป็นสมการที่ดีกว่า โดยเปรียบเทียบเฉพาะสถานึอดุณิยมหาวิทยาลัยที่มีสมการตรรกษณิ PDI ทั้งของภาคเหนือและของแต่ละสถานึเท่านั้น ซึ่งกรณีเหตุการณ์เอลนึโณยและลานึญามืจำนวน 7 และ 3 สถานึตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบพบว่าในกรณีเหตุการณ์เอลนึโณยในสถานึอดุณิยมหาวิทยาลัยจำนวน 7 สถานึนั้นมืค่า RMSE ของการประมาณค่าตรรกษณิ PDI ด้วยสมการของภาคเหนือต่ำกว่าค่า RMSE ของการ

ประมาณค่าดัชนี PDI ด้วยสมการของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 4 สถานี หรือกล่าวได้ว่าวิธีการประมาณค่าดัชนี PDI ด้วยสมการของภาคเหนือได้ผลลัพธ์ที่มีค่า RMSE ต่ำกว่าเป็นส่วนมาก สำหรับกรณีเหตุการณ์ลานีญาจากการเปรียบเทียบพบว่าค่า RMSE ของการประมาณค่าดัชนี PDI ด้วยสมการของภาคเหนือต่ำกว่าค่า RMSE ของการประมาณค่าดัชนี PDI ด้วยสมการของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 1 สถานี ในจำนวนทั้งหมด 3 สถานี แสดงว่าวิธีการประมาณค่าดัชนี PDI ด้วยสมการของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาได้ผลลัพธ์ที่มีค่า RMSE ต่ำกว่าเป็นส่วนมาก

4.8 ผลการตรวจสอบความแห้งแล้งจากดัชนี VCI กับรายงานสถานการณ์ภัยแล้ง

ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบเพื่อให้ทราบว่าสภาพพืชพรรณที่บ่งชี้ถึงความแห้งแล้งด้วยวิธีของดัชนี VCI สอดคล้องกับสภาพความแห้งแล้งตามความเป็นจริงของพื้นที่หรือไม่ โดยได้ดำเนินการกับข้อมูลดัชนี VCI เฉพาะในขอบเขตพื้นที่อำเภอที่มีรายงานสถานการณ์ภัยแล้งจากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยต่อเนื่องกันมากกว่า 10 วันในเดือนมีนาคม 2559 ซึ่งตรงกับเหตุการณ์เอลนีโญ โดยขอแสดงตัวอย่างของจังหวัดประกาศเขตภัยพิบัติเพื่อให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติกรณีฉุกเฉิน (ภัยแล้ง) จากรายงานสถานการณ์สาธารณภัยประจำวัน ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย วันที่ 15 มีนาคม 2559 เฉพาะในภาคเหนือดังตาราง 30

ตาราง 30 จังหวัดประกาศเขตภัยพิบัติฯ (ภัยแล้ง) ในภาคเหนือจากรายงานสถานการณ์สาธารณภัย วันที่ 15 มีนาคม 2559

ที่	จังหวัด	จำนวน			รายชื่ออำเภอที่ประกาศเขตภัยพิบัติฯ (ภัยแล้ง)
		อำเภอ	ตำบล	หมู่บ้าน	
1	เชียงใหม่	3	5	22	ดอยเต่า สันกำแพง แม่ริม
2	อุตรดิตถ์	2	11	102	เมือง ท่าปลา
3	พะเยา	6	30	201	เมือง ดอกคำใต้ แม่ใจ จุน ภูกามยาว เชียงคำ
4	สุโขทัย	8	40	286	สวรรคโลก ศรีนคร ศรีสำโรง ศรีสันตชัย เมือง ศิริมาศ ทุ่งเสลี่ยม บ้านด่านลานหอย
5	น่าน	1	1	2	สองแคว

ที่มา: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2559

เนื่องจากสภาวะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะไม่ได้เกิดเป็นบริเวณกว้างหรือครอบคลุมพื้นที่ทั้งอำเภอ และรายงานการเกิดสถานการณ์ภัยแล้งไม่ได้จำแนกว่ามีความแห้งแล้งมากหรือน้อย ดังนั้นจึงได้ตรวจสอบว่าอำเภอดังกล่าวมีค่าดัชนี VCI ที่อยู่ในระดับที่มีความแห้งแล้งหรือไม่ ซึ่งการจำแนกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งด้วยดัชนี VCI กำหนดเกณฑ์ที่จะเกิดความแห้งแล้งเมื่อน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 (Yagei et al., 2011) ในที่นี้จึงนำเกณฑ์ดังกล่าวมาวิเคราะห์พื้นที่ความแห้งแล้งจากดัชนี VCI ในแต่ละอำเภอของจังหวัดเชียงใหม่ อุดรดิตถ์ พะเยา สุโขทัย และน่าน ที่ประกาศเขตภัยพิบัติฯ ว่ามีจำนวนพื้นที่เป็นร้อยละเท่าไรของพื้นที่ทั้งอำเภอ และมีขนาดพื้นที่เท่าไร โดยประมาณค่าจากขนาดจุดภาพ (pixel) ของภาพถ่ายดาวเทียม Terra (MODIS) ที่มีรายละเอียด 250 เมตร ผลลัพธ์แสดงดังตาราง 31

ผลลัพธ์ของการตรวจสอบดัชนี VCI แสดงว่าในทุกอำเภอมีความแห้งแล้งสอดคล้องกับรายงานสถานการณ์ภัยแล้งของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย แต่มีพื้นที่ที่เล็กน้อยแตกต่างกันในแต่ละอำเภอ



ตาราง 31 พื้นที่ความแห้งแล้งจากดรชนี VCI ในแต่ละอำเภอที่ประกาศเขตภัยพิบัติฯ เดือน
มีนาคม 2559

จังหวัด	อำเภอ	พื้นที่ความแห้งแล้งจากดรชนี VCI	
		ร้อยละของพื้นที่	ขนาดพื้นที่ (ตร.กม.)
เชียงใหม่	ดอยเต่า	17.3	187.1
เชียงใหม่	สันกำแพง	80.5	184.2
เชียงใหม่	แมริม	62.3	336.6
อุตรดิตถ์	เมือง	30.6	279.5
อุตรดิตถ์	ท่าปลา	35	715.9
พะเยา	เมือง	23.1	242.4
พะเยา	ดอกคำใต้	1.9	16
พะเยา	แม่ใจ	21.6	75.9
พะเยา	จุน	0.6	4.1
พะเยา	ภูกามยาว	25.5	62.8
พะเยา	เชียงคำ	2.1	20.7
สุโขทัย	สวรรคโลก	43	295
สุโขทัย	ศรีนคร	48.2	117.4
สุโขทัย	ศรีสำโรง	54.1	378.2
สุโขทัย	ศรีสัชชนาลัย	18.2	446.3
สุโขทัย	เมือง	45.9	299.8
สุโขทัย	คีรีมาศ	25.2	196.9
สุโขทัย	ทุ่งเสลี่ยม	45	285
สุโขทัย	บ้านด่านลานหอย	21.1	235.1
น่าน	สองแคว	0.4	2.8

4.9 ผลการตรวจสอบตรรกะ NDVI ของดาวเทียม Terra (MODIS) กับดาวเทียม Landsat ในระดับอำเภอ

เนื่องด้วยในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลตรรกะ VCI เป็นตัวบ่งชี้ถึงผลกระทบของความแห้งแล้งที่เกิดกับพืชผลทางการเกษตรหรือพืชปกคลุมในธรรมชาติ หรือเป็นความแห้งแล้งทางการเกษตร และได้มาจากการประมาณค่าโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Terra (MODIS) ที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตร ซึ่งเป็นข้อมูลที่น่ามาใช้แสดงรายละเอียดได้ดีในระดับอำเภอ แต่สภาวะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในประเทศไทยส่วนใหญ่จะมีพื้นที่ไม่ครอบคลุมทั้งจังหวัดหรืออำเภอ แต่จะเกิดขึ้นเป็นบางพื้นที่ของอำเภอ ตำบล หรือหมู่บ้านที่มีขนาดพื้นที่ที่เล็กกว่า โดยข้อมูลที่แสดงถึงความสมบูรณ์หรืออ่อนแอของพืชที่ได้จากภาพถ่ายของดาวเทียมรายละเอียดค่อนข้างสูงในช่วงเวลาเดียวกันจะสะท้อนถึงความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นนั้นได้ ดังนั้นจึงทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตรรกะ NDVI ราย 10 วันที่ได้จากดาวเทียม Terra (MODIS) กับตรรกะ NDVI รายวันจากดาวเทียม Landsat รายละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร ซึ่งเป็นรายละเอียดเชิงพื้นที่มากกว่า โดยใช้ค่าเฉลี่ยตรรกะ NDVI ของข้อมูลทั้งสองชนิดบริเวณอำเภอที่มีรายงานการเกิดสถานการณ์ภัยแล้งจากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยในแต่ละกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ ซึ่งตรงกับปี พ.ศ.2558, 2554 และ 2557 ตามลำดับ

จากรายงานสาธารณภัยประจำวันของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยในปีดังกล่าว พบว่าส่วนใหญ่ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน จะมีรายงานการเกิดสถานการณ์ภัยแล้งมากกว่าเดือนอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากดาวเทียม Landsat เฉพาะในช่วงเดือนดังกล่าวที่ครอบคลุมอำเภอซึ่งเกิดสถานการณ์ภัยแล้ง และไม่มีเมฆปกคลุมหรือมีเมฆปกคลุมน้อยกว่า 50 % ของพื้นที่อำเภอ ดังนี้

พ.ศ. 2554 ประกอบด้วยจังหวัดเชียงราย อำเภอแม่สรวย แม่ลาว เมือง เวียงเชียงรุ้ง เวียงชัย เชียงของ แม่สาย แม่จัน พญาเม็งราย ดอยหลวง และเชียงแสน จังหวัดลำพูน อำเภอแม่ทา บ้านธิ และเมือง จังหวัดลำปาง อำเภอเมือง วังเหนือ แจ้ห่ม เมืองปาน และสบปราบ จังหวัดพะเยา อำเภอภูซาง จังหวัดน่าน อำเภอทุ่งช้าง จังหวัดตาก อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร อำเภอคลองลานและปางศิลาทอง จังหวัดเพชรบูรณ์ อำเภอชนแดนและวิเชียรบุรี

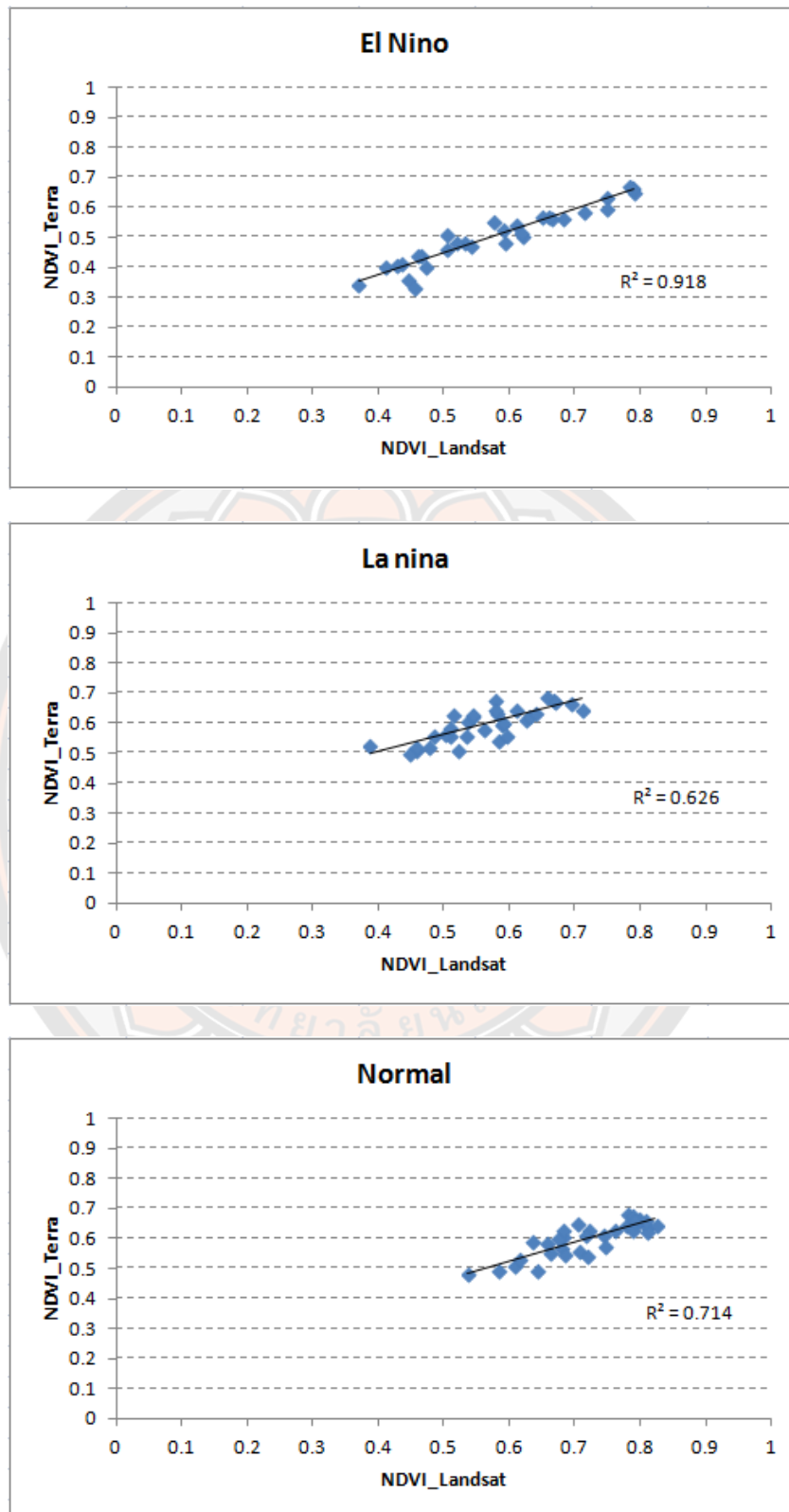
พ.ศ. 2557 ประกอบด้วยจังหวัดเชียงราย อำเภอพญาเม็งรายและป่าแดด จังหวัดแม่ฮ่องสอน อำเภอแม่ลาน้อยและสบเมย จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอไชยปราการ พร้าว แม่แตง แม่ริม ดอยสะเก็ด เมือง หางดง สารภี แม่วาง สะเมิง สันป่าตอง จอมทอง และฮอด จังหวัดลำพูน อำเภอบ้านธิ จังหวัดพะเยา อำเภอภูซาง แม่ใจ ดอกคำใต้ จุน เชียงคำ และเมือง จังหวัดน่าน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ อำเภอสูงเม่น เด่นชัย และเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ อำเภอปากท่า จังหวัดพิษณุโลก อำเภอนครไทย

พ.ศ. 2558 ประกอบด้วยจังหวัดเชียงใหม่ อำเภอหางดง ฮอด สะเมิง ดอยสะเก็ด และ ดอยเต่า จังหวัดแพร่ อำเภอสูงเม่น เมือง วังชิ้น และเด่นชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ อำเภอพิชัยและเมือง จังหวัดสุโขทัย อำเภอเมือง จังหวัดตาก อำเภอแม่ระมาดและวังเจ้า จังหวัดพิษณุโลก อำเภอ บางระกำ นครไทย ชาติตระการ เนินมะปราง วัดโบสถ์ พรหมพิราม บางกระทุ่ม และเมือง จังหวัด พิษณุ อำเภอบางมูลนาก เมือง ตะพานหิน และดงเจริญ

โดยข้อมูลการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากดาวเทียม Landsat นี้ได้นำมาประมาณค่าดัชนี NDVI และลบข้อมูลบริเวณที่มีเมฆปกคลุม หลังจากนั้นจึงหาค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI บริเวณอำเภอที่ เกิดภัยแล้งนั้น ผลสุดท้ายได้ข้อมูลผลลัพธ์สำหรับนำมาใช้การตรวจสอบความสัมพันธ์ดังกล่าวในกรณี เหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติจำนวน 31, 32 และ 32 ค่าตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) และดาวเทียม Landsat กรณีเอลนีโญมีค่าอยู่ระหว่าง 0.33-0.67 และ 0.37-0.79 กรณีลานีญามีค่าอยู่ระหว่าง 0.50-0.69 และ 0.39-0.71 และกรณีปกติมีค่าอยู่ ระหว่าง 0.48-0.68 และ 0.54-0.82 ตามลำดับ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) และ ค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat บริเวณอำเภอที่เกิดภัยแล้ง แสดงดังภาพ 30 และมีค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ เท่ากับ 0.918, 0.626 และ 0.714 ตามลำดับ และข้อมูลทั้ง 2 ชนิดมีความสัมพันธ์กันสูงถึงสูงมาก และมีทิศทางเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI ที่ได้จากดาวเทียม ทั้งสองที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่แตกต่างกันเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

นอกจากนี้ผลลัพธ์ของการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดัชนี NDVI ของดาวเทียม Terra (MODIS) และดัชนี NDVI ของดาวเทียม Landsat ที่มีความสัมพันธ์กันสูงถึงสูงมากใน ทิศทางเดียวกันนั้น ยังสามารถแสดงได้ว่าการคำนวณค่าดัชนี VCI ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม Terra (MODIS) จะสอดคล้องกับความแห้งแล้งที่เกิดในพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามในขั้นตอนนี้เป็นารตรวจสอบ ในระดับอำเภอซึ่งเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ผลลัพธ์ที่ได้จึงมีความถูกต้องในภาพรวมของพื้นที่เท่านั้น ดังนั้น ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการตรวจสอบในระดับสนาม รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบดัชนี NDVI ของดาวเทียม Terra (MODIS) ในระดับจุดภาพ เพื่อให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นต่อไป



ภาพ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี NDVI จากข้อมูลดาวเทียม Landsat กับดัชนี NDVI จากข้อมูลดาวเทียม Terra (MODIS) ในกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ

4.10 ผลการตรวจสอบตรรกะ NDVI ของดาวเทียม Landsat ในระดับสนาม

ในขั้นตอนของการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตรรกะ NDVI ที่ได้จาก 2 แหล่งข้อมูล คือจากการประมวลผลข้อมูลดาวเทียม Landsat และจากการตรวจวัดภาคสนามนี้ได้ดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามพื้นที่การเกษตรบริเวณอำเภอที่มีรายงานสถานการณ์ภัยแล้งของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย โดยสำรวจเฉพาะพื้นที่การเกษตรที่มีถนนเข้าถึงเพื่อความสะดวกในการขับรถสำรวจและเลือกพื้นที่การเกษตรที่มีขนาดใหญ่ที่ปลูกพืชชนิดเดียวกัน มีสภาวะพืชใกล้เคียงกัน หรือพื้นที่การเกษตรที่มีความแห้งแล้ง ดังตัวอย่างเช่นพื้นที่การเกษตรหรือทุ่งนาซึ่งมีพืชแห้งตาย หรือพื้นที่ที่ได้เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วและยังไม่ได้ทำการเพาะปลูกพืชรุ่นใหม่แต่ในพื้นที่นั้นมีหญ้าหรือพืชสีเขียวขึ้นปกคลุมเพียงเล็กน้อยหรือไม่มี และเมื่อเลือกบริเวณพื้นที่สำรวจได้แล้วจึงทำการตรวจวัดการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นดินในบริเวณพื้นที่นั้นด้วยเครื่องมือ Spectroradiometer แบบสุ่มตรวจเพื่อนำข้อมูลไปใช้คำนวณหาตรรกะ NDVI ของตำแหน่งที่มีการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Spectroradiometer

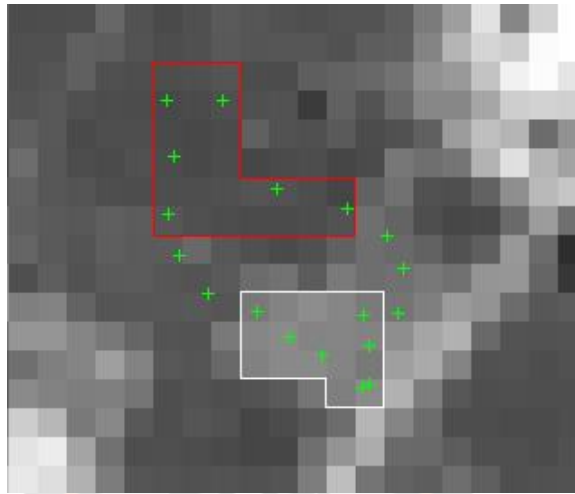
โดยการตรวจสอบในภาคสนามทำให้ทราบถึงสภาพความเป็นจริงของความแห้งแล้ง ณ บริเวณภาคสนามที่ทำการตรวจสอบ และการตรวจวัดการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นดินด้วยเครื่องมือ Spectroradiometer เพื่อนำมาคำนวณหาค่าตรรกะ NDVI ที่เป็นตรรกะความแตกต่างพืชพรรณ ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกับความแห้งแล้งจริงของพื้นที่ได้

การสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนามได้ดำเนินการ 2 ครั้ง ดังนี้

ครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 21-22 กุมภาพันธ์ 2559 บริเวณจังหวัดพิจิตร สุโขทัย และพิษณุโลก ทำการสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนามจำนวน 5 จุด

ครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 26-28 มีนาคม 2559 บริเวณจังหวัดอุดรดิตถ์ พะเยา เชียงราย และเชียงใหม่ ทำการสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนามจำนวน 11 จุด

เนื่องจากไม่มีข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ที่ครอบคลุมจุดสำรวจตรงกับวันที่ได้ทำการสำรวจ ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลในวันที่ใกล้เคียง คือ การสำรวจภาคสนามครั้งที่ 1 ใช้ข้อมูลวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2559 ส่วนการสำรวจภาคสนามครั้งที่ 2 ใช้ข้อมูลวันที่ 3 และ 10 เมษายน 2559 โดยประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อให้ได้ตรรกะ NDVI จากนั้นหาค่าเฉลี่ยตรรกะ NDVI ของแปลงตัวอย่าง โดยกำหนดขอบเขตของแปลงตัวอย่างจาก pixel ที่ติดกันและมีค่าใกล้เคียงกัน โดยขอยกตัวอย่างภาพตรรกะ NDVI วันที่ 3 เมษายน 2559 บริเวณจุดสำรวจที่ 10 ตำบลห้วยข้าวก่า อำเภอจุน จังหวัดพะเยา ซ้อนทับด้วยตำแหน่งของการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Spectroradiometer (เครื่องหมาย +) และขอบเขตของแปลงตัวอย่าง (รูปปิด) ดังแสดงในภาพ 31



ภาพ 31 ดรรชนี NDVI วันที่ 3 เมษายน 2559 บริเวณจุดสำรวจที่ 10
ตำบลห้วยข้าวเก่า อำเภอจุน จังหวัดพะเยา

ในทำนองเดียวกันสำหรับดรรชนี NDVI ของการตรวจวัดภาคสนาม ได้ทำการหาค่าเฉลี่ย
ดรรชนี NDVI ของแต่ละแปลงตัวอย่าง จากข้อมูลดรรชนี NDVI ที่มีตำแหน่งการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ
Spectroradiometer อยู่ในขอบเขตของแปลงตัวอย่าง

โดยสถานที่และลักษณะพื้นที่ทางการเกษตรของจุดสำรวจภาคสนามทั้ง 16 จุด รวมทั้ง
ค่าเฉลี่ยดรรชนี NDVI ของแปลงตัวอย่างที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Spectroradiometer
แสดงดังตาราง 32

ตาราง 32 จุดสำรวจภาคสนามและค่าเฉลี่ยตรรชนี NDVI ของแปลงตัวอย่าง

จุดสำรวจที่ 1 วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2559

สถานที่ ตำบลดงป่าคำ อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร

พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 16.312°N ลองจิจูด 100.396°E

ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว มีต้นข้าวแห้งตาย และมีหญ้ากับพืชอื่นขึ้นอยู่ด้วย

รูปภาพ



ตรรชนี NDVI 2 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.455762 และ 0.378223

จุดสำรวจที่ 2 วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2559

สถานที่ ตำบลสากเหล็ก อำเภอสากเหล็ก จังหวัดพิจิตร

พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 16.49°N ลองจิจูด 100.458°E

ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว และมีแปลงนาที่มีการเผาตอซัง

รูปภาพ



ตรรชนี NDVI 2 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.242673 และ 0.150062

ตาราง 32 (ต่อ)

จุดสำรวจที่ 3 วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2559

สถานที่ ตำบลหนองแขม อำเภอรพรมพิราม จังหวัดพิษณุโลก
 พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 17.065°N ลองจิจูด 100.182°E
 ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว มีต้นหญ้าขึ้นอยู่ด้วย และมีแปลงนาที่มีต้นข้าว
 แห้งตาย

รูปภาพ



ดรชนี NDVI 3 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.246879, 0.261337 และ 0.193687

จุดสำรวจที่ 4 วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2559

สถานที่ ตำบลคลองยาง อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย
 พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 17.37°N ลองจิจูด 99.89°E
 ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่ปลูกอ้อย เก็บเกี่ยวอ้อยแล้ว และมีแปลงที่เหลือต่อเริ่มเจริญเติบโตใหม่

รูปภาพ



ดรชนี NDVI 3 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.066903, 0.163654 และ 0.176839

ตาราง 32 (ต่อ)

จุดสำรวจที่ 5 วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2559

สถานที่ ตำบลโคกสลุด อำเภอบางกระพุ่ม จังหวัดพิษณุโลก

พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 16.575°N ลองจิจูด 100.26°E

ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว

รูปภาพ



ดรชนี NDVI 2 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.188702 และ 0.198542

จุดสำรวจที่ 6 วันที่ 26 มีนาคม 2559

สถานที่ ตำบลวังงาม อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี

พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 17.678°N ลองจิจูด 100.192°E

ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว มีการเผาตอซัง

รูปภาพ



ดรชนี NDVI 2 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.052185 และ 0.083264

ตาราง 32 (ต่อ)

จุดสำรวจที่ 7 วันที่ 27 มีนาคม 2559

สถานที่ ตำบลดอกคำใต้ อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา
 พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 19.162°N ลองจิจูด 99.947°E
 ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว มีหญ้ากับพืชอื่นขึ้นอยู่ด้วย

รูปภาพ



ดรชนี NDVI 2 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.226632 และ 0.269323

จุดสำรวจที่ 8 วันที่ 27 มีนาคม 2559

สถานที่ ตำบลตองสุวรรณ อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา
 พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 19.252°N ลองจิจูด 100.027°E
 ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว มีต้นพืชขึ้นอยู่บ้าง และมีแปลงนาที่มีการเผาตอซัง

รูปภาพ



ดรชนี NDVI 3 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.294602, 0.207111 และ 0.184952

ตาราง 32 (ต่อ)

จุดสำรวจที่ 9 วันที่ 27 มีนาคม 2559

สถานที่ ตำบลห้วยข้าวกล้า อำเภोजุน จังหวัดพะเยา

พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 19.36°N ลองจิจูด 100.108°E

ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว มีหญ้าและพืชอื่นขึ้นอยู่

รูปภาพ



ดัชนี NDVI

2 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.490807 และ 0.294797

จุดสำรวจที่ 10 วันที่ 27 มีนาคม 2559

สถานที่ ตำบลห้วยข้าวกล้า อำเภोजุน จังหวัดพะเยา

พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 19.364°N ลองจิจูด 100.147°E

ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว มีหญ้าและพืชอื่นขึ้นอยู่ และมีแปลงนาที่มีการไถพรวน

รูปภาพ



ดัชนี NDVI

2 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.223806 และ 0.077935

ตาราง 32 (ต่อ)

จุดสำรวจที่ 11 วันที่ 27 มีนาคม 2559

สถานที่ ตำบลห้วยแก้ว อำเภอภูมามยาว จังหวัดพะเยา

พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 19.304°N ลองจิจูด 100.004°E

ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว มีหญ้าและพืชอื่นขึ้นอยู่

รูปภาพ



ดรชนี NDVI 2 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.290653 และ 0.28919

จุดสำรวจที่ 12 วันที่ 27 มีนาคม 2559

สถานที่ ตำบลท่าวังทอง อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา

พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 19.206°N ลองจิจูด 99.945°E

ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว มีการเผาตอซัง ขณะสำรวจมีหญ้าขึ้นอยู่บ้าง รวมทั้งมีแปลงนาที่มีการไถพรวน

รูปภาพ



ดรชนี NDVI 3 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.184564, 0.22146 และ 0.087892

ตาราง 32 (ต่อ)

จุดสำรวจที่ 13 วันที่ 27 มีนาคม 2559

สถานที่ ตำบลแม่ปืม อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา

พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 19.278°N ลองจิจูด 99.853°E

ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว มีทั้งเผาและไม่เผาดอซัง ขณะสำรวจมีหญ้าและพืชอื่นขึ้นอยู่บ้าง

รูปภาพ



ดรชนี NDVI 2 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.252922 และ 0.174463

จุดสำรวจที่ 14 วันที่ 27 มีนาคม 2559

สถานที่ ตำบลแม่เย็น อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 19.468°N ลองจิจูด 99.759°E

ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว มีหญ้าขึ้นอยู่

รูปภาพ



ดรชนี NDVI 2 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.487376 และ 0.424796

ตาราง 32 (ต่อ)

จุดสำรวจที่ 15 วันที่ 28 มีนาคม 2559

สถานที่ ตำบลทรายมูล อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่
 พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 18.735°N ลองจิจูด 99.131°E
 ลักษณะทางการเกษตร พุ่มหญ้าเลี้ยงสัตว์ เป็นหญ้าต้นเตี้ย และมีพืชอื่นขึ้นอยู่บ้าง
 รูปภาพ



ดรชนี NDVI 3 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.353095, 0.315436 และ 0.289911

จุดสำรวจที่ 16 วันที่ 28 มีนาคม 2559

สถานที่ ตำบลแช่ช้าง อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่
 พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 18.712°N ลองจิจูด 99.14°E
 ลักษณะทางการเกษตร พื้นที่นาข้าว เก็บเกี่ยวข้าวแล้ว มีหญ้าขึ้นอยู่
 รูปภาพ

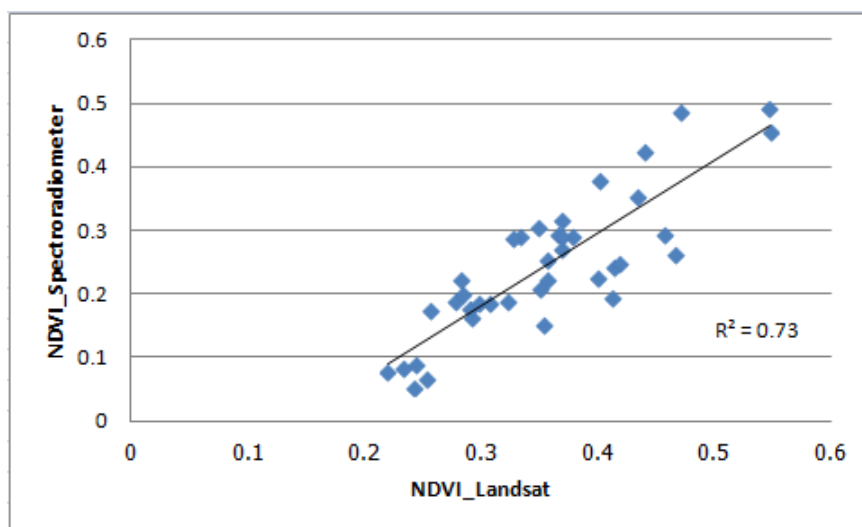


ดรชนี NDVI 3 แปลงตัวอย่าง เท่ากับ 0.304488, 0.286374 และ 0.18953

จากการสำรวจพื้นที่สรุปได้ว่าบริเวณพื้นที่การเกษตรที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว และไม่มีพืชชนิดอื่นขึ้นอยู่หรือมีเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงถึงความแห้งแล้ง รวมทั้งบริเวณที่มีการเผาตอซังและพื้นดินแห้งจะมีค่าดัชนี NDVI ต่ำ สำหรับบริเวณพื้นที่การเกษตรที่มีหญ้าหรือพืชชนิดอื่นขึ้นอยู่ร่วมกับตอซังที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวข้าวจะมีค่าดัชนี NDVI ที่สูงกว่าพื้นที่การเกษตรที่มีเฉพาะตอซังไม่มีพืชขึ้นอยู่

การสำรวจในเดือนกุมภาพันธ์บริเวณจังหวัดพิจิตร มีการสำรวจ 2 จุดและพบว่ามีความแห้งแล้งเกิดขึ้นโดยสังเกตจากสภาพพื้นที่นาข้าวที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วและไม่ได้ทำการเกษตรต่อเนื่อง แต่มีพืชชนิดอื่นหรือข้าวที่งอกจากเมล็ดที่หลงเหลือจากการเก็บเกี่ยวเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย สำหรับจังหวัดพิษณุโลก มีการสำรวจ 2 จุดเป็นพื้นที่นาที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว มีทั้งจุดสำรวจที่มีหญ้าขึ้นอยู่ด้วย กับจุดสำรวจที่ไม่มีพืชอื่นขึ้นอยู่ซึ่งแสดงว่ามีความแห้งแล้ง สำหรับจังหวัดสุโขทัยได้สำรวจ 1 จุดเป็นพื้นที่เพาะปลูกอ้อยที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว และมีแปลงที่เหลือตอเริ่มเจริญเติบโตใหม่ สำหรับการสำรวจในเดือนมีนาคมบริเวณจังหวัดอุดรธานีได้สำรวจ 1 จุดเป็นพื้นที่นาที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วและมีการเผาตอซังซึ่งทำให้พื้นดินมีความชื้นลดลง และพื้นที่นานั้นก็ไม่มีพืชขึ้นอยู่ ซึ่งแสดงว่าหลังจากเผาตอซังแล้วพื้นดินไม่ได้รับความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้นจนเพียงพอที่พืชจะงอกและเจริญเติบโตได้ ซึ่งแสดงถึงความแห้งแล้ง สำหรับบริเวณจังหวัดพะเยามีการสำรวจใน 7 จุด พบว่าจุดสำรวจที่เป็นพื้นที่นาที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วและมีการเผาตอซัง แต่ก็ยังมีหญ้าและพืชอื่นขึ้นอยู่ด้วย ซึ่งแสดงว่าไม่แห้งแล้ง นอกจากนี้ยังมีจุดสำรวจที่มีหญ้าขึ้นอยู่เพียงเล็กน้อยซึ่งแสดงว่ามีความแห้งแล้งแต่ไม่มาก สำหรับจังหวัดเชียงรายได้สำรวจ 1 จุดเป็นพื้นที่นาที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว มีหญ้าขึ้นอยู่มาก ซึ่งแสดงว่าไม่แห้งแล้ง ส่วนจังหวัดเชียงใหม่ทำการสำรวจ 2 จุด ซึ่งจุดสำรวจที่ 1 เป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ มีหญ้าต้นเตี้ยและมีพืชอื่นขึ้นอยู่ด้วย และจุดสำรวจที่ 2 เป็นพื้นที่นาเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วมีหญ้าขึ้นอยู่ อย่างไรก็ตามการสำรวจภาคสนามในที่นี่แม้ว่าจะเลือกอำเภอที่มีรายงานสถานการณ์ภัยแล้งจากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย แต่เป็นการสุ่มสำรวจเพียงบางพื้นที่ของอำเภอ ดังนั้นพื้นที่บริเวณจุดสำรวจแสดงว่าไม่มีความแห้งแล้งก็ไม่สามารถสรุปได้ว่าในอำเภอนั้นไม่มีพื้นที่ความแห้งแล้ง

สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat และค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI จากการตรวจวัดภาคสนามด้วยเครื่องมือ Spectroradiometer ของแปลงตัวอย่างจำนวน 38 แปลง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.22-0.55 และ 0.05-0.49 ตามลำดับ ผลลัพธ์ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.73 และมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงและมีทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ และแปลผลได้ว่าสภาวะพืชในความหมายของดัชนี NDVI ที่ตรวจวัดในระดับสนามมีความสอดคล้องกับดัชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat ซึ่งมีรายละเอียดเชิงพื้นที่น้อยกว่า สำหรับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat และจากการตรวจวัดภาคสนามของแปลงตัวอย่างแสดงในภาพ 32



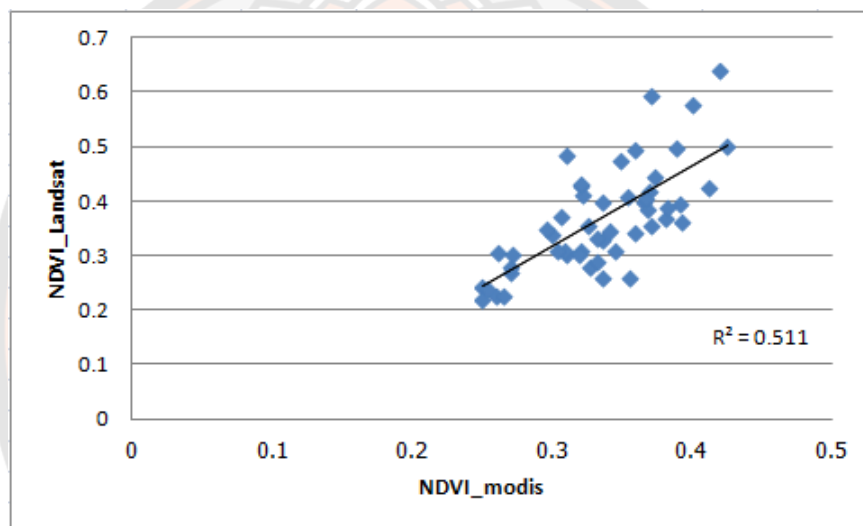
ภาพ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยตรรชนี NDVI จากข้อมูลดาวเทียม Landsat กับค่าเฉลี่ยตรรชนี NDVI จากข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามของแปลงตัวอย่าง

4.11 ผลการตรวจสอบตรรชนี NDVI ของดาวเทียม Terra (MODIS) กับดาวเทียม Landsat ในระดับจุดภาพบริเวณสำรวจภาคสนาม

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบตรรชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) กับตรรชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat ในระดับจุดภาพ ซึ่งมีความละเอียดของพื้นที่การตรวจสอบมากกว่าที่ได้ดำเนินการในขั้นตอนที่ผ่านมาในระดับอำเภอ โดยข้อมูลที่ใช้เป็นค่าตรรชนี NDVI รายวันบริเวณพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม ในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน 2559 ซึ่งเป็นกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ สำหรับข้อมูลตรรชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat เป็นข้อมูลของวันที่ 15 กุมภาพันธ์ และวันที่ 3 และ 10 เมษายน 2559 ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลในขั้นตอนที่ผ่านมา และเนื่องจากไม่มีข้อมูลตรรชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) ที่ครอบคลุมจุดสำรวจตรงกับวันที่มีข้อมูลจากดาวเทียม Landsat ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลในวันที่ใกล้เคียง คือ วันที่ 16 กุมภาพันธ์ และวันที่ 4 และ 11 เมษายน 2559 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างค่าจุดภาพของตรรชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่สำรวจ กับค่าเฉลี่ยตรรชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat ในพื้นที่เดียวกันกับจุดภาพของดาวเทียม Terra (MODIS) มีจำนวนข้อมูล 51 ค่า โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-0.43 และ 0.22-0.64 ตามลำดับ ผลลัพธ์ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.511 และมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงและมีทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับกราฟแสดง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจุดภาพของดัชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) กับค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat ในพื้นที่เดียวกัน แสดงในภาพ 33 และแปลความหมายได้ว่าค่าดัชนี NDVI ซึ่งทำการตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ที่ต่างกันคือ รายละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตร ของดาวเทียม Terra (MODIS) และรายละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร ของดาวเทียม Landsat ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันได้ค่าดัชนี NDVI สอดคล้องกัน ซึ่งนอกจากเป็นการสนับสนุนผลลัพธ์ของขั้นตอนที่ผ่านมาที่แสดงว่าการนำข้อมูลจากดาวเทียม Terra (MODIS) มาประมาณค่าดัชนี VCI สามารถแสดงถึงความแห้งแล้งในระดับอำเภอแล้ว ยังสรุปว่ามีความสอดคล้องกับสภาวะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในระดับสนามด้วย



ภาพ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจุดภาพของดัชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) กับค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat ในพื้นที่เดียวกัน

4.12 การเปรียบเทียบดัชนี PDI กับดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ในเชิงพื้นที่

การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี PDI และดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ในเชิงพื้นที่ระหว่างเดือนมีนาคม-เมษายน 2559 ซึ่งตรงกับสถานการณ์เอลนีโญ ได้ดำเนินการโดยนำค่าดัชนีความแห้งแล้งซึ่งคำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 10 สถานีในภาคเหนือซึ่งเป็นชนิดข้อมูลจุดมาแปลงเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้เทคนิควิธี Inverse Distance Weighting (IDW) ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และจัดทำในรูปแบบที่

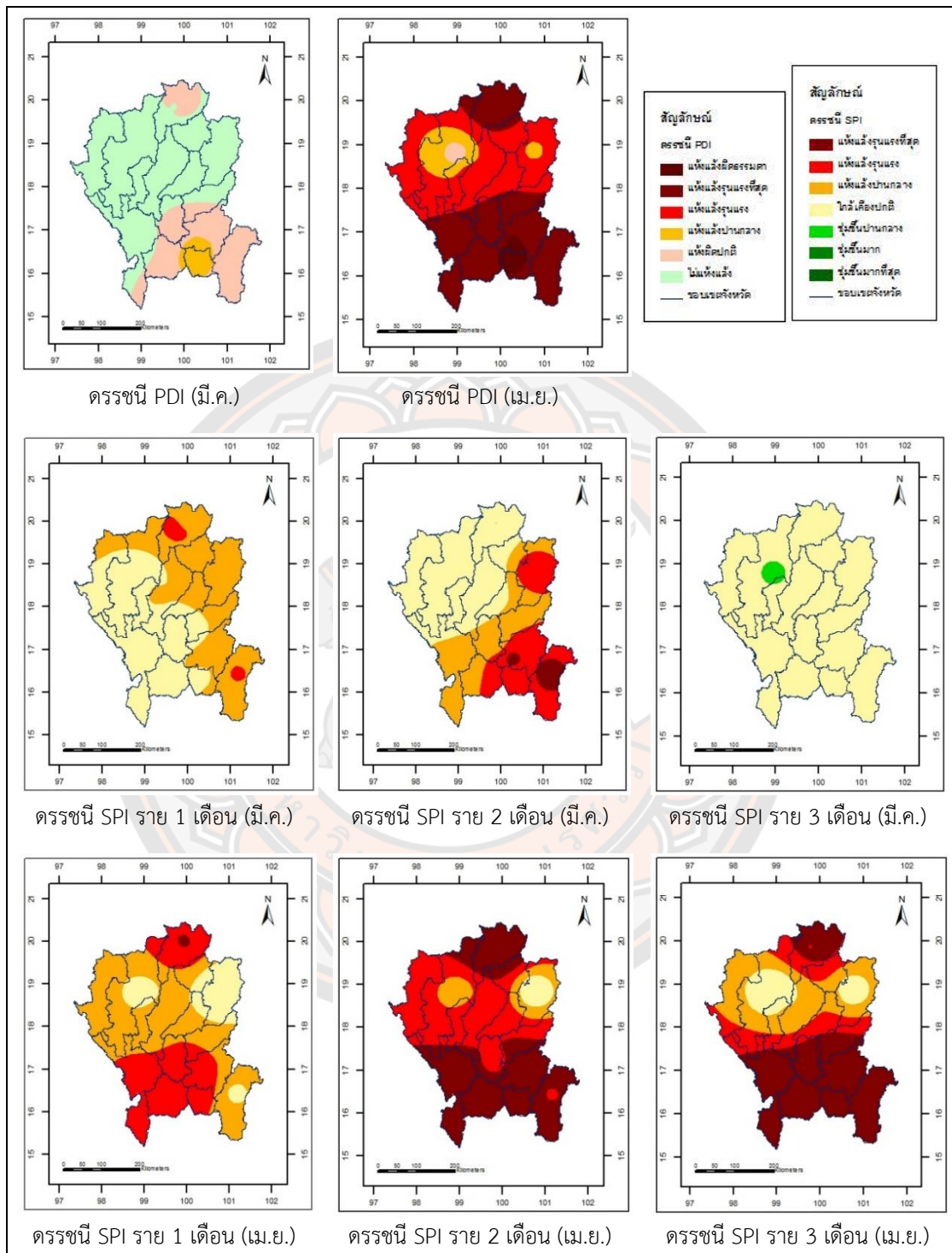
เนื่องจากระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งในแต่ละดัชนีมีจำนวนที่ต่างกัน กล่าวคือ ดัชนี SPI , Deciles, MAI และ PDSI มีระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งจำนวน

เท่ากับ 7, 5, 5 และ 11 ระดับตามลำดับ สำหรับดัชนี PDI มีระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งจำนวน 5 ระดับและจำแนกเฉพาะกรณีแห้งแล้งเท่านั้นโดยไม่มีกรณีชุ่มชื้นดังเช่นดัชนีอื่น ดังนั้น ค่าดัชนี PDI ที่ไม่เข้าอยู่ในเกณฑ์ระดับความแห้งแล้งต่างๆ จึงได้ระบุว่าไม่แห้งแล้ง รวมทั้งการเปรียบเทียบความแห้งแล้งจะทำในภาพรวมโดยระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งของดัชนีต่างๆ ที่มีความหมายใกล้เคียงกันจะเปรียบเทียบในระดับเดียวกัน และประยุกต์ระดับความแห้งแล้งของดัชนี PDI ซึ่งมี 5 ระดับ โดยในที่นี้จะเปรียบเทียบใน 4 ระดับ โดยรวมระดับแห้งแล้งรุนแรงที่สุดและแห้งแล้งผิวดรรมาเข้าด้วยกัน เนื่องจากดัชนีอื่นไม่มีระดับแห้งแล้งผิวดรรมา ดังนี้ 1) แห้งผิวดกตี รวมถึงเริ่มแห้งแล้งหรือแห้งแล้งเล็กน้อย 2) แห้งแล้งปานกลาง 3) แห้งแล้งรุนแรง และ 4) แห้งแล้งรุนแรงที่สุด รวมถึงแห้งแล้งผิวดรรมา ซึ่งการเปรียบเทียบดัชนี PDI กับดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ในแต่ละดัชนีและแต่ละเดือนที่ตรงกัน ดังนี้

4.12.1 การเปรียบเทียบดัชนี PDI กับดัชนี SPI

แผนที่แสดงดัชนี PDI ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 กับแผนที่แสดงดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 ได้นำเสนอในภาพ 34 โดยดัชนี PDI แสดงว่าในเดือนมีนาคมจังหวัดพิจิตรมีความแห้งแล้งปานกลาง และทางตอนล่างของภาคบริเวณจังหวัดกำแพงเพชร สุโขทัย พิษณุโลก และเพชรบูรณ์ รวมทั้งทางตอนบนของจังหวัดเชียงรายมีความแห้งผิวดกตี และในเดือนเมษายนทางตอนล่างของภาคและบริเวณจังหวัดเชียงรายมีความแห้งแล้งรุนแรงที่สุดถึงแห้งแล้งผิวดรรมา โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ทางตอนบนของภาคมีความแห้งแล้งรุนแรงเว้นแต่ตอนกลางของจังหวัดเชียงใหม่ และบางพื้นที่ของจังหวัดน่านมีความแห้งผิวดกตีถึงแห้งแล้งปานกลาง

สำหรับดัชนี SPI เป็นดัชนีความแห้งแล้งที่ประมาณค่าจากปริมาณฝนที่ตกในช่วงเวลาที่สนใจมาแปลงเป็นค่าดัชนี โดยยึดหลักของความน่าจะเป็นของปริมาณฝนจากข้อมูลฝนในอดีตของสถานที่นั้น ซึ่งจากแผนที่แสดงดัชนี SPI ราย 1 เดือนพบว่าในเดือนมีนาคมมีพื้นที่ความแห้งแล้งรุนแรงในบางพื้นที่ของจังหวัดเชียงรายและเพชรบูรณ์ ส่วนพื้นที่ความแห้งแล้งปานกลางอยู่บริเวณตอนบนสุดของจังหวัดแม่ฮ่องสอนและเชียงใหม่ และทางด้านตะวันออกของภาค เว้นแต่จังหวัดสุโขทัยและพิจิตร และหลายพื้นที่ทางตะวันตกของภาคไม่มีความแห้งแล้ง เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนี PDI ในเดือนเดียวกันจะมีพื้นที่ความแห้งแล้งตรงกันในจังหวัดเชียงราย พิษณุโลก และเพชรบูรณ์เท่านั้น แต่ระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งของดัชนี PDI อยู่ในระดับที่น้อยกว่าสำหรับเดือนเมษายนดัชนี SPI ราย 1 เดือนมีพื้นที่แห้งแล้งรุนแรงที่สุดในบางพื้นที่ทางตอนบนของจังหวัดเชียงราย และมีพื้นที่แห้งแล้งรุนแรงบริเวณจังหวัดเชียงรายและทางตอนล่างของภาค



ภาพ 34 ดรชนี PDI ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 กับ
 ดรชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559

