



กรมอุตุนิยมวิทยา

๔๓๕๓ ถนนสุขุมวิท บางนา กรุงเทพฯ ๑๐๒๖๐

METEOROLOGICAL DEPARTMENT

4353 SUKHUMVIT ROAD, BANGKOK 10260, THAILAND

เอกสารวิจัยโครงการ

ดัชนีความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทย 2555

ส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร

สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา

Study on Drought Index in Thailand 2012

Agro - meteorological Division

Meteorological Development Bureau

เอกสารวิชาการเลขที่

๕๕๑.๕๗๗.๓๘-๐๑-๒๕๕๗

TECHNICAL DOCUMENT No. 551.557.38-01-2014

รายงานการวิจัย

เรื่อง

ดัชนีความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทย 2555

Study on Drought Index in Thailand 2012

โดย

นายวิรัช วรานุจิตต์

นางจิราภรณ์ อูชาภรณ์

นายสมาน ปราการรัตน์

นายปรเมศร์ อมาตยกุล

นายเทวินทร์ โจมทา

นางสกุลรัตน์ สุภรัตน์พันธ์

นางสาวอภันตรี ยุทธพันธ์

นายอนุรัตน์ ศฤงคารภษิต

นายอดิศร สมหวัง

นายมนูญ ปางพรหม

นางสาวอุทัยกาญจน์ บัวเฟียน

นายปรีชา กาเพ็ชร

นายชิตชนก ผลโกล

ส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร

สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา

กรมอุตุนิยมวิทยา

กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

คำนำ

ความแห้งแล้งเป็นปัญหาหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย ภัยแล้งที่เกิดขึ้นมีหลายสาเหตุด้วยกัน ทั้งปัญหาน้ำไม่เพียงพอและการกระจายของฝนไม่ทั่วถึง ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันที่ทำให้โลกร้อนขึ้น ทำให้พื้นที่ที่เคยมีฝนตกกลับแห้งแล้งลงพื้นที่ที่เคยแห้งแล้งกลับมีฝนตก ปัญหาความแห้งแล้งเป็นปัญหาที่รัฐบาลทุกยุคทุกสมัยให้ความสำคัญและให้การสนับสนุนช่วยเหลือเกษตรกรมาโดยตลอดเป็นประจำทุกปี

กรมอุตุนิยมวิทยาได้ตระหนักถึงความสำคัญเรื่องความแห้งแล้งมาโดยตลอดและได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะแห้งแล้งและนำเสนอผลการศึกษาเผยแพร่สู่สาธารณะชนให้ทราบโดยตลอด พร้อมทั้งได้จัดตั้งคณะทำงานศึกษาในโครงการเกี่ยวกับครรชนิภัยแล้งสำหรับประเทศไทยขึ้น โดยมีส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา เป็นทีมงานศึกษาต่อเนื่องในปีงบประมาณ 2555 สำหรับการศึกษาวิจัยในเอกสารเล่มนี้เป็นการศึกษาดรรชนีความแห้งแล้งในหลายรูปแบบ ที่มีอยู่ด้วยกัน 8 วิธี เพื่อจะได้นำมาใช้เป็นเครื่องมือบ่งบอกสถานะของภัยแล้งทั้งทางตรงและทางอ้อม ที่จะเป็นประโยชน์ต่อการแก้ไขวิกฤตของภัยแล้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ และข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่ความเสี่ยงภัยได้อย่างมีเหตุผลในระดับหนึ่งและใช้สำหรับวางแผนช่วยเหลือประชาชนได้ตามระดับความรุนแรงของสถานการณ์ภัยแล้งที่เกิดขึ้น

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่าย ได้แก่เจ้าพนักงานอุตุนิยมวิทยาประจำสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดขอนแก่น ชัยภูมิ มหาสารคาม อุดรธานี ฉะเชิงเทรา ลพบุรี สุโขทัย ประจวบคีรีขันธ์ และคุณปรีชา กาฬเพชร นักวิชาการเกษตรชำนาญการ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ในการตรวจวัดความชื้นในดิน ณ จุดที่ติดตั้งเครื่องมือ คุณศกฤตน์ ศุภรัตน์ พันธุ์ นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ ส่วนวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 จังหวัดขอนแก่น ช่วยวิเคราะห์ตัวอย่างดิน และนักวิชาการในส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตรทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการทำงานโครงการนี้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคสนาม ตลอดจนการจัดทำเอกสารรายงานการวิจัยของโครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และในโอกาสนี้ทีมงานขอขอบคุณคณะกรรมการบริหารงานวิจัยของกรมอุตุนิยมวิทยาทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ และขอขอบคุณ คุณจงกลณี อยู่สบาย รองอธิบดีกรมอุตุนิยมวิทยาฝ่ายปฏิบัติการ และดร.สมศรี ฮั่นตระกูล อธิบดีกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอด

ทีมงานศึกษาโครงการวิจัย
ดรรชนีความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทย

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยเรื่องพรรณความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทยมีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างข้อมูลพรรณความแห้งแล้งเชิงพื้นที่ในบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยค่าพรรณความแห้งแล้งในอดีตจนถึงปัจจุบันจะเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อประกอบการตัดสินใจในการลดความเสี่ยงภัยจากภัยแล้งบริเวณประเทศไทย การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาพรรณความแห้งแล้งในหลายๆวิธี เพื่อที่จะสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือบ่งบอกสถานะของภัยแล้งได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งประกอบด้วยพรรณความแห้งแล้ง จำนวน 8 วิธี ได้แก่

1. พรรณความแห้งแล้งแสดงผลกระทบเนื่องจากฝน (EDI)
2. พรรณความแห้งแล้งทางด้านเกษตรกรรมตามฤดูกาลกรม(GMI)
3. พรรณความแห้งแล้งของฝนที่ต่างจากค่าปกติ (SPI)
4. พรรณความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (MAI)
5. พรรณความแห้งแล้งที่ผิดปกติทางด้านเกษตรกรรม (AI)
6. พรรณความแห้งแล้งที่ตรวจวัดและคำนวณได้จากดาวเทียม (SMest)
7. พรรณความแตกต่างพืชพรรณที่คำนวณได้จากดาวเทียม (NDVI)
8. พรรณความชื้นในดินแบบสมดุลน้ำ(SMI)

รวมทั้งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของพรรณความแห้งแล้ง กับความชื้นของดินที่ตรวจวัดจากภาคสนามในระดับความลึกของดินที่ 10 ,20, 30, 40, 60 และ 100 เซนติเมตร ในแต่ละพื้นที่เพาะปลูก ได้แก่ พื้นที่ปลูกอ้อย จ.ชัยภูมิ และจ.อุดรธานี พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง จ.ขอนแก่น และจ.อุดรธานี พื้นที่ปลูกข้าวโพด จ.ขอนแก่น พื้นที่นาข้าว จ.ขอนแก่น พื้นที่แปลงปลูกหญ้า จ.อุดรธานี และที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร จ.ขอนแก่น จ.ชัยภูมิ และ จ.อุดรธานี รวมทั้งสิ้น 12 จุด ที่มีข้อมูลผลการตรวจวัดความชื้นในดินตั้งแต่ 20 ครั้งขึ้นไป และใช้ข้อมูลระหว่างปี พ.ศ.2553-2555 พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แบบเพียร์สัน ในแปลงเพาะปลูกของแต่ละชนิดพืชมีความสัมพันธ์ที่ต่างกันไป พรรณนี้ ดังนี้ พรรณ SMI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินไปในทิศทางเดียวกัน ในระดับปานกลางถึงระดับสูงมาก ในหลายระดับความลึกของดินของแปลงปลูกอ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด นาข้าว แปลงปลูกหญ้า และที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร ส่วนพรรณตัวอื่นๆจะมีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินบางระดับและขึ้นอยู่กับชนิดของพืชในแปลงเพาะปลูก