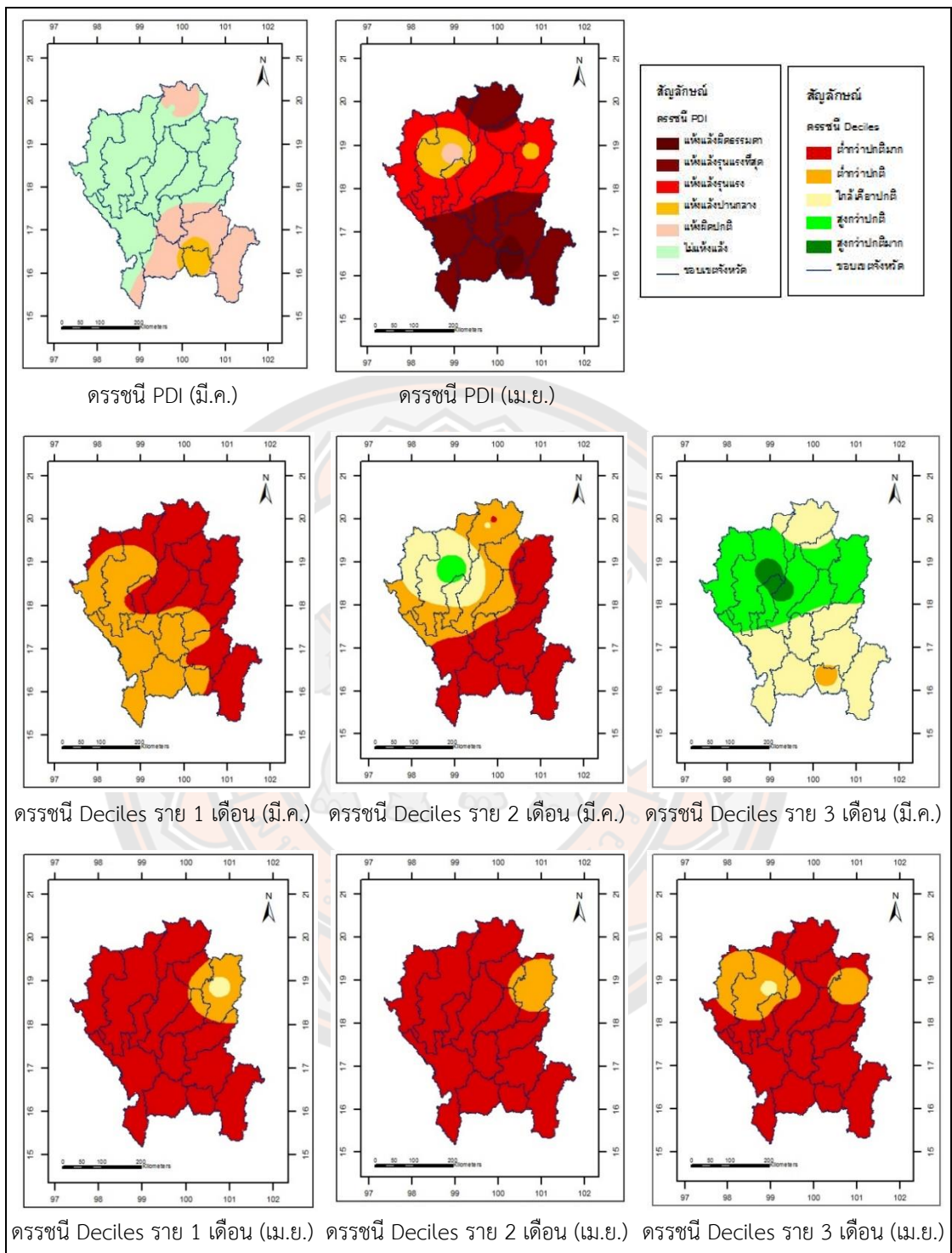
บริเวณจังหวัด ตาก สุโขทัย พิษณุโลก กำแพงเพชร และพิจิตร สำหรับพื้นที่ที่เหลือส่วนใหญ่แห่งแล้ง ปานกลาง เว้นแต่จังหวัดน่าน และบางพื้นที่ของจังหวัดเชียงใหม่และเพชรบูรณ์ไม่มีความแห้งแล้ง เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนี PDI ในเดือนเมษายนที่ส่วนมากจะมีความรุนแรงอยู่ในระดับแห้งแล้งรุนแรงถึง รุนแรงที่สุด ส่วนดัชนี SPI ราย 1 เดือนอยู่ในระดับแห้งแล้งปานกลางถึงรุนแรง โดยพื้นที่ที่มีความ แห้งแล้งรุนแรงทั้งหมดจากแผนที่แสดงดัชนี SPI จะเป็นบริเวณที่อยู่ในขอบเขตของพื้นที่รุนแรง ที่สุดถึงขีดธรรมดาในแผนที่แสดงดัชนี PDI

เมื่อเปรียบเทียบดัชนี SPI ราย 2 เดือนกับดัชนี PDI ในเดือนมีนาคมพบว่าพื้นที่ที่มี ความแห้งแล้งทางตอนล่างของภาคทั้งหมดในแผนที่แสดงดัชนี PDI จะอยู่ในขอบเขตของพื้นที่ที่มี ความแห้งแล้งในแผนที่แสดงดัชนี SPI ราย 2 เดือน แต่ดัชนี SPI ราย 2 เดือนมีระดับความ รุนแรงของความแห้งแล้งมากกว่า สำหรับการเปรียบเทียบดัชนี SPI ราย 2 เดือนกับดัชนี PDI ใน เดือนเมษายน พบว่าส่วนใหญ่ทั้งพื้นที่และระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งตรงกัน เว้นแต่บริเวณ จังหวัดสุโขทัยที่ดัชนี PDI แสดงว่ามีความแห้งแล้งรุนแรงที่สุด ส่วนดัชนี SPI ราย 2 เดือนแสดง ว่ามีความแห้งแล้งรุนแรง และบริเวณจังหวัดน่านที่ดัชนี PDI แสดงว่ามีความแห้งแล้งปานกลางถึง รุนแรง ส่วนดัชนี SPI ราย 2 เดือนแสดงว่าอยู่ในระดับใกล้เคียงปกติถึงแห้งแล้งปานกลาง

สำหรับดัชนี SPI ราย 3 เดือนแสดงว่าในเดือนมีนาคมไม่มีความแห้งแล้งเกิดขึ้นใน ภาคเหนือ และเดือนเมษายนมีความแห้งแล้งเกิดขึ้นในหลายพื้นที่ และเมื่อเปรียบเทียบดัชนี SPI ราย 3 เดือนกับดัชนี PDI ในเดือนเมษายนพบว่ามีพื้นที่ความแห้งแล้งรุนแรงที่สุดตรงกัน ส่วนใน พื้นที่ที่เหลือซึ่งไม่อยู่ในระดับของความแห้งแล้งรุนแรงที่สุดในแผนที่แสดงดัชนี SPI ราย 3 เดือนนั้น พบว่าพื้นที่ดังกล่าวในแผนที่แสดงดัชนี PDI มีระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งมากกว่าในแผนที่ แสดงดัชนี SPI ราย 3 เดือน

4.12.2 การเปรียบเทียบดัชนี PDI กับดัชนี Deciles

ดัชนี Deciles เป็นดัชนีความแห้งแล้งที่ประมาณค่าจากปริมาณฝน โดย เปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ได้ถูกบันทึกในช่วงเวลาที่ยาวนานในอดีต ซึ่งแผนที่แสดงดัชนี PDI ของ เดือนมีนาคมและเมษายน 2559 กับแผนที่แสดงดัชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือนของเดือน มีนาคมและเมษายน 2559 ได้นำเสนอในภาพ 35 โดยดัชนี Deciles ราย 1 เดือนแสดงว่าในเดือน มีนาคมทั่วทั้งภาคมีฝนต่ำกว่าปกติ และทางตอนบนของภาคโดยเฉพาะด้านตะวันออกมีฝนต่ำกว่าปกติ มาก เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนี PDI พบว่าในพื้นที่ทางตอนบนของภาคแม้ว่าดัชนี Deciles ราย 1



ภาพ 35 ดรรชนี PDI ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 กับ
 ดรรชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559

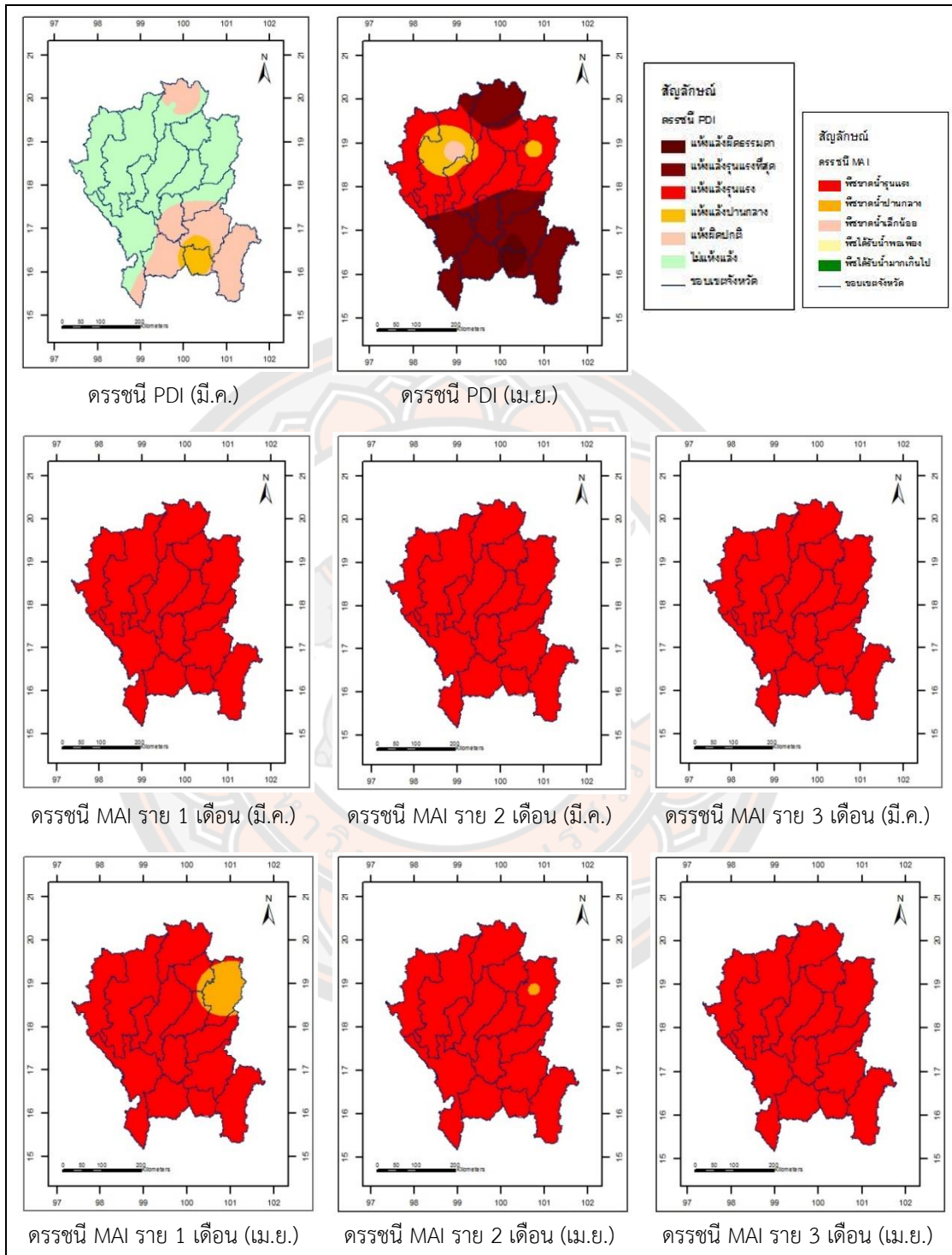
เดือนแสดงว่ามีฝนต่ำกว่าปกติถึงต่ำกว่าปกติมาก แต่ในแผนที่ดรชนี PDI แสดงว่าเกือบทั้งพื้นที่ตอนบนของภาคก็ยังไม่มีความแห้งแล้ง ส่วนเดือนเมษายนดรชนี Deciles ราย 1 เดือนแสดงว่าพื้นที่ส่วนมากมีฝนต่ำกว่าปกติมาก เว้นแต่จังหวัดน่านซึ่งอยู่ในระดับของใกล้เคียงปกติถึงต่ำกว่าปกติ สำหรับแผนที่แสดงดรชนี PDI ในเดือนเมษายนพื้นที่ซึ่งมีความแห้งแล้งน้อยกว่าบริเวณอื่นโดยอยู่ในระดับแห้งผิดปกติถึงแห้งปานกลางอยู่ในบางพื้นที่ของจังหวัดน่านและเชียงใหม่ที่สอดคล้องกับแผนที่แสดงดรชนี Deciles ราย 1 เดือนเฉพาะในพื้นที่จังหวัดน่านที่มีฝนอยู่ในระดับใกล้เคียงปกติ นอกจากนี้ยังพบว่าในพื้นที่ซึ่งแผนที่แสดงดรชนี Deciles ราย 1 เดือนระบุว่าฝนต่ำกว่าปกติมาก แต่แผนที่แสดงดรชนี PDI ในบริเวณพื้นที่เดียวกันมีรุนแรงของความแห้งแล้งตั้งแต่ระดับแห้งปกติถึงแห้งผิดปกติ

สำหรับดรชนี Deciles ราย 2 เดือนแสดงว่าในเดือนมีนาคมทางตอนล่างของภาคมีฝนต่ำกว่าปกติมาก ส่วนทางตอนบนของภาคนั้นในด้านตะวันออกมีฝนอยู่ในระดับต่ำกว่าปกติถึงต่ำกว่าปกติมากและด้านตะวันตกส่วนใหญ่มีฝนใกล้เคียงปกติถึงสูงกว่าปกติ เมื่อเปรียบเทียบดรชนี Deciles ราย 2 เดือนกับดรชนี PDI พบว่าพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งรุนแรงที่สุดถึงแห้งผิดปกติทางตอนล่างของภาคทั้งหมดในแผนที่แสดงดรชนี PDI จะอยู่ในขอบเขตของพื้นที่มีฝนต่ำกว่าปกติมากในแผนที่แสดงดรชนี Deciles ราย 2 เดือน ส่วนในเดือนเมษายนดรชนี Deciles ราย 2 เดือนแสดงว่าพื้นที่ส่วนมากมีฝนต่ำกว่าปกติมากเช่นเดียวกับดรชนี Deciles ราย 1 เดือน เว้นแต่จังหวัดน่านซึ่งมีฝนอยู่ในระดับต่ำกว่าปกติ เมื่อเปรียบเทียบดรชนี Deciles ราย 2 เดือนกับดรชนี PDI ในกรณีพื้นที่ซึ่งแห้งแล้งน้อยกว่าบริเวณอื่น จะเป็นลักษณะเดียวกับการเปรียบเทียบข้างต้นของดรชนี Deciles ราย 1 เดือนกับดรชนี PDI ที่สอดคล้องเฉพาะในพื้นที่จังหวัดน่านเท่านั้น

ส่วนดรชนี Deciles ราย 3 เดือนแสดงว่าในเดือนมีนาคมทางตอนล่างของภาคมีฝนอยู่ในระดับใกล้เคียงปกติ ยกเว้นบริเวณจังหวัดพิจิตรมีฝนต่ำกว่าปกติ สำหรับทางตอนบนของภาคพื้นที่ส่วนใหญ่มีฝนสูงกว่าปกติถึงสูงกว่าปกติมาก เว้นแต่จังหวัดเชียงใหม่ที่มีฝนใกล้เคียงปกติ เมื่อเปรียบเทียบดรชนี Deciles ราย 3 เดือนกับดรชนี PDI พบว่าบริเวณจังหวัดพิจิตรที่ดรชนี Deciles ราย 3 เดือนแสดงว่ามีฝนต่ำกว่าปกติสอดคล้องกับดรชนี PDI ที่มีความแห้งแล้งปานกลางสำหรับบริเวณตอนบนของภาคในพื้นที่ซึ่งดรชนี Deciles ราย 3 เดือนแสดงว่ามีฝนสูงกว่าปกติถึงสูงกว่าปกติมากนั้นอยู่ในขอบเขตบริเวณพื้นที่ไม่มีความแห้งแล้งในแผนที่ดรชนี PDI สำหรับการเปรียบเทียบดรชนี Deciles ราย 3 เดือนกับดรชนี PDI ในเดือนเมษายนพบว่าพื้นที่ที่มีความรุนแรงของความแห้งแล้งน้อยกว่าบริเวณอื่นซึ่งอยู่ในระดับแห้งผิดปกติถึงแห้งปานกลางในแผนที่แสดงดรชนี PDI จะอยู่ในขอบเขตของพื้นที่ที่มีฝนในระดับที่น้อยกว่าบริเวณอื่นเช่นเดียวกันในแผนที่แสดงดรชนี Deciles ราย 3 เดือนซึ่งมีระดับใกล้เคียงปกติถึงต่ำกว่าปกติ

4.12.3 การเปรียบเทียบดรชนี PDI กับดรชนี MAI

ดรชนี MAI เป็นดรชนีประมาณค่าโดยใช้หลักสัดส่วนของปริมาณฝนและความต้องการน้ำของพืช ซึ่งแผนที่แสดงดรชนี PDI ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 กับดรชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 นำเสนอในภาพ 36 โดยดรชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคมแสดงว่าทั่วทั้งภาคเหนือมีค่าอยู่ในระดับพืชขาดน้ำรุนแรง ซึ่งแตกต่างกับดรชนี PDI ในเดือนเดียวกันที่แสดงว่ามีความแห้งผกติดถึงแห้งแล้งปานกลางบริเวณตอนบนของจังหวัดเชียงราย และพื้นที่ส่วนใหญ่ทางตอนล่างของภาคเท่านั้น ส่วนในเดือนเมษายนดรชนี MAI ราย 1 เดือนแสดงว่าเกือบทั่วทั้งภาคมีค่าอยู่ในระดับพืชขาดน้ำรุนแรง เว้นแต่จังหวัดน่านที่พืชขาดน้ำปานกลาง สำหรับดรชนี MAI ราย 2 เดือนก็เช่นเดียวกันกับ MAI ราย 1 เดือนที่เกือบทั่วทั้งภาคมีค่าอยู่ในระดับพืชขาดน้ำรุนแรง เว้นแต่มีเพียงบางพื้นที่ของจังหวัดน่านที่พืชขาดน้ำปานกลาง ส่วนดรชนี MAI ราย 3 เดือนแสดงว่าทั่วทั้งภาคเหนือมีค่าอยู่ในระดับพืชขาดน้ำรุนแรง เมื่อเปรียบเทียบกับดรชนี PDI ในเดือนเมษายนที่แสดงถึงการแยกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งในพื้นที่ต่างๆ ถึง 5 ระดับตั้งแต่แห้งผกติดจนถึงแห้งแล้งผดธรรมดา ซึ่งแตกต่างกับดรชนี MAI ซึ่งมีความแห้งแล้งใน 2 ระดับคือพืชขาดน้ำปานกลางถึงพืชขาดน้ำรุนแรง และพบว่ามีความสอดคล้องกันของบริเวณที่มีความแห้งแล้งปานกลางในแผนที่แสดงดรชนี PDI ซึ่งอยู่ในบางพื้นที่ของจังหวัดน่านนั้น ในแผนที่แสดงดรชนี MAI ราย 1 และ 2 เดือนจะเป็นพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งน้อยกว่าบริเวณอื่นโดยมีความรุนแรงในระดับพืชขาดน้ำปานกลาง

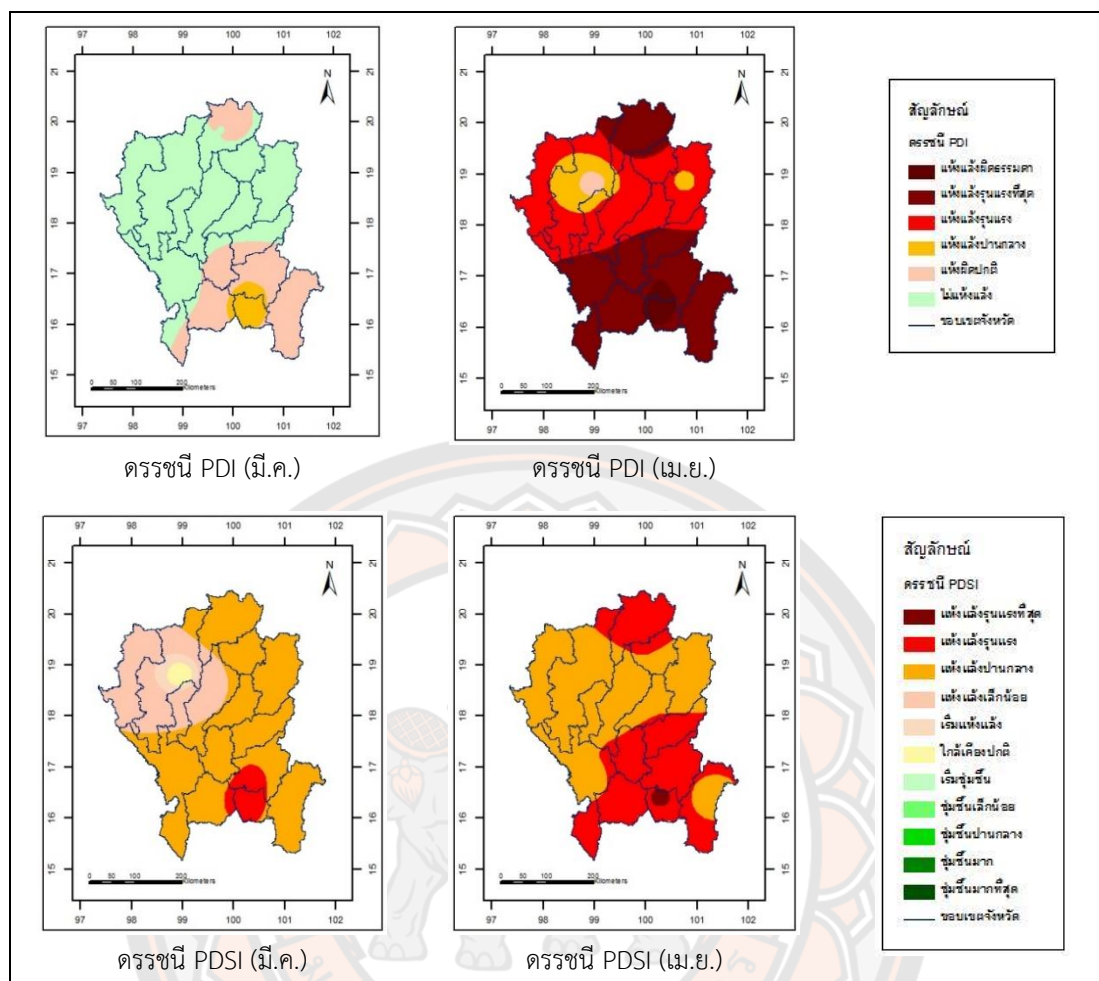


ภาพ 36 ดรชนี PDI ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 กับ
 ดรชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือนของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559

4.12.4 การเปรียบเทียบดัชนี PDI กับดัชนี PDSI

สำหรับดัชนี PDSI เป็นดัชนีความแห้งแล้งที่ประมาณค่าโดยใช้หลักแนวคิดเรื่องอุปสงค์และอุปทานของสมการสมดุลน้ำ ซึ่งแผนที่แสดงดัชนี PDI และ PDSI ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 นำเสนอในภาพ 37 โดยดัชนี PDSI ในเดือนมีนาคมแสดงว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ โดยเฉพาะทางตอนล่างของภาคและด้านตะวันออกทางตอนบนของภาคมีความแห้งแล้งปานกลาง เว้นแต่บริเวณจังหวัดพิจิตรและบางพื้นที่ของจังหวัดพิษณุโลกมีความแห้งแล้งรุนแรง ส่วนด้านตะวันตกทางตอนบนของภาคมีระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งน้อยกว่าบริเวณอื่นโดยอยู่ในระดับใกล้เคียงปกติจนถึงแห้งเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบดัชนี PDSI กับดัชนี PDI พบว่าแผนที่แสดงดัชนี PDSI มีระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งมากกว่า แต่ว่ามีพื้นที่สอดคล้องกันกล่าวคือพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งปานกลางในแผนที่แสดงดัชนี PDI จะอยู่ในขอบเขตพื้นที่ความแห้งแล้งรุนแรงในแผนที่แสดงดัชนี PDSI รวมทั้งพื้นที่แห้งผิดปกติในแผนที่แสดงดัชนี PDI จะอยู่ในขอบเขตพื้นที่ความแห้งแล้งปานกลางในแผนที่แสดงดัชนี PDSI ด้วย ส่วนเดือนเมษายนดัชนี PDSI แสดงว่ามีพื้นที่แห้งแล้งรุนแรงถึงแห้งแล้งรุนแรงที่สุดบริเวณจังหวัดเชียงรายและทางตอนล่างของภาคบริเวณจังหวัดสุโขทัย อุตรดิตถ์ พิษณุโลก กำแพงเพชร และพิจิตร รวมทั้งบางพื้นที่ของจังหวัดตากและเพชรบูรณ์ ส่วนบริเวณอื่นมีความแห้งแล้งปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบดัชนี PDSI กับดัชนี PDI ในเดือนเดียวกันพบว่าแผนที่แสดงดัชนี PDSI มีระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งน้อยกว่า แต่ก็มีพื้นที่สอดคล้องกัน กล่าวคือพื้นที่ความแห้งแล้งรุนแรงถึงแห้งแล้งรุนแรงที่สุดในแผนที่แสดงดัชนี PDSI จะอยู่ในขอบเขตพื้นที่ความแห้งแล้งรุนแรงถึงรุนแรงผิดปกติในแผนที่แสดงดัชนี PDI

การเปรียบเทียบดัชนี PDI และดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ระหว่างเดือนมีนาคม - เมษายน 2559 ในข้างต้นสรุปได้ว่า ในเดือนมีนาคมดัชนี PDI มีพื้นที่ความแห้งแล้งที่สอดคล้องเป็นส่วนใหญ่กับดัชนี SPI ราย 2 เดือน ดัชนี Deciles ราย 2 และ 3 เดือน รวมทั้งดัชนี PDSI แต่มีระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งแตกต่างกัน โดยดัชนี PDI มีระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งน้อยกว่าดัชนีความแห้งแล้งอื่นเป็นส่วนใหญ่ เว้นแต่ดัชนี Deciles ราย 3 เดือนมีระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งน้อยกว่าดัชนี PDI สำหรับในเดือนเมษายนดัชนี PDI มีพื้นที่ความแห้งแล้งที่สอดคล้องเป็นส่วนใหญ่กับดัชนี SPI ราย 2 และ 3 เดือน ดัชนี Deciles ราย 3 เดือน และดัชนี PDSI รวมทั้งมีระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งใกล้เคียงกับดัชนี SPI ราย 2 เดือน และเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีความแห้งแล้งอื่นพบว่าดัชนี PDI มีระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งมากกว่า นอกจากนี้การจำแนกระดับความรุนแรงในกรณีของความแห้งแล้งของดัชนี PDI มี 5 ระดับจึงทำให้เห็นความแตกต่างของความแห้งแล้งในพื้นที่ต่างๆ ได้ดีกว่า



ภาพ 37 ดรชนี PDI และ PDSI ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559

ดรชนี MAI และ Deciles ดังตัวอย่างของเดือนเมษายนในแผนที่แสดงดรชนี MAI บริเวณพื้นที่ที่อยู่ในระดับพืชขาดน้ำรุนแรง หรือในแผนที่แสดงดรชนี Deciles บริเวณพื้นที่ที่มีฝนต่ำกว่าปกติมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแผนที่แสดงดรชนี PDI จะพบว่าในพื้นที่เดียวกันนี้ดรชนี PDI มีการแยกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งชัดเจนซึ่งเป็นสารสนเทศที่เป็นประโยชน์มากขึ้น

บทที่ 5

บทสรุป

จากผลลัพธ์ของการศึกษาวิจัยตามขั้นตอนและวิธีการต่างๆ ดังข้างต้นที่ดำเนินการเพื่อพัฒนา ดรรชนีความแห้งแล้งแม่นยำบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยระหว่างเหตุการณ์เอลนีโญนั้น สามารถสรุปและอภิปรายผล รวมทั้งมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนา ดรรชนีความแห้งแล้งแม่นยำที่สอดคล้องกับสถานะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจริงและส่งผลกระทบต่อทางการเกษตรหรือพืชพรรณในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยได้ บูรณาการสหวิทยาการด้านอุตุนิยมวิทยาและดาวเทียม โดยใช้ข้อมูลตัวแปรอุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัด จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 10 สถานีในภาคเหนือมาคำนวณ ดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยม วิทยาต่างๆ ได้แก่ ดรรชนี SPI, Deciles และ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน และ ดรรชนี PDSI ราย เดือน เป็นจำนวนทั้งสิ้น 10 ดรรชนี และข้อมูลจากดาวเทียม Terra (MODIS) มาคำนวณ ดรรชนี VCI ซึ่งเป็น ดรรชนีบ่งบอกถึงสภาพพืชพรรณว่ามีความแตกต่างจากสภาพต่ำสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีตของ พื้นที่นั้นอย่างไรและสามารถแสดงถึงความแห้งแล้งของพื้นที่ สำหรับการพัฒนาระบบ ดรรชนีความ แห้งแล้งแม่นยำ (PDI) ได้ใช้ข้อมูล ดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ และ ดรรชนี VCI ระหว่าง พ.ศ. 2543-2557 เฉพาะช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน และ พฤศจิกายน-ธันวาคม มาจำแนกในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ โดยกำหนดช่วงเวลาที่ มีเหตุการณ์ดังกล่าวจาก ดรรชนี ONI ส่วนวิธีพัฒนาระบบ ดรรชนี PDI ใช้เทคนิควิธีการทางสถิติของ การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณดังที่ได้มีแนวทางการศึกษาในประเทศจีน (Wu et al. (2013), Yu et al. (2019)) โดยในที่นี้กำหนด ดรรชนี VCI เป็นตัวแปรตามและ ดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา ต่างๆ ที่นำมาศึกษาเป็นตัวแปรอิสระ และมีการดำเนินการใน 2 ขั้นตอน สำหรับขั้นตอนแรกเป็นการ เลือกดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการพัฒนา ดรรชนี PDI ทั้งของ ภาคเหนือและแต่ละสถานี และแยกในแต่ละกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ โดยเลือกจาก ดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาที่นำมาศึกษาจำนวน 10 ดรรชนี และขั้นตอนที่ 2 เป็นการ สร้างระบบ ดรรชนี PDI โดยใช้ ดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาที่ถูกเลือกในขั้นตอนแรกและมีการ กำหนดเงื่อนไข ดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาแต่ละตัวเฉพาะค่าที่อยู่ในช่วงระดับ ใกล้เคียงค่าปกติเป็นต้นไปจนถึงแห้งแล้งรุนแรงที่สุด ผลลัพธ์ได้รูปแบบระบบ ดรรชนี PDI ของ

ภาคเหนือในแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.604, 0.311 และ 0.343 ตามลำดับ ดังนี้

$$\text{เอลนีโญ} \quad PDI = 24.729 + 5.252Deciles3m + 5.899PDSI \quad (5.1)$$

$$\text{ลานีญา} \quad PDI = 56.762 + 12.279SPI2m \quad (5.2)$$

$$\text{ปกติ} \quad PDI = 20.263 + 5.31Deciles2m - 10.047SPI1m \quad (5.3)$$

รวมทั้งได้รูปแบบสมการดรชนี PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ โดยในเหตุการณ์เอลนีโญได้รูปแบบของสมการจำนวน 7 สถานี เหตุการณ์ลานีญาได้รูปแบบของสมการจำนวน 3 สถานี และเหตุการณ์ปกติได้รูปแบบของสมการจำนวน 8 สถานี สำหรับรูปแบบของสมการดรชนี PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา และค่า R^2 ในเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ แสดงในตารางที่ 23 - 25

การตรวจสอบความถูกต้องของสมการดรชนี PDI ใช้ข้อมูลระหว่าง พ.ศ. 2558-2559 ช่วงเดือนมกราคม-เมษายน และพฤศจิกายน-ธันวาคม ซึ่งมีเฉพาะเหตุการณ์เอลนีโญและลานีญาเท่านั้น โดยเปรียบเทียบค่าดรชนี PDI ที่ได้จากสมการของภาคเหนือและสมการของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา กับค่าดรชนี VCI ด้วยวิธีการทางสถิติของ RMSE และ MBE พบว่าค่า RMSE อยู่ระหว่าง 2.47-34.97 และส่วนใหญ่มีค่า RMSE ต่ำกว่า 20 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อพิจารณาการจำแนกระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งด้วยดรชนี VCI และ PDI ซึ่งกำหนดเกณฑ์ที่จะเกิดความแห้งแล้งเมื่อค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 และแบ่งค่าเป็นช่วงเท่าๆ กันที่มีความกว้างเท่ากับ 8 เป็นระดับความรุนแรง 5 ระดับ (Yagei et al, 2011) แล้ว ดังนั้นถ้ามีความแห้งแล้งในระดับแห้งแล้งรุนแรงที่สุด (Extreme drought) ถึงแห้งแล้งพิศดาร (Exceptional drought) เกิดขึ้น แม้ว่าค่าดรชนี PDI ที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 24 ก็ยังคงแสดงว่ามีความแห้งแล้งเกิดขึ้นจริงแต่จะอยู่ในระดับความรุนแรงที่แตกต่างออกไป ส่วนการเปรียบเทียบค่า RMSE ในสถานีที่มีสมการทั้ง 2 รูปแบบทั้งกรณีเหตุการณ์เอลนีโญและลานีญาจำนวน 7 และ 3 สถานี ตามลำดับ พบว่าในเหตุการณ์เอลนีโญวิธีการประมาณค่าดรชนี PDI ด้วยสมการของภาคเหนือได้ผลลัพธ์ที่มีค่า RMSE ต่ำกว่าเป็นส่วนมาก ส่วนเหตุการณ์ลานีญาพบว่าการประมาณค่าดรชนี PDI ด้วยสมการของแต่ละสถานีได้ผลลัพธ์ที่มีค่า RMSE ต่ำกว่าเป็นส่วนมาก สำหรับการตรวจสอบความแห้งแล้งของดรชนี VCI จากดาวเทียม Terra (MODIS) ในระดับอำเภอพบว่ามีสอดคล้องกับรายงานการเกิดสถานการณ์ภัยแล้งจากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

การตรวจสอบความสมเหตุสมผลโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดรชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) รายละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตร กับดรชนี NDVI จากดาวเทียม Landsat

รายละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร แสดงว่ามีความสัมพันธ์ในระดับสูง ทำให้เห็นในภาพรวมระดับอำเภอ ว่าดัชนี VCI จากดาวเทียม Terra (MODIS) มีความสอดคล้องกับความแห้งแล้งในพื้นที่ สำหรับการตรวจสอบดัชนี NDVI ที่ได้จากดาวเทียม Landsat กับการสำรวจภาคสนาม และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนี NDVI จากดาวเทียม Terra (MODIS) กับดาวเทียม Landsat ในระดับจุดภาพบริเวณสำรวจภาคสนาม แสดงว่ามีความสัมพันธ์ในระดับสูง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สนับสนุนการตรวจสอบในภาพรวมข้างต้นว่าสภาพพืชพรรณที่บ่งชี้ถึงความแห้งแล้งด้วยวิธีของดัชนี VCI สอดคล้องกับสภาวะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ และการนำดัชนี VCI มาใช้ในการพัฒนา ดัชนี PDI ของภาคเหนือโดยวิธีการหาความสัมพันธ์กับดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมหาวิทยาลัย รูปแบบต่างๆ เป็นวิธีการและเทคนิคที่เหมาะสม

การเปรียบเทียบดัชนี PDI ที่คำนวณโดยใช้สมการของภาคเหนือกับดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยต่างๆ ได้แก่ ดัชนี SPI, Deciles และ MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน และ PDSI รายเดือนในเชิงพื้นที่ระหว่างเดือนมีนาคม - เมษายน 2559 ซึ่งตรงกับสถานการณ์เอลนีโญ สรุปได้ว่า ดัชนี PDI มีพื้นที่ความแห้งแล้งที่สอดคล้องเป็นส่วนใหญ่กับดัชนี SPI ราย 2 เดือน ดัชนี Deciles ราย 3 เดือน และดัชนี PDSI รายเดือนแต่ระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งจะแตกต่างกัน นอกจากนี้การจำแนกระดับความรุนแรงในกรณีของความแห้งแล้งของดัชนี PDI มี 5 ระดับซึ่งละเอียดกว่าดัชนี MAI และ Deciles ทำให้เห็นความแตกต่างในความรุนแรงของความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่างๆ ของภาคเหนือได้ดีกว่า

การศึกษาวิจัยที่ดำเนินการมาทั้งหมดนี้เพื่อที่จะพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยขึ้นใหม่ โดยการเลือกหรือผสมผสานดัชนีความแห้งแล้งที่ใช้ในปัจจุบันให้ได้ดัชนีความแห้งแล้งแม่นยำสอดคล้องหรือบ่งบอกถึงความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อพืชพรรณในพื้นที่ศึกษา รวมทั้งเหมาะสมสำหรับแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยและข้อมูลดาวเทียม ผลลัพธ์สุดท้ายได้สมการดัชนี PDI ที่ได้พัฒนาขึ้นทั้งของภาคเหนือและของแต่ละสถานีอุตุนิยมหาวิทยาลัยในภาคเหนือ ตามแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ สามารถนำไปใช้ประยุกต์ในการปฏิบัติงานจริงได้ โดยผู้นำไปใช้สามารถเลือกสมการที่เหมาะสมตรงตามแต่ละเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติ และตรงตามพื้นที่ที่เกิดความแห้งแล้งขึ้นจริง

5.2 อภิปรายผล

การศึกษาวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลและวิธีดำเนินการกับข้อมูลหลายประเภททั้งข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัย ข้อมูลจากดาวเทียม ข้อมูลรายงานสถานการณ์ภัยแล้ง และข้อมูลการสำรวจภาคสนาม จึงมีการอภิปรายผล ดังนี้

5.2.1 ในการศึกษาี้ตามที่กำหนดใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยดรรชนี VCI จากดาวเทียม Terra (MODIS) ในรัศมี 3 กิโลเมตรรอบสถานีอุตุนิยมวิทยาเป็นตัวแทนพื้นที่แห้งแล้ง นั่นคือว่าพื้นที่ดังกล่าวเป็นตัวแทนที่ดีและเหมาะสมในระดับหนึ่ง แต่เห็นว่าเนื่องจากปัจจุบันทำเลที่ตั้งของสถานีอุตุนิยมวิทยาส่วนใหญ่อยู่ในเขตเมือง ดังนั้นในการคำนวณค่าอาจมีข้อบกพร่องที่ทำให้ความถูกต้องไม่มากเท่าที่ควร ซึ่งแตกต่างกับสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีการเกษตรกรรมจึงจะให้ความถูกต้องที่ดีกว่า

5.2.2 ข้อมูลสถานการณ์ภัยแล้งจากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยเป็นข้อมูลระดับอำเภอ ไม่ได้แสดงรายละเอียดลงถึงระดับตำบล การนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลดรรชนี VCI จากดาวเทียม Terra (MODIS) ที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตรนั้น เห็นว่าบริเวณที่มีความแห้งแล้งอาจไม่ได้เป็นตำแหน่งเดียวกันในทั้งสองข้อมูล ซึ่งถ้าเป็นข้อมูลระดับตำบลแล้วจะทำให้ได้รายละเอียดมากกว่านี้ นอกจากนี้ข้อมูลสถานการณ์ภัยแล้งดังกล่าวยังไม่ได้แสดงว่ามีระดับความแห้งแล้งมากหรือน้อยอย่างไร การศึกษาวิจัยนี้ จึงวิเคราะห์และพิจารณาได้แต่เพียงว่ามีความแห้งแล้งเกิดขึ้นหรือไม่ โดยไม่สามารถชี้เฉพาะระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นว่าอยู่ในระดับใดและไม่สามารถบ่งชี้พื้นที่ที่เกิดเฉพาะเจาะจงได้จริง

5.2.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาพัฒนาดรรชนี PDI ใช้ข้อมูลระหว่าง พ.ศ. 2543-2557 จำนวน 15 ปี และในการตรวจสอบความถูกต้องใช้ข้อมูลระหว่าง พ.ศ. 2558-2559 จำนวน 2 ปี เห็นว่ายังไม่มากเพียงพอ เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลจากดาวเทียม Terra (MODIS) ที่เริ่มมีการตรวจวัดในปี พ.ศ. 2543 หากว่าในอนาคตจะได้มีการศึกษาวิจัยในทำนองเดียวกันกับการศึกษานี้แล้ว และได้มีการรวบรวมข้อมูลจากดาวเทียม Terra (MODIS) มากขึ้นจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น

5.2.4 การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามบริเวณจังหวัดพะเยาวันที่ 27 มีนาคม 2559 พบว่ามีทั้งพื้นที่ไม่แห้งแล้งและแห้งแล้งเล็กน้อย แต่ในการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ระหว่างแผนที่แสดงดรรชนี PDI และแผนที่แสดงดรรชนีความแห้งแล้งต่างๆ ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 พบว่าแผนที่แสดงดรรชนี PDI เดือนมีนาคมบริเวณจังหวัดพะเยาไม่มีความแห้งแล้ง ส่วนเดือนเมษายนมีความแห้งแล้งรุนแรง ซึ่งการแตกต่างในแผนที่แสดงดรรชนี PDI และการสำรวจภาคสนาม อาจเนื่องมาจากในการจัดทำแผนที่แสดงดรรชนี PDI และดรรชนีความแห้งแล้งต่างๆ ใช้วิธีการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ซึ่งเป็นการประมาณค่าบริเวณที่ไม่มีข้อมูลจากตำแหน่งสถานีอุตุนิยมวิทยาที่มีข้อมูล ซึ่งเป็นเทคนิคที่ยอมรับและใช้ในปัจจุบัน แต่ต้องเข้าใจว่าอาจมีความผิดพลาดได้โดยเฉพาะบริเวณที่มีจำนวนข้อมูลน้อยหรือมีสถานีอุตุนิยมวิทยาอยู่ห่างกันมาก นอกจากนี้ยังมีข้อสังเกตถึงระยะเวลากล่าวคือแผนที่แสดงดรรชนี PDI เป็นของทั้งเดือนมีนาคม แต่ระยะเวลาในการสำรวจเป็นช่วงปลายเดือนมีนาคม และในเดือนถัดไปแผนที่แสดงดรรชนี PDI แสดงว่าบริเวณดังกล่าวมีความแห้งแล้งรุนแรง ดังนั้นถ้าได้มีการศึกษาหรือติดตามสภาวะความแห้งแล้งในอนาคต ควร

กำหนดช่วงเวลาระยะห่างของการวิเคราะห์ให้น้อยลง โดยอาจจะเป็นช่วงสัปดาห์หรือสัปดาห์ ซึ่งจะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงในความรุนแรงของความแห้งแล้งที่เพิ่มขึ้น

5.2.5 การวิเคราะห์และจัดทำแผนที่แสดงดรชนี PDI ของเดือนมีนาคมและเมษายน 2559 ใช้สมการดรชนี PDI ของภาคเหนือในกรณีเอเลนีโอ เนื่องจากสมการดรชนี PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาไม่ได้มีครบทั้ง 10 สถานี ซึ่งมีเพียง 7 สถานีเท่านั้น และในการการวิเคราะห์เชิงพื้นที่โดยใช้ข้อมูลดรชนี PDI ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 7 สถานีอาจทำให้มีความผิดพลาดของผลลัพธ์ได้ แต่สมการดรชนี PDI ของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาก็มีประโยชน์และสามารถนำไปใช้ในเรื่องที่มีความละเอียดมากขึ้นที่ไม่ได้ทำในเชิงพื้นที่ เช่น การวิเคราะห์ความแห้งแล้งของจังหวัดในเชิงเวลา

5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะที่ได้จากการดำเนินการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาดรชนี CI มีดังนี้

5.3.1 การพัฒนาดรชนี PDI ได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน แต่เนื่องจากดรชนี PDI เป็นดรชนีที่มาจากดรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในปัจจุบัน จึงสามารถนำไปใช้ในช่วงฤดูฝนได้ แต่อาจมีความถูกต้องน้อยกว่าในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน ผู้ใช้จึงควรระมัดระวังในการนำไปใช้งาน และจะเป็นการดียิ่งขึ้นถ้าในอนาคตได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนาดรชนี PDI สำหรับฤดูฝน

5.3.2 ในอนาคต หากจะมีการศึกษาเกี่ยวกับความแห้งแล้งนี้แล้ว ควรให้มีการตรวจวัดค่าความชื้นในดินอย่างต่อเนื่องในบริเวณที่มีความแห้งแล้ง ข้อมูลความชื้นในดินที่ได้จะทำให้สามารถจำแนกความรุนแรงของความแห้งแล้งได้อย่างถูกต้องและมีความชัดเจนมากขึ้น รวมทั้งสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

5.3.3 ผลลัพธ์ของการศึกษาได้ดรชนี PDI ที่สะท้อนถึงความแห้งแล้งบนพื้นดินได้อย่างชัดเจน นั้น หน่วยงานที่หน้าที่ความรับผิดชอบในเรื่องเกี่ยวกับภัยธรรมชาติ จึงควรที่จะพิจารณนำผลการศึกษานี้ไปใช้ประโยชน์ โดยทำการประมวลผลข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเพื่อให้ได้ดรชนี PDI และดรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของดรชนี PDI โดยอาจนำเสนอในรูปแบบของแผนที่แสดงดรชนีต่างๆ เหล่านี้อย่างต่อเนื่องสำหรับติดตามสภาวะความแห้งแล้ง เพื่อสนับสนุนการดำเนินงานเฉพาะหน้าในอนาคตอันใกล้ของหน่วยงาน อาทิเช่น กรมอุตุนิยมวิทยาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการให้คำแนะนำเกี่ยวกับสภาวะอากาศที่จะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรในเรื่องของความแห้งแล้ง กรมชลประทานสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่การเกษตรในเขตชลประทาน กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยสามารถเตรียมการหาน้ำ วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือในการจัดสรรน้ำเพื่อบรรเทาผลกระทบจากความแห้งแล้ง เป็นต้น

5.3.4 ดรรชนี PDI ที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ความแห้งแล้งในอนาคตระยะยาวได้ โดยนำข้อมูลผลการพยากรณ์อากาศในอนาคตจากแบบจำลองการพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลขที่มีการพยากรณ์ในช่วงเวลาเป็นเดือนหรือฤดูกาลมาคำนวณค่าดรรชนี PDI โดยเลือกใช้สมการให้ตรงกับกรณีเหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา และปกติที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ทำให้ได้ผลการพยากรณ์ความแห้งแล้งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตล่วงหน้าในระยะยาว หน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการพยากรณ์อากาศและเตือนภัยพิบัติธรรมชาติ โดยเฉพาะกรมอุตุนิยมวิทยาซึ่งมีข้อมูลการพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลขในอนาคตอยู่แล้วสามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ดรรชนีความแห้งแล้งต่างๆ และดรรชนี PDI ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง que ควรรับไว้พิจารณาดำเนินการ ซึ่งจะเป็นตัวช่วยในการสะท้อนถึงความแห้งแล้งบนพื้นดินได้อย่างชัดเจน และผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการสนับสนุนหน่วยงานต่างๆ ในการกำหนดนโยบายและวางแผนยุทธศาสตร์ในระยะยาวได้ อาทิเช่น กรมชลประทานนำไปใช้ในการบริหารจัดการน้ำ และกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยในการวางแผนเกี่ยวกับงบประมาณในการจัดหาน้ำ วัสดุ และอุปกรณ์ในการบรรเทาทุกข์ของประชาชน เป็นต้น

5.3.5 ดรรชนีความแห้งแล้งรวมเป็นเรื่องใหม่ที่มีการศึกษาไม่มากในประเทศไทย อาจเนื่องจากต้องใช้ข้อมูลและความรู้หลายด้าน เช่น ด้านอุตุนิยมวิทยา ด้านการรับรู้ระยะไกล ด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นต้น แต่ผลลัพธ์ที่ได้จะมีประโยชน์ ดังนั้นจึงควรมีการสนับสนุนให้สถาบันการศึกษา ได้มีการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้ให้มากขึ้น และได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้นสามารถนำไปสนับสนุนการปฏิบัติงานของหน่วยงานราชการได้

บรรณานุกรม

- Abramowitz, M., & Stegun, I. A. (1965). *Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables*. New York: Dover Publications, Inc.
- Aghakouchak, A. (2015). A multivariate approach for persistence-based drought prediction: Application to the 2010–2011 East Africa drought. *Journal of Hydrology*, 526, 127-135.
- Allaby, M. (2003). *Droughts: Dangerous weather*. New York: Facts on File, Inc. .
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration*. FAO.
- ASD Inc. (2010). *FieldSpec handheld 2 spectroradiometer user manual*. Colorado.
- Baimoung, S., Oki, K., Amatayakul, P., Arhcevarahuprok, B., Yuttaphan, A., & Pangpom, M. (2015). *The relationships between standardized precipitation index and vegetation condition index in upper chao phraya river basin*. Symposium on Floods and Droughts (Awareness workshop). 23 November 2015. Retrieved June 1, 2020 from http://www.Arcims.tmd.go.th/Research_files/SPIandVCI.pdf
- Blaney, H. F., & Criddle, W. D. (1950). *Determining water requirements in irrigated area from climatological and irrigation data*. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
- Blaney, H. F., & Morin, K. V. (1942). Evaporation and consumptive use of water empirical formulas. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 23(1), 76-83.
- Bos, M. G., Vos, J., & Feddes, R. A. (1996). *CRIMAR 2.0 A simulation model on crop irrigation water requirements*. ILRI.
- Brooks, G. P., & Barcikowski, R. S. (1996). Precision power and its application to the selection of regression sample sizes. *Mid-Western Educational Researcher*, 9(4), 10-17.
- Brown, J. N., McIntosh, P. C., Pook, M. J., & Risbey, J. S. (2009). An investigation of the links between ENSO flavors and rainfall processes in southeastern Australia. *Monthly weather review*, 137(11), 3786-3795.
- Bureau of Meteorology. Australia. (2014). *The three phases of the El Niño–Southern Oscillation (ENSO)*. Retrieved Jun 13, 2014 from

<http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/three-phases-of-ENSO.shtml>

- Bussay, A., Szinell, C., Hayes, M., & Svoboda, M. (1998, April 1998). Monitoring drought in Hungary using the standardized precipitation index. *Annales Geophysicae*, Supplement 11 to 16, Nice, France.
- Campbell, J. B. (1987). *Introduction into remote sensing*. New York: The Guilford Press.
- Cane, M. A., Eshel, G., & Buckland, R. W. (1994). Forecasting Zimbabwean maize yield using eastern equatorial Pacific sea surface temperature. *Nature*, 370(6486), 204-205.
- Chang, J. H. (1971). *Climate and agriculture: An ecological survey*. Chicago: Aldine publishing company.
- Cheng, Q., Gao, L., Chen, Y., Liu, M., Deng, H., & Chen, X. (2018). Temporal-spatial characteristics of drought in Guizhou province, China, based on multiple drought indices and historical disaster records. *Advances in Meteorology*, 2018.
- Climate Prediction Center. (2005). *El Nino-Southern Oscillation (ENSO)*. Retrieved May 8, 2014 from <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>
- Climate Prediction Center. (n.d.). *El Nino/La Nina*. February 2, 2016. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques*. New York: John Wiley & Sons.
- .
- Dai, A., Trenberth, K. E., & Karl, T. R. (1998). Global variations in droughts and wet spells: 1900–1995. *Geophysical Research Letters*, 25(17), 3367-3370.
- Di, L., Rundquist, D. C., & Han, L. (1994). Modelling relationships between NDVI and precipitation during vegetative growth cycles. *International Journal of Remote Sensing*, 15(10), 2121-2136.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. (1977). Crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper No. 24. *FAO, Rome*, 34-37.
- Dunkel, Z. (2009). Brief surveying and discussing of drought indices used in agricultural meteorology. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 113(1-

2), 23-37.