ผลการศึกษาวิจัยทำให้กรมอุตุนิยมวิทยามีแผนที่แสดงพรรณความแห้งแล้งทั้ง 8 ชนิดที่จะสามารถใช้ประโยชน์ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับปัญหาภัยแล้งต่อไป

Abstract

This research is study on drought index in Thailand. The objective of this study created a spatial drought index in the study area. The drought index in the past to present is the basis for its decision to reduce the risk of drought in Thailand. Research in this study, the drought index in many ways, so it can be used an indicator of drought, both directly and indirectly. The drought index are consists of eight methods.

1. Effective Drought Index (EDI)
2. Generalized Monsoon Index (GMI)
3. Standardized Precipitation Index (SPI)
4. Moisture Available Index (MAI)
5. Aridity Anomaly Index (AI)
6. Soil Moisture Estimate (Smelt)
7. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
8. Soil Moisture Index Based on Water Balance (SMI)

The study on the relations of the drought index, with the soil moisture measured from the field in the depth of soil at 10, 20, 30, 40, 60 and 100 cm in a cultivated area of 4 sugarcane in Chaiyaphum and Udon Thani Provinces ,2 cassava in Khon Kaen and Udon Thani Provinces, 1 corn in Khon Kaen Province , 1 rice in Khon Kaen Province,1 paddy fields in Udon Thani Province and 3 Agricultural meteorology station in Khonkaen , Chaiyaphum and Udon Thani Provinces with a total of 12 points for the measurement of moisture in the soil 20 times or more during the year 2010 -2012 that the significance level of 0.05 (Pearson's correlation) .In the cultivation of each species ,the plant has a relation that varies the index, SMI correlated with soil moisture in the same direction and moderate to very high levels various depths of the soil of plantations, sugarcane , cassava, corn, rice , paddy field and Agricultural meteorology station correlated to several level with soil moisture. The other drought index were correlated to some level with soil moisture in cultivated area.

The result from this study, Thai Meteorological Department has eight maps showing drought index, its can used to decide about the drought in Thailand.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
1. บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 พื้นที่ศึกษา	2
1.4 วิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ความแห้งแล้ง	4
2.1 ความรู้ทั่วไปด้านความแห้งแล้ง	4
2.2 ธรรมชาติความแห้งแล้ง	6
2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	16
3. ความชื้นในดิน	24
3.1 ความชื้นในดิน	24
3.2 ความชื้นดินในภาคสนาม	25
3.3 การวัดความชื้นในดิน	28
3.4 การตรวจวัดความชื้นในดิน	29
4. ทฤษฎีที่นำมาใช้ในการศึกษา	33
4.1 ธรรมชาติความแห้งแล้งแสดงผลกระทบเนื่องจากฝน	33
4.2 ธรรมชาติความแห้งแล้งทางด้านเกษตรกรรมตามฤดูกาลมรสุม	35
4.3 ธรรมชาติความแห้งแล้งของฝนที่ต่างจากค่าปกติ	37
4.4 ธรรมชาติความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช	39
4.5 ธรรมชาติความแห้งแล้งที่ผิดปกติทางด้านเกษตร	43
4.6 ความชื้นในดินที่คำนวณได้จากดาวเทียม	45
4.7 ธรรมชาติความแตกต่างพืชพรรณ	48
4.8 ธรรมชาติความชื้นในดินแบบสมมูลน้ำ	49
5. วิธีดำเนินการศึกษา	51
6. ผลการศึกษา	
6.1 การติดตั้งเครื่องมือวัดความชื้นในดิน	61
6.2 การตรวจวัดความชื้นในดิน	68
6.3 การคำนวณหาความสัมพันธ์ธรรมชาติความแห้งแล้ง	70

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

	หน้า
6.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตรีความแห้งแล้ง	71
7. สรุปและข้อเสนอแนะ	68
7.1 สรุปผลการศึกษา	79
7.2 ข้อเสนอแนะ	82
บรรณานุกรม	84

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 (a) Three-Phase System of Soil Structure	24
(b) ปริมาณน้ำที่ถูกอนุภาคของดินดูดซับไว้	24
3.2 Partitioning Water Flow	26
3.3 ความชื้นในดินที่มีระดับความชื้นอิ่มตัว และความชื้นที่ระดับความจุสนาม	26
3.4 Soil Water Storage	27
3.5 Profile probe PR2 และส่วนประกอบ	30
3.6 ขั้นตอนการทำงานของ Profile probe PR2	31
5.1 แผนภูมิแสดงวิธีดำเนินการศึกษา	51
5.2 Land Surface Temperature วันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551 ก่อนทำ Geo-reference	55
5.3 Land Surface Temperature วันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551 หลังทำ Geo-reference	56
5.4 Land Surface Temperature บริเวณพื้นที่ศึกษา	56
5.5 Land Surface Temperature บริเวณพื้นที่ศึกษาตัดแหล่งน้ำออก	57
5.6 Surface Albedo วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2552	57
5.7 Thermal Inertia วันที่ 26 มกราคม พ.ศ.2552	59
6.1 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube ปี พ.ศ. 2552	62
6.2 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube ปี พ.ศ. 2554	64
6.3 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube บริเวณจังหวัดฉะเชิงเทรา	66
6.4 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube บริเวณจังหวัดลพบุรี	67
6.5 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube บริเวณจังหวัดสุโขทัย	67
6.6 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube บริเวณจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์	68
6.7 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube ปี พ.ศ. 2552-2555 (จำนวน 45 จุด)	69

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 Four standard water contents that are routinely measured and used	25
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในระดับต่างๆ กับเนื้อดิน	28
3.3 การแปลงค่าจากความต่างศักย์ไฟฟ้ามาเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณของความชื้นในดิน	32
5.1 ตัวอย่าง Lookup table ของค่าความชื้นในดิน (w) และค่า thermal inertia (P) ที่ความหนาแน่นดิน $\rho_s = 2.65 \text{ Mg m}^{-3}$	59
6.1 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่ปลูกอ้อย ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้	72
6.2 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้	73
6.3 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพด ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้	74
6.4 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่นาข้าว ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้	75
6.5 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่ปลูกหญ้า ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้	76
6.6 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณสถานอุดมวิทยุ ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้	77

1. บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการ

ความแห้งแล้งเป็นปัญหาหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย ภัยแล้งที่เกิดขึ้นมีหลายสาเหตุด้วยกัน ทั้งปัญหาปริมาณน้ำฝนไม่พอเพียงและการกระจายของฝนไม่ทั่วถึง พื้นที่ที่ไม่มีแหล่งกักเก็บน้ำเพียงพอ และความสามารถที่จะอุ้มน้ำของดินต่ำ ตลอดจนแหล่งน้ำต่างๆ ที่มีอยู่ตื้นเขิน ปัจจุบันพื้นที่ส่วนใหญ่ที่มีดินไม่ใหญ่หรือป่าไม้ถูกทำลายไปเป็นจำนวนมาก ประชากรมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมากขึ้น ทำให้น้ำไหลบ่าหรือน้ำป่าไหลหลากลงสู่ลำน้ำสายหลักต่างๆ และไหลลงทะเล ประกอบกับในปัจจุบันปริมาณประชากรเพิ่มขึ้นจึงมีส่วนทำให้สภาพแวดล้อมถูกทำลายไป ดังเช่นการเกิดสภาวะโลกร้อนในปัจจุบันซึ่งมีความเชื่อมโยงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นตั้งแต่ในอดีตและในปัจจุบันที่เปลี่ยนแปลงไป ผลกระทบที่เกิดขึ้นในทางอุตุนิยมนิวทาก็คือทำให้ฤดูกาลเปลี่ยนแปลงไป เช่น บางปีฤดูฝนจะมาเร็วกว่าปกติ บางปีก็มาช้ากว่าปกติ บางปีฝนตกมาก บางปีฝนตกน้อยกว่าที่เคยเกิดขึ้น หรือบางแห่งที่เคยมีฝนตกมากก็แห้งแล้ง บางแห่งที่เคยแห้งแล้งกลับมีฝนตกหนัก ปัญหาของสภาพภัยแล้งที่เกิดขึ้นนี้เป็นปัญหาที่รัฐบาลทุกยุคทุกสมัยได้ให้ความสำคัญและให้การสนับสนุนช่วยเหลือเกษตรกรมาโดยตลอดเป็นประจำทุกปี