- Eslamian, S., Ostad-Ali-Askari, K., Singh, V. P., Dalezios, N. R., Ghane, M., Yihdego, Y., & Matouq, M. (2017). A review of drought indices. *Int J Constr Res Civ Eng (IJRCRE)*, 3(4), 48-66.
- Espinoza Villar, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., De Oliveira, E., Pombosa, R., & Vauchel, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(11), 1574-1594.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). *Drought monitoring with the combined drought index*. Retrieved August 14, 2015 from <http://www.faoswalim.org/water-resources/drought/drought-monitoring>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *2017 The impact of disasters and crises on agriculture and food security*. Rome.
- Gavilan, P., Lorite, I., Estévez, J., & Berengena, J. (2006). Measuring vs. estimating net radiation: Impact on Penman–Monteith reference evapotranspiration estimates. Proc., 4th Int. Conf. on Experiences with Automatic Weather Stations,
- Gibbs, W., & Maher, J. (1967). Rainfall deciles as drought indicators, bureau of meteorology bulletin no. 48. *Commonwealth of Australia, Melbourne*, 29.
- Gu, G., Adler, R. F., Huffman, G. J., & Curtis, S. (2007). Tropical rainfall variability on interannual-to-interdecadal and longer time scales derived from the GPCP monthly product. *Journal of Climate*, 20(15), 4033-4046.
- Guzman, R. G. (n.d.). *Status of drought monitoring and preparedness in the Philippines*. Retrieved Jun 21,2019 from www.wamis.org/agm/meetings/etdret09/ETDRET_Guzman.pdf
- Hargreaves, G. H. (1972). The evaluation of water deficiencies. Age of changing priorities for land and water,
- Hargreaves, G. H., & Keller, A. A. (2005). Global mapping of the moisture availability index: using the world water and climate atlas. In *Impacts of Global Climate Change* (pp. 1-9).

- Hayes, M. J., Alvord, C., & Lowrey J. (2007). Drought indices. *Intermountain West Climate Summary*, 3(6), 2-6.
- Hendon, H. H. (2003). Indonesian rainfall variability: Impacts of ENSO and local air–sea interaction. *Journal of Climate*, 16(11), 1775-1790.
- Homdee, T., Pongput, K., & Kanae, S. (2016). A comparative performance analysis of three standardized climatic drought indices in the Chi river basin, Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 50(3), 211-219.
- Hong, X., Guo, S., Zhou, Y., & Xiong, L. (2015). Uncertainties in assessing hydrological drought using streamflow drought index for the upper Yangtze river basin. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(4), 1235-1247.
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC. (2008). *Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and eisinger, A. eds.]. Geneva: IPCC.
- IPCC. (2013). *Climate change 2013. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jensen, J. R. (2000). *Remote sensing of the environment, an earth resource perspective*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Jensen, M. E., Burman, R. D., & Allen, R. G. (1990). Evapotranspiration and irrigation water requirements.
- Jokar, P., & Masoudi, M. (2018). Analyzing spatial pattern of drought in Iran, using Percent of Normal Index (PNI). *Fresenius Environ Bull*, 27(4), 2011-2018.
- Jose, A. M., Hilario, F., & Juanillo, E. (2002). *El Niño vulnerability for rice and corn*. Quezon City: PAGASA.

- Kassam, A., & Smith, M. (2001). FAO methodologies on crop water use and crop water productivity. Expert meeting on crop water productivity, Rome,
- Khadr, M., Morgenschweis, G., & Schlenkhoff, A. (2009). Analysis of meteorological drought in the Ruhr basin by using the standardized precipitation index. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 57, 607-616.
- Kiladis, G. N., & Diaz, H. F. (1989). Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 2(9), 1069-1090.
- Kogan, F. N. (1990). Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11(8), 1405-1419.
- Kogan, F. N. (1995). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5), 655-668.
- Kogan, F. N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(4), 621-636.
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and psychological measurement*, 30(3), 607-610.
- Labeledzki, L. (2007). Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index SPI. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 56(1), 67-77.
- Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (1994). *Remote sensing and image interpretation*. New York: John Wiley and sons, Inc.
- LP DAAC. (n.d.). *MODIS land products*. Retrieved July 3, 2017 from <https://lpdaac.usgs.gov/>
- Makkink, G. F. (1957). Exzamenno de la formula de Penman. *Neth. J. Agric. Sci*, 5, 290-305.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology,
- McVicar, T. R., & Jupp, D. L. (1998). The current and potential operational uses of remote sensing to aid decisions on drought exceptional circumstances in Australia: a review. *Agricultural systems*, 57(3), 399-468.

[Record #106 is using a reference type undefined in this output style.]

- Mulinde, C., Majaliwa, J., Twesigomwe, E., & Egeru, A. (2016). Meteorological drought occurrence and severity in Uganda. *Disasters and Climate Resilience in Uganda: Processes, Knowledge and Practices*, 185-215.
- Nalbantis, I., & Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5), 881-897.
- Nandeesh, & Ramu. (2015). Agricultural drought assessment In central dry zone of agro climatic zones of Karnataka using GIS and remote sensing. *International Journal of Computer Science and Information Technology Research*, 3(2), 575-581.
- National Centers for Environmental Information. (n.d.). *El Niño/Southern Oscillation (ENSO)*. Retrieved June 6, 2014 from <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/>
- National Drought Mitigation Center. (n.d.). *Types of drought*. Retrieved August 11, 2015 from <http://drought.unl.edu/DroughtBasics/TypesofDrought.aspx>
- Naylor, R., Falcon, W., Wada, N., & Rochberg, D. (2002). Using El Niño-Southern Oscillation climate data to improve food policy planning in Indonesia. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 38(1), 75-91.
- Nel, W. (2009). Rainfall trends in the KwaZulu-Natal Drakensberg region of South Africa during the twentieth century. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(11), 1634-1641.
- Oglesby, R. (2009). *Climate, climate variability, and climate change: A basic primer*. Retrieved August 14, 2015 from http://weather.unl.edu/RCM/IDB_Mexico/PDF/climatebasics.pdf
- Oki, K. (2017, 15 September 2017). Development of SDT drought index using satellite images. Climate Change Adaptation in Agricultural Sector, Thailand, University of Tokyo, Japan.
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought, Research paper no. 45. *US Weather Bureau, Washington, DC*, 58.
- Pantula, M. R. (2016). *Drought early warning system: Identification of onset end magnitude (SPI and SPEI) and composite index*. Notion Press, Inc.

- Parakoti, B., & Scott, D. (2002, 29 July - 3 August, 2002). Drought index for Rarotonga (Cook Islands). The Pacific Regional Consultation Meeting on Water in Small Island Countries, Sigatoka, Fiji Islands.
- Pasquill, F. (1949). Eddy diffusion of water vapour and heat near the ground. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 198(1052), 116-140.
- Pasquill, F. (1950). Some further considerations of the measurement and indirect evaluation of natural evaporation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 76(329), 287-301.
- Patel, P., & Srivastava, H. S. (2013). Ground truth planning for synthetic aperture radar (SAR): Addressing various challenges using statistical approach. *International Journal of Advancement in Remote Sensing, GIS and Geography*, 1(2), 1-17.
- Penman, H. (1956). Evaporation: An introductory survey. *NJAS wageningen journal of life sciences*, 4(1), 9-29.
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032), 120-145.
- Rafiuddin, M., Dash, B. K., Khanam, F., & Islam, M. (2011). Diagnosis of drought in Bangladesh using standardized precipitation index. Proceedings of the in International Conference on Environment Science and Engineering,
- Raksapatcharawong, M., Veerakachen, W., Oki, K., Prompitakporn, P., & Wongsripisant, C. (2017, 15 September 2017). Development of SDT drought index using satellite images. Climate Change Adaptation in Agricultural Sector, Thailand, University of Tokyo, Japan.
- Rider, N. (1957). Water losses from various land surfaces. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 83(356), 181-193.
- Rosenberg, N. (1979). Drought in the Great Plains—Research on impacts and strategies: Proceedings of the workshop on research in Great Plains drought management strategies, University of Nebraska, Lincoln, March 26-28, Littleton, Colorado. *USGS Water Resources Publications*.
- Rossato, L., Marengo, J. A., Angelis, C. F. d., Pires, L. B. M., & Mendiando, E. M. (2017).

Impact of soil moisture over Palmer Drought Severity Index and its future projections in Brazil. *RBRH*, 22.

Rouault, M., & Richard, Y. (2005). Intensity and spatial extent of droughts in Southern Africa. *Geophysical Research Letters*, 32(15).

Sarsah, E., & Uba, F. (2013). Empirical correlations for the estimation of global solar radiation using meteorological data in Wa, Ghana. *Advances in Applied Science Research*, 4(4), 63-71.

Sawatpru, K., & Konyai, S. (2016). Hydrological drought frequency analysis of the Yom river, Thailand. *Engineering and Applied Science Research*, 43(2), 100-107.

Seiler, R., Kogan, F., & Sullivan, J. (1998). AVHRR-based vegetation and temperature condition indices for drought detection in Argentina. *Advances in Space Research*, 21(3), 481-484.

Shaheen, A., & Baig, M. A. (2011). Drought severity assessment in arid area of Thal Doab using remote sensing and GIS. *Int. J. Water Resour. Arid Environ*, 1(2), 92-101.

Singh, R. P., Roy, S., & Kogan, F. (2003). Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *International Journal of Remote Sensing*, 24(22), 4393-4402.

Sivakumar, M. V. K., Wilhite, D. A., Svoboda, M. D., Hayes, M., & Motha, R. (2010). *Drought risk and meteorological droughts*. Retrieved November 8, 2014 from http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2011/en/bgddocs/Sivakumar_et_al_2010.pdf

Smith, D., Hutchinson, M., & McArthur, R. (1993). Australian climatic and agricultural drought: payments and policy. *Drought Network News*, 5(3), 11-12.

Smith, M. (1990). *Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements*. Rome: FAO.

Smith, T. M., & Ropelewski, C. F. (1997). Quantifying Southern Oscillation–precipitation relationships from an atmospheric GCM. *Journal of Climate*, 10(9), 2277-2284.

Smith, T. M., Yin, X., & Gruber, A. (2006). Variations in annual global precipitation (1979–2004), based on the global precipitation climatology project 2.5 analysis. *Geophysical Research Letters*, 33(6).

Stewart, J. B. (1989). On the use of the Penman-Monteith equation for determining

- areal evapotranspiration. In *Estimation of areal evapotranspiration*. IAHS Publication.
- Sukawat, D. (1979). *Precipitation Probability for Thailand*. Thai Meteorological Department.
- Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., & Stooksbury, D. (2002). The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1181-1190.
- Szalai, S., & Szinell, C. (2000). Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary—a case study. In *Drought and drought mitigation in Europe* (pp. 161-166). Springer.
- Thenkabail, P. S., Gamage, M. S. D. N., & Smakhtin, V. U. (2004). *The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia* (Vol. 85). Colombo: International Water Management Institute.
- Thom, H. C. S. (1966). *Some methods of climatological analysis*. Geneva: World Meteorological Organization.
- Thornthwaite, C., & Holzman, B. (1939). The determination of evaporation from land and water surfaces. *Monthly weather review*, 67(1), 4-11.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.
- Thornthwaite, C. W., & Holzman, B. (1942). *Measurement of evaporation from land and water surfaces*. US Department of Agriculture.
- Trenberth, K. E. (1997). The definition of El Nino. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(12), 2771-2778.
- Trenberth, K. E., Caron, J. M., Stepaniak, D. P., & Worley, S. (2002). Evolution of El Niño–Southern Oscillation and global atmospheric surface temperatures. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D8), AAC 5-1-AAC 5-17.
- Trenberth, K. E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17-22.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127-150.

- USGS. (2018). *NDVI, The foundation for remote sensing phenology*. Retrieved December 3, 2018 from https://phenology.cr.usgs.gov/ndvi_foundation.php
- USGS. (n.d.). *Earthexplorer*. Retrieved September 12, 2018 from <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS Earth Resources Observation and Science Center. (2010). *Modis reprojection tool swath user manual*. Retrieved December 10, 2012 from https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/MRTSwath_Users_Manual_2.2_Dec2010.pdf
- USGS Earth Resources Observation and Science Center. (2011). *Modis Reprojection Tool User's Manual*. Retrieved December 10, 2012 from https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/mrt41_usermanual_032811.pdf
- Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Gimeno, L., Nieto, R., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Beguería, S., & Azorin-Molina, C. (2011). A multiscalar global evaluation of the impact of ENSO on droughts. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D20).
- Vogt, J., Niemeier, S., Somma, F., Beaudin, I., & Viau, A. (2000). Drought monitoring from space. In *Drought and drought mitigation in Europe* (pp. 167-183). Springer.
- Wang, X., Hou, X., Li, Z., & Wang, Y. (2014). Spatial and temporal characteristics of meteorological drought in Shandong Province, China, from 1961 to 2008. *Advances in Meteorology*, 2014.
- White, I., Falkland, T., & Scott, D. (1999). Droughts in small coral islands: Case study. *South Tarawa, Kiribati*.
- Wichitarapongsakun, P., Sarin, C., Klomjek, P., & Chuenchooklin, S. (2016). Rainfall prediction and meteorological drought analysis in the Sakae Krang River basin of Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 50(6), 490-498.
- Wilhite, D. A. (2005). *Drought and water crises: science, technology, and management issues*. Boca Raton, FA: Taylor and Francis Group. .
- Willeke, G., Hosking, J., Wallis, J., & Guttman, N. (1994). The national drought atlas. *Institute for water resources report*, 94.
- World Meteorological Organization. (1986). *Report on drought and countries affected*

- by drought during 1974–1985. Geneva.
- World Meteorological Organization. (2011). *Guide to climatological practices*. Geneva.
- World Meteorological Organization. (2012). *Standardized precipitation index user guide*. Geneva.
- World Meteorological Organization. (n.d.). *Commission for climatology: frequently asked questions (FAQs)*. Retrieved September 5, 2015 from <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.php>
- World Meteorological Organization and Global Water Partnership. (2010). *Integrated drought management programme: Concept note*. Geneva: Integrated Drought Management Programme (IDMP).
- World Meteorological Organization and Global Water Partnership. (2016). *Handbook of drought indicators and indices*. Geneva: Integrated Drought Management Programme (IDMP).
- Wu, J., Zhou, L., Liu, M., Zhang, J., Leng, S., & Diao, C. (2013). Establishing and assessing the integrated surface drought index (ISDI) for agricultural drought monitoring in mid-eastern China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23, 397-410.
- Xu, J., Ren, L. L., Ruan, X. H., Liu, X. F., & Yuan, F. (2012). Development of a physically based PDSI and its application for assessing the vegetation response to drought in northern China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D8).
- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017.
- Yagci, A. L., Di, L., Deng, M., Han, W., & Peng, C. (2011). Agricultural drought monitoring from space using freely available MODIS data and impacts on cotton commodity. *Pecora 18–Forty Years of Earth Observation... Understanding a Changing World*, 9.
- Yamane, T. (1973). *Statistics: An introduction analysis*. New York: Harper & Row.
- Yingjajaval, S. (1993). *A catalogue of water retention functions of major soil series of Thailand*.
- Yu, H., Li, L., Liu, Y., & Li, J. (2019). Construction of comprehensive drought monitoring model in Jing-Jin-Ji region Based on multisource remote sensing data. *Water*,

11(5), 1077.

Yuttaphan, A., Chuenchooklin, S., & Baimoung, S. (2016). The trend of numbers of tropical cyclone moves toward thailand under climate change. *Naresuan University Engineering Journal*, 11(1), 53-56.

Yuttaphan, A., Chuenchooklin, S., & Baimoung, S. (2020, 20-21 January 2020). Meteorological drought index for the northern part of Thailand. 2020 International Conference on Urban Sustainability, Environment, and Engineering (CUSME 2020), Bali, Indonesia.

Zanter, K. (2016). *LANDSAT 8 (L8) data users handbook* South Dakota: United States Geological Survey.

Zoljoodi, M., & Didevarasl, A. (2013). Evaluation of spatial-temporal variability of drought events in Iran using palmer drought severity index and its principal factors (through 1951-2005). *Atmospheric and Climate Sciences*, 3(2), 193-207.

เอมอร จังศิริพรปกรณ์. (ม.ป.ป.). ระเบียบวิธีวิจัยทางการศึกษา. Retrieved 12 กันยายน 2558 from <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~jaimorn/research>

กมลศรี เสณีตันติกุล. (2533). ปริมาณน้ำที่พืชไร่ต้องการ. กรมอุตุนิยมวิทยา.

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2558). แผนแม่บทป้องกันและบรรเทาภัยแล้ง. กระทรวงมหาดไทย.

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2559). รายงานสถานการณ์สาธารณภัย วันที่ 29 เมษายน 2559. กระทรวงมหาดไทย.

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (ม.ป.ป.). รายงานสถานการณ์สาธารณภัย. Retrieved 17 กุมภาพันธ์ 2560 from <http://www.disaster.go.th/>

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2536). ดัชนีชี้วัดภัยแล้งที่เหมาะสม กรณีศึกษาในลุ่มน้ำยม.

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2544). ภัยธรรมชาติในประเทศไทย. กระทรวงคมนาคม.

กรมอุตุนิยมวิทยา. (ม.ป.ป.). ฤดูกาลของโลก. Retrieved 12 กันยายน 2558 from <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=23>

กลุ่มภูมิอากาศ. (2546). ฝนในประเทศไทย. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. กรมอุตุนิยมวิทยา.

คณะกรรมการบูรณาการนโยบายพัฒนาภาค. (2561). แผนพัฒนาภาคเหนือในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 - 2564). Retrieved 22 พฤศจิกายน 2561 from http://www.nesdb.go.th/ewt_dl_link.php?nid=7528

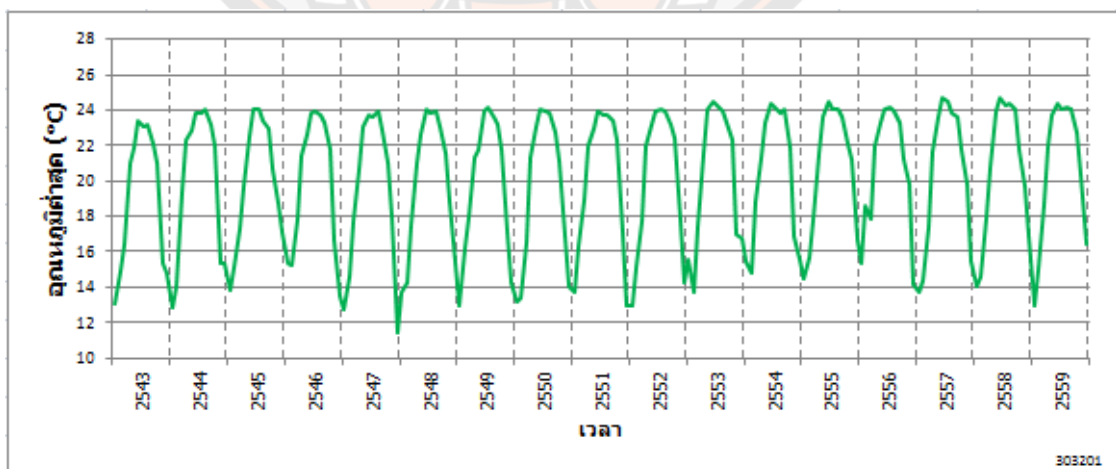
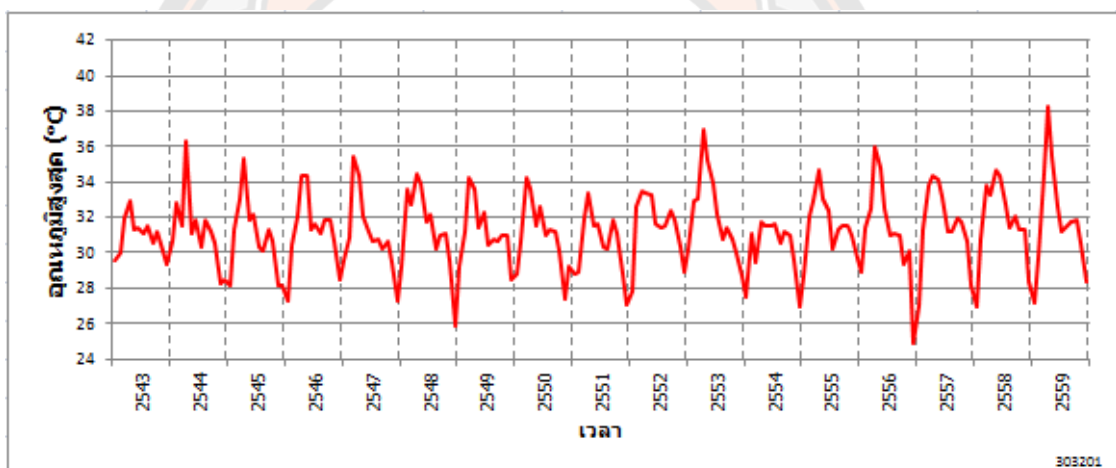
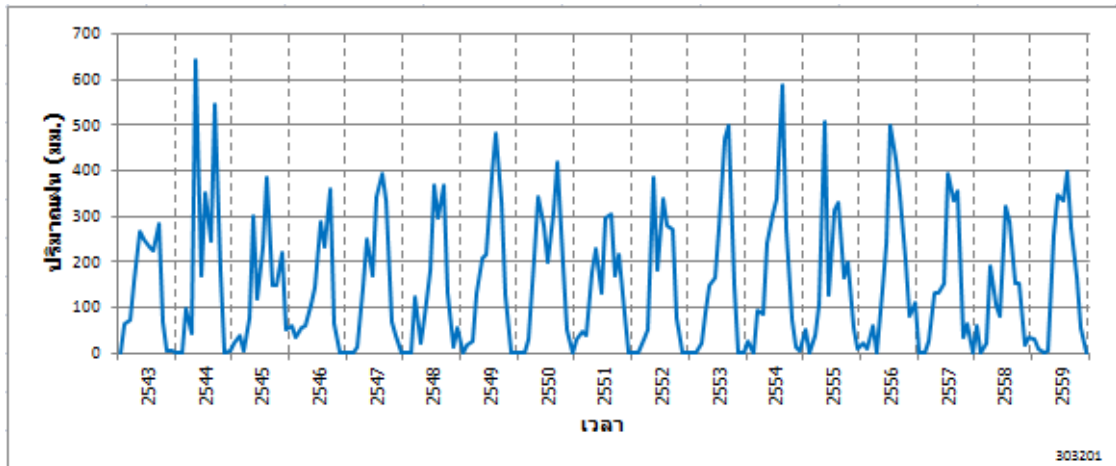
จิรภัทร อัสวจินตจิตร. (2551). ดัชนีชี้วัดภัยแล้งที่เหมาะสม กรณีศึกษาในลุ่มน้ำยม วิทยานิพนธ์

- วศ.ม., มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์]. ปทุมธานี.
- ชลาลัย แจ่มผล. (2547). ความรุนแรงของความแห้งแล้งในประเทศไทย. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ชวลิต นวลโคกสูง, อติสร ใจชื่น, & อารีรัตน์ ดอกเข็ม. (2548). แนวทางการพัฒนาพื้นที่แล้งซ้ำซากเพื่อการเกษตร. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ฐิตินันท์ ป้องนาม. (2554). แบบจำลองการทำนายดัชนีความแห้งแล้งในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยขอนแก่น]. ขอนแก่น.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. (ม.ป.ป.). โครงสร้างเศรษฐกิจภาคเหนือ. Retrieved 9 ตุลาคม 2561 from https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/Northern/EconomicReport/Pages/Economic_Structure.aspx
- นงศ์นาค อุประสิทธิ์วงศ์. (2537). สภาวะฝนแล้งที่เกิดขึ้นในประเทศไทย. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- นฤมล บุญแดง. (ม.ป.ป.). การแบ่งภูมิภาคทางภูมิศาสตร์. Retrieved 1 กันยายน 256 from <http://thai farmer.lib.ku.ac.th/f/f6a5e2130eb93fa82212322900a09fe103853e11b33fa7830b0f072b7b4860d1.pdf>
- บัญชา ขวัญยืน, ทองเปลว กองจันทร์, คณิศ วรรณดี, & สมคิด สำเภาคำ. (2556). การกำหนดตรรกษณ์ภัยแล้งรวมทั้งเหมาะสมสำหรับประเทศไทย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ปราณี ว่องวิหวัธ. (2532). ฝนในประเทศไทย. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- พัฒนา วิจิตรพงษ์สกุล, จรูญ สารินทร์, พันธิพิทย์ กล่อมแจ็ก, & สมบัติ ชื่นชุกกลิ่น. (2559). การวิเคราะห์ระดับความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำสะแกกรัง ด้วยดัชนีน้ำฝนมาตรฐาน และดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา. *Naresuan University Journal: Science and Technology* 24(3), 123-135.
- พาทนันท์ โพธิสาร. (2551). การศึกษาดัชนีชี้วัดภัยแล้งเชิงเกษตรกรรม กรณีศึกษาลุ่มน้ำมูลบน วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์]. ปทุมธานี.
- มันทนา พุกกะวัน และนงศ์นาค อุประสิทธิ์วงศ์. (2545). รูปแบบของฝนและอุณหภูมิในประเทศไทยในปีเอนโซและความสัมพันธ์กับดัชนีความผันแปรของระบบอากาศในซีกโลกใต้และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- มันทนา พุกกะวัน และสุดาพร นิมมา. (2542). ผลกระทบของลานีญาที่มีต่อฝนและอุณหภูมิของประเทศไทย. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- วิบูลย์ บุญยธโนกุล. (2526). หลักการชลประทาน. โรงพิมพ์เอเชีย.
- วิรัช มณีสาร. (2538). ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะอากาศตามฤดูกาลของภาคต่างๆ ในประเทศไทย. กระทรวงคมนาคม.
- ศูนย์ภูมิอากาศ. (2553). ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยและการคาดการณ์ในอนาคต. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ศูนย์ภูมิอากาศ. (2558). ภูมิอากาศของประเทศไทย. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. กรมอุตุนิยมวิทยา.

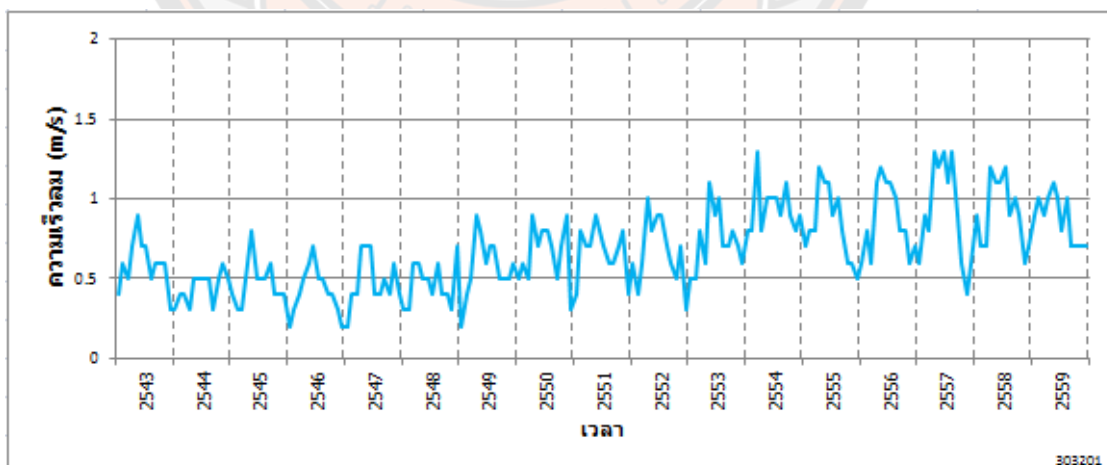
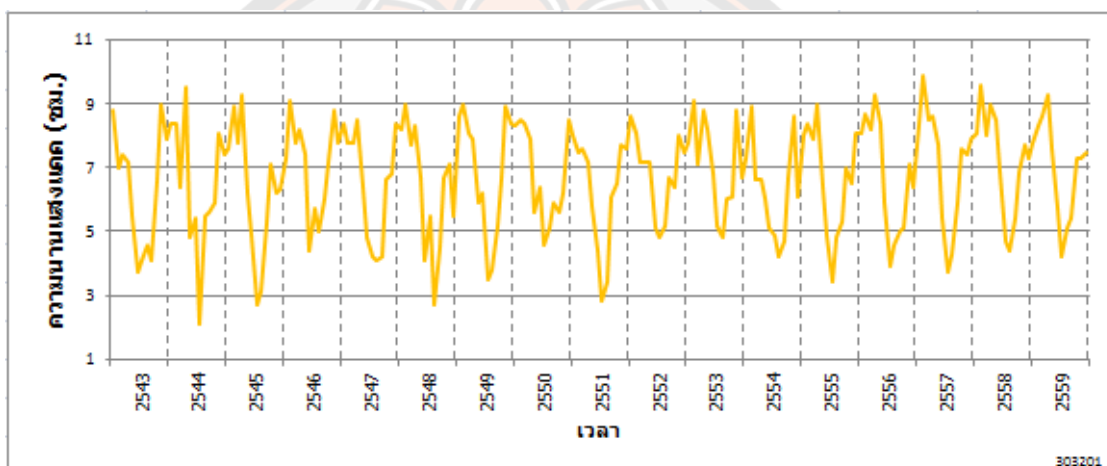
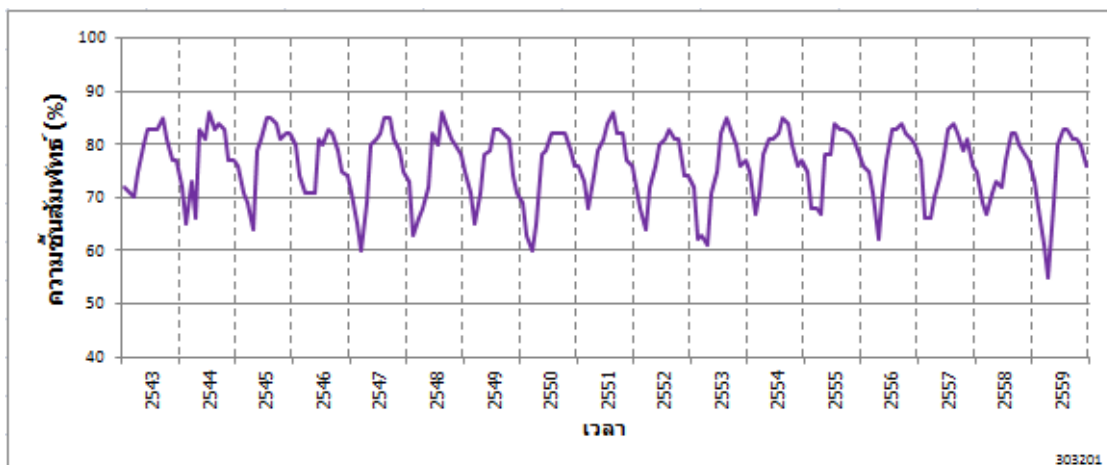
- ศูนย์ภูมิอากาศ. (2560a). ฤดูฝนของประเทศไทย ประจำปี 2558. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ศูนย์ภูมิอากาศ. (2560b). ฤดูร้อนของประเทศไทย ประจำปี 2559. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ศูนย์ภูมิอากาศ. (2560c). ฤดูหนาวของประเทศไทย ประจำปี 2558 - 2559. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- สมชาย ไบ่ม่วง, วิรัช วราญจิตต์, สมาน ปราการรัตน์, นิพนธ์ สุคันธเมศวร์, อภันตรี ยุทธพันธ์, อาคม พยอมแจ่มศรี, & มนูญ ปรางพรหม. (2548). การจำแนกความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาโดยใช้ค่าดัชนีความแตกต่างพืช. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร. (2554). ดรรชนีความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทย. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร. (2555). ดรรชนีความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทย 2555. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- อภันตรี ยุทธพันธ์. (2551). ดรรชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชในประเทศไทย. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- อภิรัฐ ปันทอง. (2544). การประเมินความแห้งแล้งด้วยดัชนีความแห้งแล้งในลุ่มน้ำแม่กลองร่วมกับการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์]. กรุงเทพมหานคร.
- อภิรัฐ ปันทอง. (2559). การพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งรวมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย วิทยานิพนธ์ วศ.ด., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์]. กรุงเทพมหานคร.



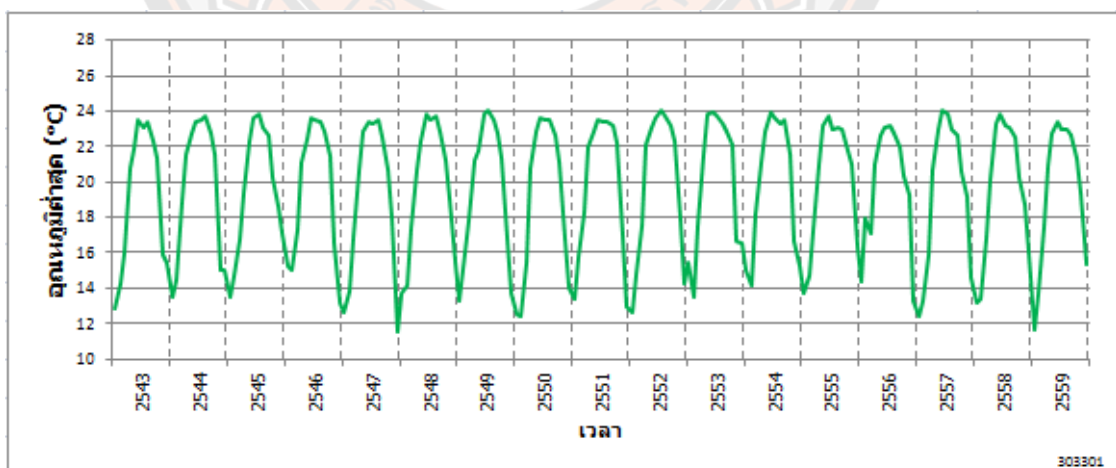
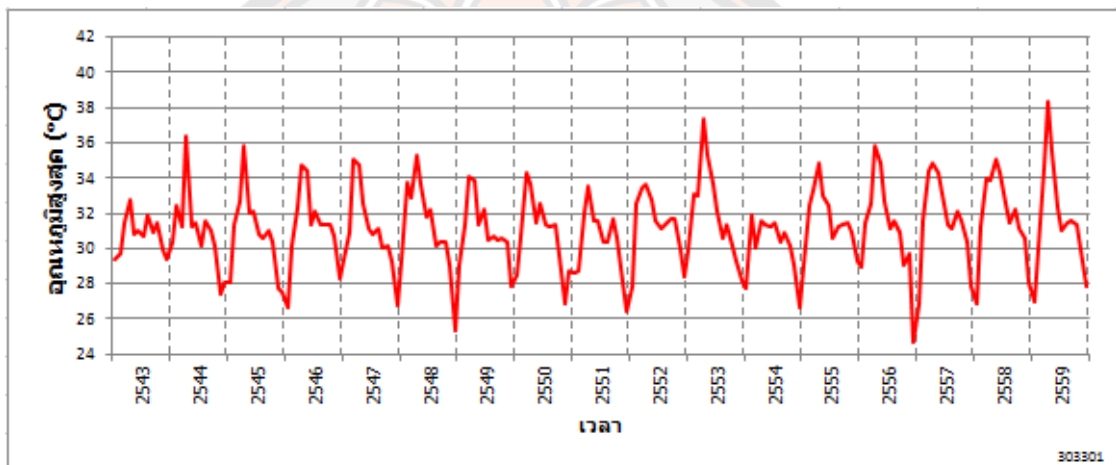
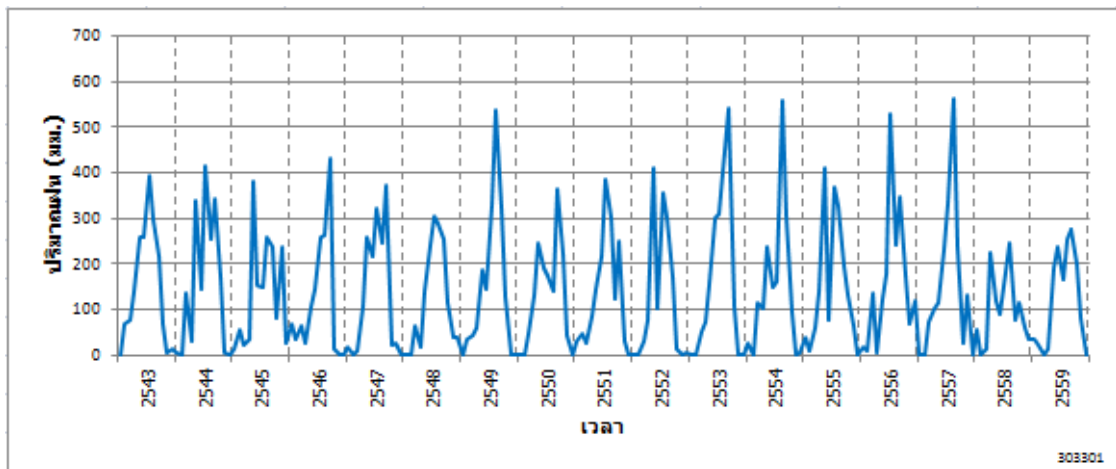
ภาคผนวก ก กราฟข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายเดือน



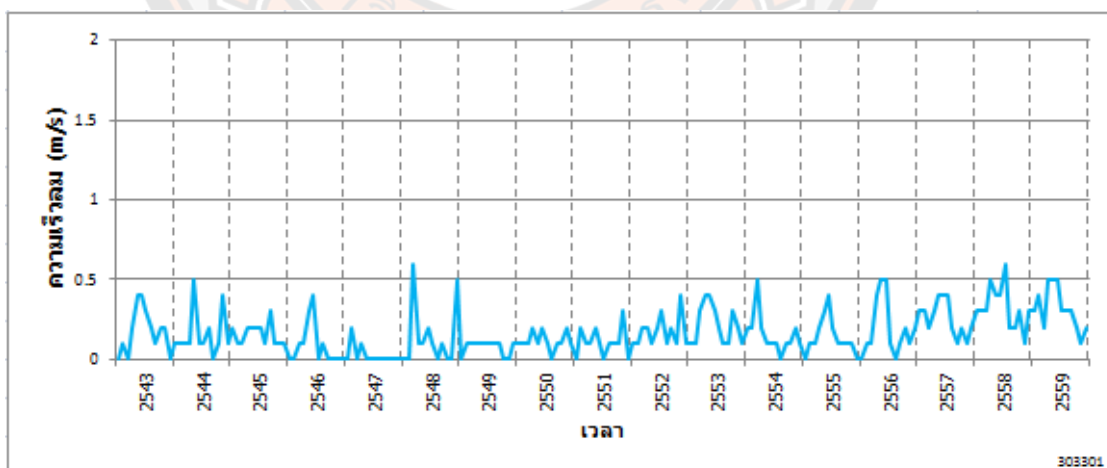
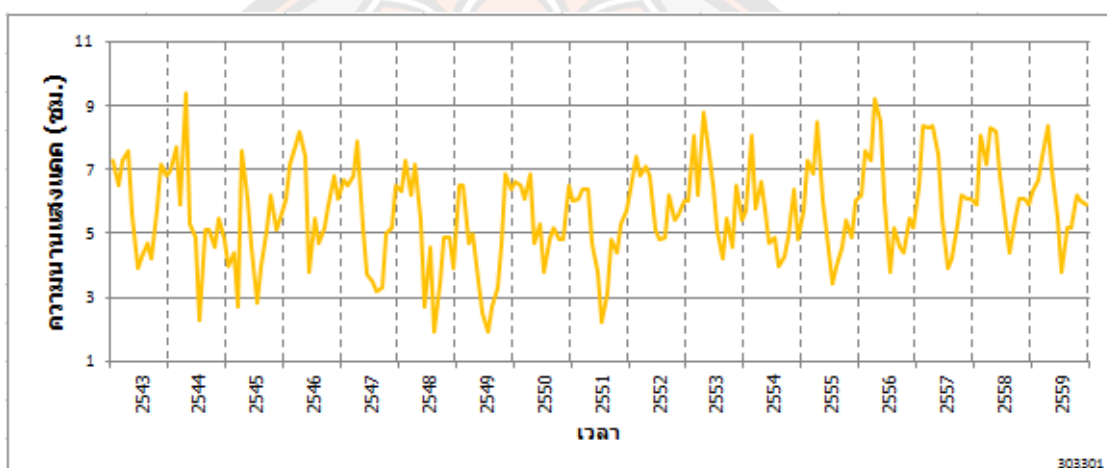
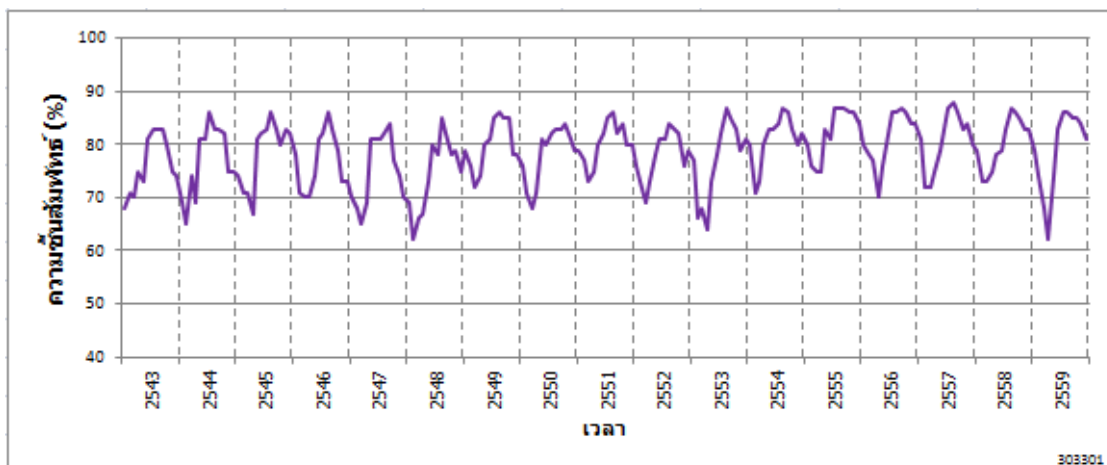
ภาพ 38 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



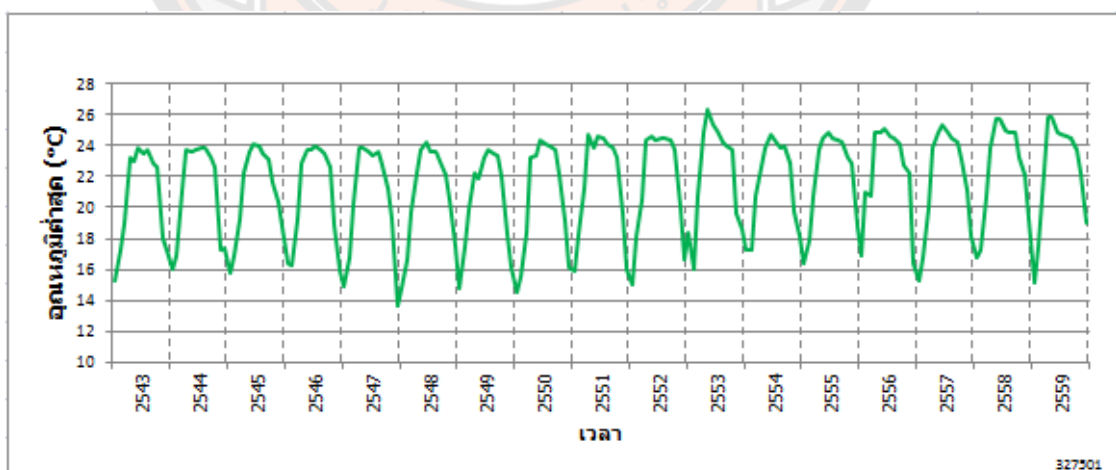
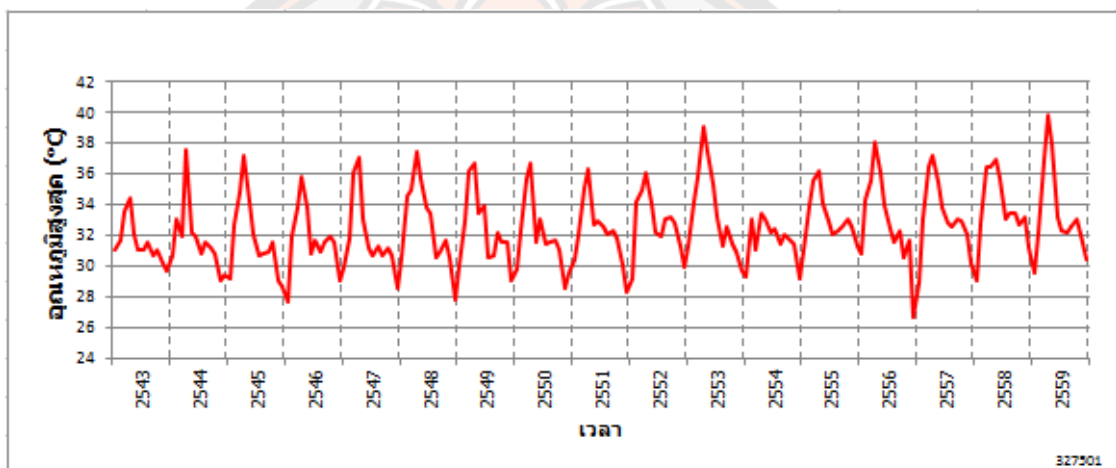
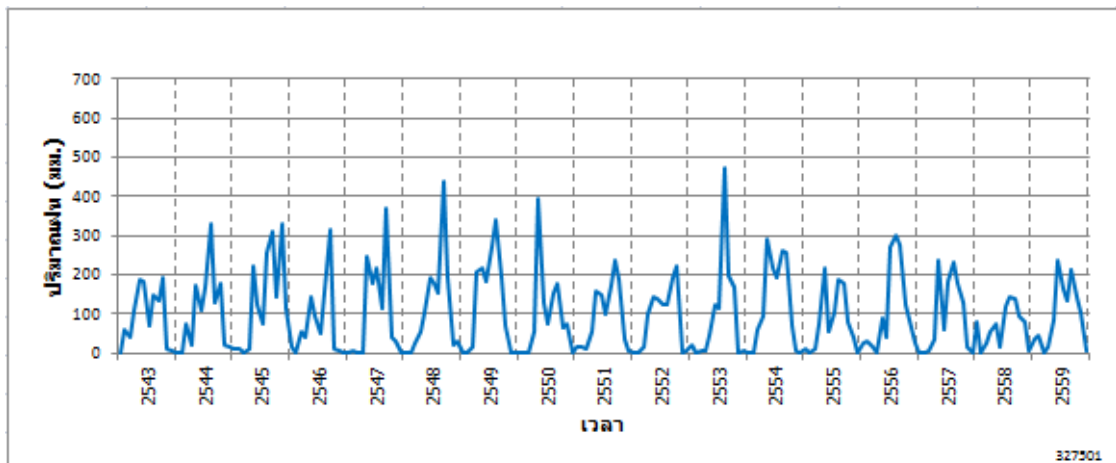
ภาพ 39 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



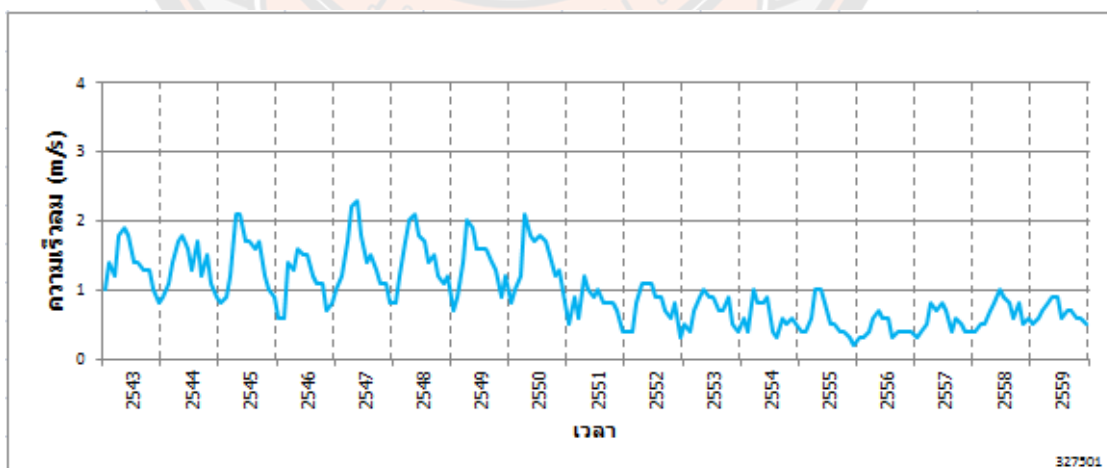
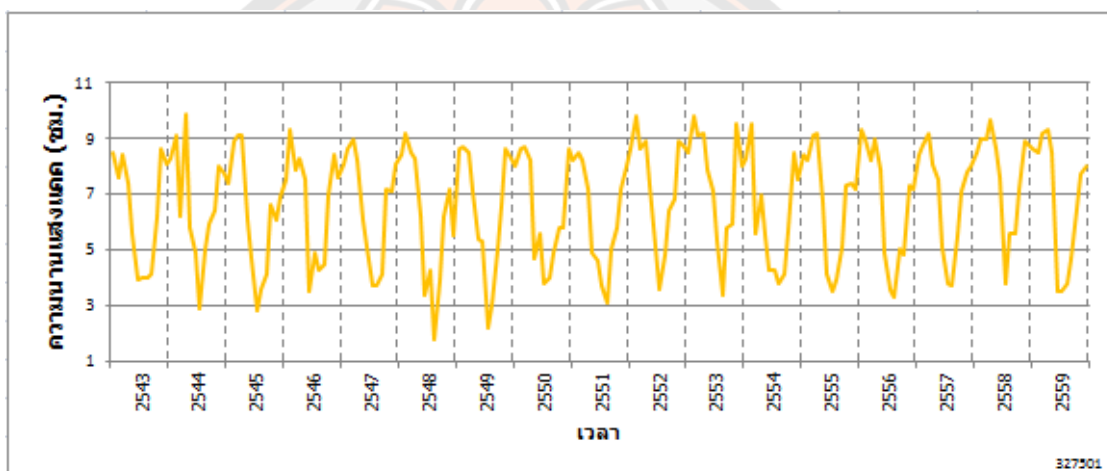
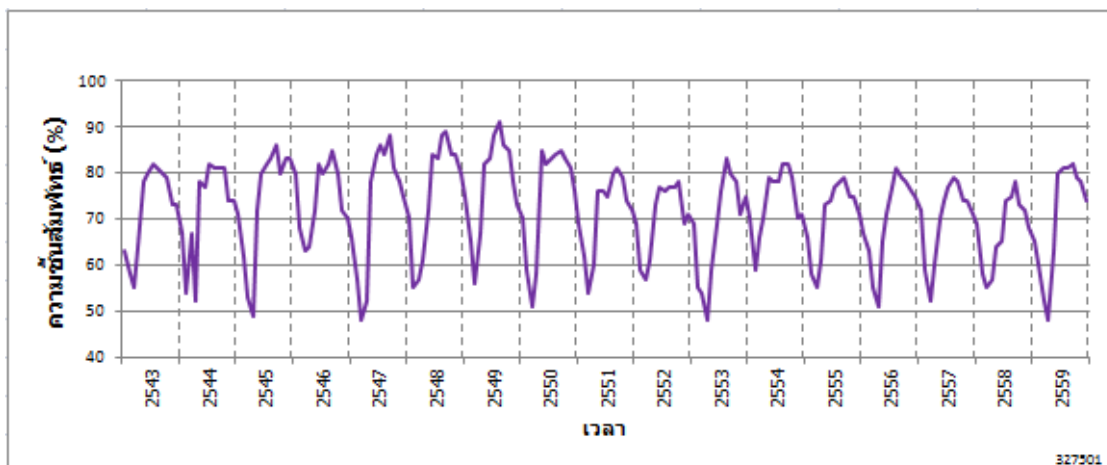
ภาพ 40 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชิงทรายระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



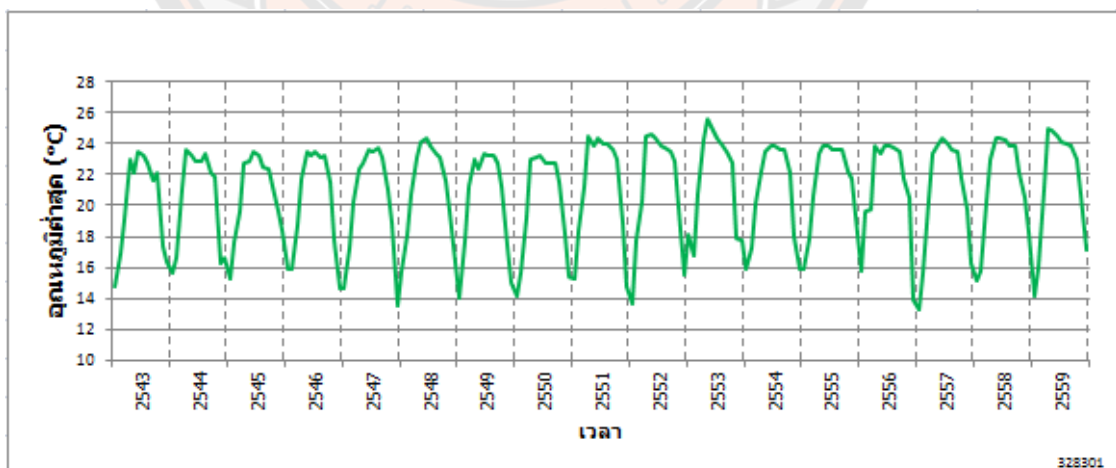
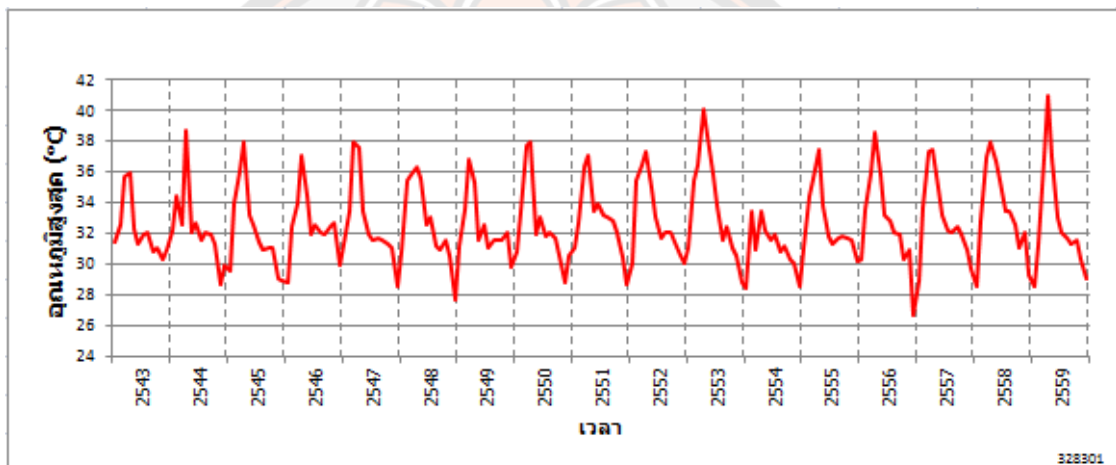
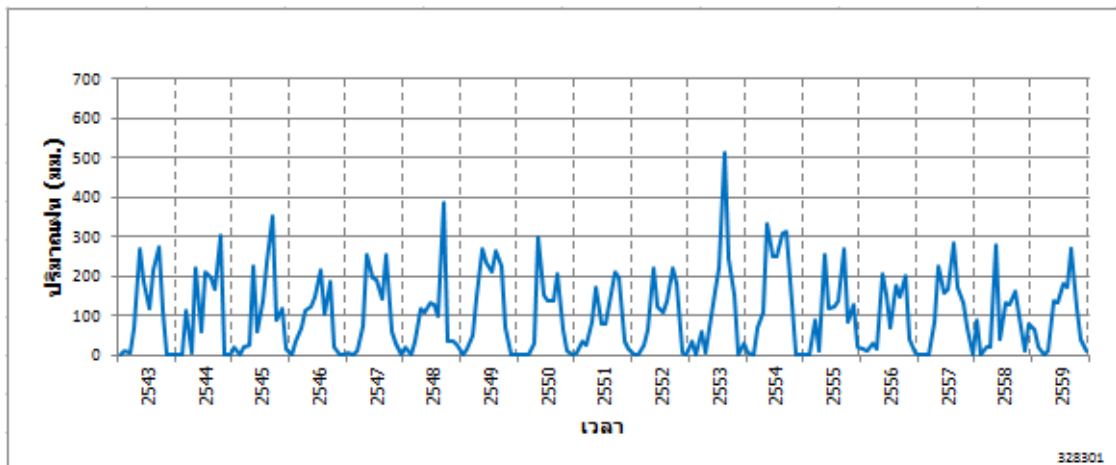
ภาพ 41 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



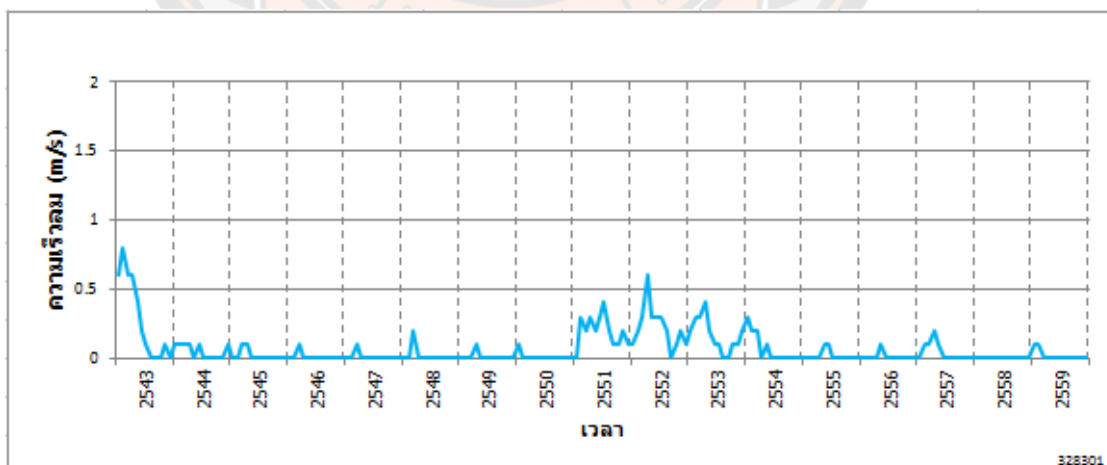
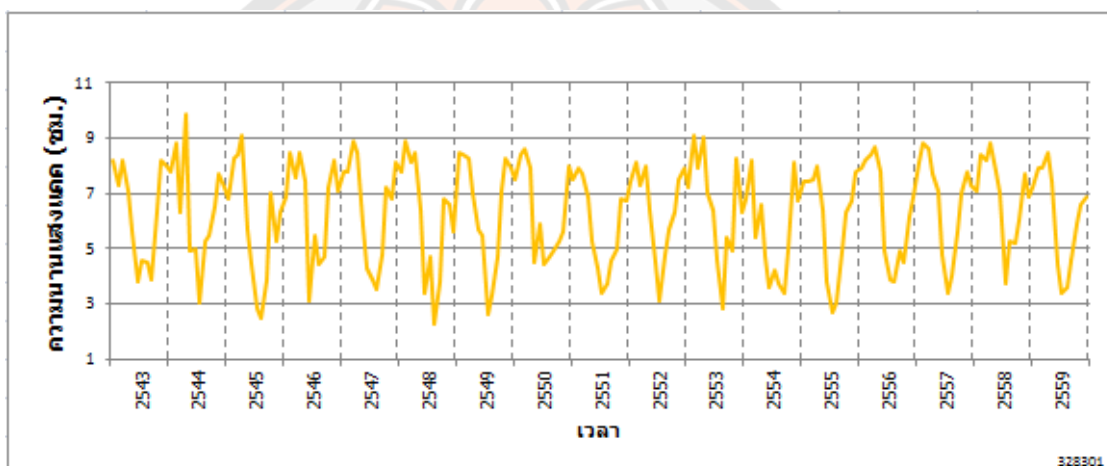
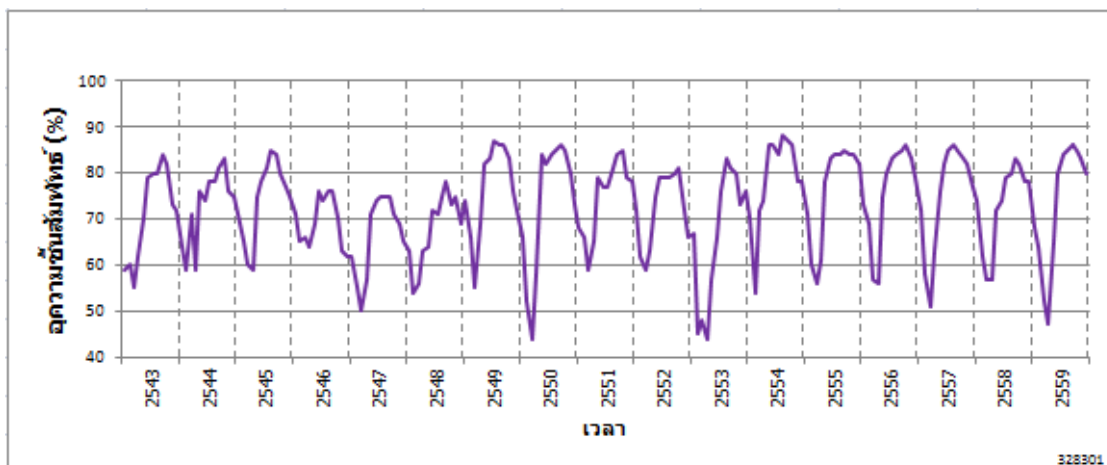
ภาพ 42 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



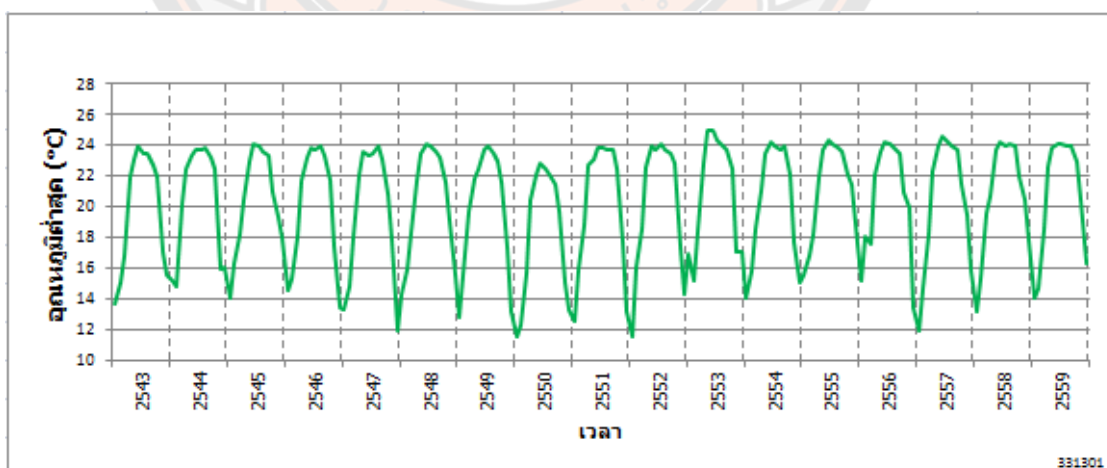
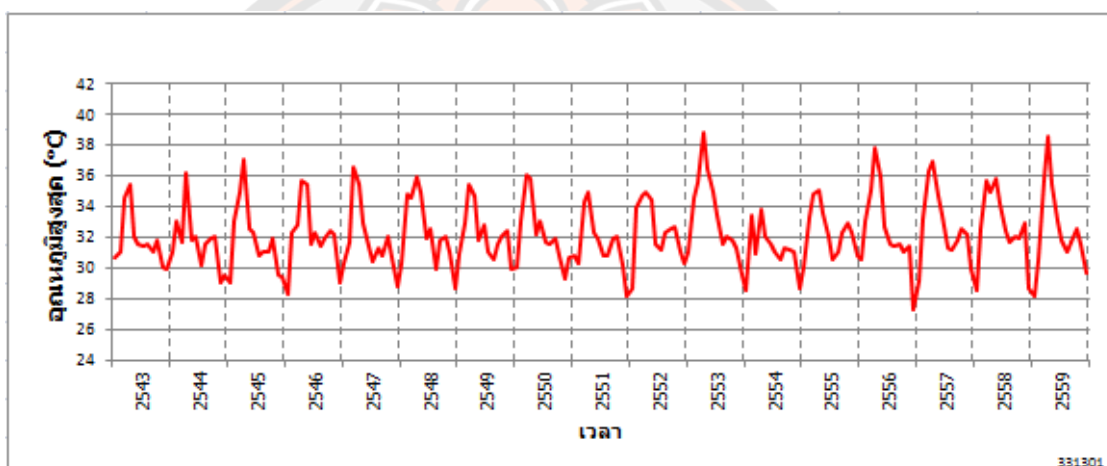
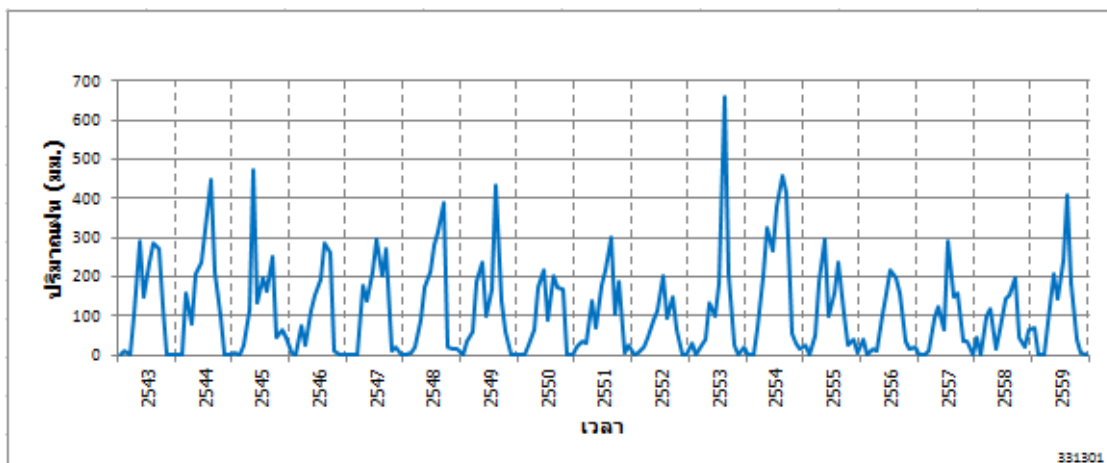
ภาพ 43 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



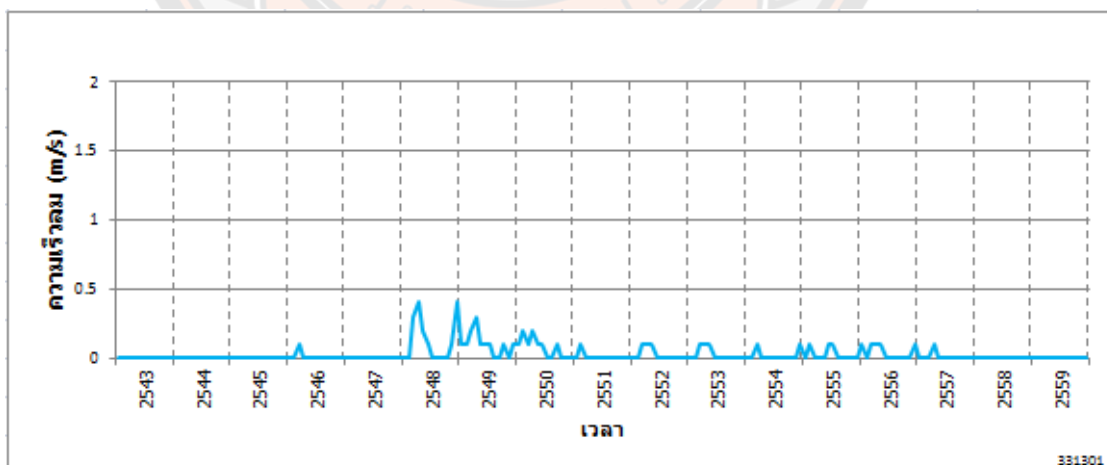
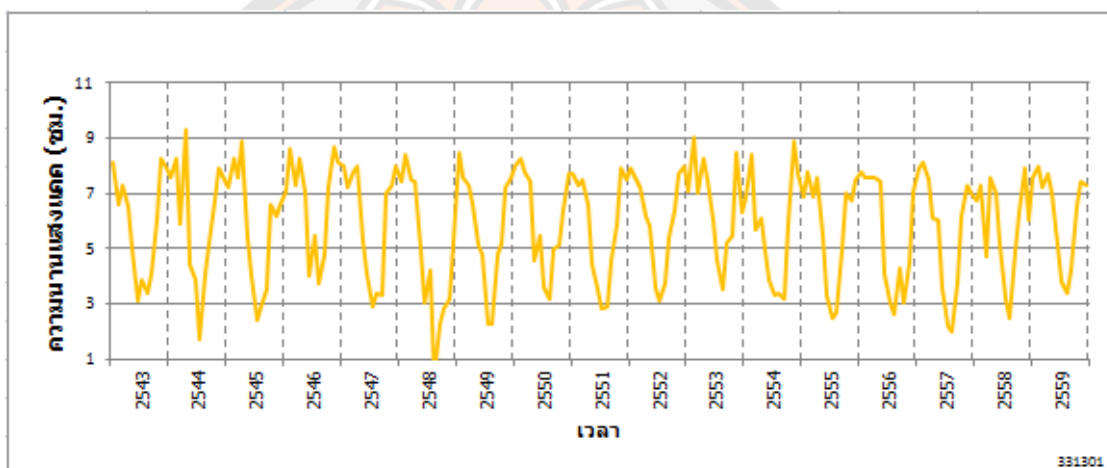
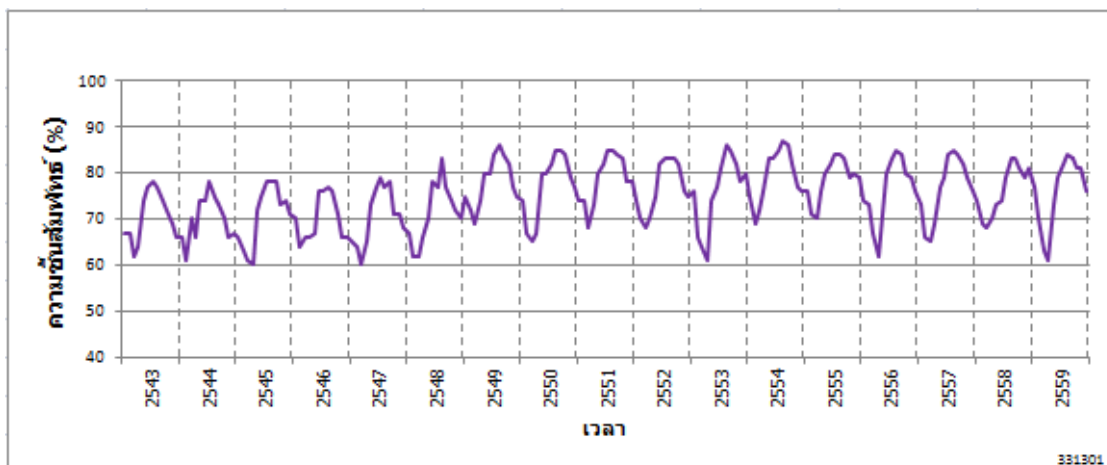
ภาพ 44 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปาง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



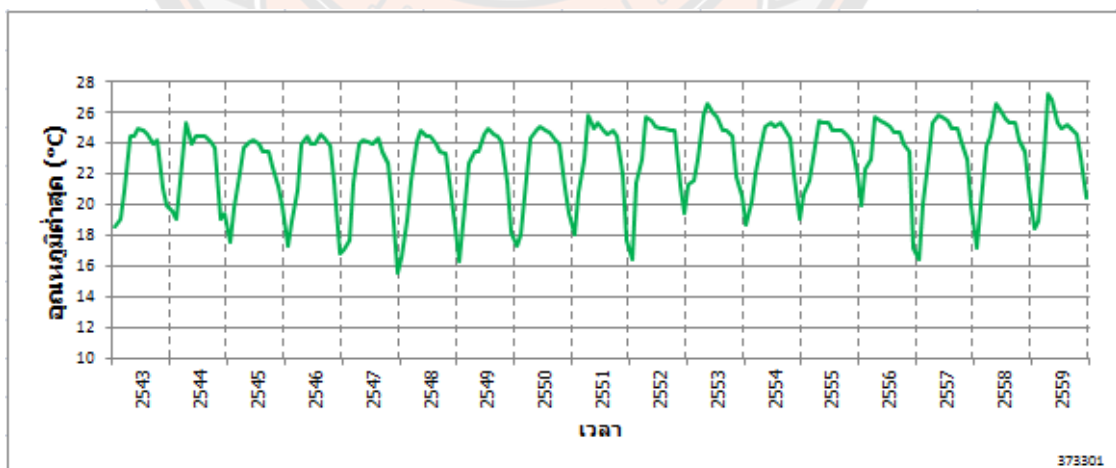
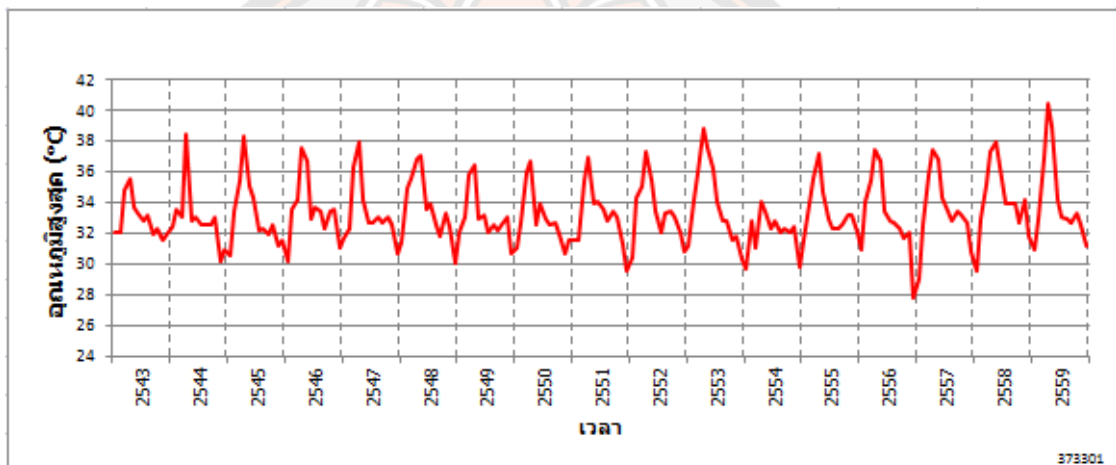
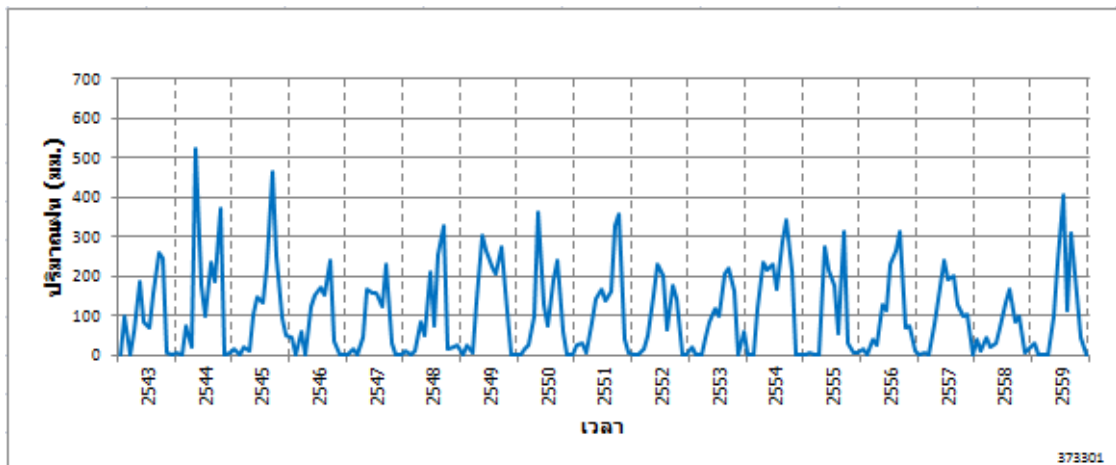
ภาพ 45 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปาง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



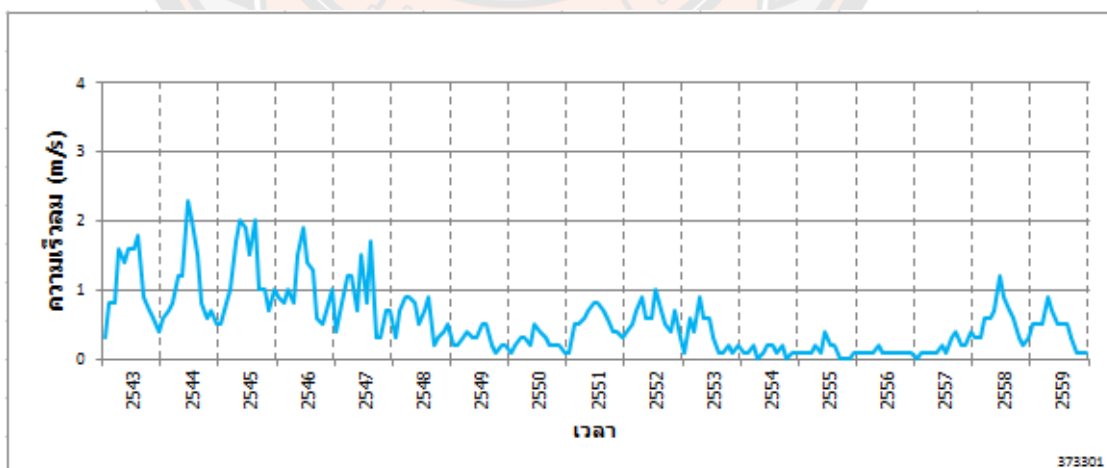
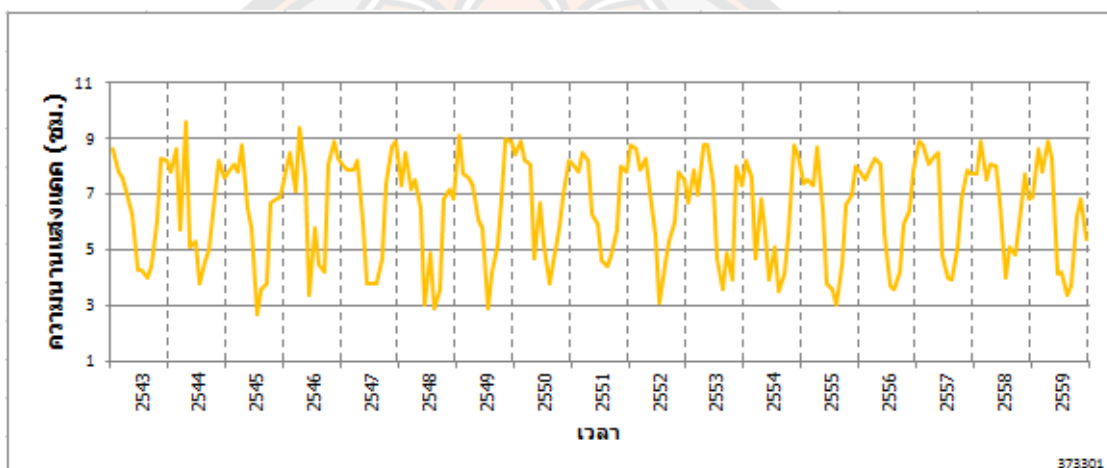
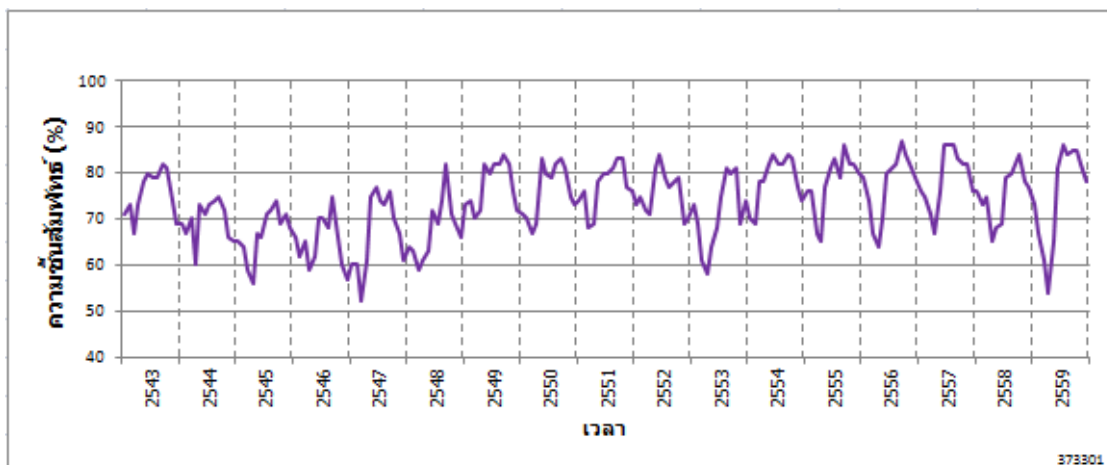
ภาพ 46 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรน่าน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



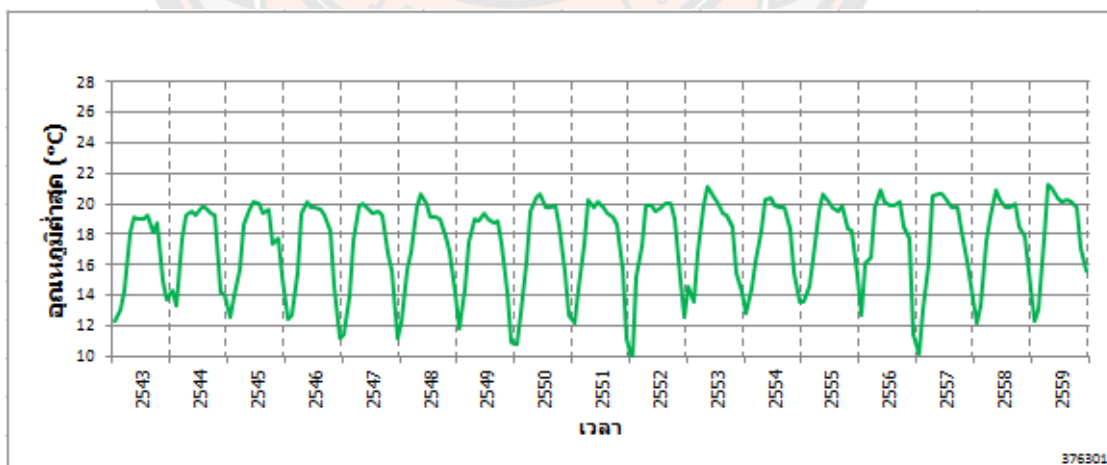
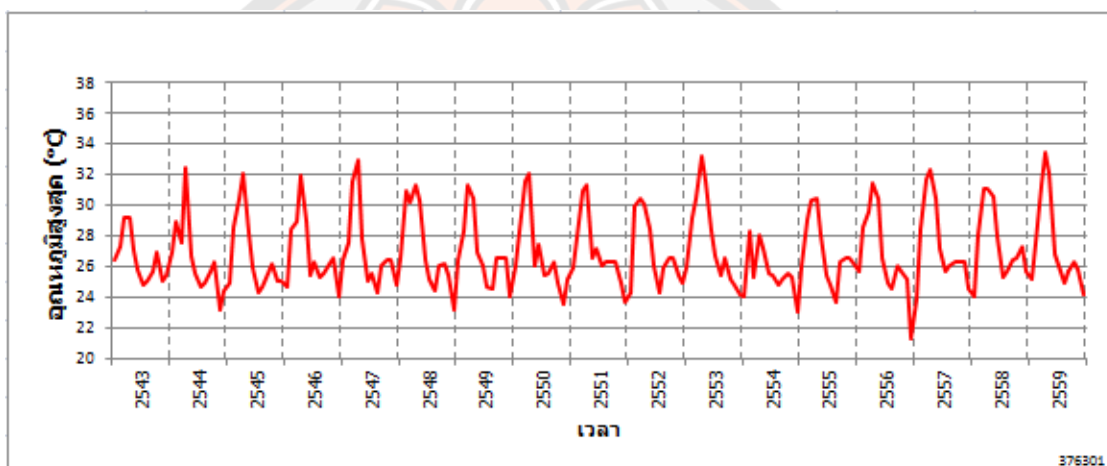
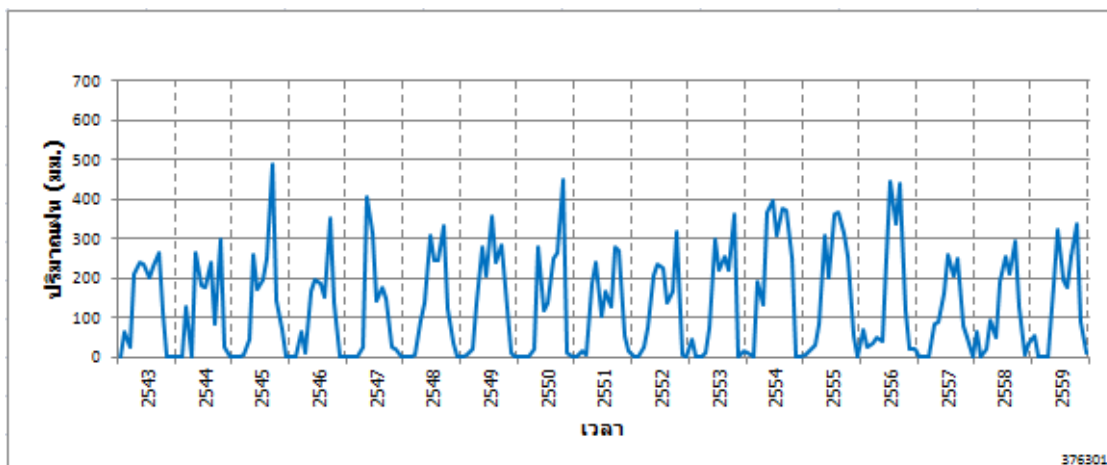
ภาพ 47 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรรณาน ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



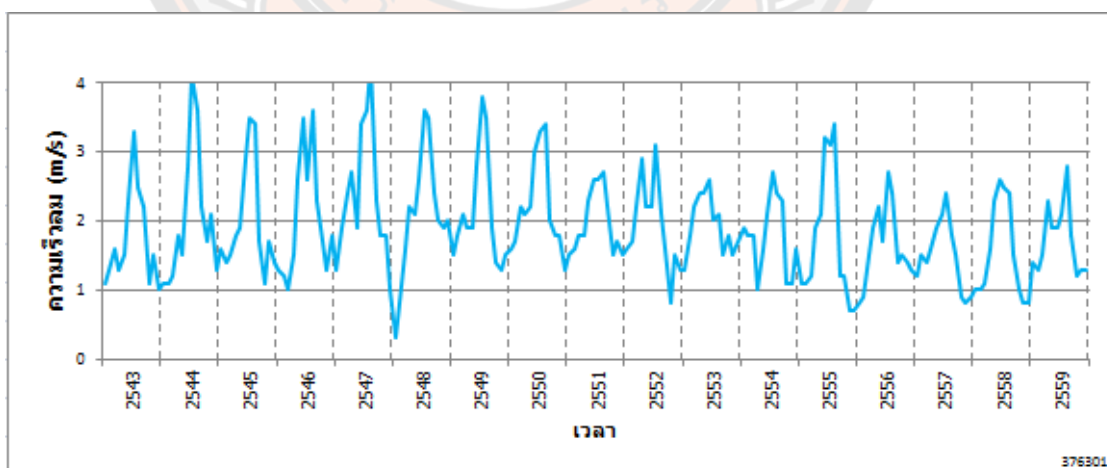
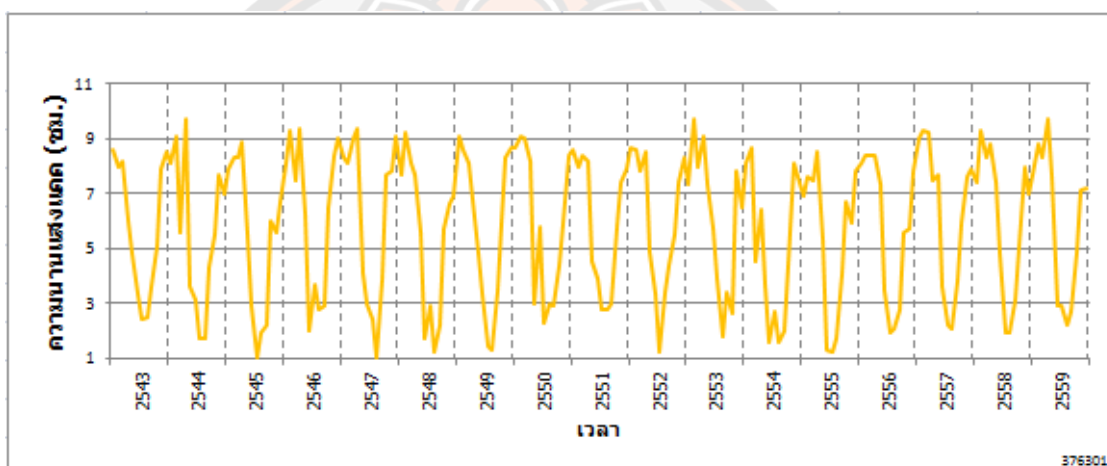
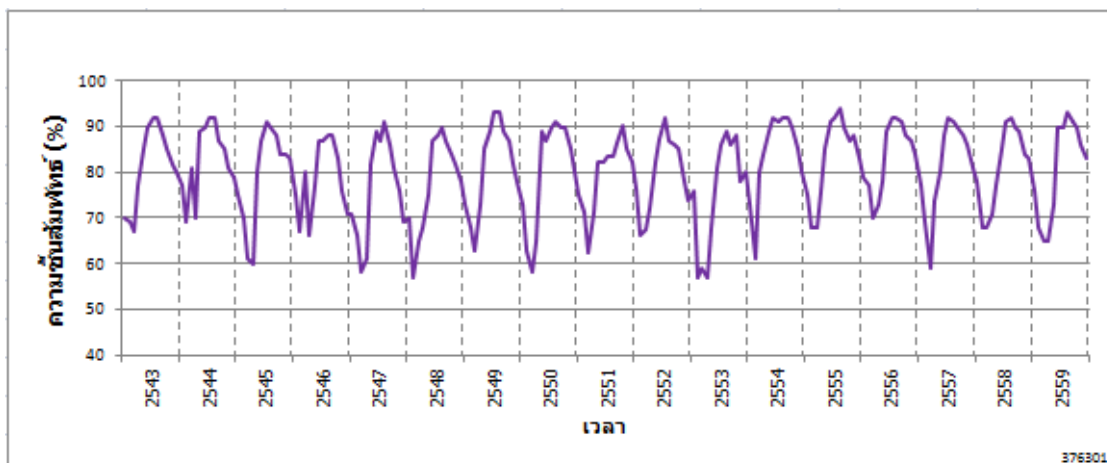
ภาพ 48 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



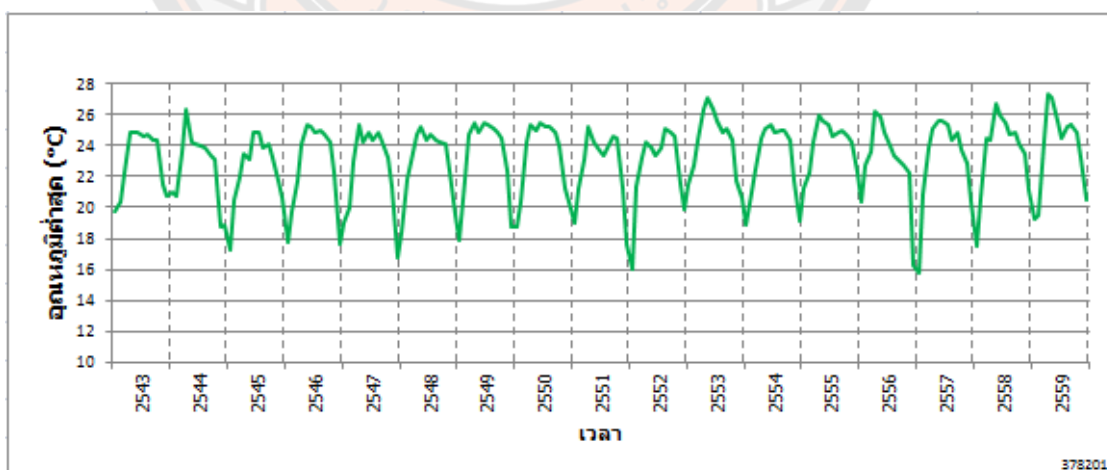
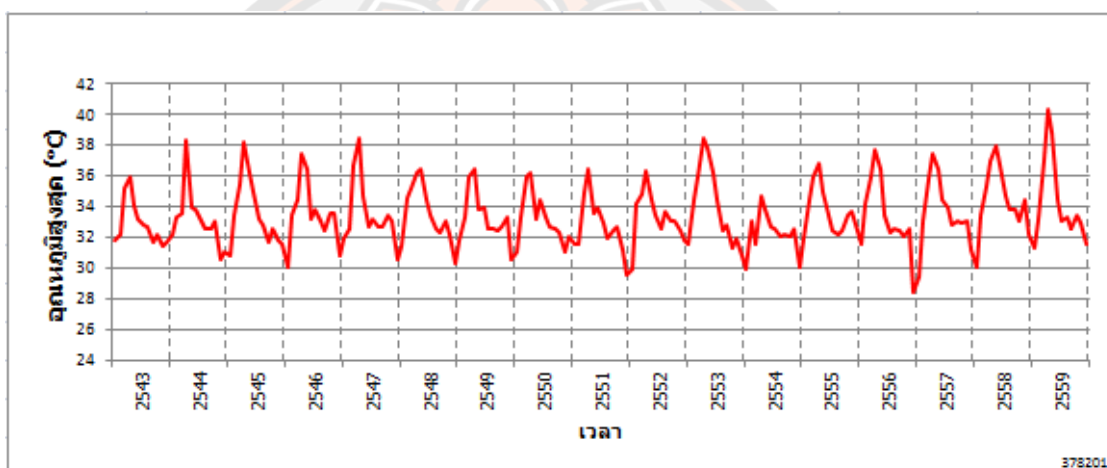
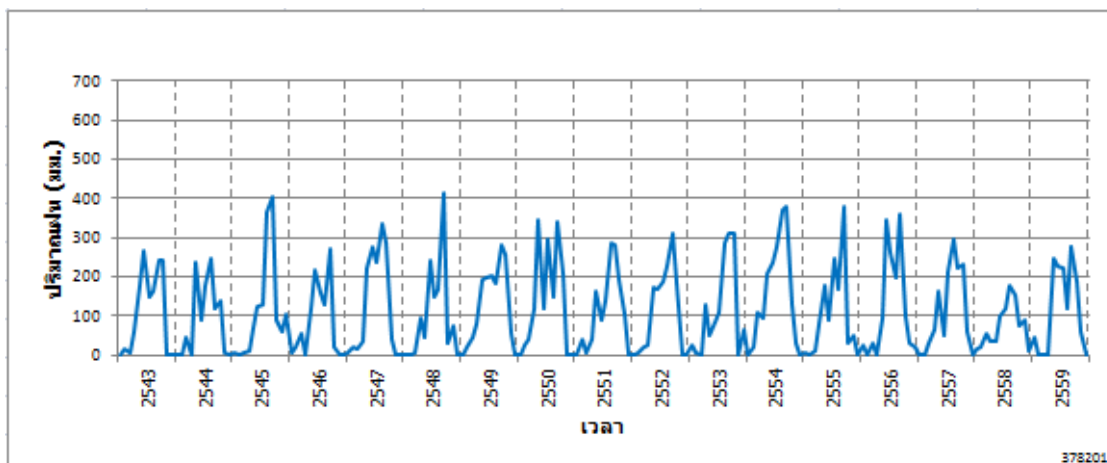
ภาพ 49 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



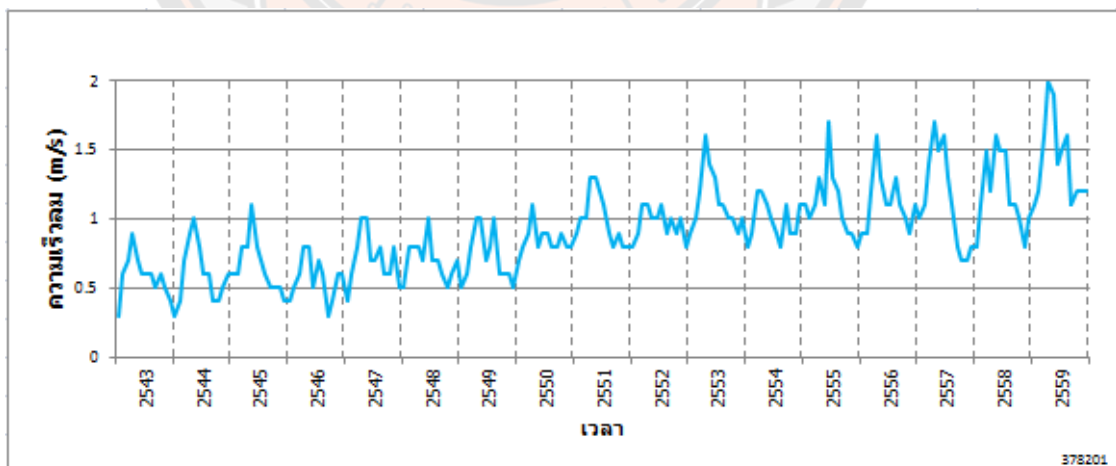
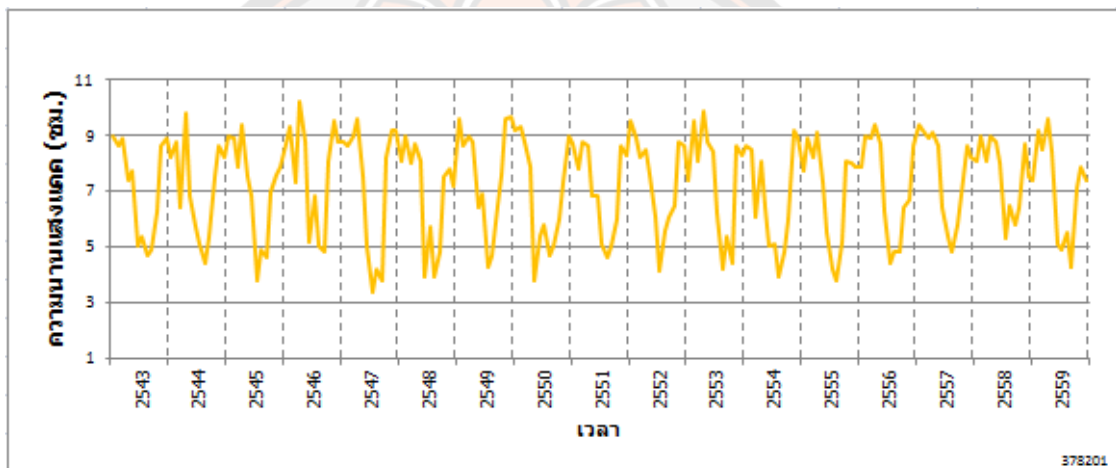
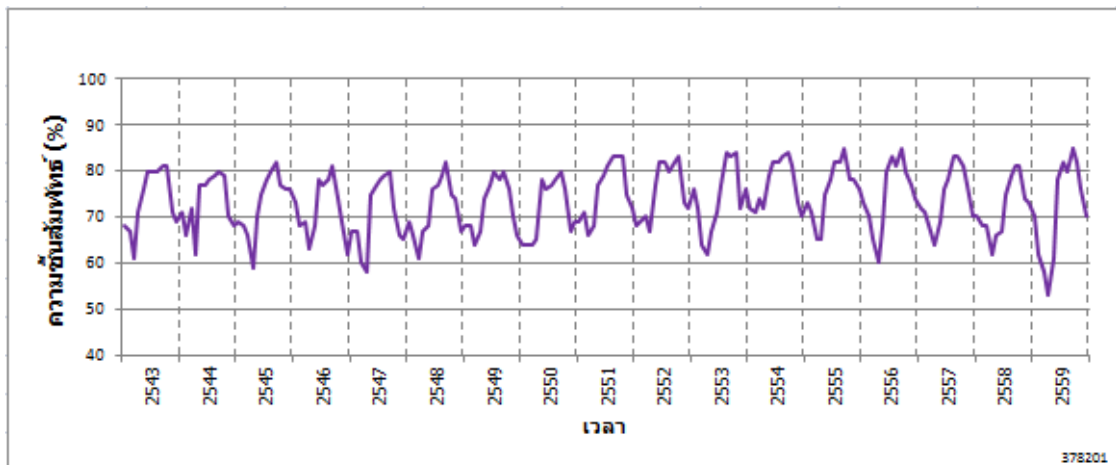
ภาพ 50 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรรอยมุเซอ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