กรมอุตุนิยมนิวทาก็ได้ตระหนักถึงความสำคัญในเรื่องของสภาวะความแห้งแล้งดังกล่าวนี้มาโดยตลอด และที่ผ่านมารวมอุตุนิยมนิวทาก็ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะแห้งแล้งหลายวิธีมาแล้ว และได้นำเผยแพร่ให้สาธารณชนทราบมาโดยตลอด สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้ตระหนักถึงการนำเอาผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง จึงได้ทำการศึกษาวิจัยในเรื่องธรรมชาติความแห้งแล้งขึ้นในหลายวิธีด้วยกันเพื่อที่จะสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือบ่งบอกสถานะของภัยแล้งได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม เพื่อประโยชน์สำหรับประเทศ ซึ่งรัฐบาลจะสามารถดำเนินการสนับสนุนงบประมาณ เพื่อแก้วิกฤตของภัยแล้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ และข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ความเสี่ยงภัยได้อย่างมีเหตุผลในระดับหนึ่ง และจะใช้ประโยชน์เพื่อกำหนดมาตรการวางแผนงานช่วยเหลือประชาชนได้ตามลำดับความรุนแรงของสถานการณ์ภัยแล้งที่เกิดขึ้น

ในปีงบประมาณ พ.ศ.2555 นี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องจากโครงการธรรมชาติความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทยที่เริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553-2555 ที่ผ่านมามีการดำเนินการติดตั้งจุดตรวจวัดความชื้นในดินบริเวณนาข้าว เขตน้ำฝน แปลงปลูกมันสำปะหลัง แปลงปลูกอ้อย แปลงปลูกข้าวโพด และในสนามตรวจสอบประกอบอุตุนิยมนิวทาจของสถานีตรวจอุตุนิยมนิวทากรอบกลุ่มพื้นที่ 9 จังหวัด ได้แก่ ขอนแก่น ชัยภูมิ มหาสารคาม อุดรธานี ฉะเชิงเทรา ลพบุรี สุโขทัย เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ รวมทั้งสิ้น 45 จุด และได้มีการรวบรวมผลการตรวจวัดความชื้นในดิน ไปแล้วในจุดที่มีการติดตั้งจุดตรวจวัดความชื้นในปีที่ผ่านมา สำหรับจุดที่ติดตั้งจุดตรวจวัดความชื้นในดิน ปี พ.ศ.2555 ยังมีข้อมูลไม่พอเพียงสำหรับการศึกษา

ในปีนี้จึงได้ขยายเวลาการเก็บรวบรวมข้อมูลความชื้นในดิน ในปีงบประมาณ พ.ศ.2556 ในจุดตรวจทั้งหมดที่มีอยู่เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่จากค่าดัชนีความแห้งแล้งในบริเวณพื้นที่ศึกษา
- 1.2.2 เพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นจากภัยแล้งซึ่งจะเป็นประโยชน์ทั้งด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ
- 1.2.3 เป็นข้อมูลกรณีศึกษาเกี่ยวกับความชื้นของดิน ที่มีความสัมพันธ์กับชนิดของพืชในพื้นที่เพาะปลูก

1.3 พื้นที่ศึกษา

ครอบคลุมพื้นที่ 9 จังหวัด ได้แก่ ขอนแก่น ชัยภูมิ มหาสารคาม อุรธานี ฉะเชิงเทรา สุโขทัย ลพบุรี เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์