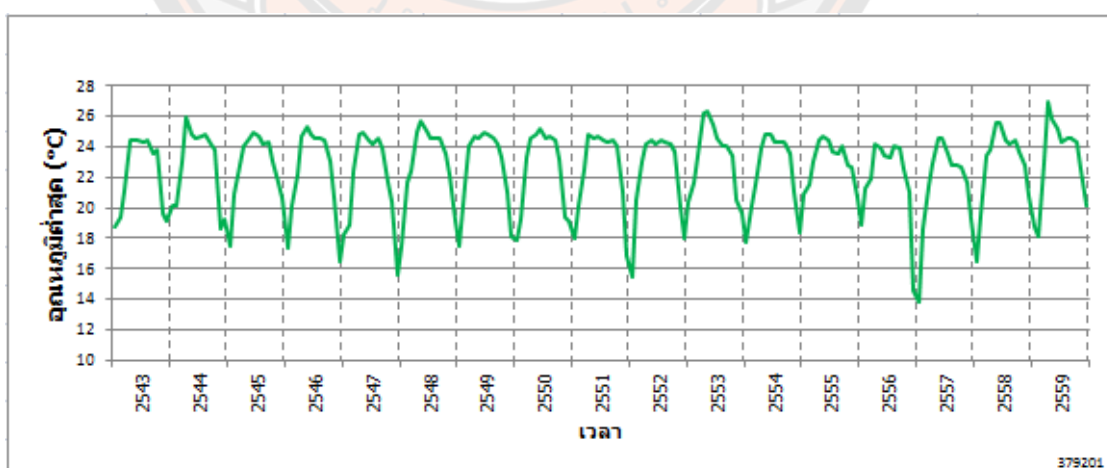
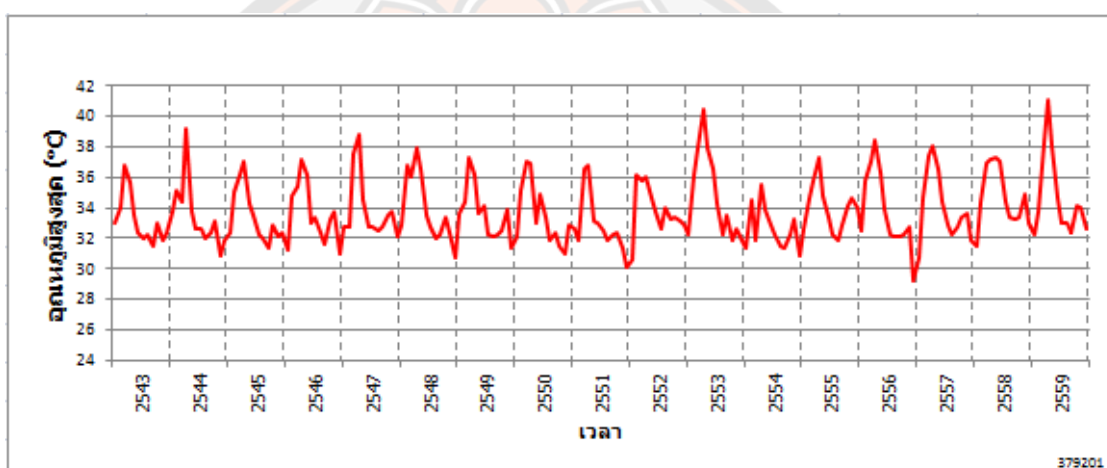
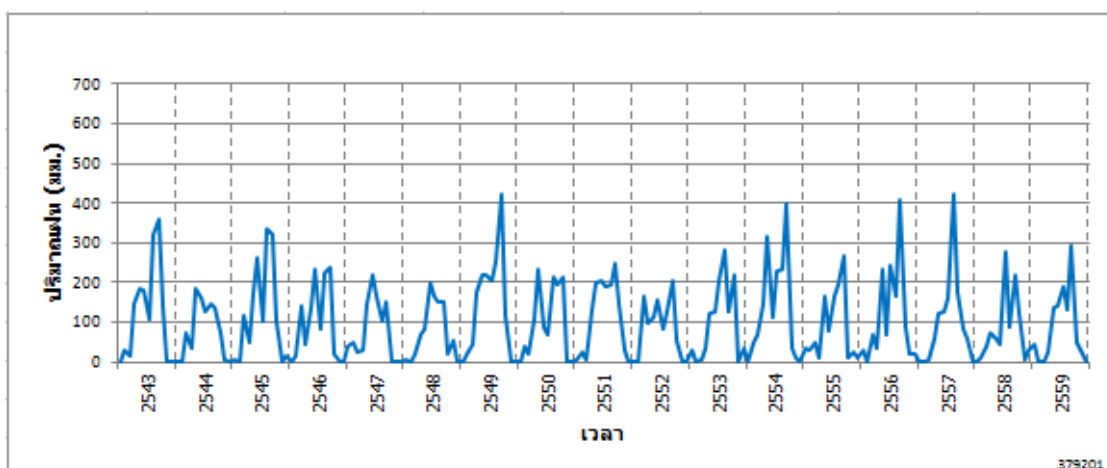
ภาพ 51 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรรอยมุเซอ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



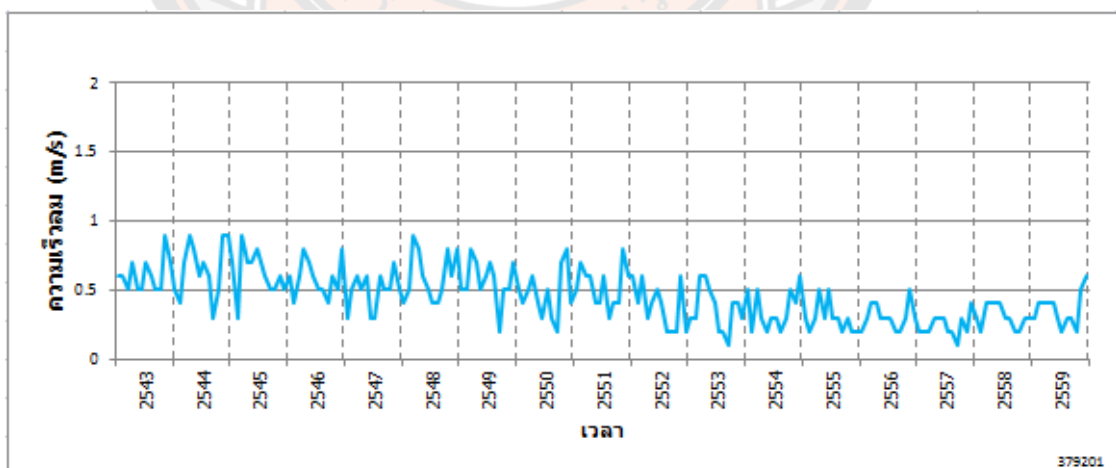
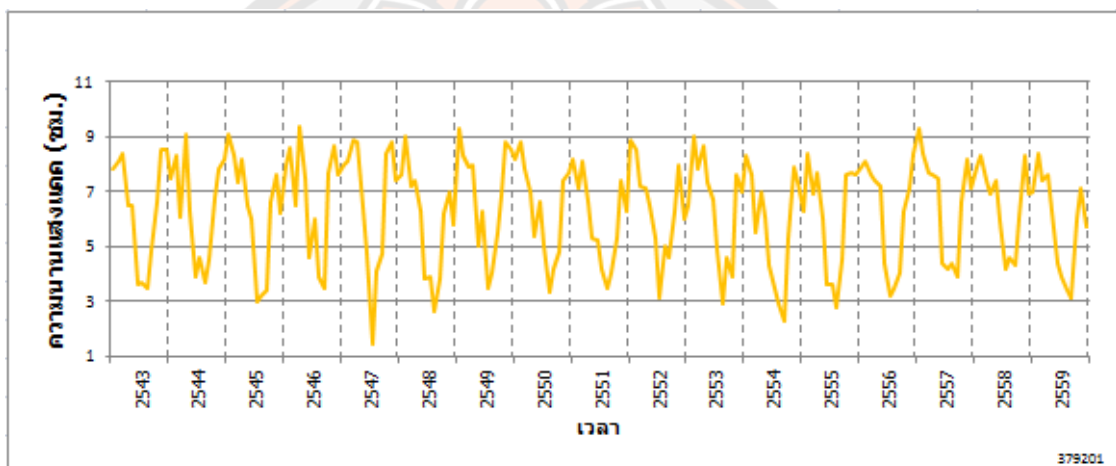
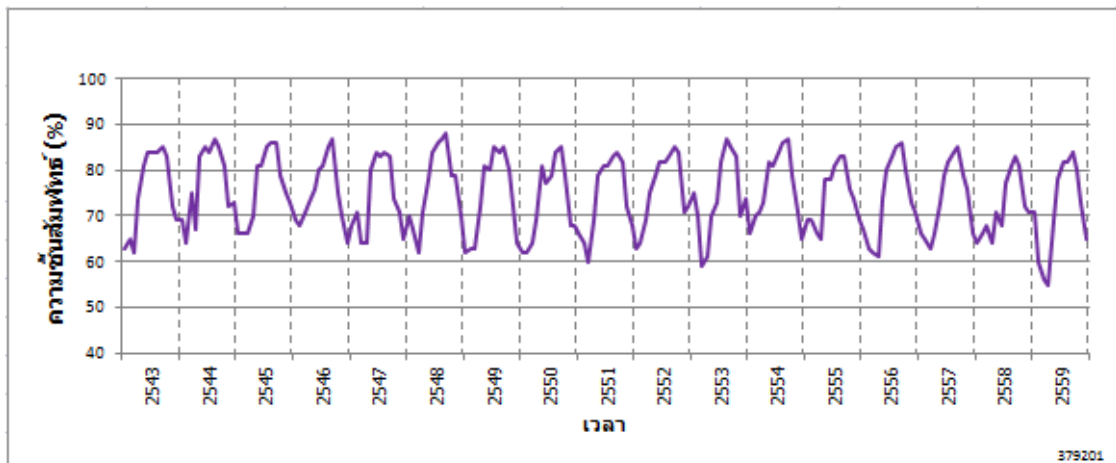
ภาพ 52 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



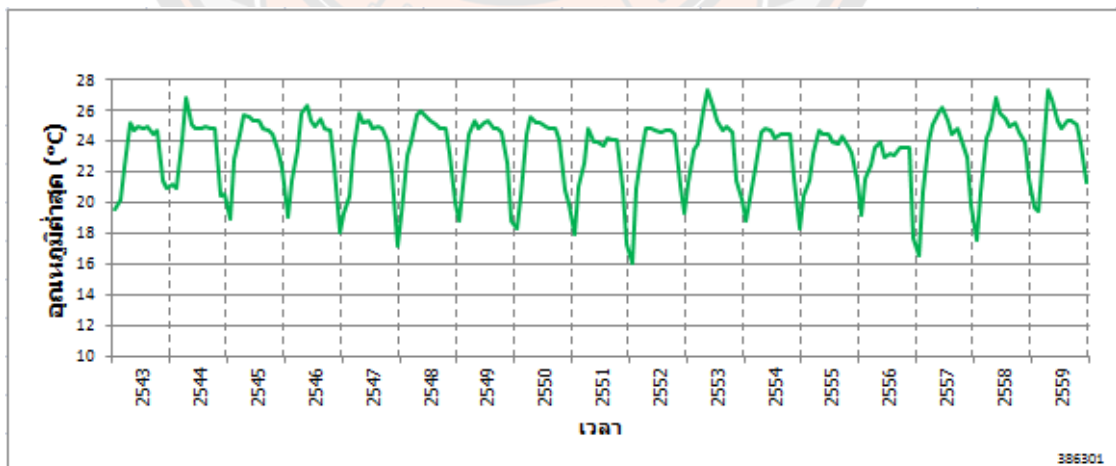
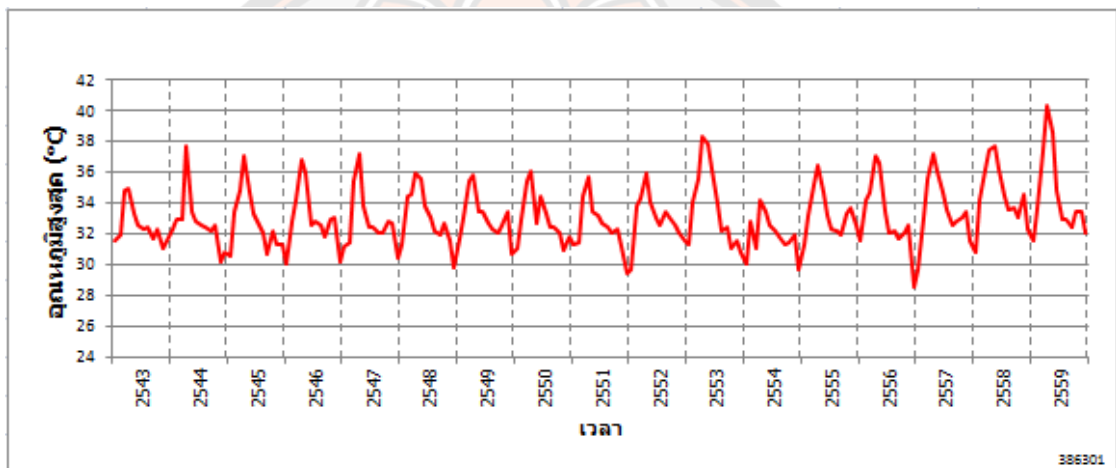
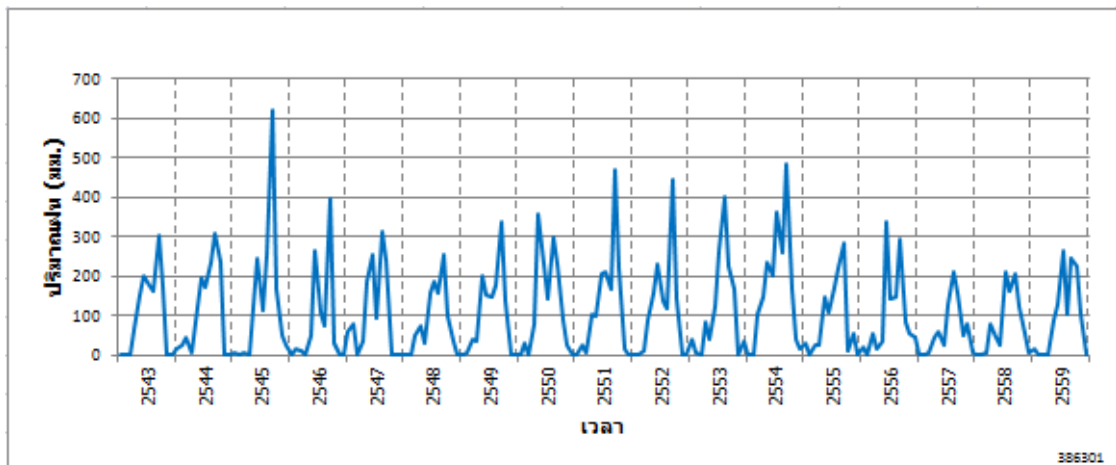
ภาพ 53 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



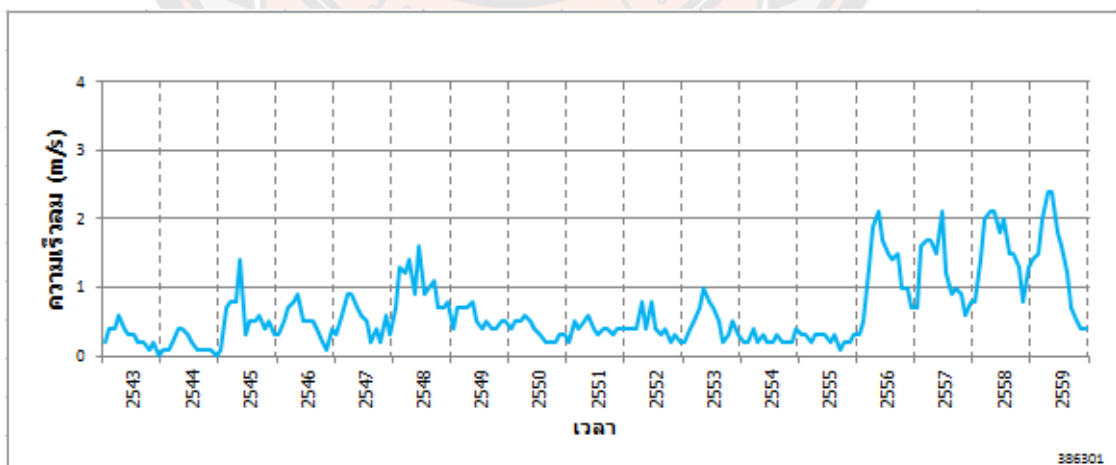
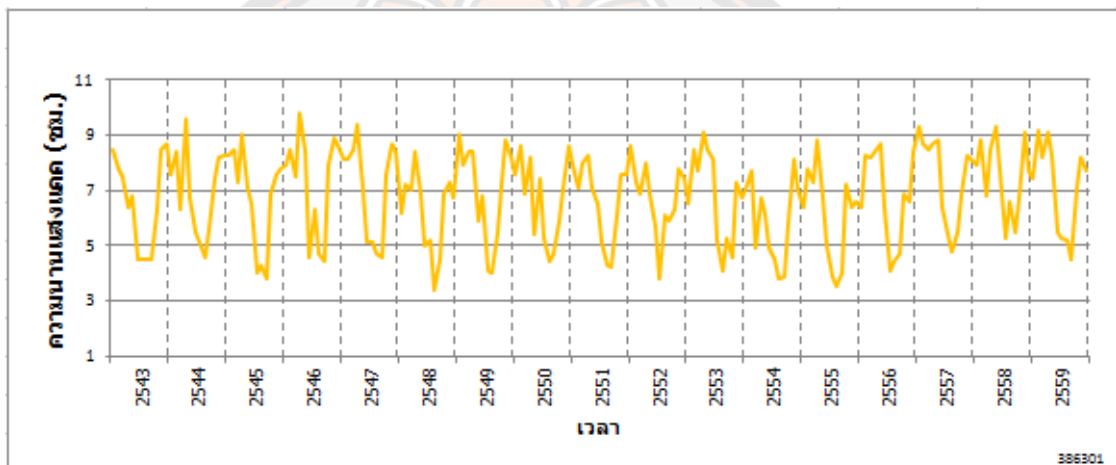
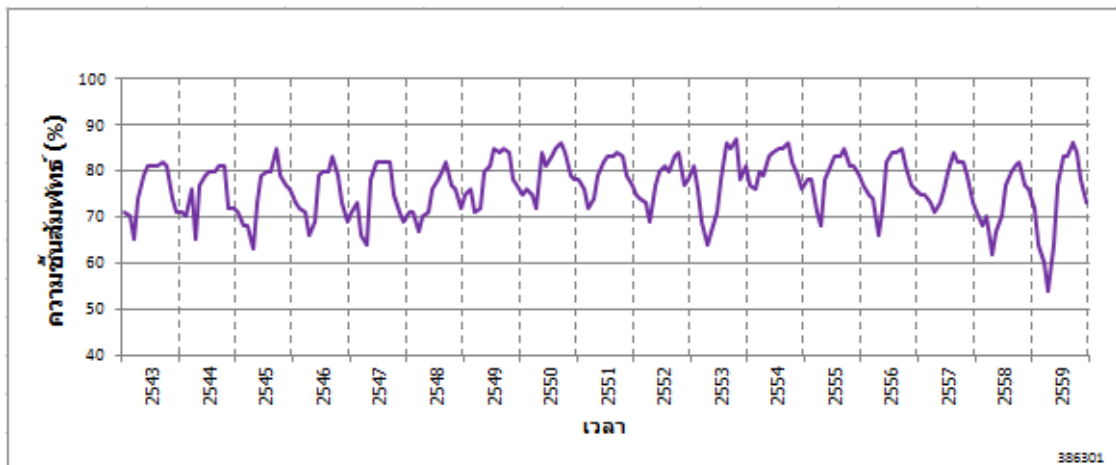
ภาพ 54 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



ภาพ 55 ความชื้นสัมพัทธ์ ความหนาแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



ภาพ 56 ปริมาณฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



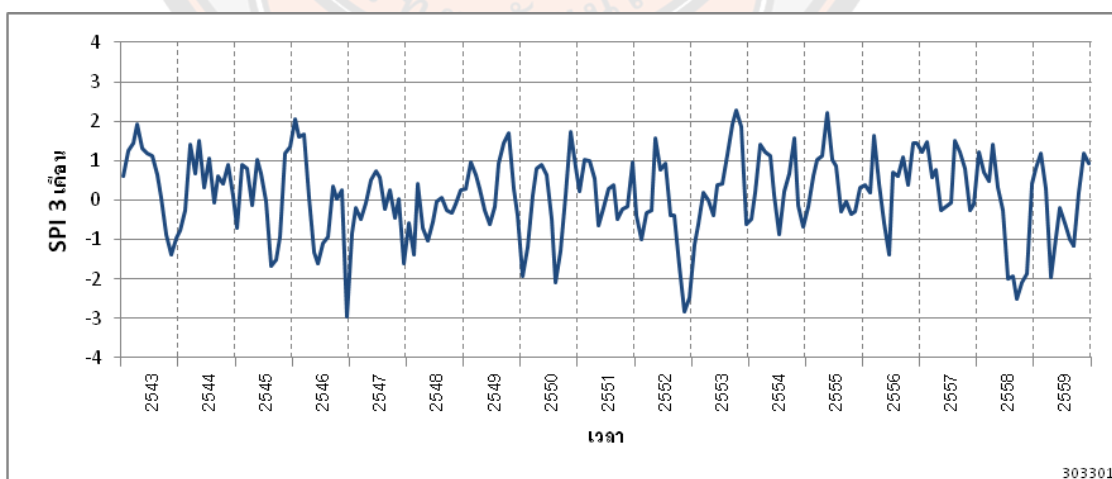
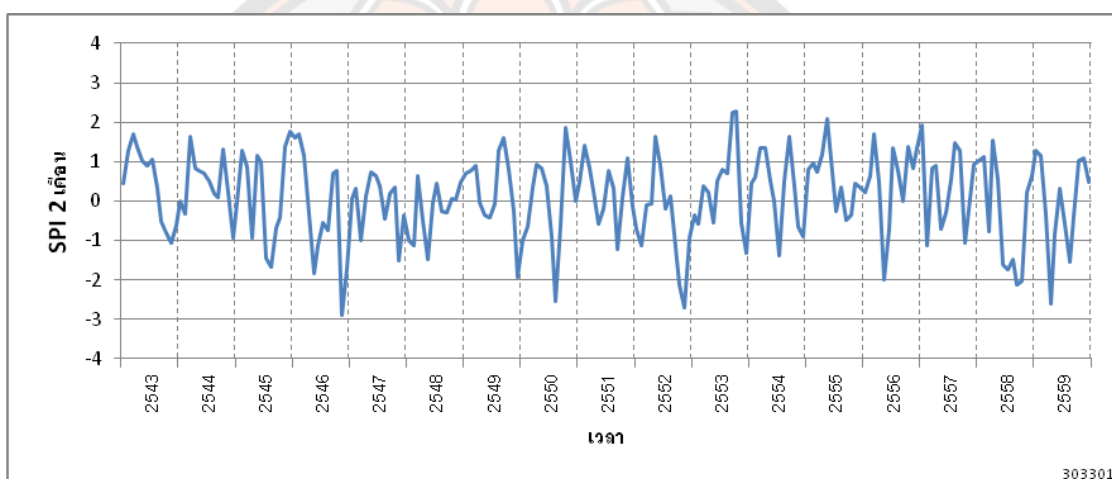
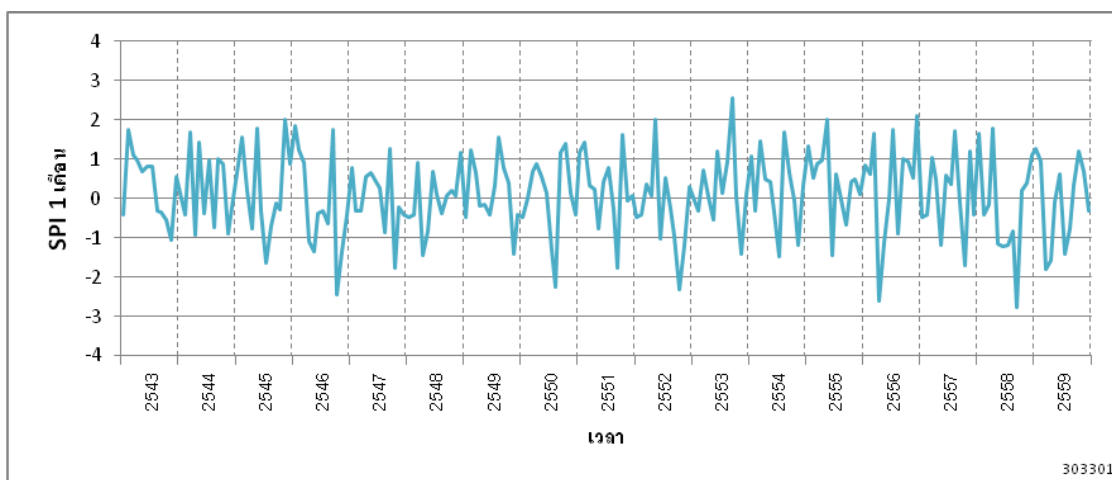
ภาพ 57 ความชื้นสัมพัทธ์ ความนานแสงแดด และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน
ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

ภาคผนวก ข กราฟดรรชนี SPI

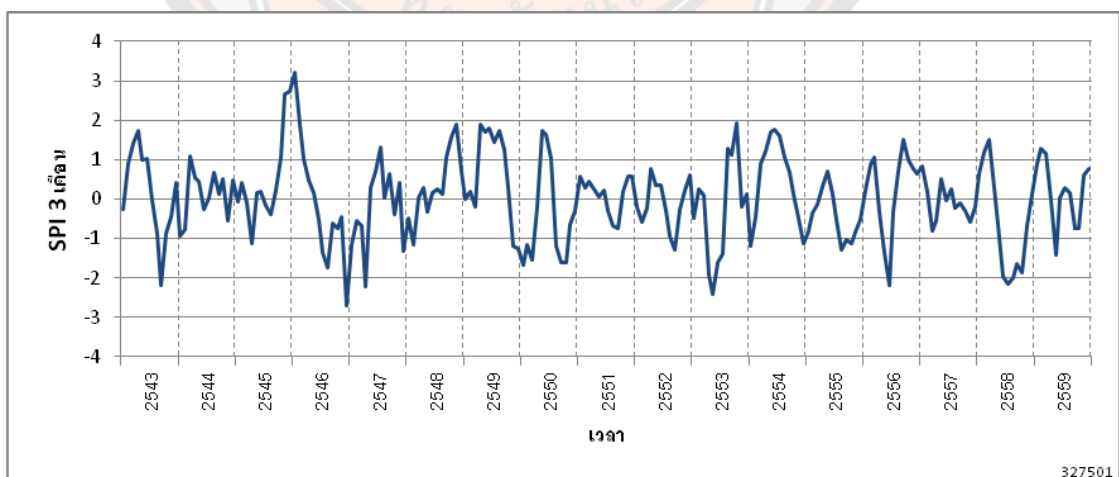
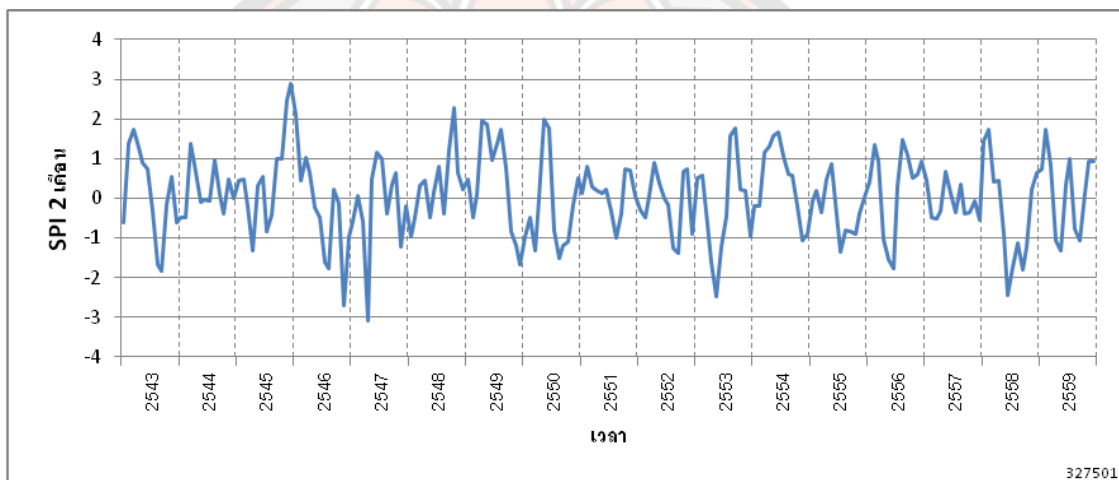
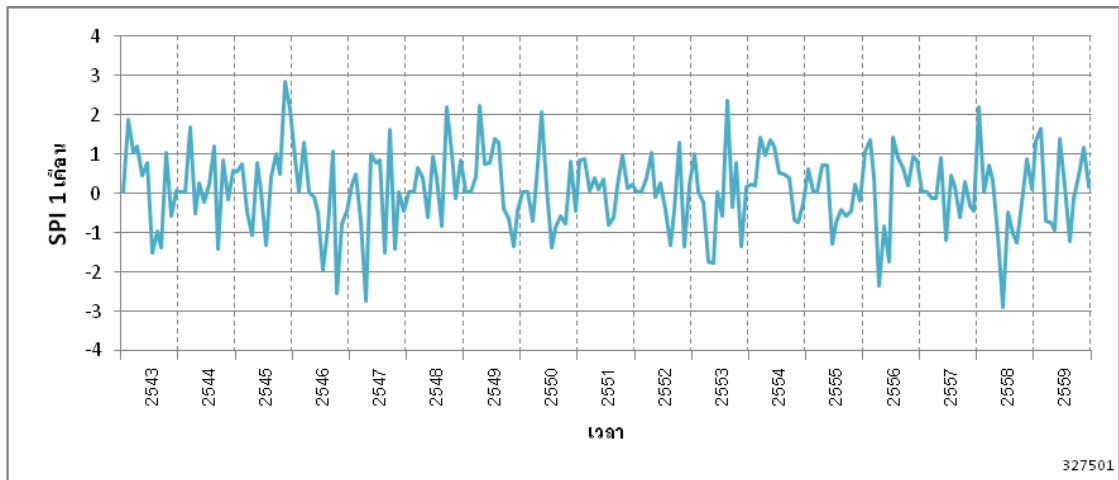
ผลลัพธ์ของดรรชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ พิษณุโลก และเพชรบูรณ์ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย ลำปาง น่าน ศรีสะเกษ ดอยมูเซอ และพิจิตร ระหว่าง พ.ศ.2543 - 2559 แสดงในรูปแบบของกราฟดังภาพ 58 - 66 โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา ดังตาราง 33

ตาราง 33 ดรรชนี SPI สูงสุดและต่ำสุดของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

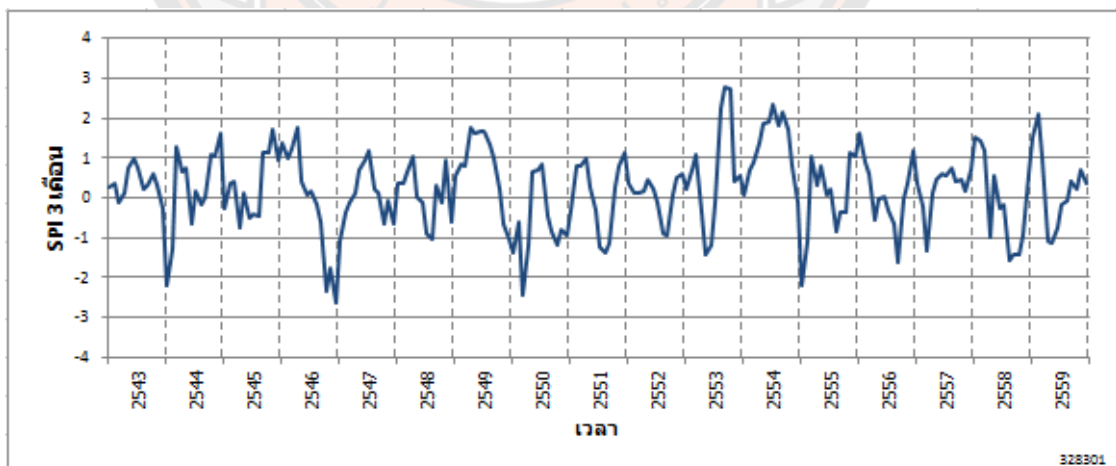
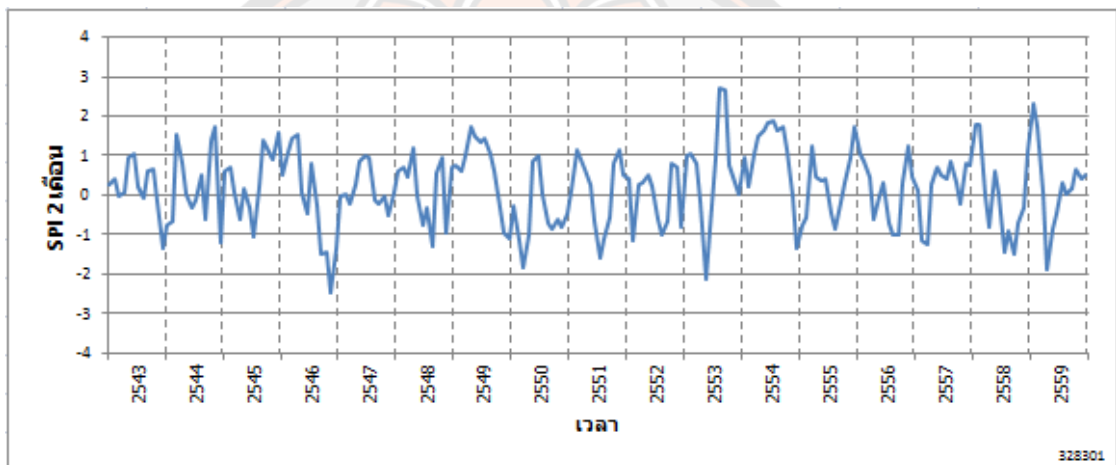
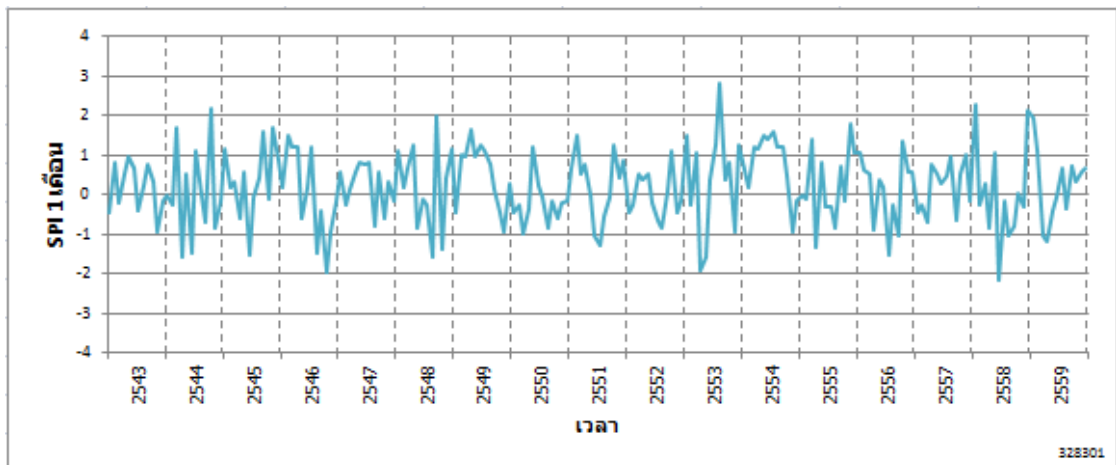
สถานี	ดรรชนี SPI สูงสุด			ดรรชนี SPI ต่ำสุด		
	ราย 1 เดือน	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน	ราย 1 เดือน	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน
เชียงราย	3.01	2.54	2.8	-2.67	-3.13	-2.85
เชียงราย สกษ.	2.56	2.28	2.28	-2.77	-2.89	-2.97
เชียงใหม่	2.85	2.88	3.21	-2.89	-3.1	-2.72
ลำปาง สกษ.	2.8	2.69	2.79	-2.16	-2.49	-2.62
น่าน สกษ.	2.51	2.24	2.48	-2.88	-3.11	-2.88
ศรีสะเกษ สกษ.	2.7	2.67	2.53	-2.35	-2.43	-2.42
ดอยมูเซอ สกษ.	2.03	2.01	2.14	-2.44	-2.57	-2.57
พิษณุโลก	2.46	2.44	2.27	-2.2	-3.31	-3.77
เพชรบูรณ์	2.32	2.33	2.26	-3.56	-3	-3.16
พิจิตร สกษ.	2.61	2.38	2.4	-3.18	-3.6	-3.6



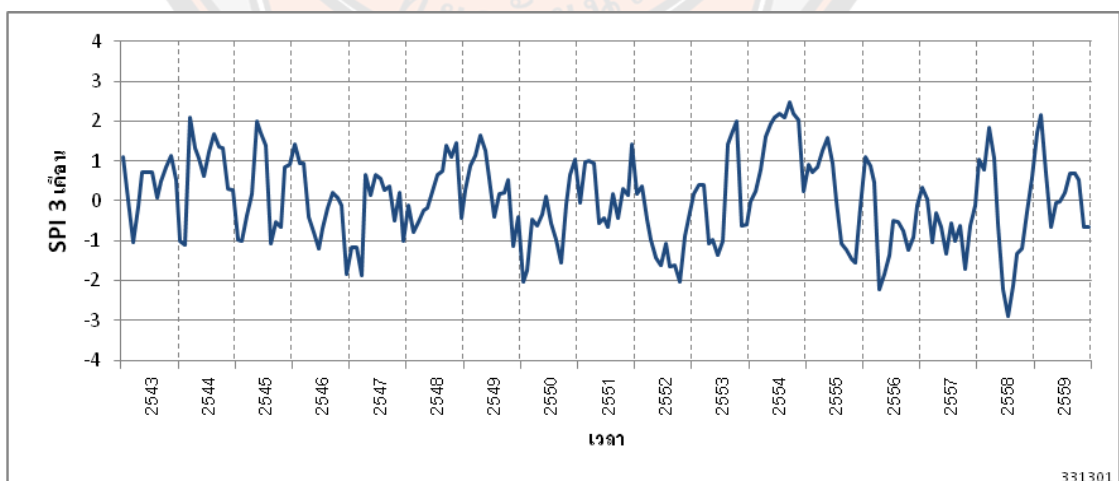
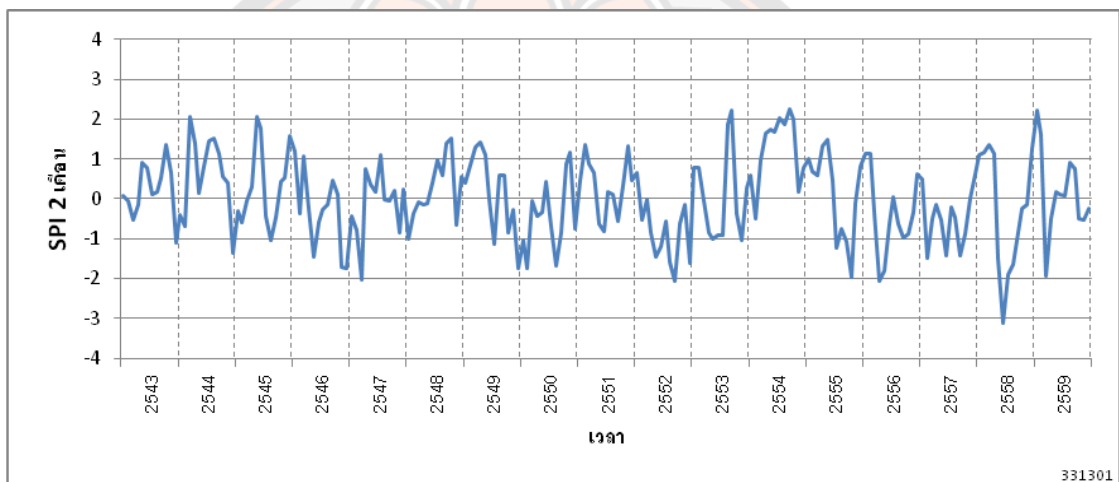
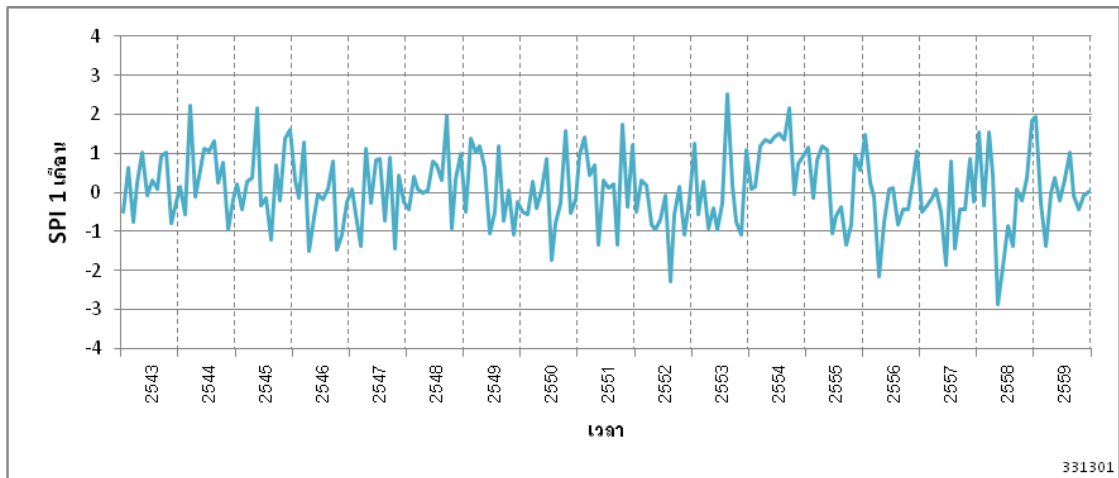
ภาพ 58 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชิงทราย
ระหว่าง พ.ศ. 2543 – 2559



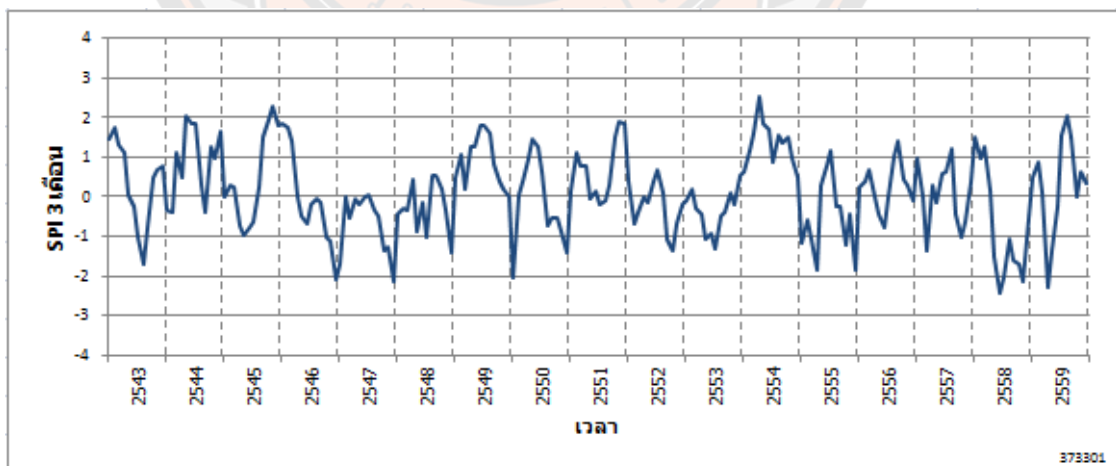
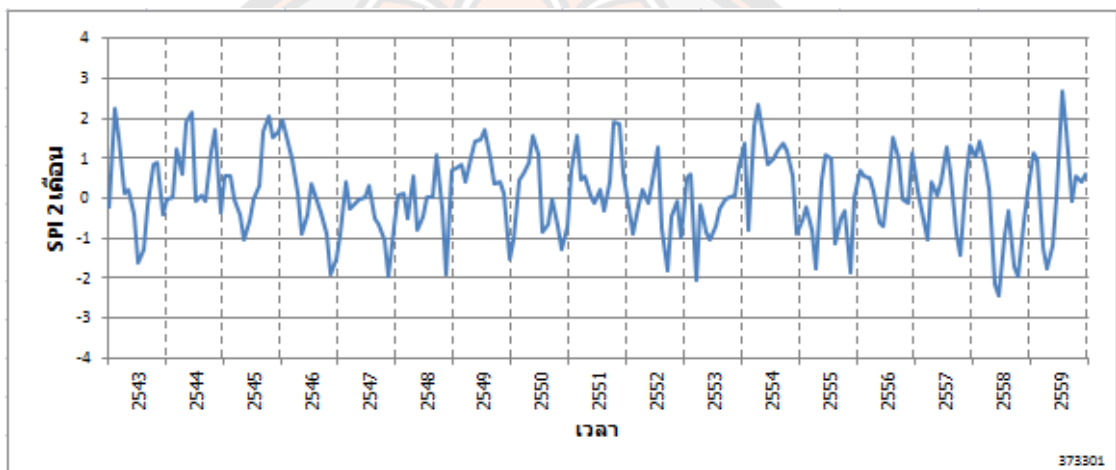
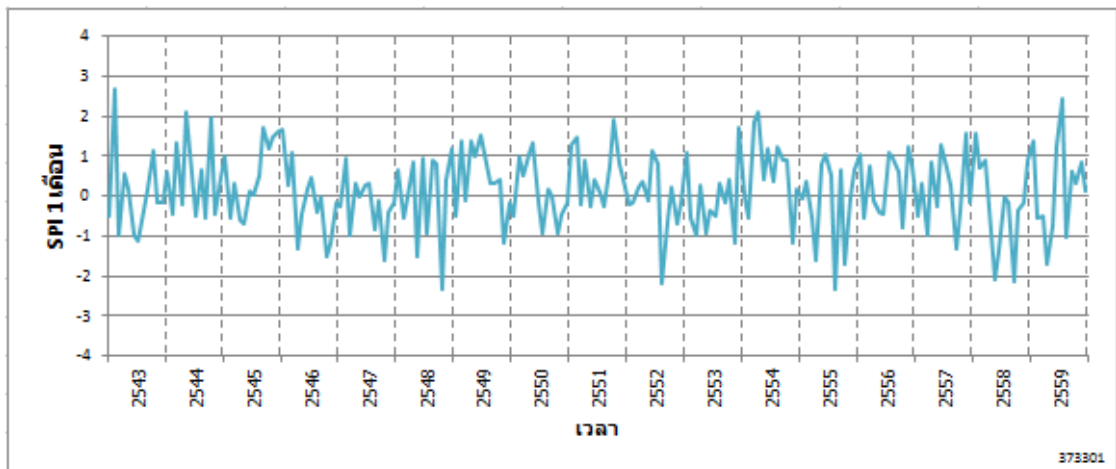
ภาพ 59 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่
ระหว่าง พ.ศ. 2543 – 2559



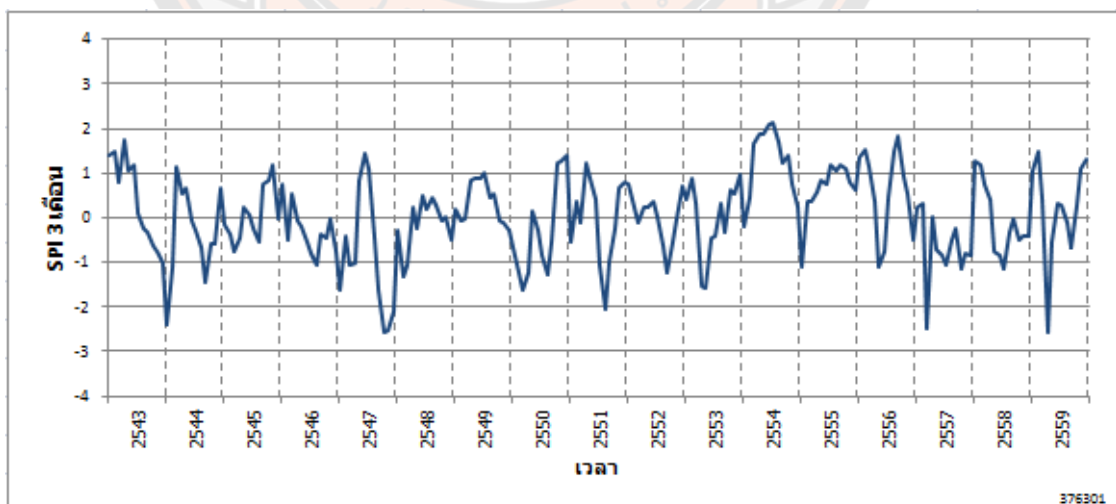
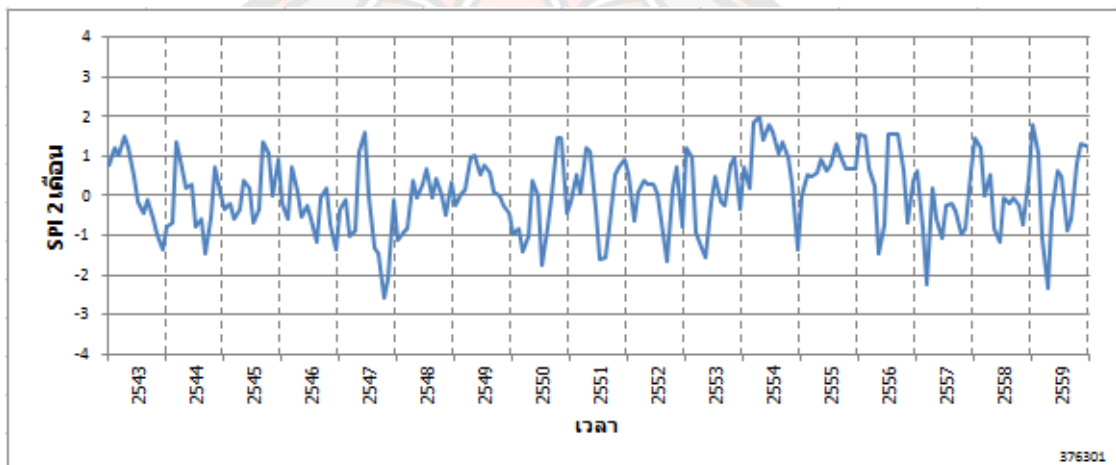
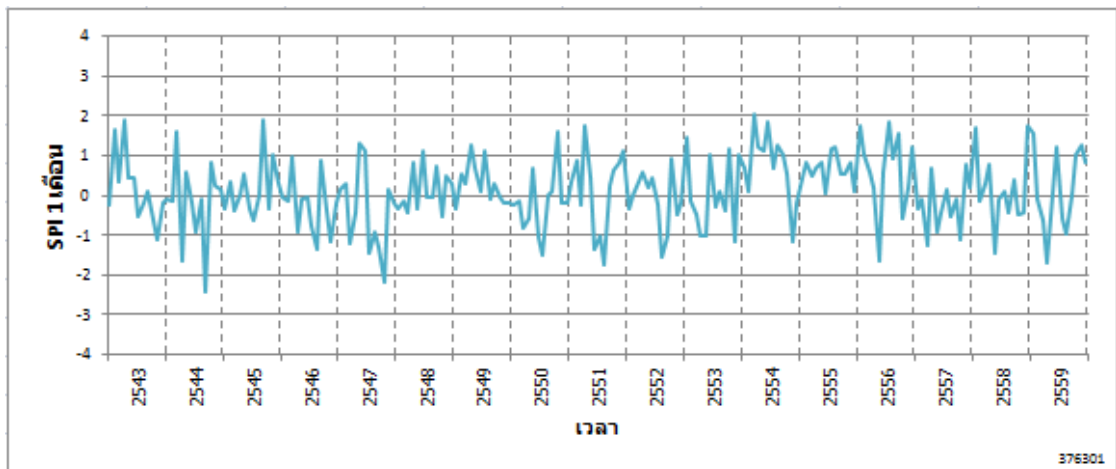
ภาพ 60 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปาง
ระหว่าง พ.ศ. 2543 – 2559



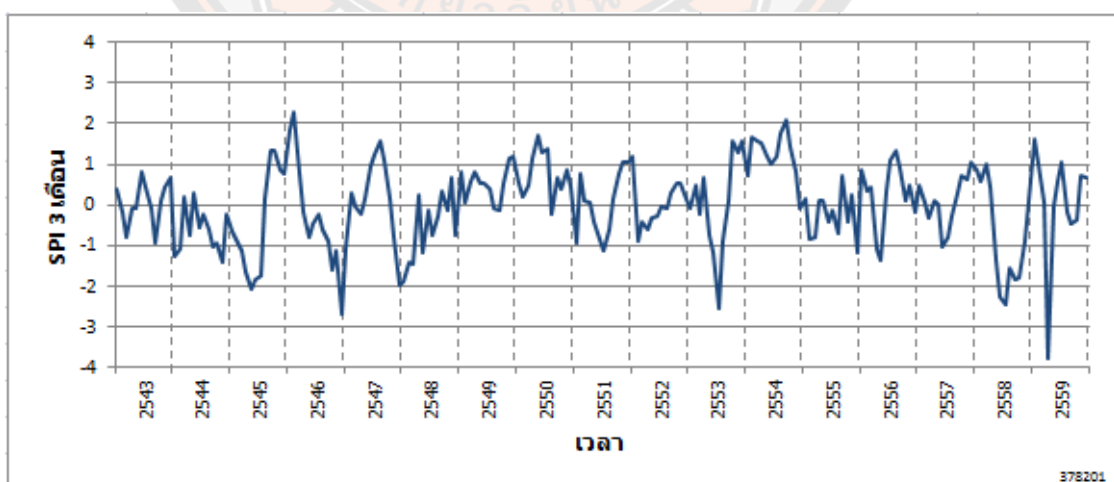
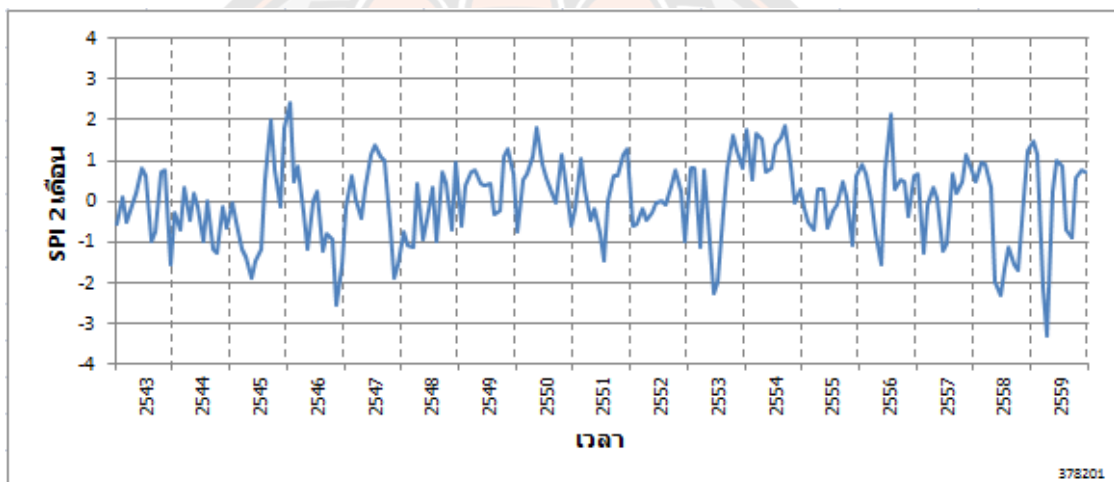
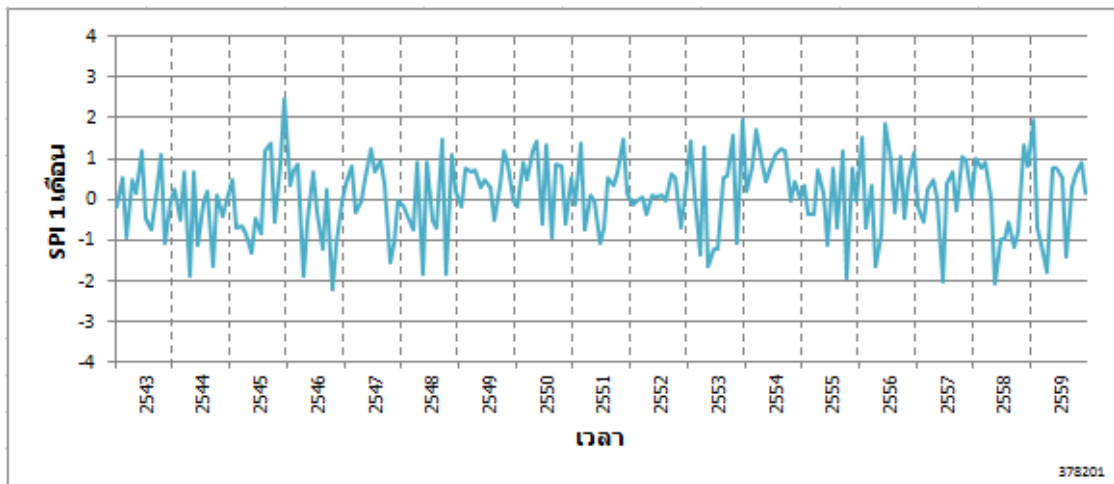
ภาพ 61 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรร่นาน
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



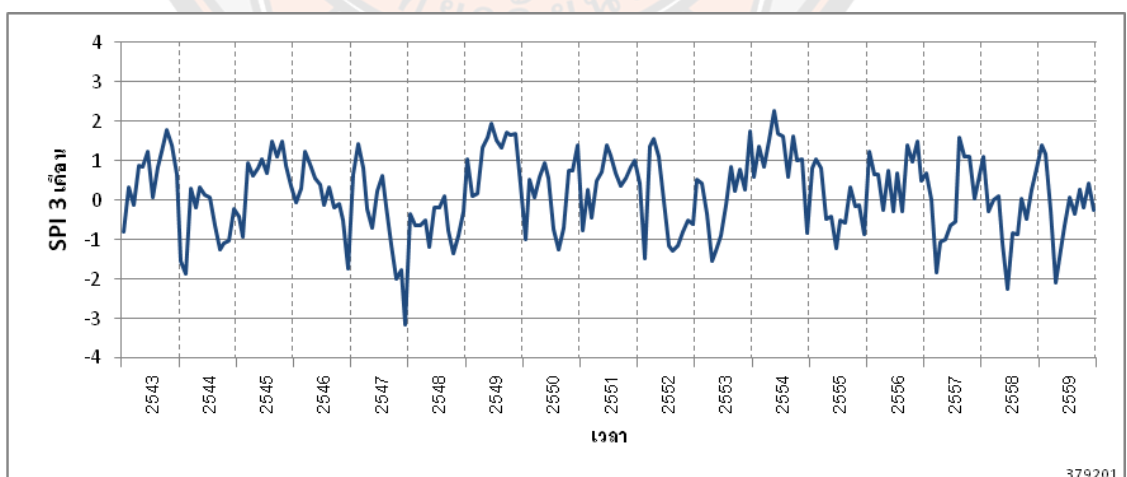
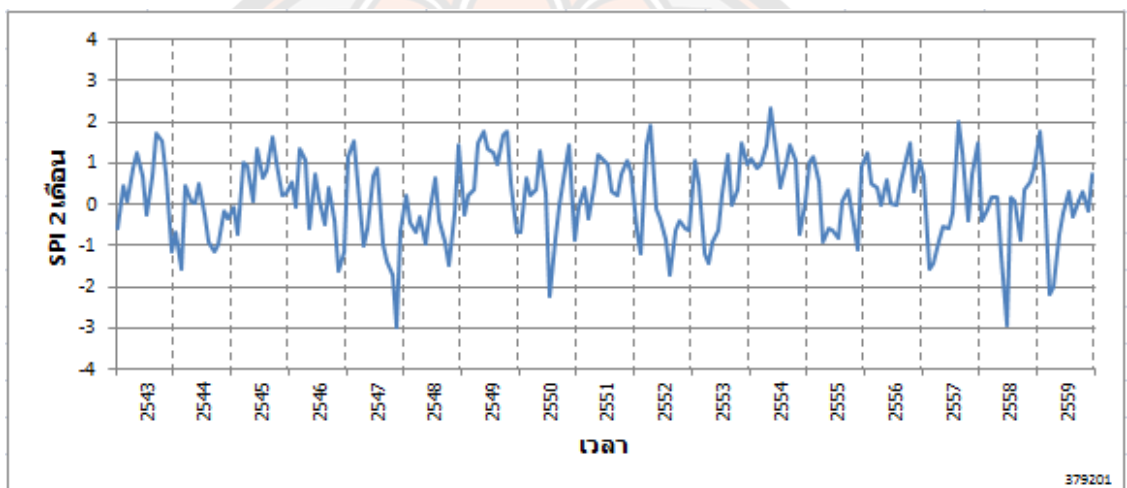
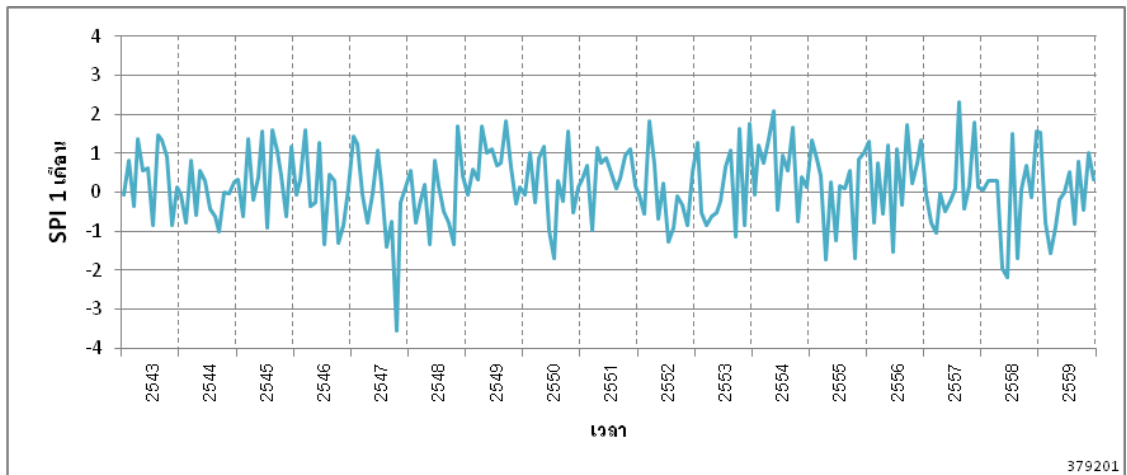
ภาพ 62 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรง
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



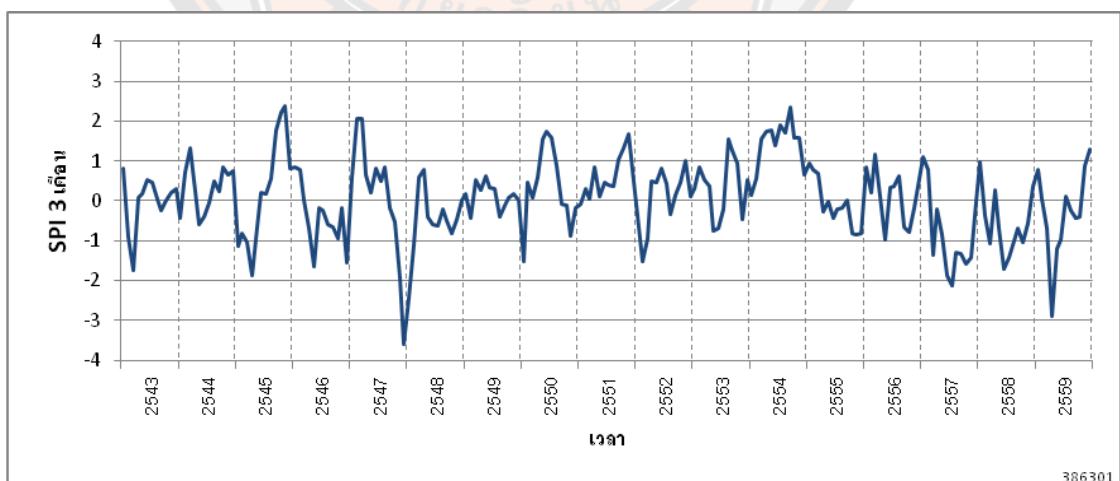
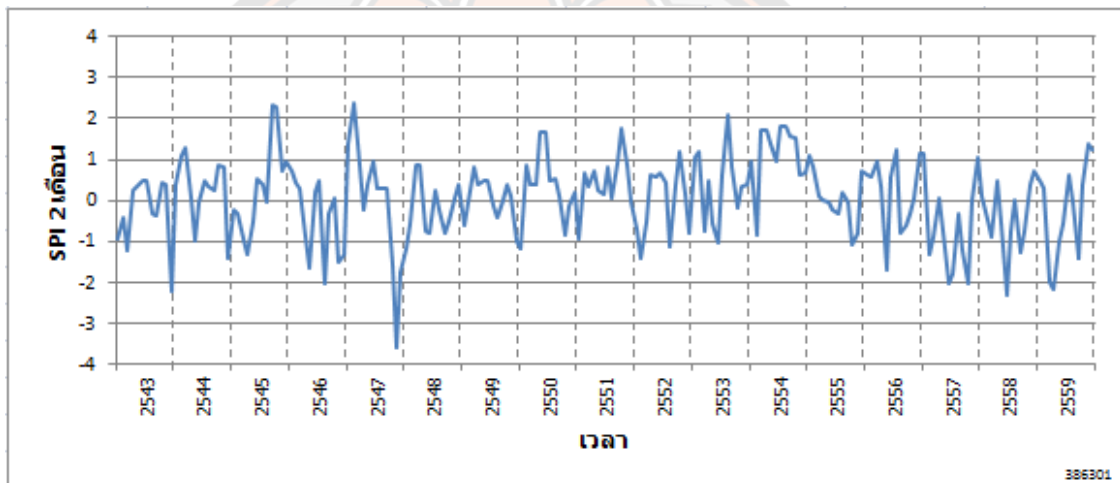
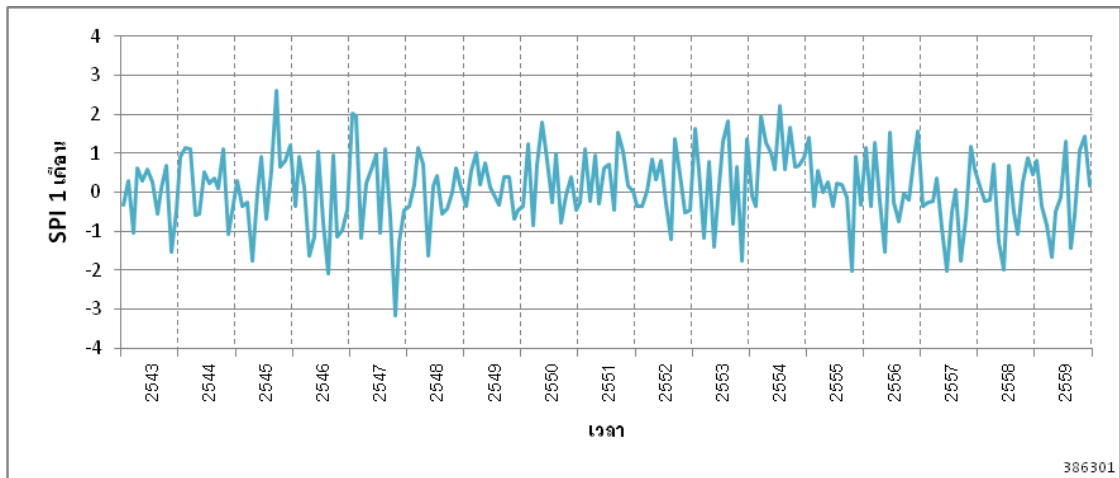
ภาพ 63 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรรอยมุเขอ
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



ภาพ 64 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก
ระหว่าง พ.ศ. 2543 – 2559



ภาพ 65 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



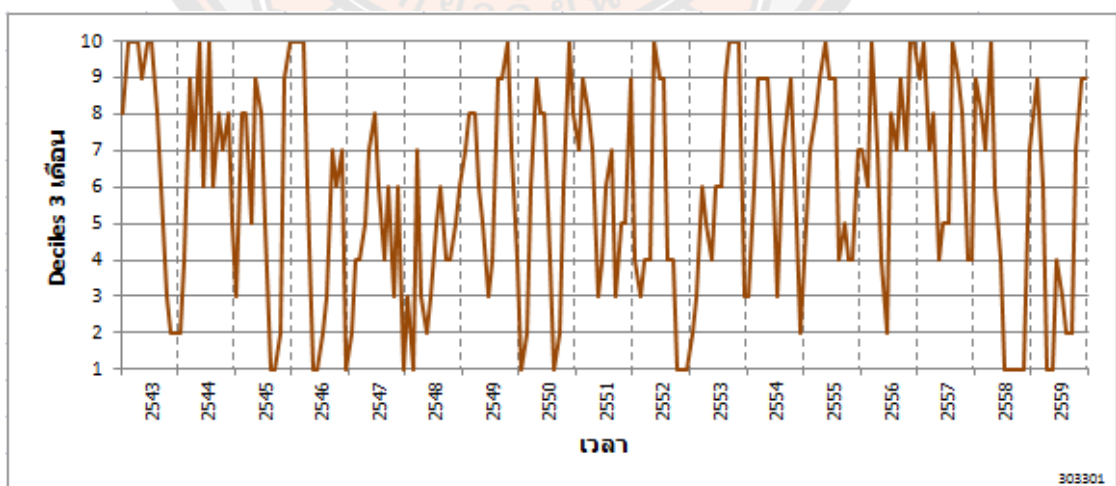
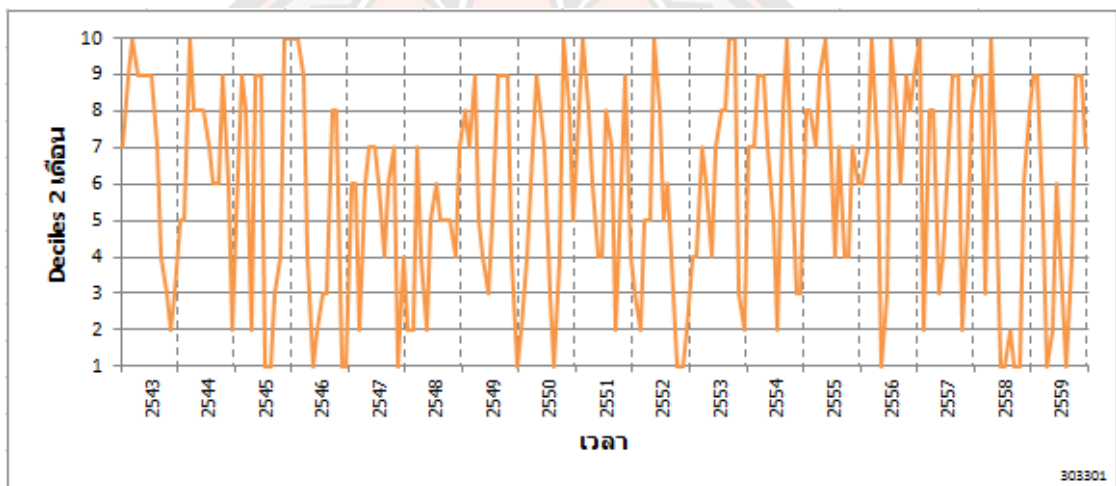
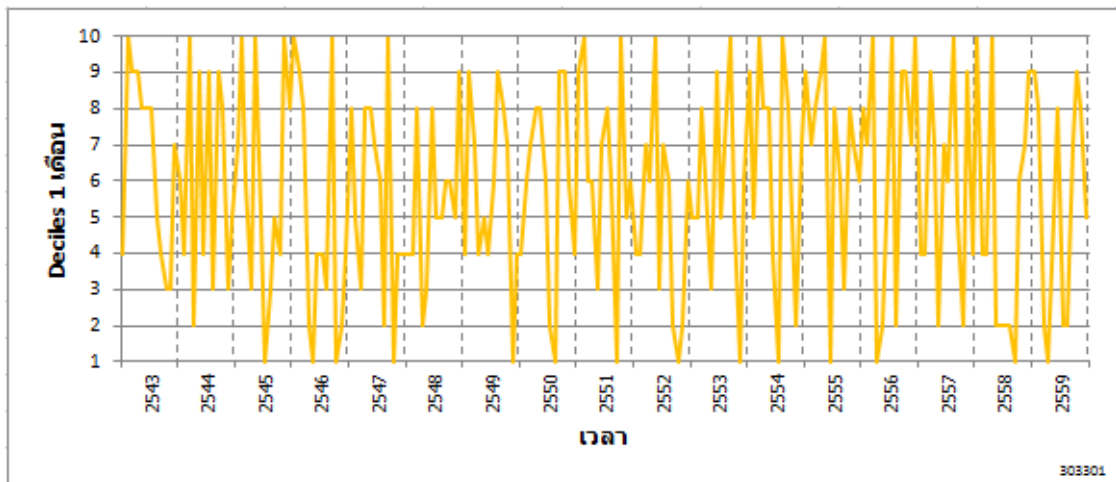
ภาพ 66 ผลลัพธ์ค่าดัชนี SPI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

ภาคผนวก ค กราฟตรรชนี Deciles

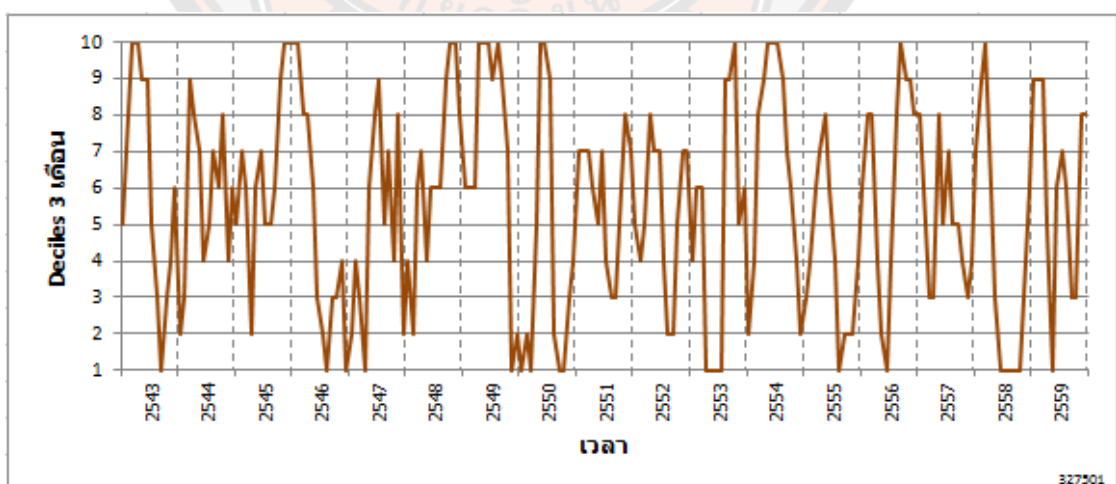
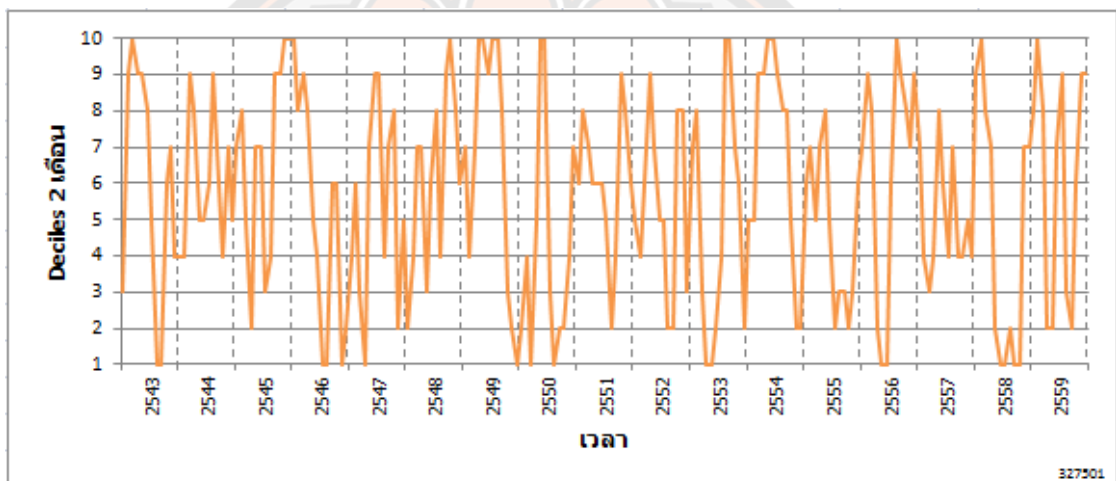
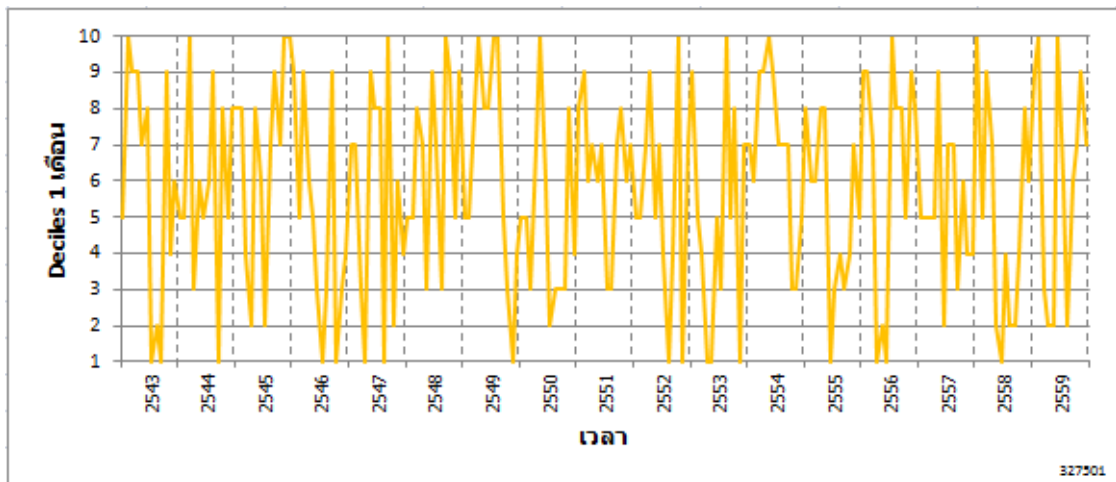
ผลลัพธ์ของตรรชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ พิษณุโลก และเพชรบูรณ์ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย ลำปาง น่าน ศรีสำโรง ดอยมูเซอ และพิจิตร ระหว่าง พ.ศ.2543 - 2559 แสดงในรูปแบบของกราฟดังภาพ 67 - 75 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 10 และต่ำสุดเท่ากับ 1 โดยเฉพาะช่วงเวลาที่เกิดค่าสูงสุดและต่ำสุดของตรรชนี Deciles ราย 2 และ 3 เดือนส่วนมากมีช่วงเวลาที่ตรงกัน ซึ่งจำนวนครั้งที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา ดังตาราง 34

ตาราง 34 จำนวนครั้งที่มีค่าตรรชนี Deciles สูงสุดและต่ำสุดของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

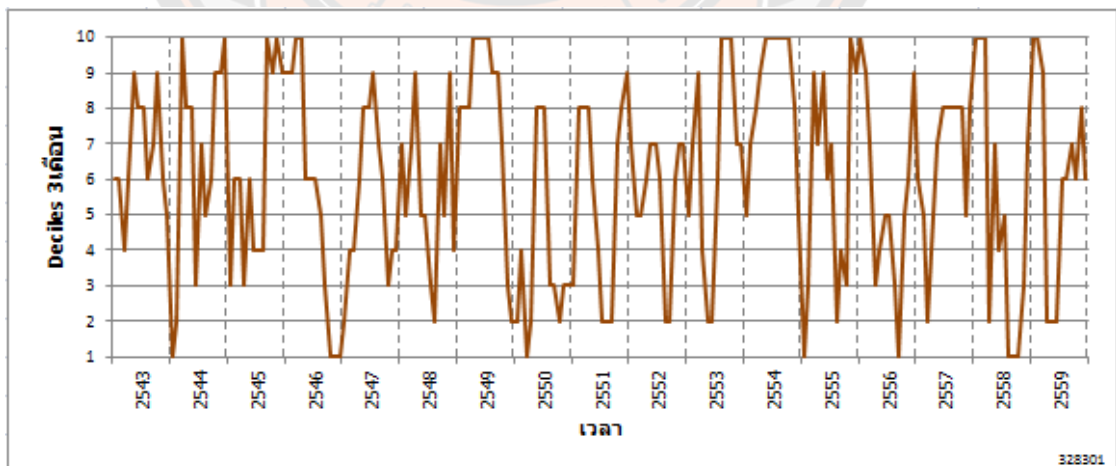
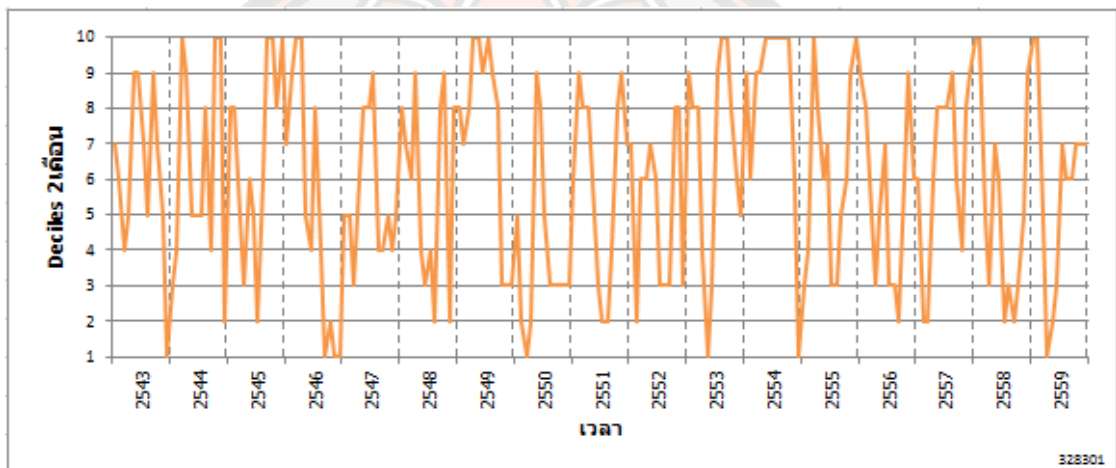
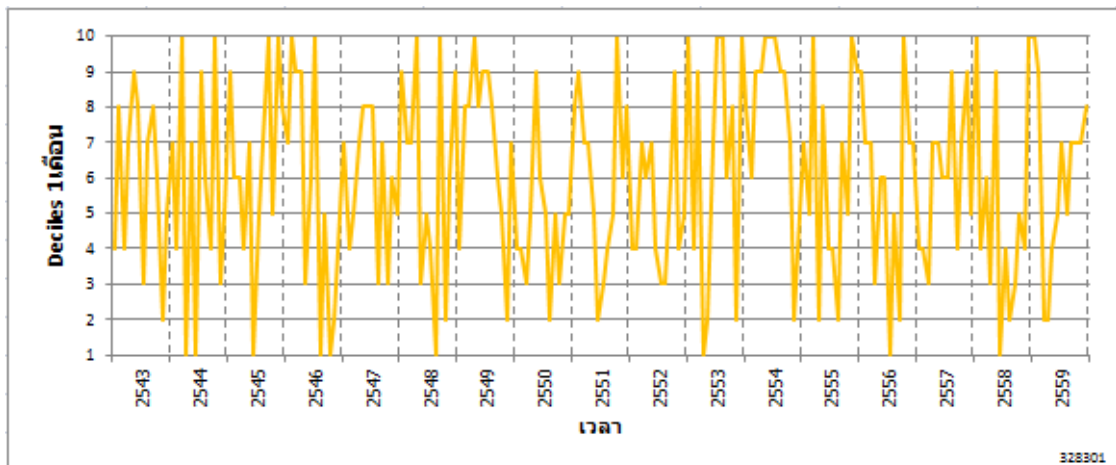
สถานี	จำนวนครั้งตรรชนี Deciles สูงสุด			จำนวนครั้งตรรชนี Deciles ต่ำสุด		
	ราย 1 เดือน	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน	ราย 1 เดือน	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน
เชียงราย	20	21	25	14	13	12
เชียงราย สกษ.	21	17	24	14	17	19
เชียงใหม่	17	18	20	17	17	21
ลำปาง สกษ.	22	25	26	9	8	10
น่าน สกษ.	20	24	24	15	22	19
ศรีสำโรง สกษ.	25	24	29	9	18	18
ดอยมูเซอ สกษ.	16	14	16	7	13	13
พิษณุโลก	16	13	15	15	19	18
เพชรบูรณ์	26	22	23	9	12	11
พิจิตร สกษ.	17	16	18	11	13	14



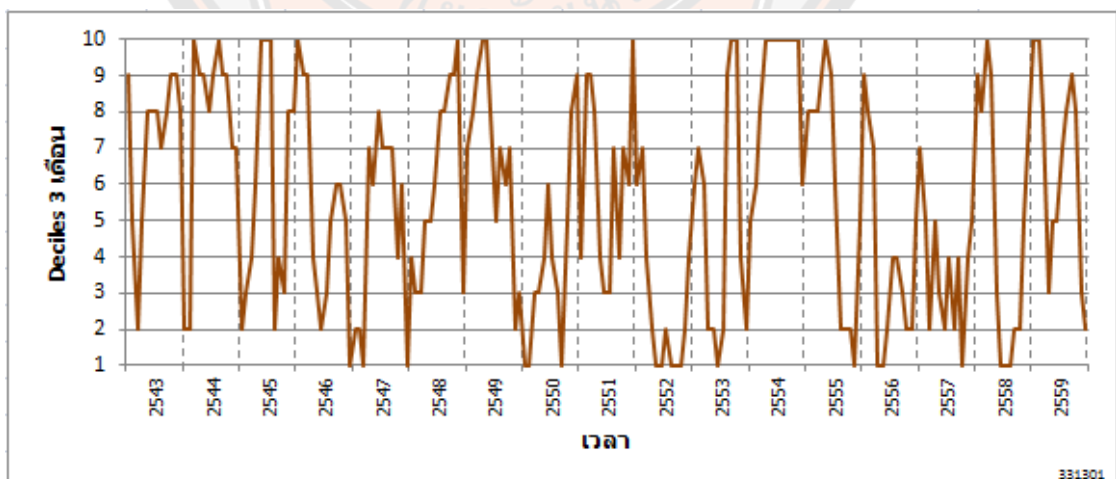
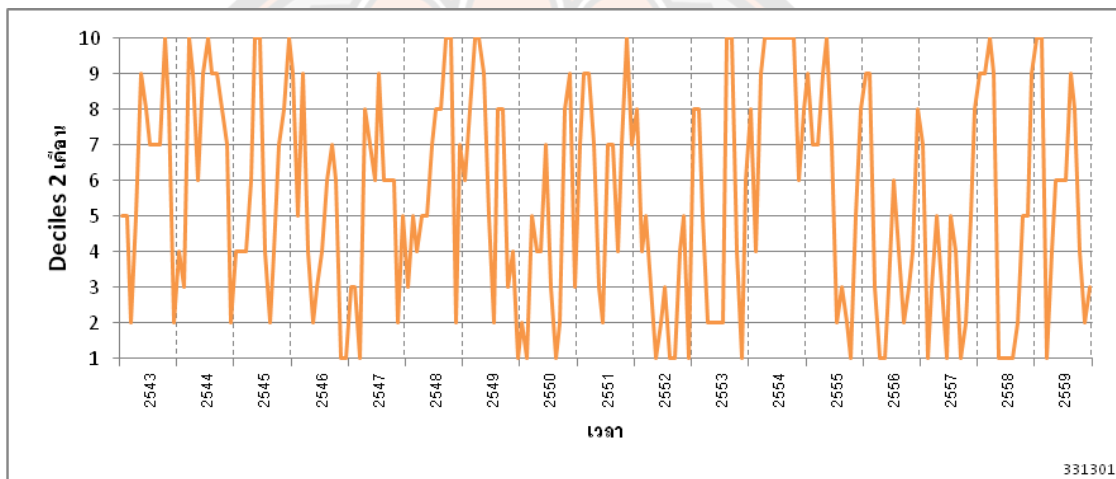
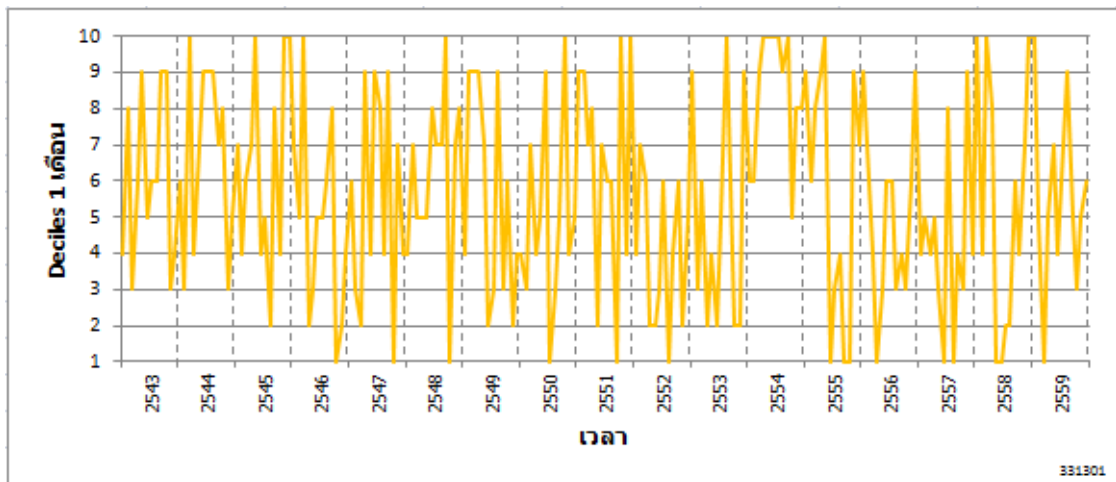
ภาพ 67 ผลลัพธ์ค่าตวรรษ Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร
เชียงใหม่ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



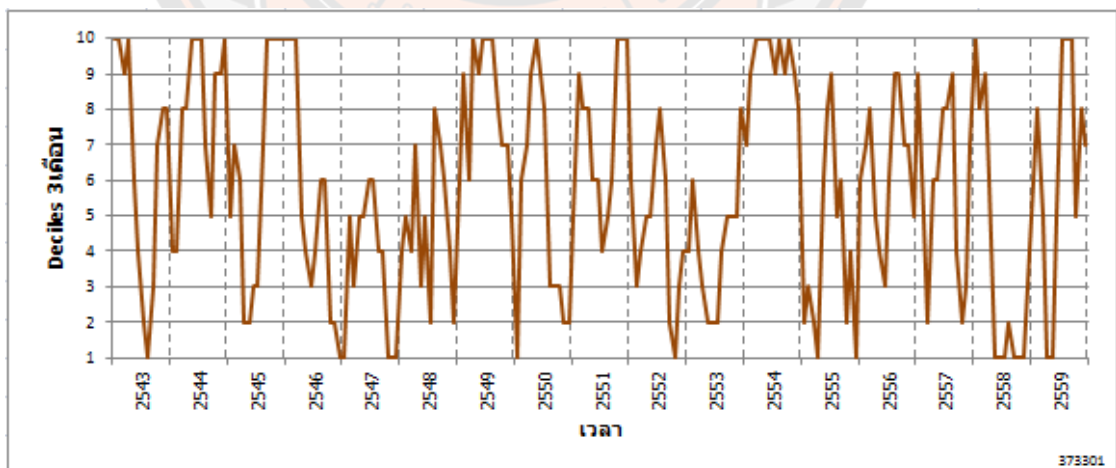
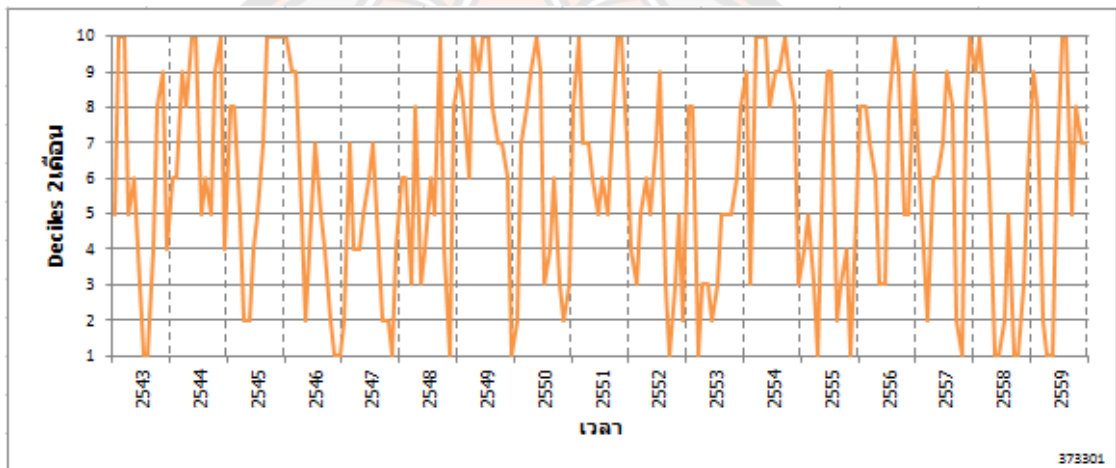
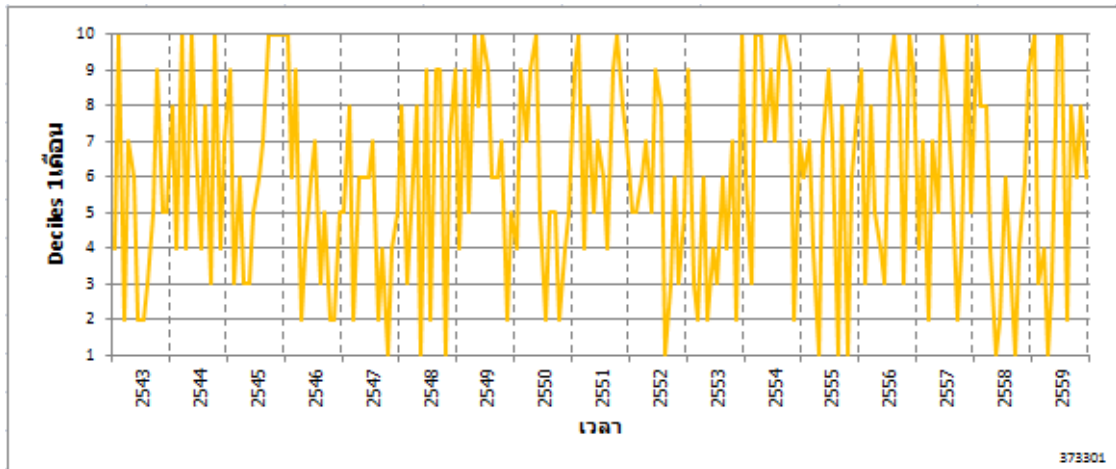
ภาพ 68 ผลลัพธ์ค่าตรรกษณิ Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานึอนุตุนิยมวิทยาเชียงใหม
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



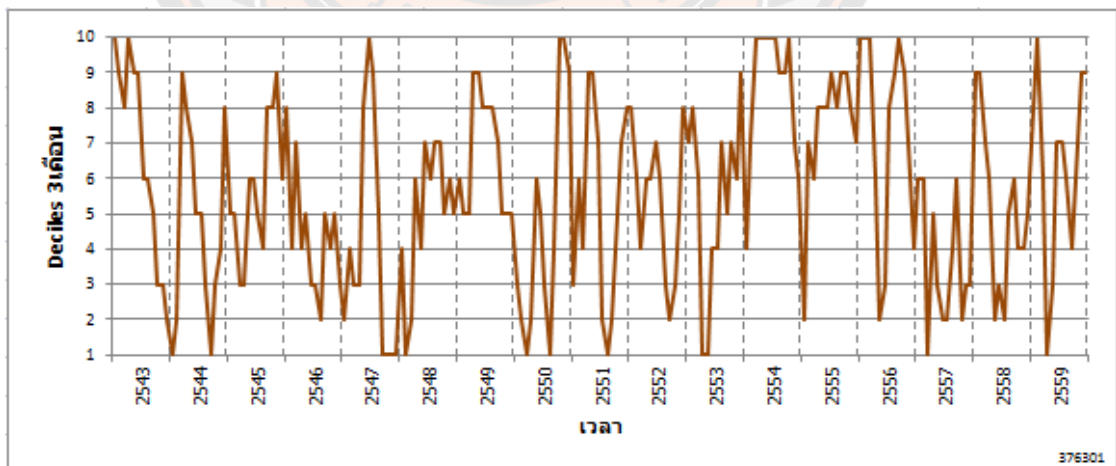
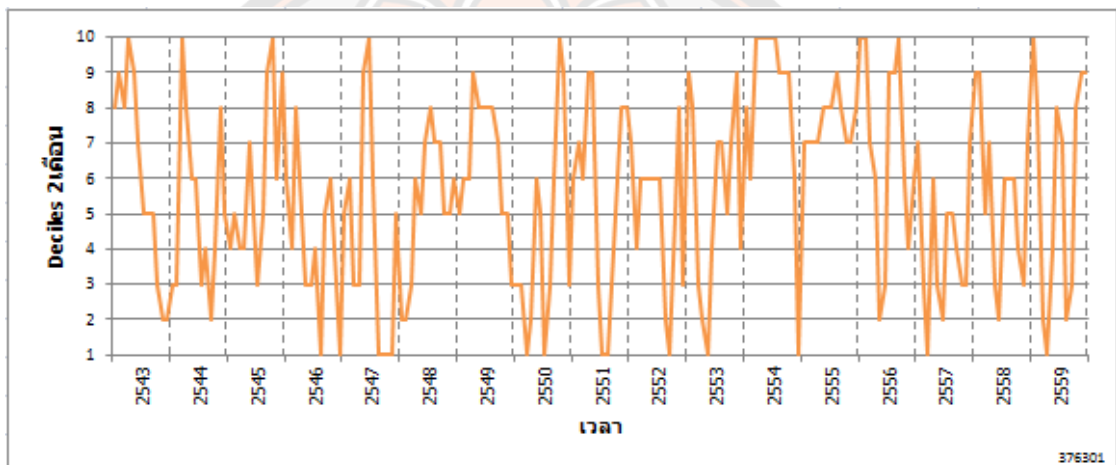
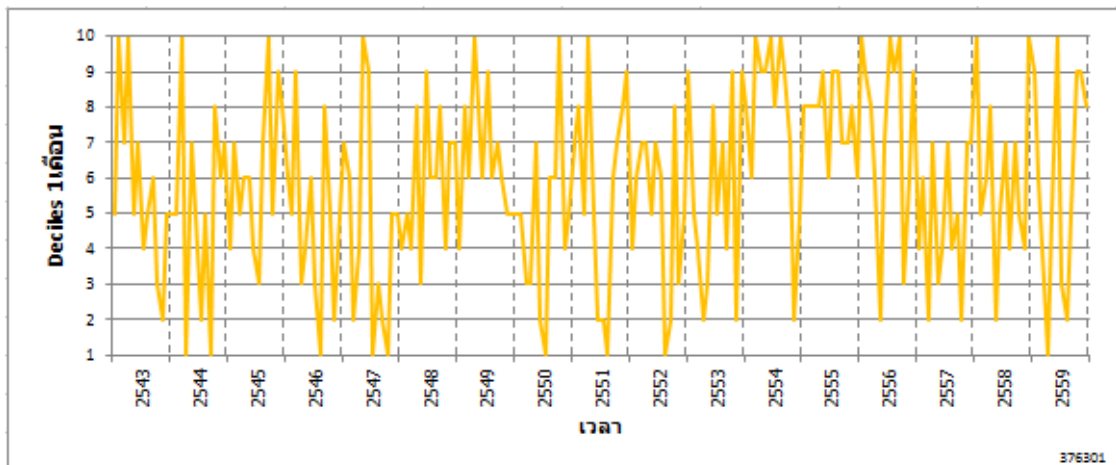
ภาพ 69 ผลลัพธ์ค่าตรรกษี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร
ลำปาง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



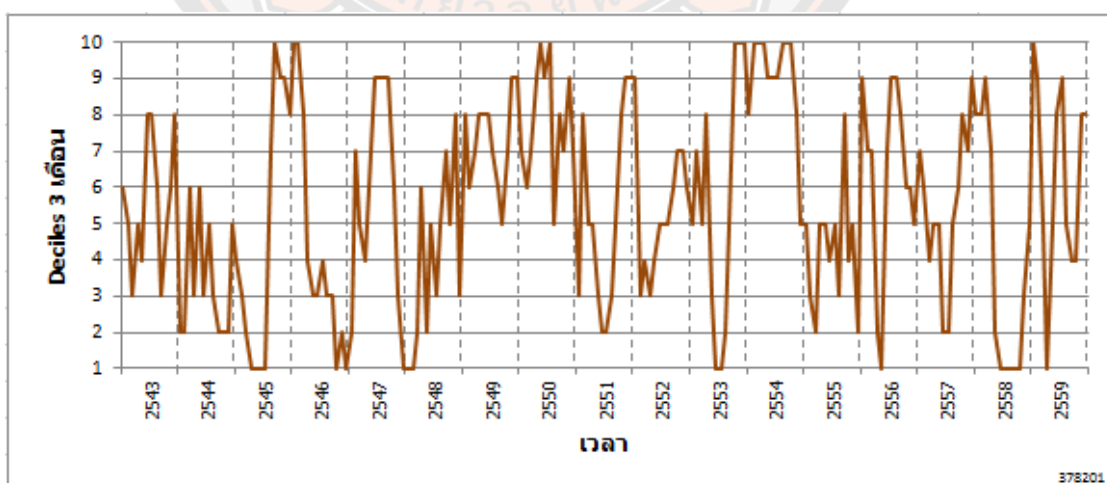
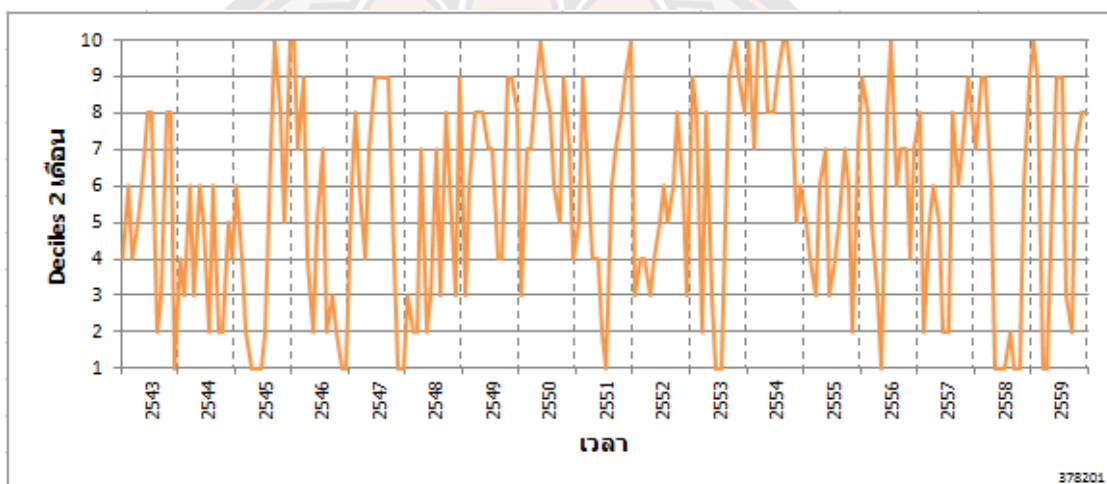
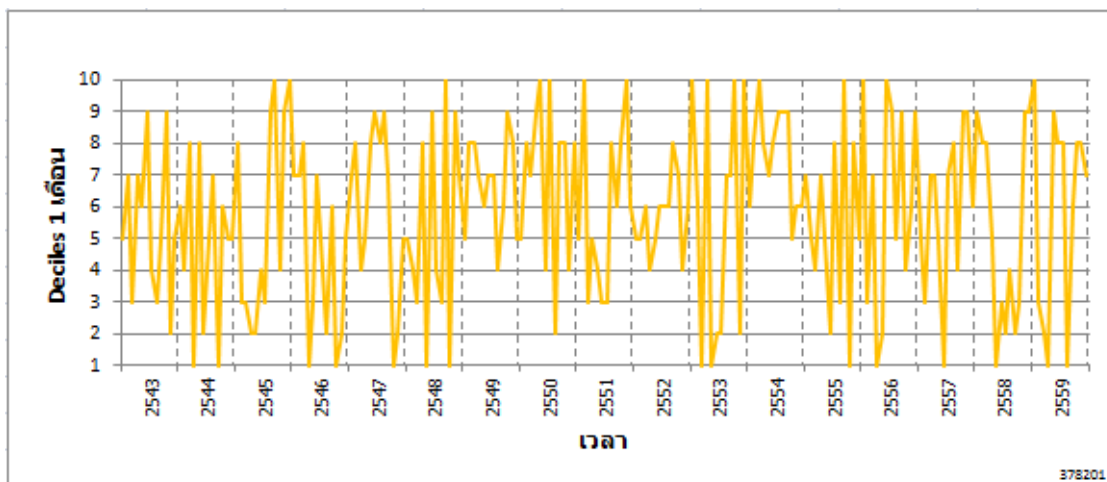
ภาพ 70 ผลลัพธ์ค่าตวรรษ Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเขตรน่าน
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



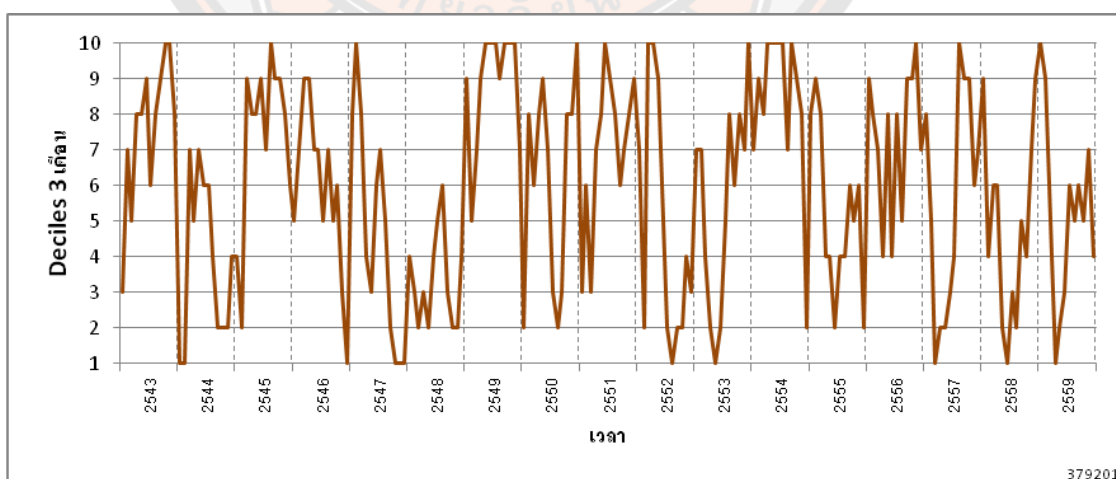
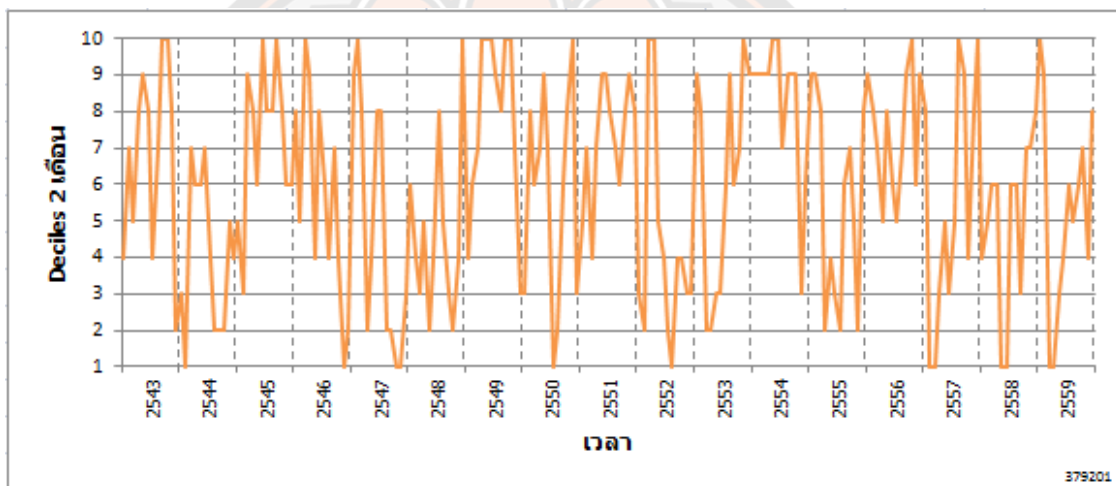
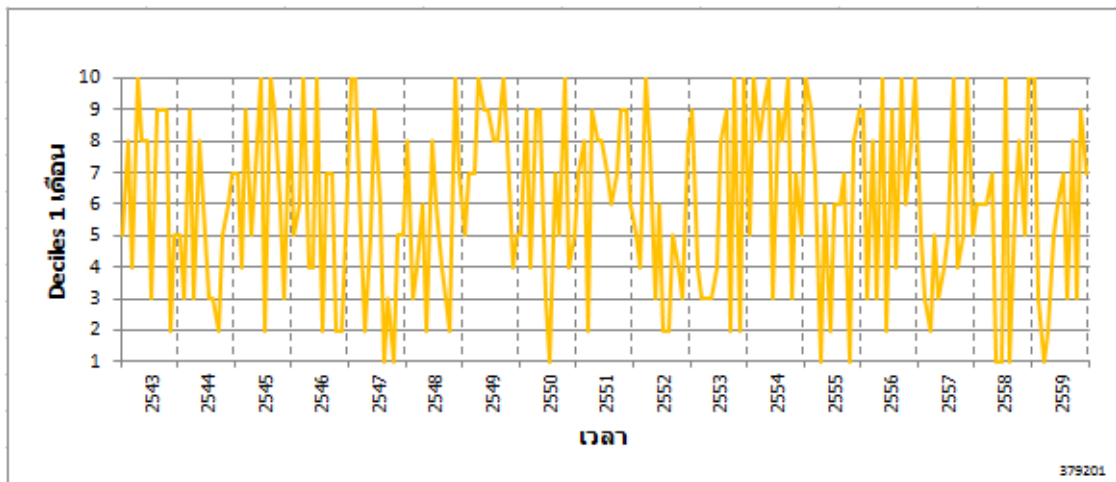
ภาพ 71 ผลลัพธ์ค่าตรวจ Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร
ศรีสำโรง ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



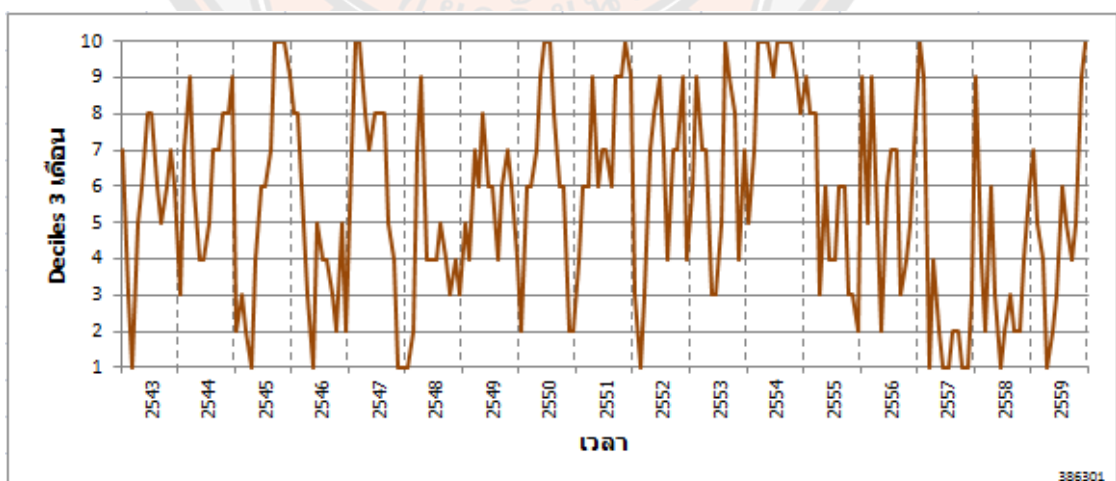
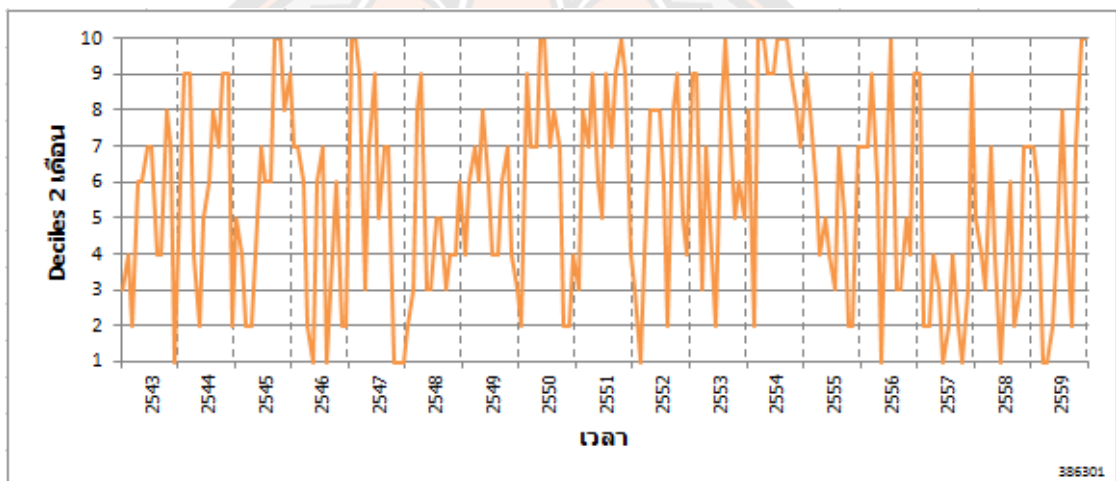
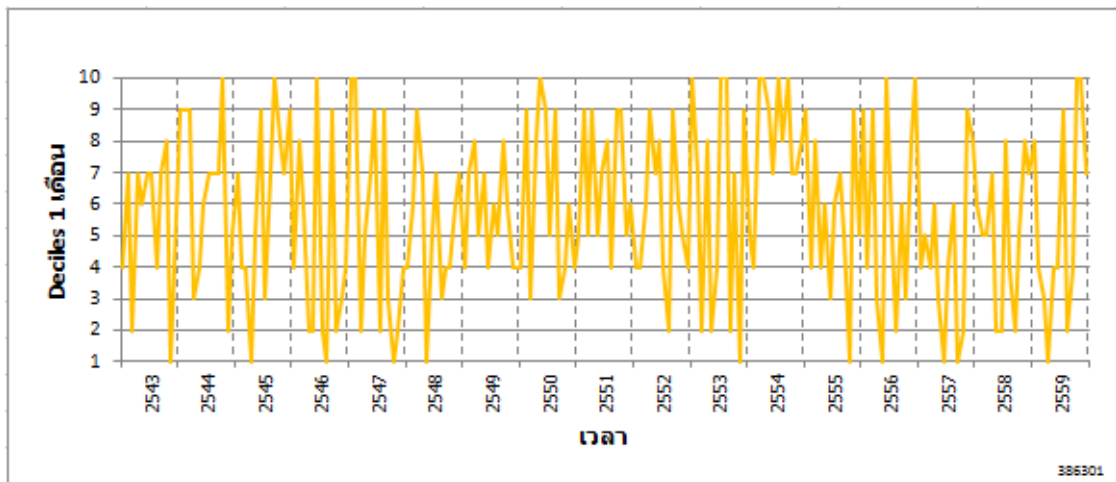
ภาพ 72 ผลลัพธ์ค่าตรรกะ Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร
ดอยมูเซอ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



ภาพ 73 ผลลัพธ์ค่าตรรกะ Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



ภาพ 74 ผลลัพธ์ค่าดัชนี Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



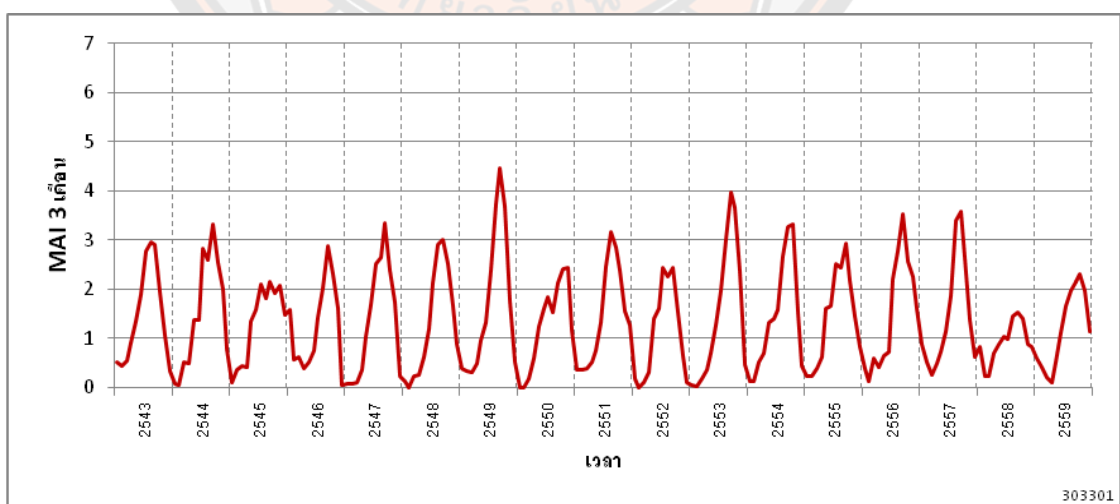
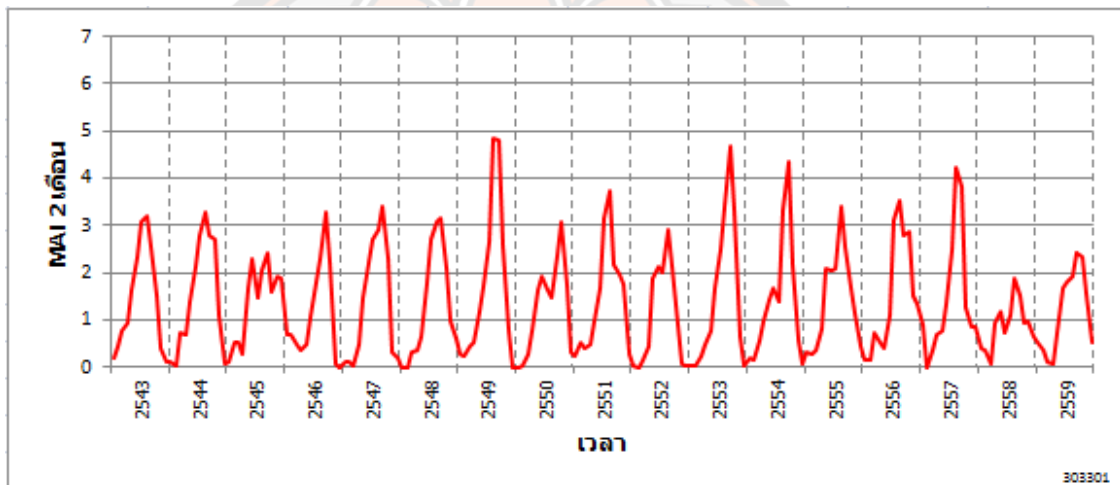
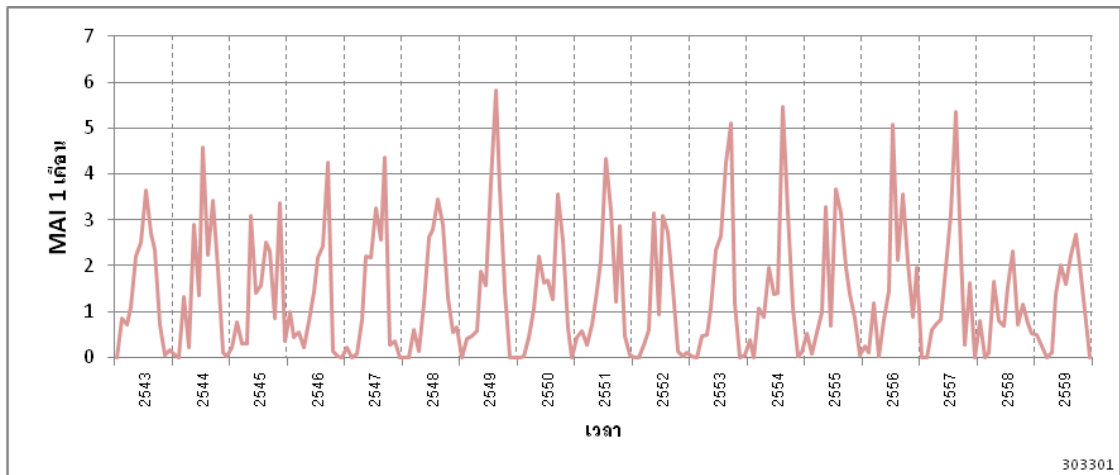
ภาพ 75 ผลลัพธ์ค่าตรรกะ Deciles ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

ภาคผนวก ง กราฟดรรชนี MAI

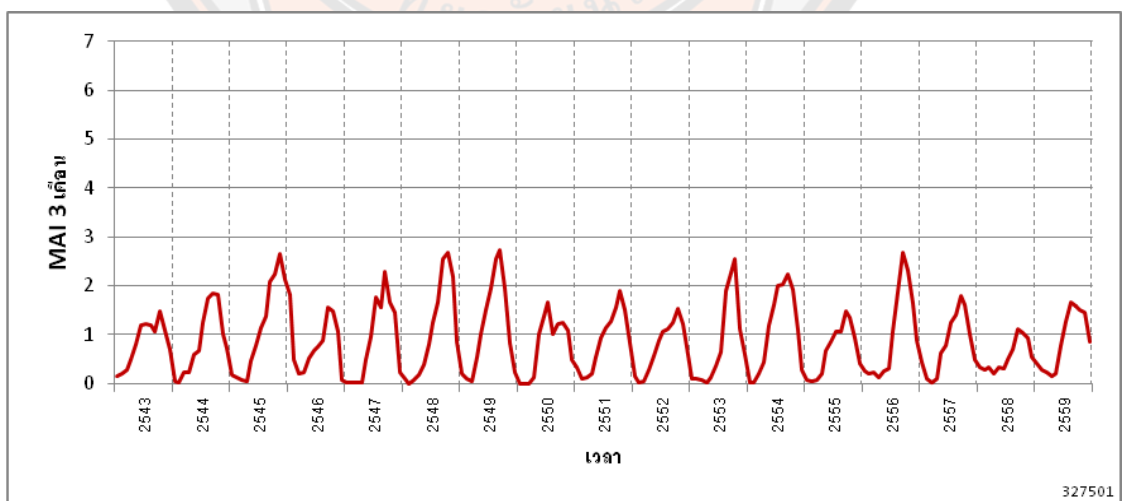
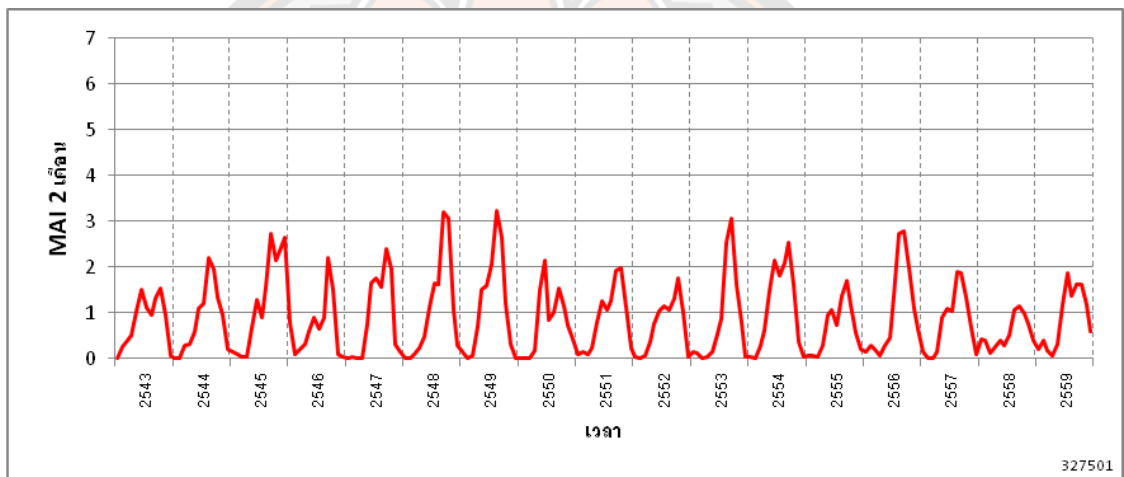
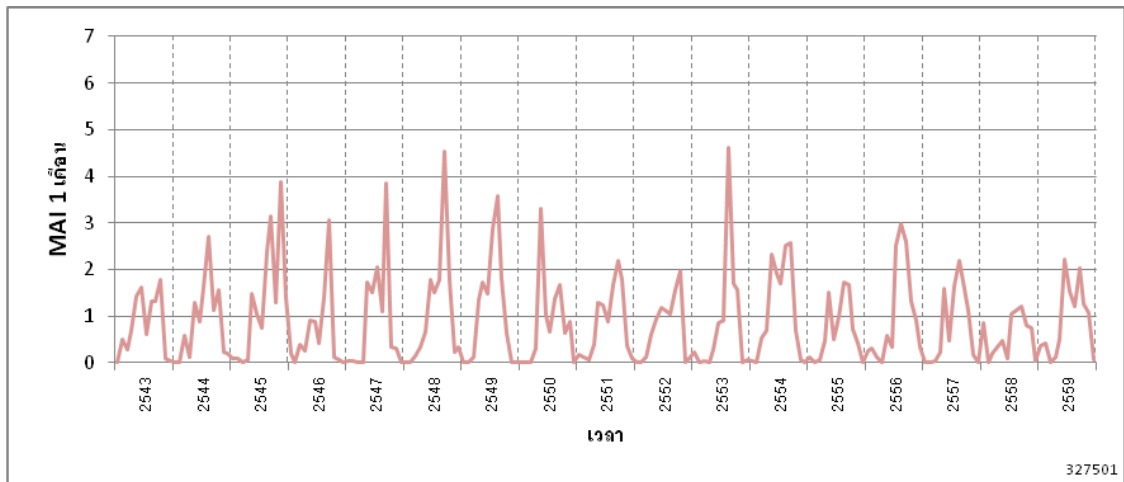
ผลลัพธ์ของดรรชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ พิษณุโลก และเพชรบูรณ์ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเขียงราย ลำปาง น่าน ศรีสำโรง ดอยมูเซอ และพิจิตร ระหว่าง พ.ศ.2543 - 2559 แสดงในรูปแบบของกราฟดังภาพ 76 - 84 โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา ดังตาราง 35

ตาราง 35 ดรรชนี MAI สูงสุดและต่ำสุดของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

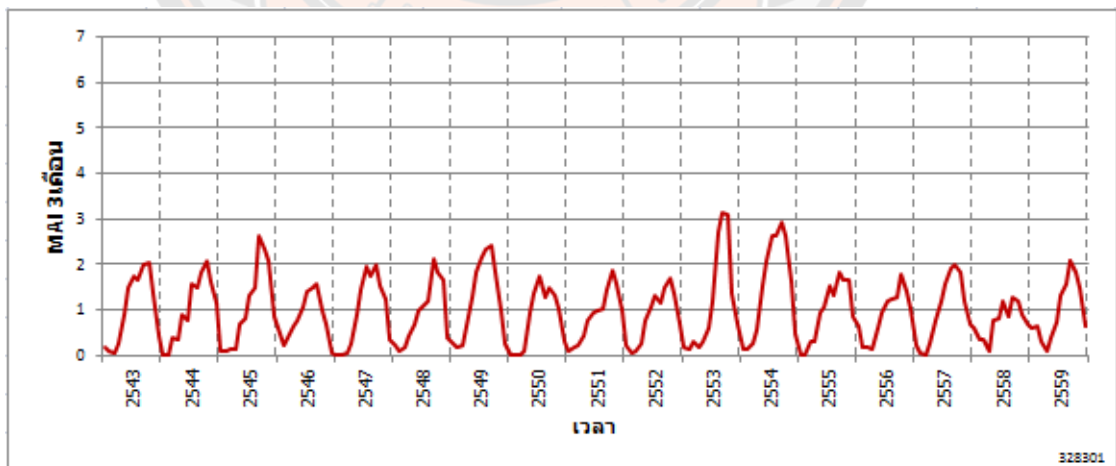
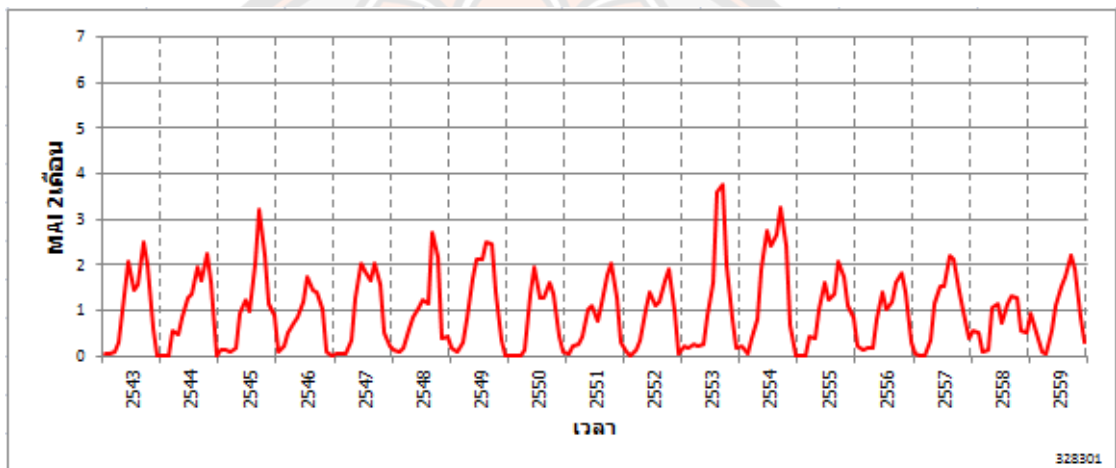
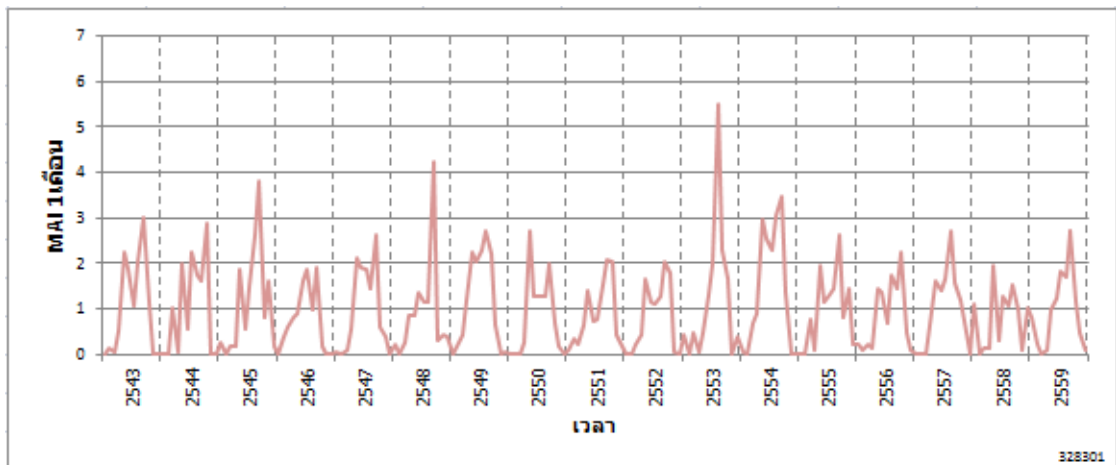
สถานี	ดรรชนี MAI สูงสุด			ดรรชนี MAI ต่ำสุด		
	ราย 1 เดือน	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน	ราย 1 เดือน	ราย 2 เดือน	ราย 3 เดือน
เขียงราย	5.66	4.32	3.92	0	0	0
เขียงราย สกษ.	5.82	4.84	4.47	0	0	0
เชียงใหม่	4.61	3.24	2.72	0	0	0
ลำปาง สกษ.	5.51	3.79	3.14	0	0	0
น่าน สกษ.	6.59	4.7	4.38	0	0	0
ศรีสำโรง สกษ.	4.61	3.32	2.83	0	0	0
ดอยมูเซอ สกษ.	6.44	5.15	5.23	0	0	0
พิษณุโลก	3.9	3.49	3.03	0	0	0
เพชรบูรณ์	4.81	3.55	3.08	0	0	0
พิจิตร สกษ.	6.53	4.28	3.6	0	0	0



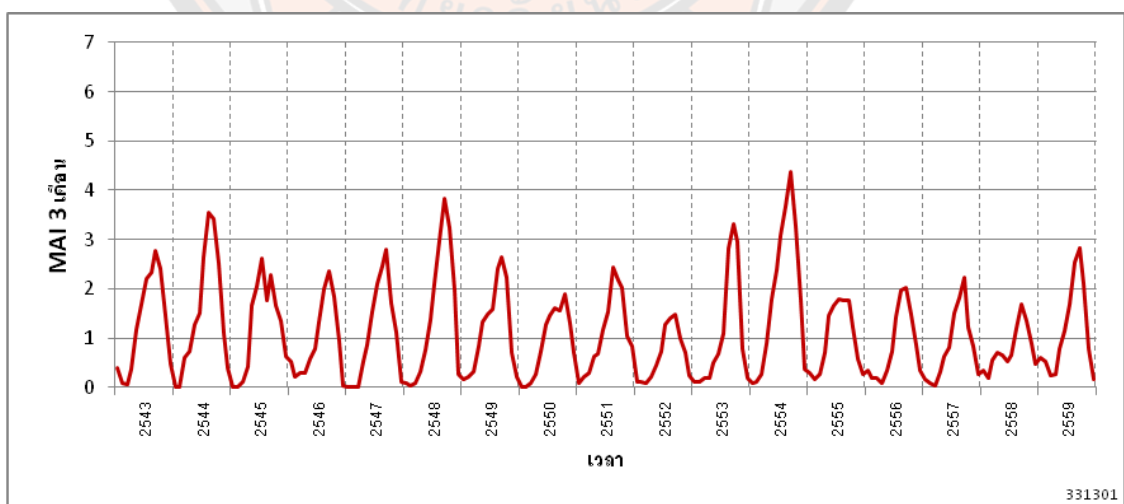
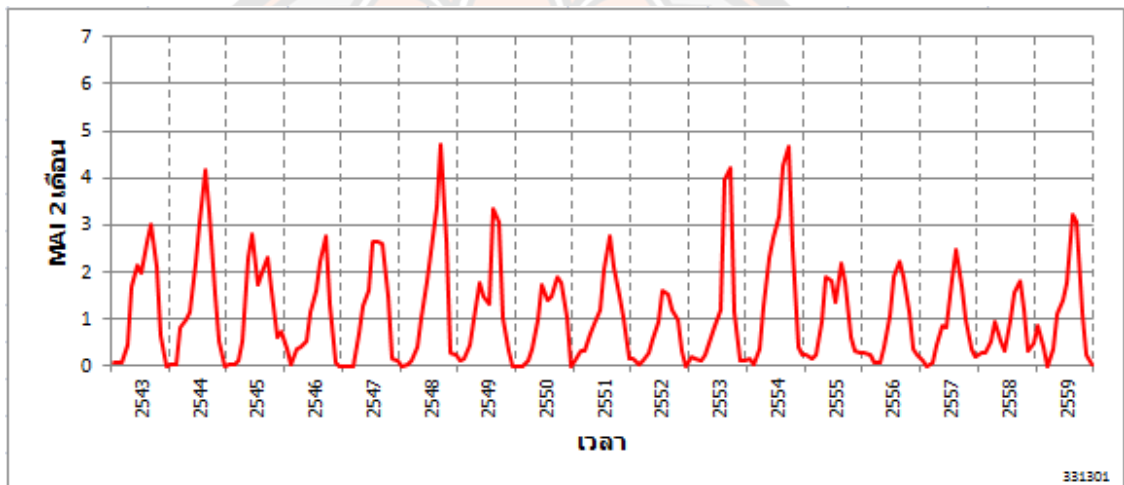
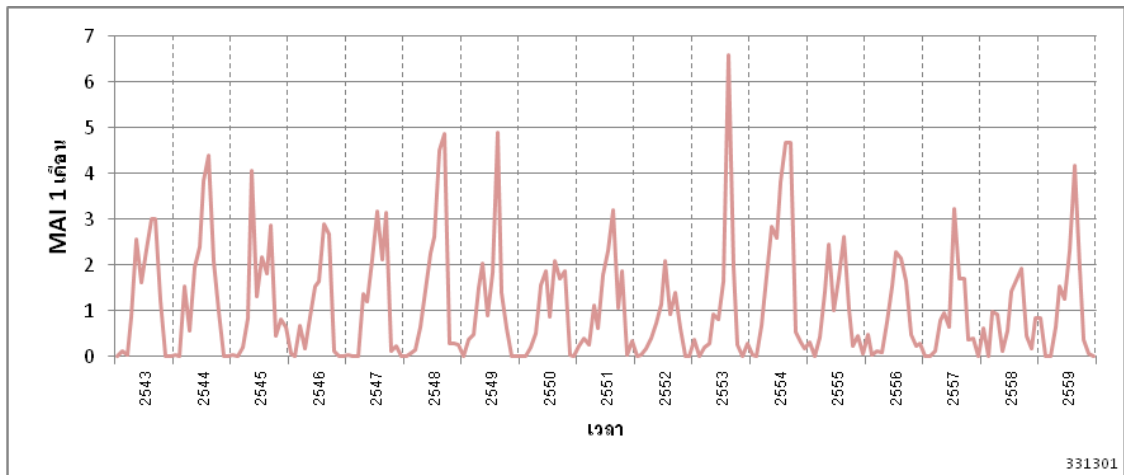
ภาพ 76 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



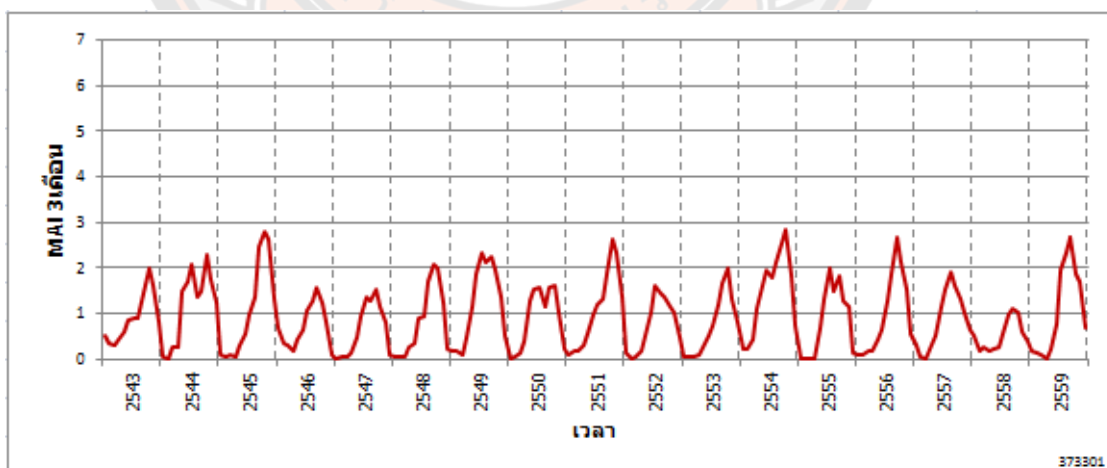
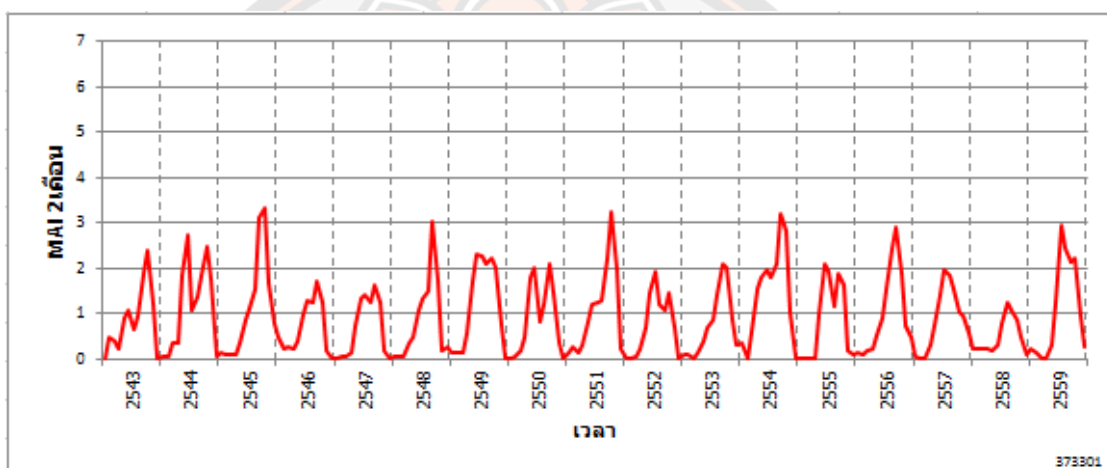
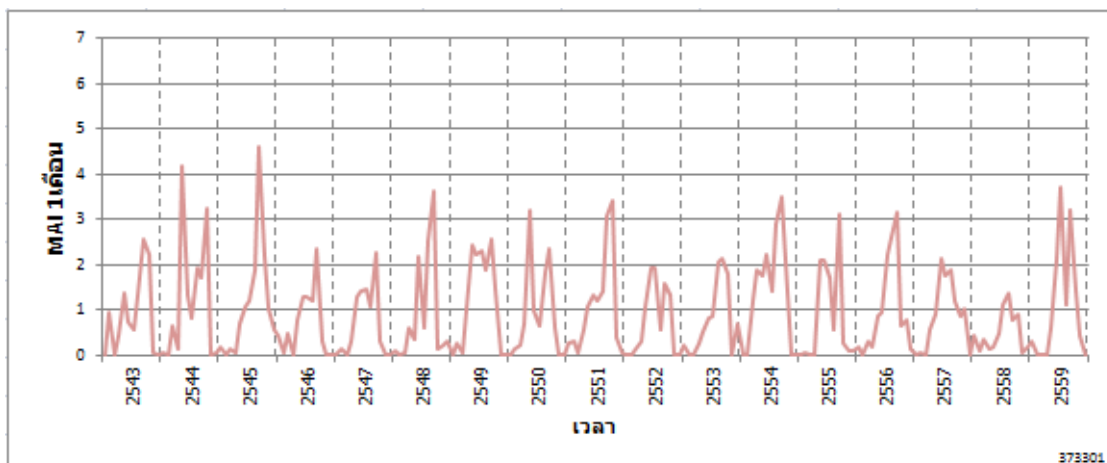
ภาพ 77 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



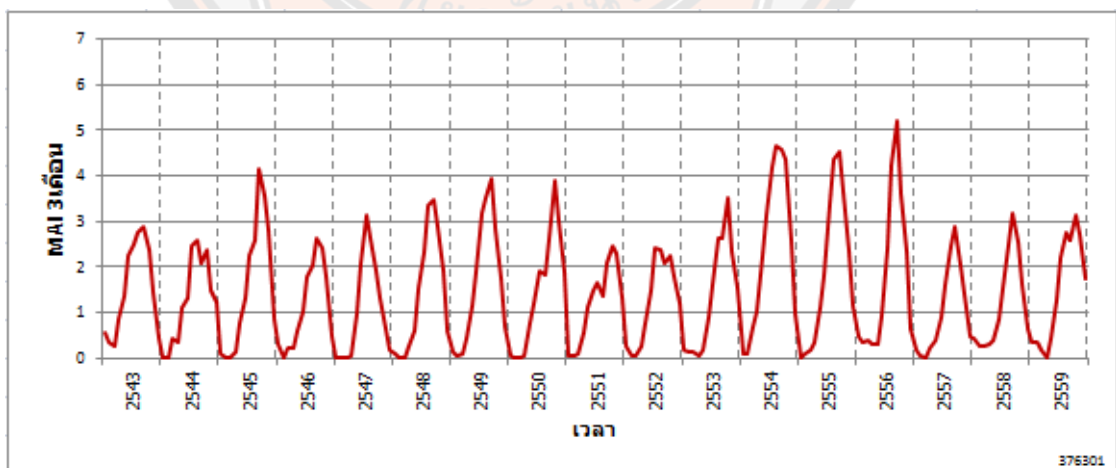
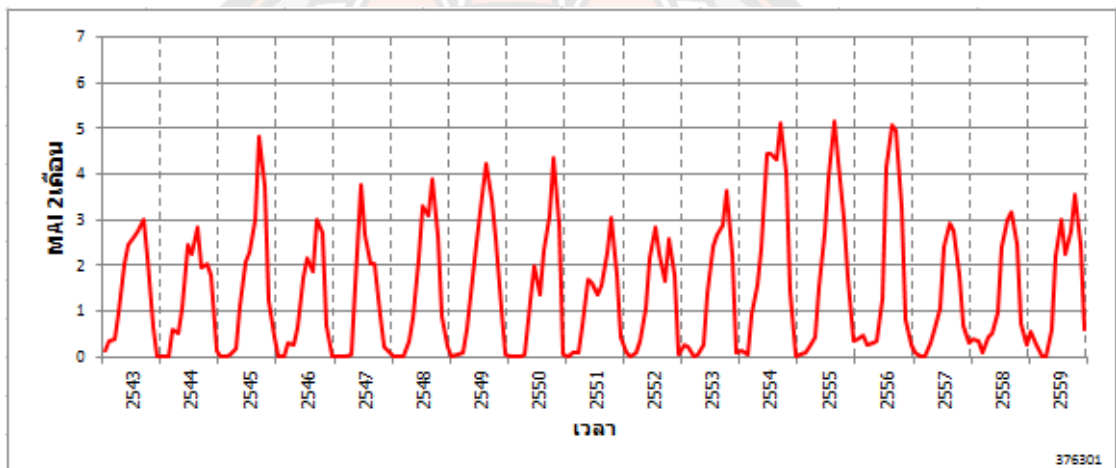
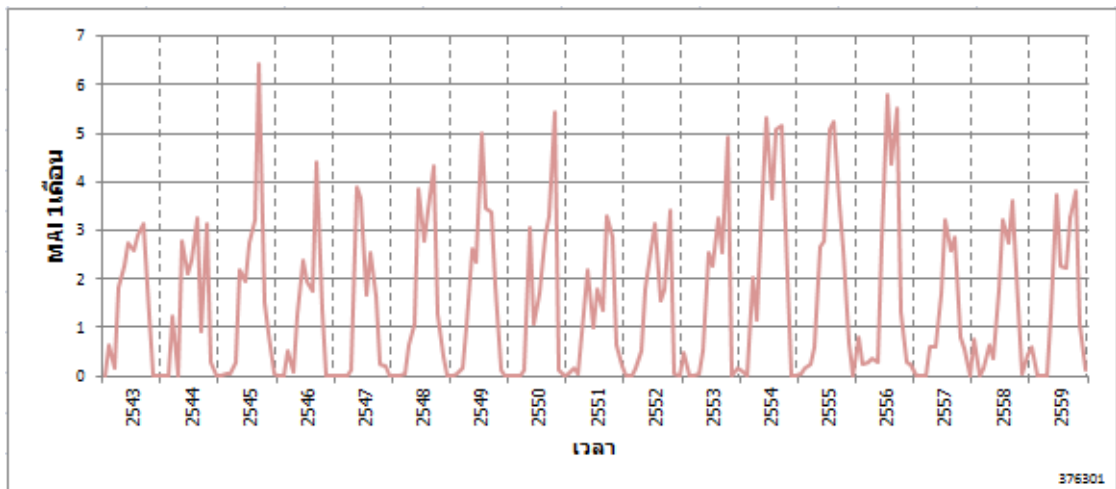
ภาพ 78 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปาง
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



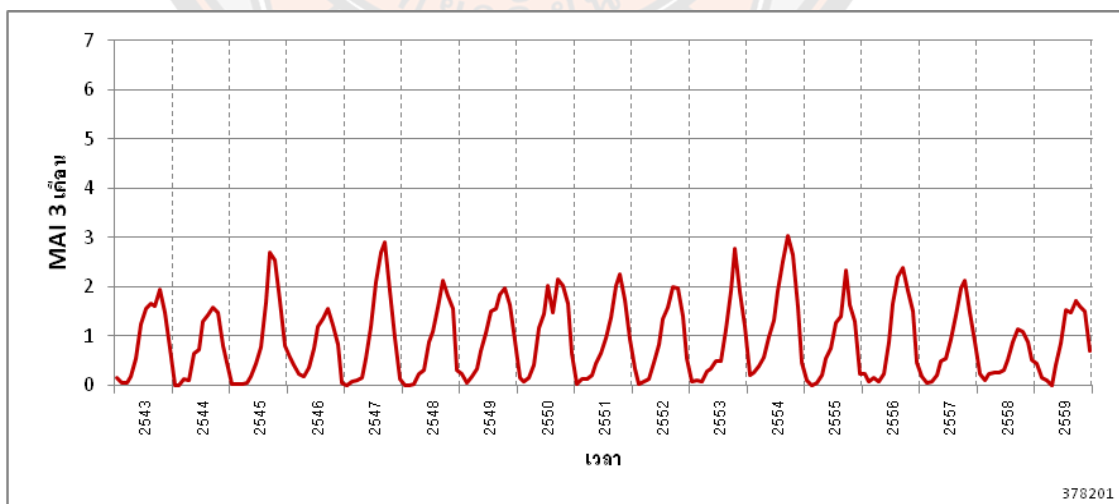
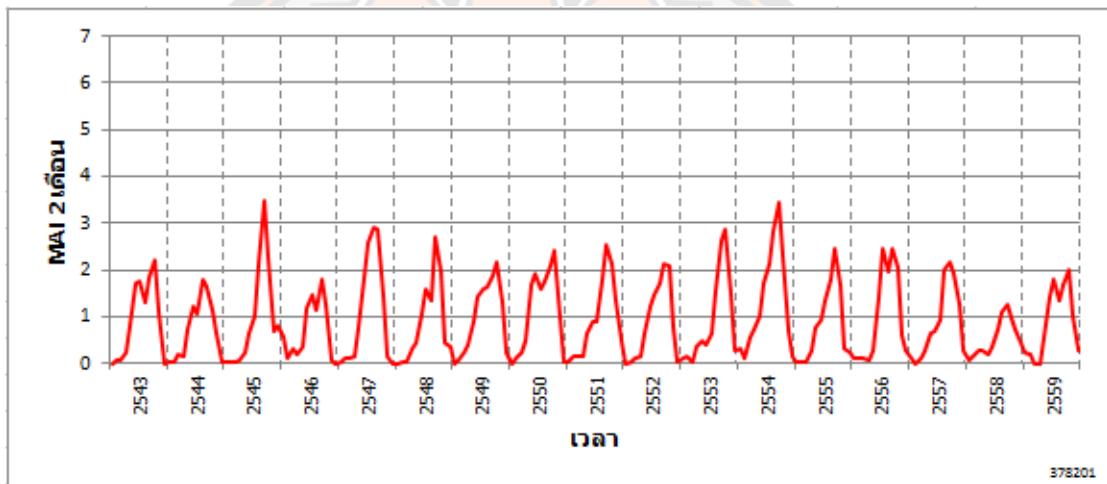
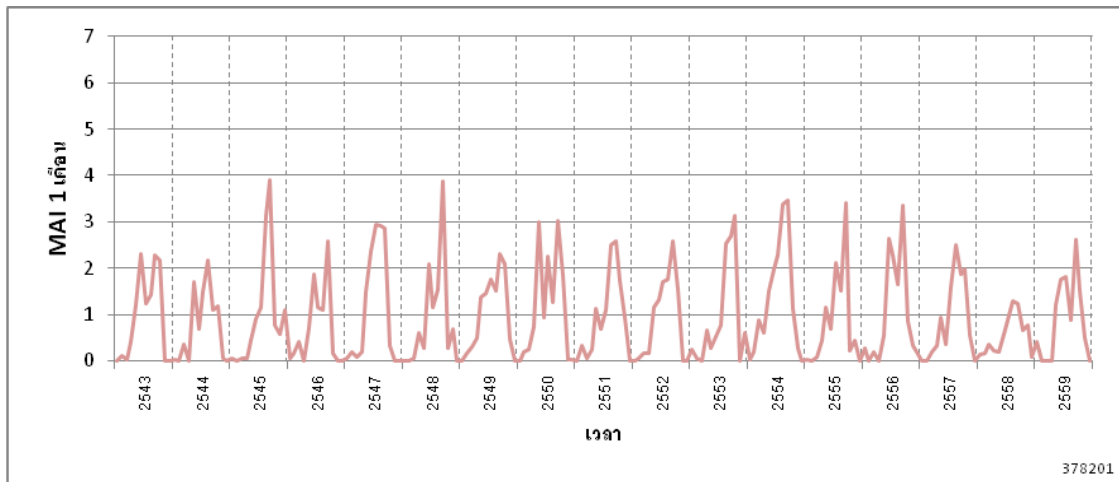
ภาพ 79 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรร่นาน
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



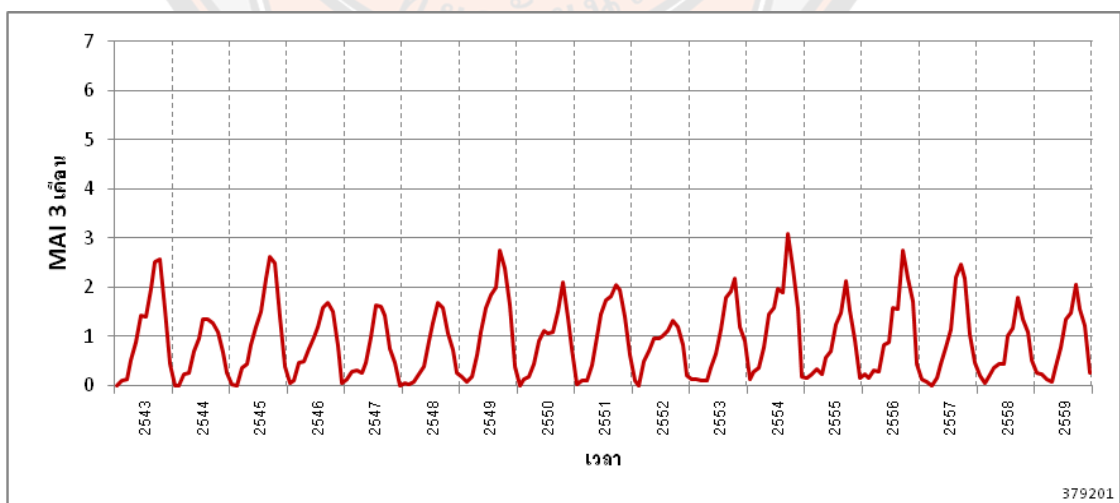
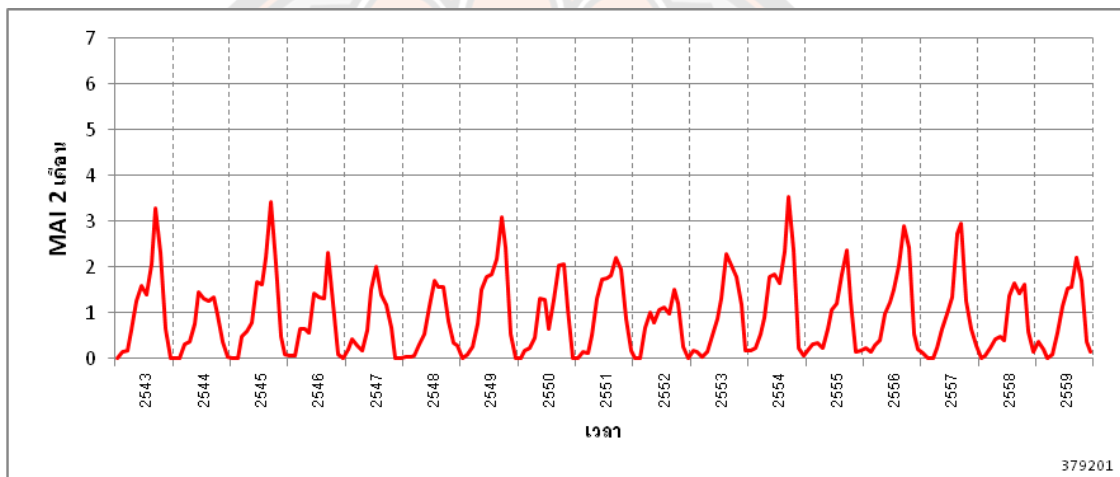
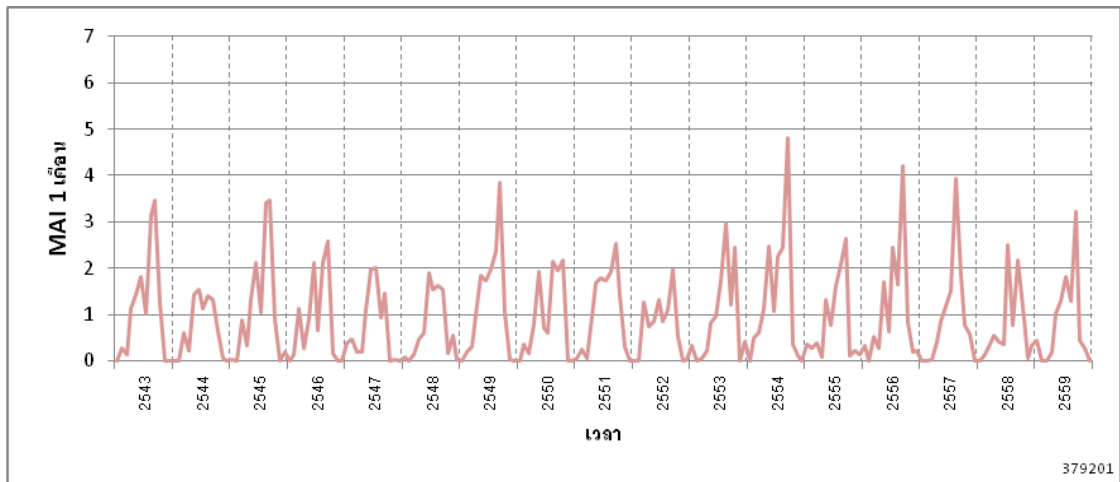
ภาพ 80 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรง
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



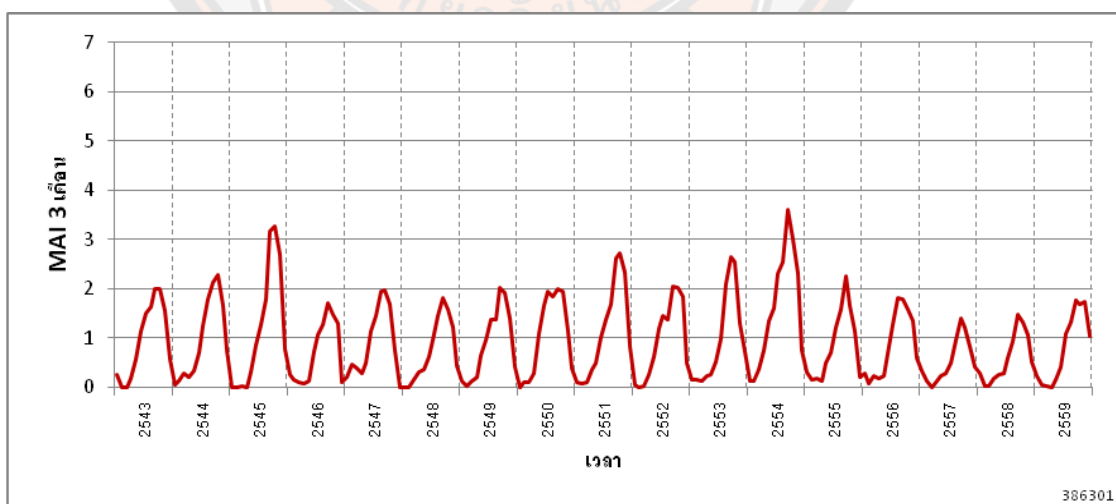
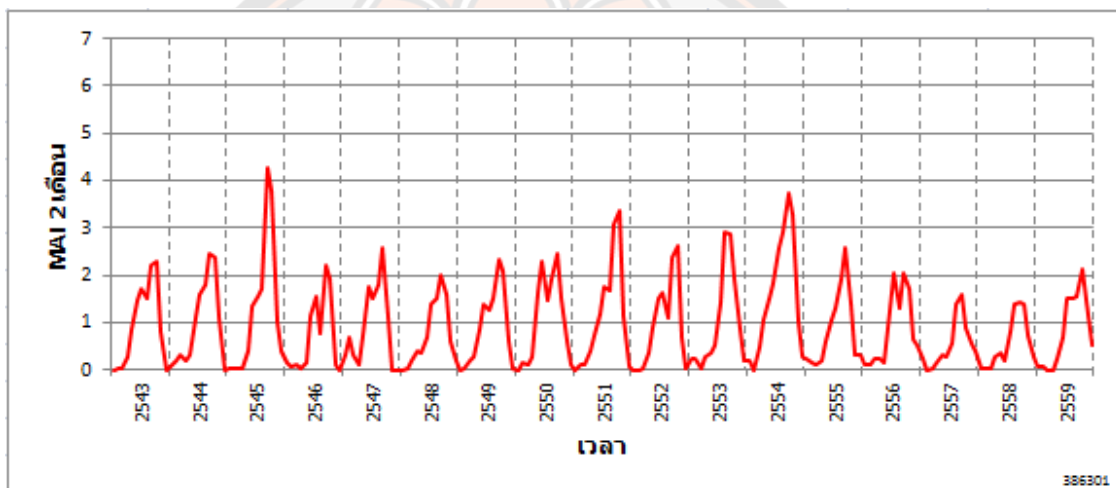
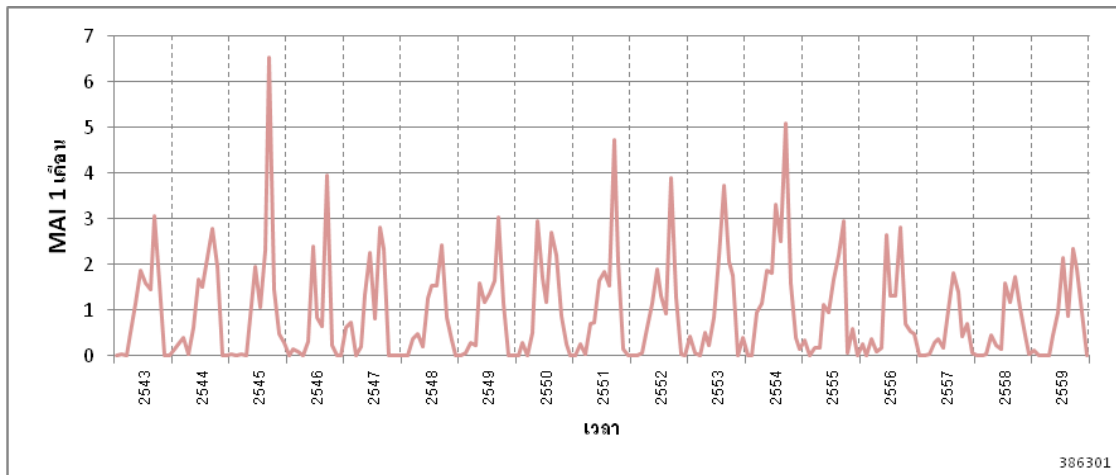
ภาพ 81 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรรอยมุเซอ ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



ภาพ 82 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



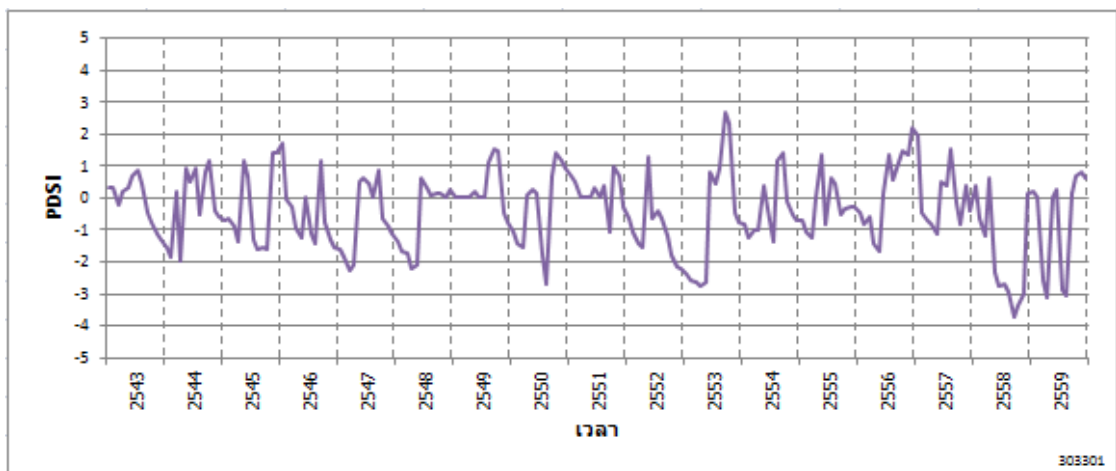
ภาพ 83 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



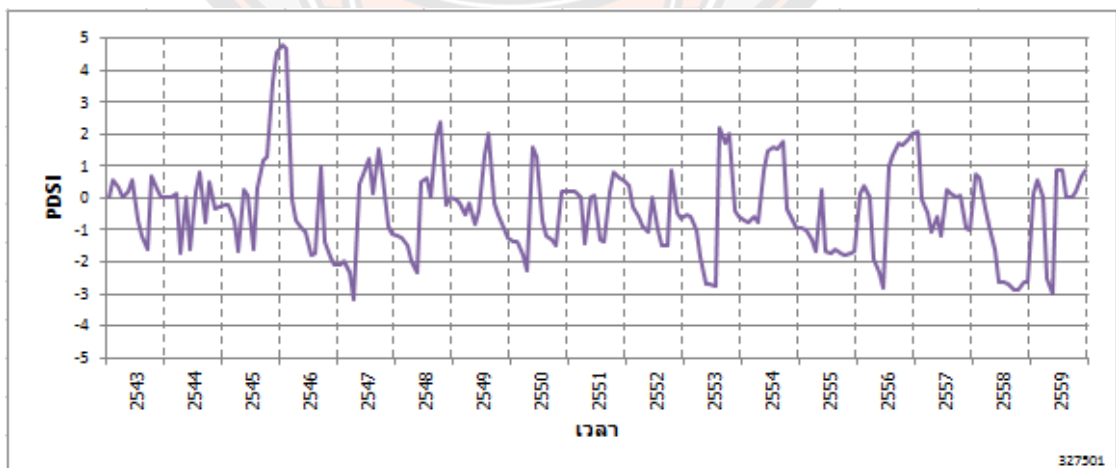
ภาพ 84 ผลลัพธ์ค่าดัชนี MAI ราย 1, 2 และ 3 เดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

ภาคผนวก จ กราฟตรรชนี PDSI

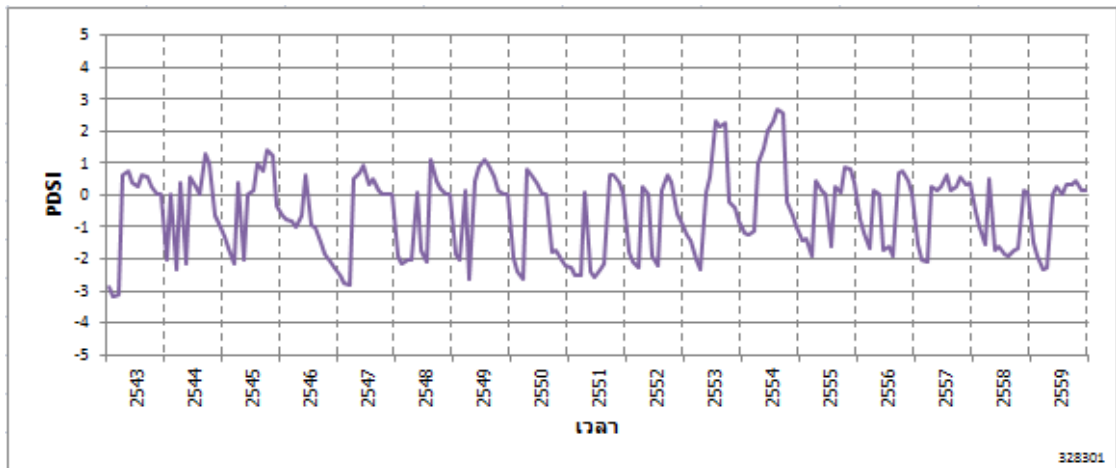
ผลลัพธ์ของตรรชนี PDSI รายเดือน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ พิษณุโลก และ เพชรบูรณ์ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย ลำปาง น่าน ศรีสำโรง ดอยมูเซอ และพิจิตร ระหว่าง พ.ศ.2543 - 2559 แสดงในรูปแบบของกราฟดังภาพ 85 - 93 โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละ สถานีอุตุนิยมวิทยา ดังตาราง 36



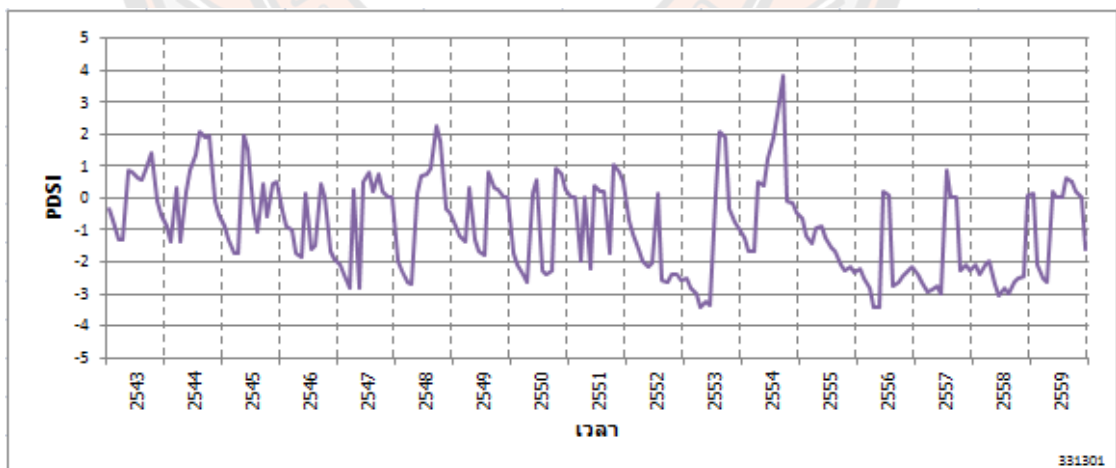
ภาพ 85 ผลลัพธ์ค่าตรรชนี PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



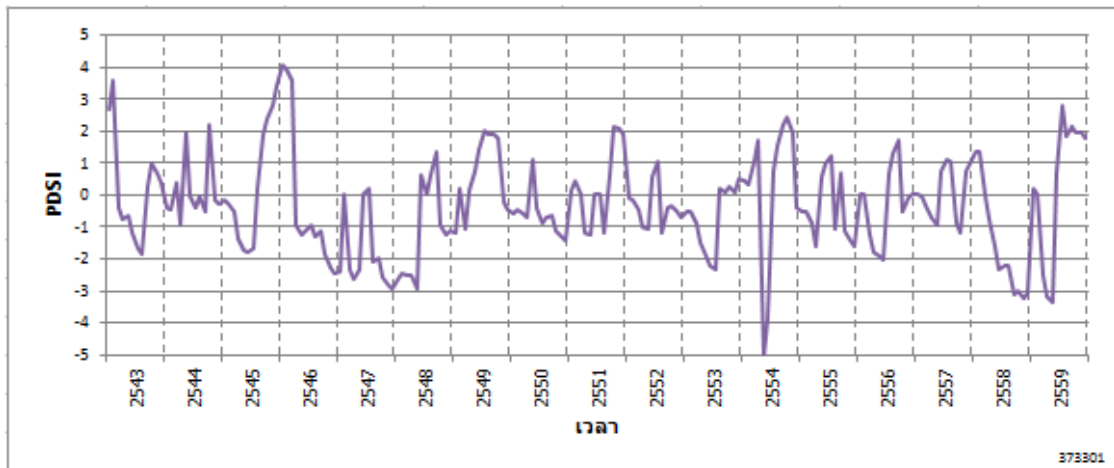
ภาพ 86 ผลลัพธ์ค่าตรรชนี PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



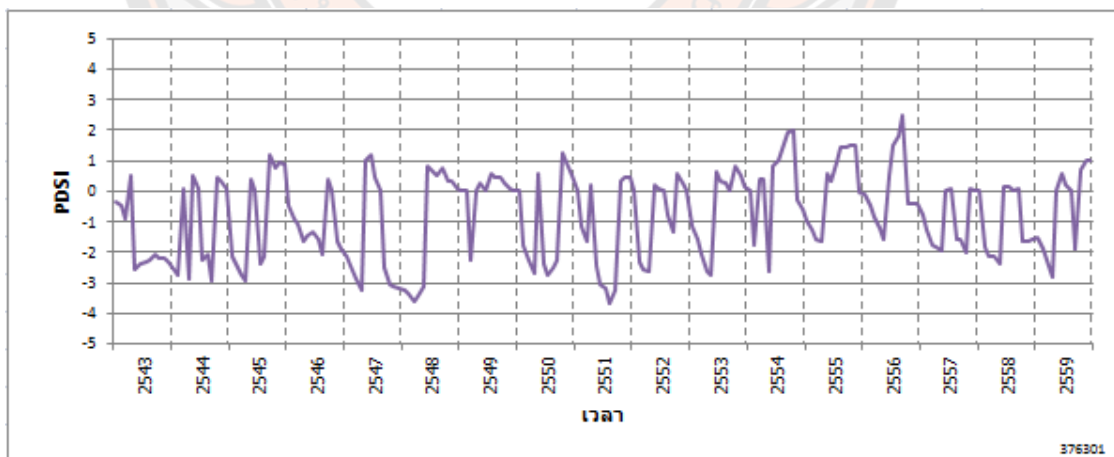
ภาพ 87 ผลลัพธ์ค่าตรรกะ PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปาง
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



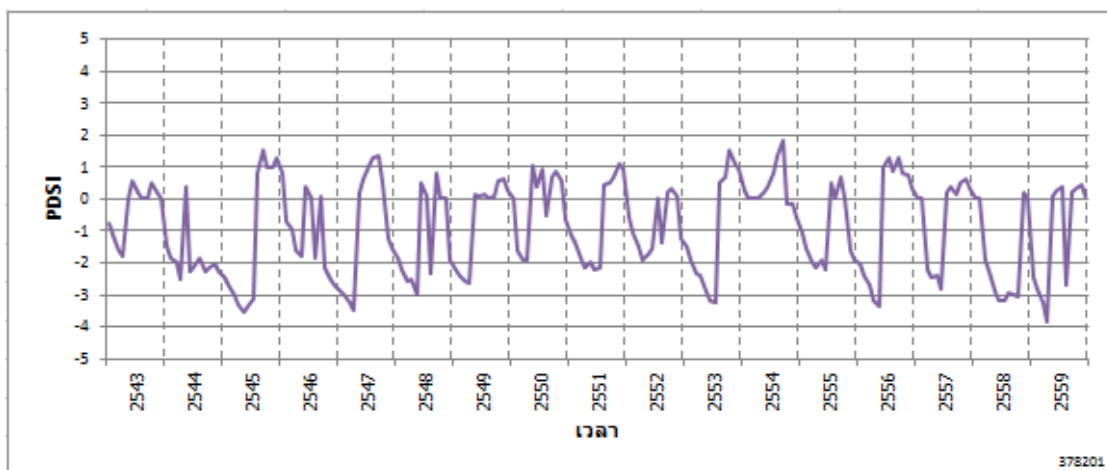
ภาพ 88 ผลลัพธ์ค่าตรรกะ PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรน่าน
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



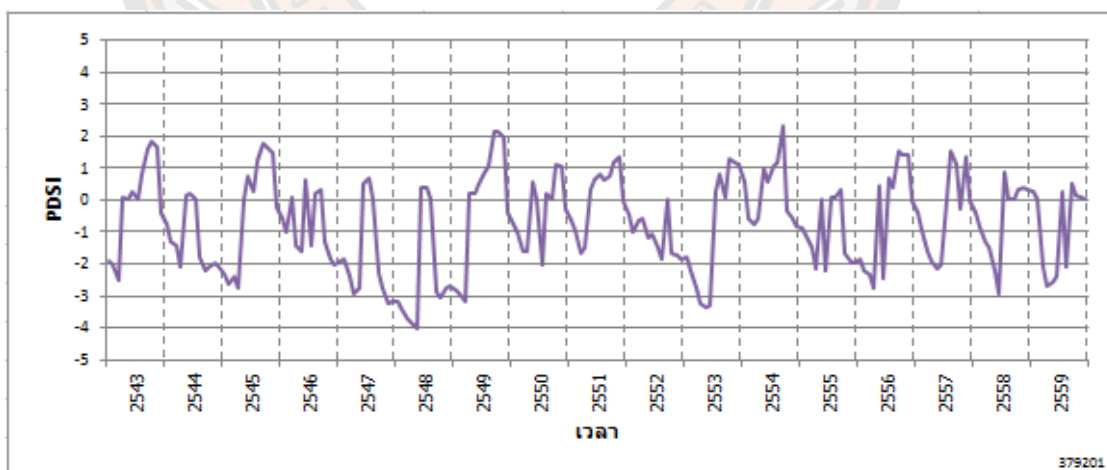
ภาพ 89 ผลลัพธ์ค่าดัชนี PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรง
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



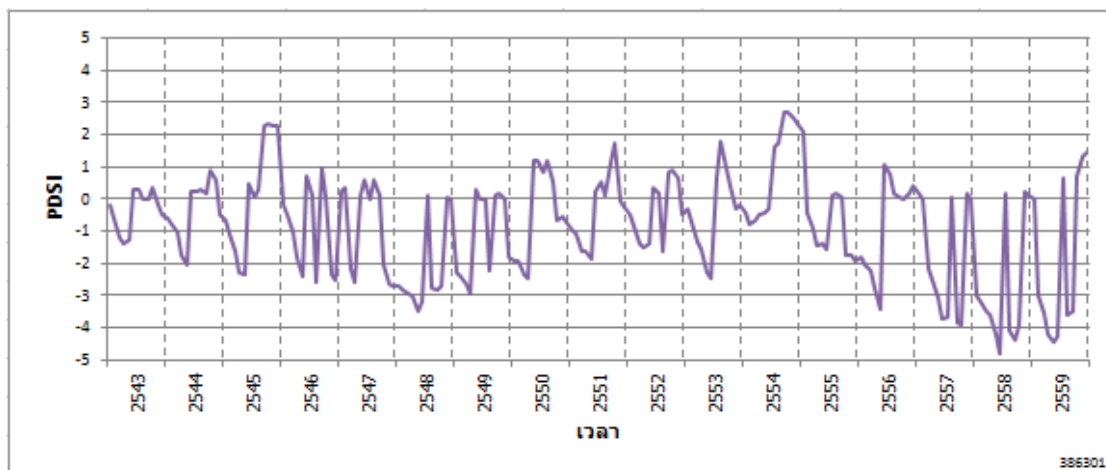
ภาพ 90 ผลลัพธ์ค่าดัชนี PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรรอยมุเซอ
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



ภาพ 91 ผลลัพธ์ค่าดัชนี PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



ภาพ 92 ผลลัพธ์ค่าดัชนี PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



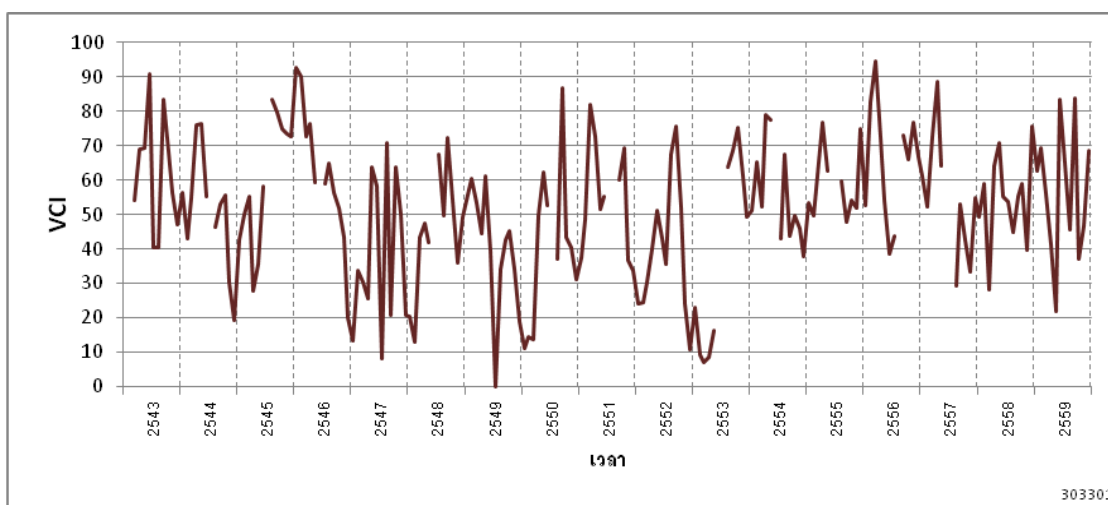
ภาพ 93 ผลลัพธ์ค่าดรรชนี PDSI รายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

ตาราง 36 ดรรชนี PDSI รายเดือนสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

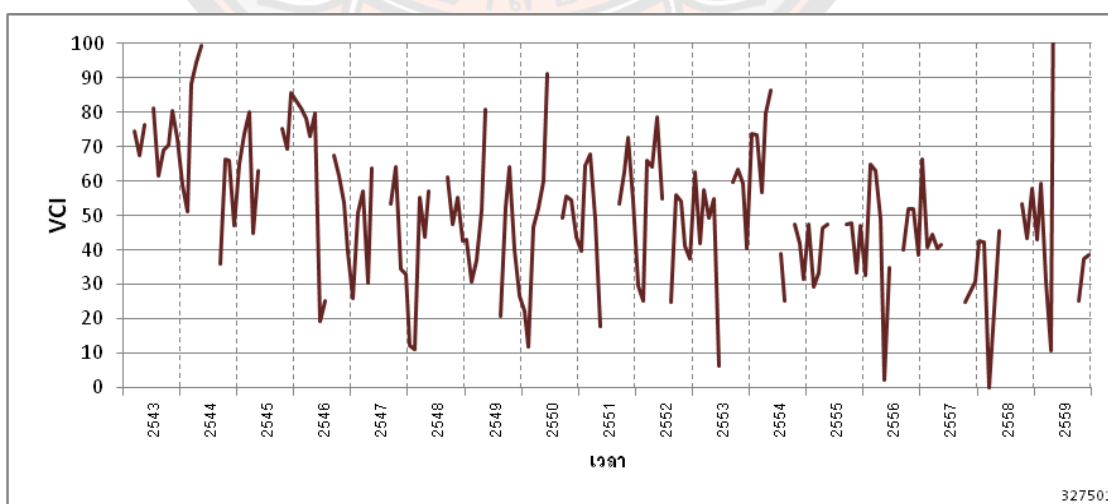
สถานี	ดรรชนี PDSI สูงสุด	ดรรชนี PDSI ต่ำสุด
เชียงใหม่	4.81	-3.15
ลำปาง สกษ.	2.68	-3.18
น่าน สกษ.	3.86	-3.42
ศรีสะเกษ สกษ.	4.07	-5.04
ดอยมูเซอ สกษ.	2.47	-3.59
พิษณุโลก	1.84	-3.82
เพชรบูรณ์	2.32	-4.04
พิจิตร สกษ.	2.71	-4.81

ภาคผนวก ฉ กราฟตรรชนี VCI

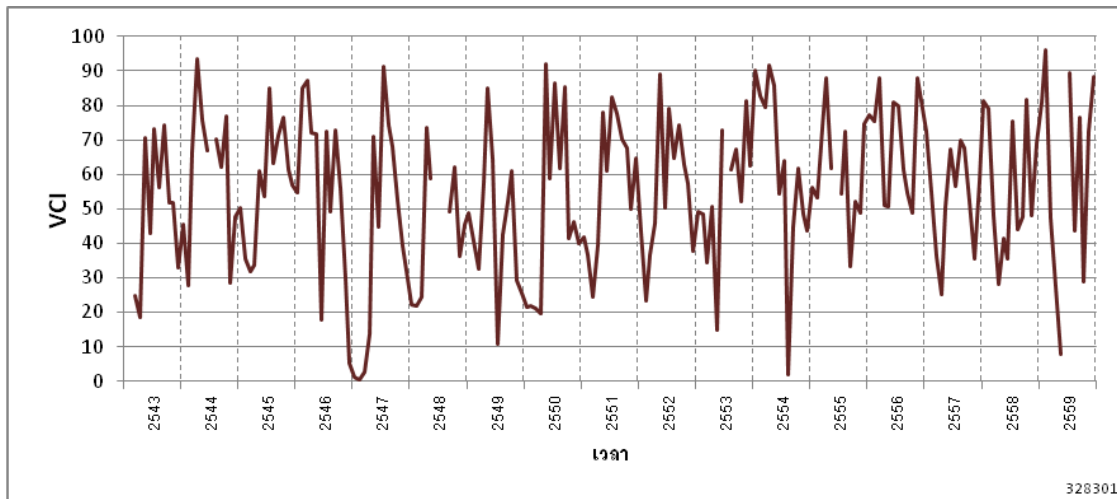
ผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยตรรชนี VCI รายเดือนในบริเวณรัศมี 3 กิโลเมตรรอบสถานีอุตุนิยมวิทยา เชียงใหม่ พิษณุโลก และเพชรบูรณ์ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย ลำปาง น่าน ศรีสะเกษ ดอยมูเซอ และพิจิตร ระหว่าง พ.ศ.2543 - 2559 แสดงในรูปแบบของกราฟดังภาพ 94 -102 โดยมี ค่าสูงสุดและต่ำสุดบริเวณแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยา ดังตาราง 37



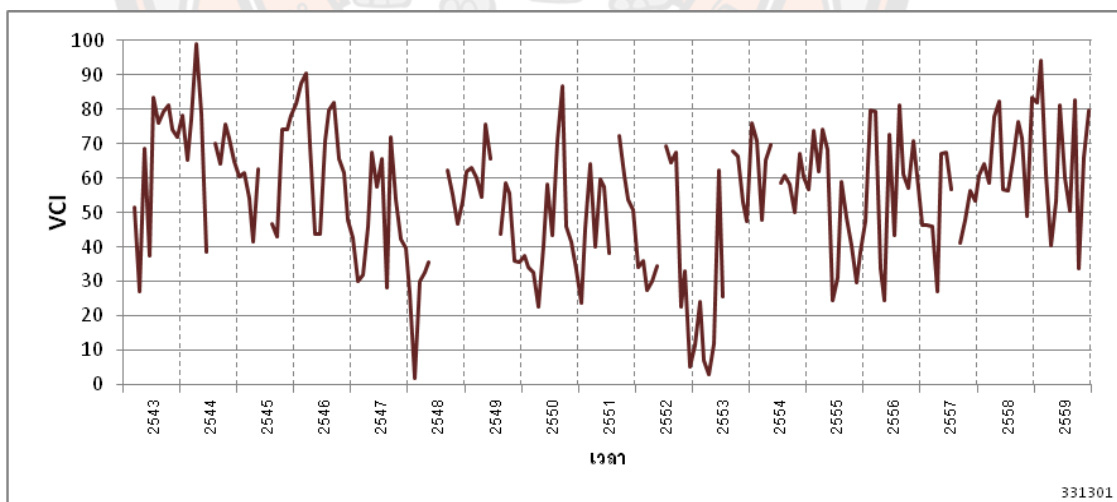
ภาพ 94 ผลลัพธ์ค่าตรรชนี VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



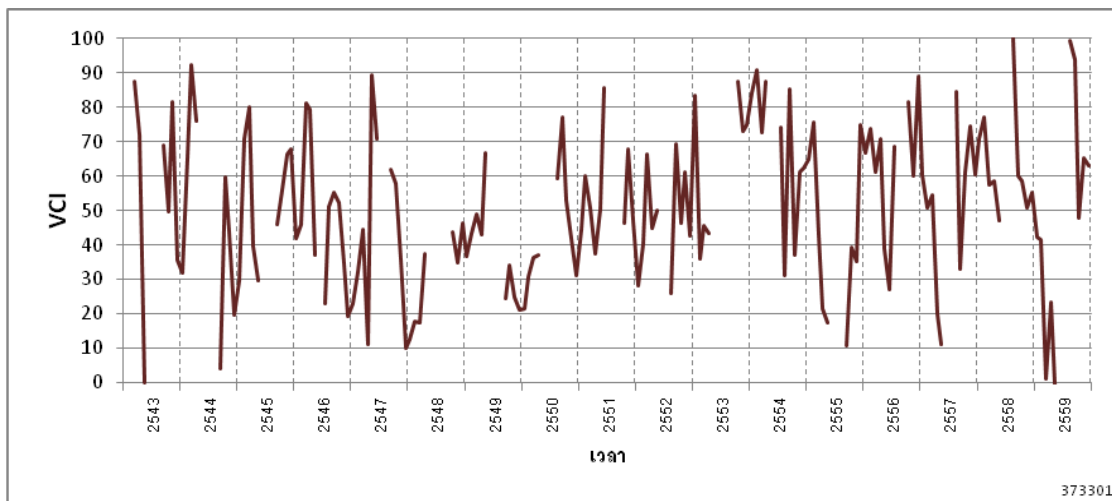
ภาพ 95 ผลลัพธ์ค่าตรรชนี VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



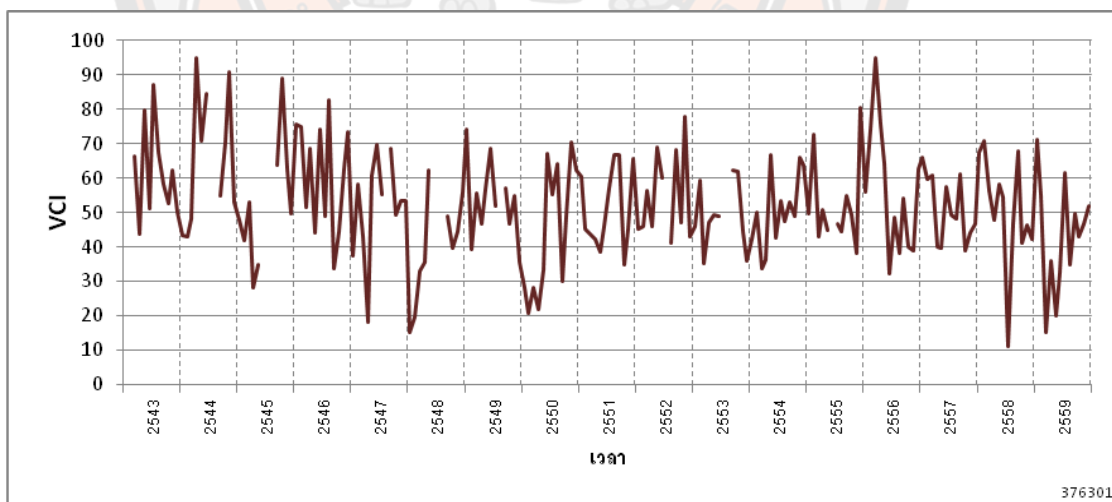
ภาพ 96 ผลลัพธ์ค่าดัชนี VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปาง
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



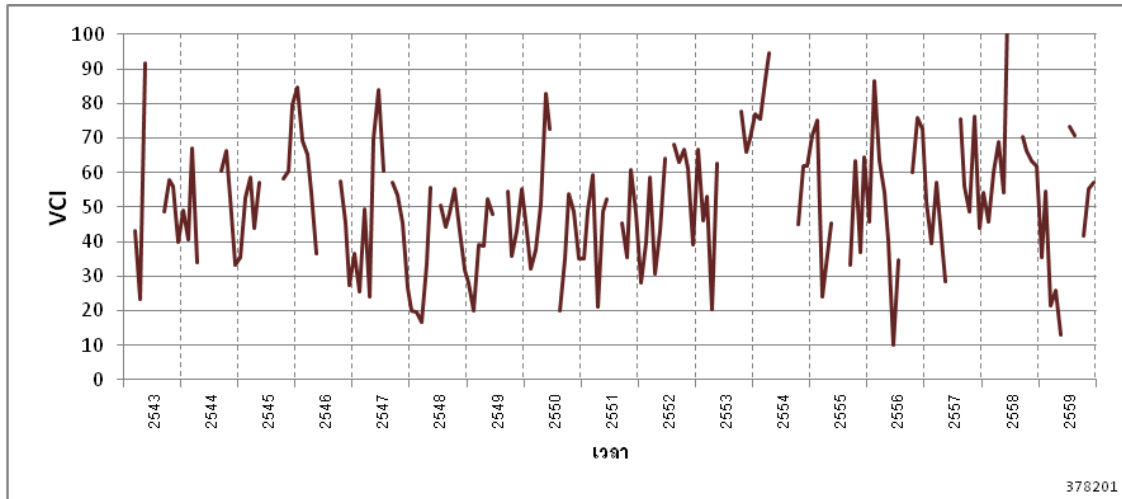
ภาพ 97 ผลลัพธ์ค่าดัชนี VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรน่าน
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



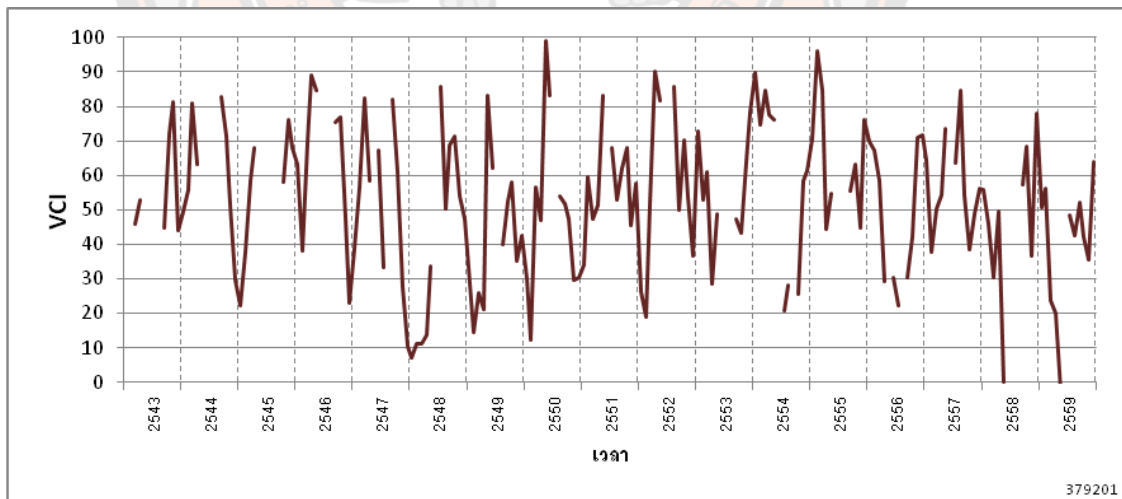
ภาพ 98 ผลลัพธ์ค่าดัชนี VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรง
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



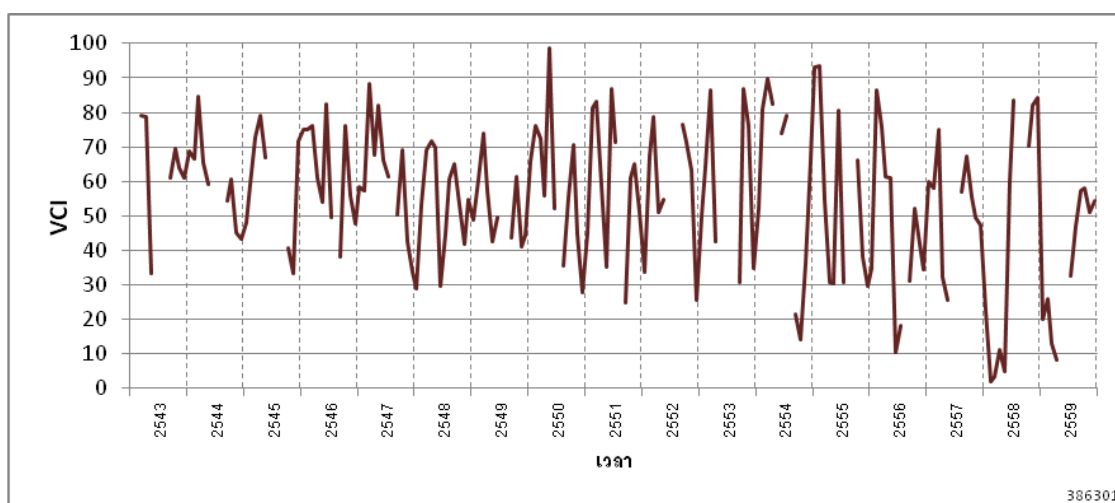
ภาพ 99 ผลลัพธ์ค่าดัชนี VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรรอยมูเซอ
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



ภาพ 100 ผลลัพธ์ค่าดัชนี VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตสาหกรรมวิทยุพิชญ์โลก
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



ภาพ 101 ผลลัพธ์ค่าดัชนี VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตสาหกรรมวิทยุพิชญ์โลก
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559



ภาพ 102 ผลลัพธ์ค่าดัชนี VCI รายเดือนบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

ตาราง 37 ดรรชนี VCI รายเดือนสูงสุดและต่ำสุดบริเวณแต่ละสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ
ระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2559

สถานี	ดรรชนี VCI สูงสุด	ดรรชนี VCI ต่ำสุด
เชียงใหม่	99.24	0
เชียงใหม่ สกษ.	94.67	0
เชียงใหม่	99.28	0
ลำปาง สกษ.	96.01	0.47
น่าน สกษ.	99.06	1.72
ศรีสะเกษ สกษ.	100	0
ดอยมูเซอ สกษ.	94.99	11.11
พิษณุโลก	94.72	10.25
เพชรบูรณ์	98.93	0
พิจิตร สกษ.	98.66	2.06