1.4 วิธีดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาดัชนีความแห้งแล้ง จำนวน 8 วิธี ได้แก่
 - 1.4.1.1 ดรรชนีความแห้งแล้งแสดงผลกระทบเนื่องจากฝน (Effective Drought Index: EDI)
 - 1.4.1.2 ดรรชนีความแห้งแล้งทางด้านเกษตรกรรมตามฤดูกาลมรสุม (Generalized Monsoon Index: GMI)
 - 1.4.1.3 ดรรชนีความแห้งแล้งของฝนที่ต่างจากค่าปกติ (Standardized Precipitation Index: SPI)
 - 1.4.1.4 ดรรชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (Moisture Available Index: MAI)
 - 1.4.1.5 ดรรชนีความแห้งแล้งที่ผิดปกติทางด้านเกษตรกรรม (Aridity Anomaly Index: AI)
 - 1.4.1.6 ดรรชนีความแห้งแล้งที่ตรวจวัดและคำนวณได้จากดาวเทียม (Soil Moisture Estimate: SMest)
 - 1.4.1.7 ดรรชนีความแตกต่างพืชพรรณที่คำนวณได้จากดาวเทียม (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)
 - 1.4.1.8 ดรรชนีความชื้นในดินแบบสมดุลน้ำ (Soil Moisture Index Based on Water Balance: SMI)
- 1.4.2 สร้างข้อมูลดรรชนีความแห้งแล้งเชิงพื้นที่ (Spatial data) โดยใช้เทคนิค Kriging Interpolation ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และนำเสนอในรูปแบบที่เชิงตัวเลข (Digital Map)
- 1.4.3 ดำเนินงานจัดซื้อ จัดจ้าง เครื่องมือพร้อมอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นดิน

1.4.4 การออกสำรวจและติดตั้งเครื่องมือเพื่อตรวจวัดความชื้นดิน

1.4.5 นำข้อมูลที่ตรวจวัดความชื้นดินมาหาความสัมพันธ์กับค่าดัชนีความแห้งแล้งทั้ง

8 ชนิด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 มีฐานข้อมูลดัชนีความแห้งแล้งทั้ง 8 วิธีที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับปัญหาภัยแล้ง

1.5.2 มีฐานข้อมูลสารสนเทศพื้นที่เสี่ยงภัยครอบคลุมพื้นที่ในจังหวัด ขอนแก่น ชัยภูมิ มหาสารคาม อุดรธานี ฉะเชิงเทรา สุโขทัย ลพบุรี เพชรบุรี และ ประจวบคีรีขันธ์

1.5.3 มีแผนที่แสดงระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งของแต่ละจังหวัดที่ทำการศึกษา

1.5.4 เป็นแหล่งเผยแพร่ข้อมูลความแห้งแล้งแก่ผู้สนใจ

2. ความแห้งแล้ง

2.1 ความรู้ทั่วไป

ความแห้งแล้งในความหมายทางอุตุนิยมวิทยาเกษตรได้เคยมีผู้ที่ศึกษาและรวบรวมโดย Dunkel Zoltan Hungarian Meteorological Service มีรายละเอียดพอสรุปได้ดังนี้

2.1.1 ช่วงฝนแล้ง (Drought) ในความหมายที่ทางองค์การอุตุนิยมวิทยาโลกกำหนด (World Meteorological Organization: WMO 1992, No.182) มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

(1) ปริมาณฝนที่ขาดแคลนยืดเยื้อเป็นเวลานานหรือมีปริมาณฝนไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้และเป็นสัญญาณบ่งบอกถึงความแห้งแล้งที่เกิดขึ้น

(2) ช่วงเวลาที่มีความผิดปกติที่สภาวะอากาศแห้งยืดเยื้อยาวนานและไม่มีฝนตกเป็นสาเหตุที่รุนแรงที่ทำให้สภาวะน้ำขาดความสมดุลในทางธรรมชาติ

หรือในพจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์ ราชบัณฑิตยสถาน กล่าวโดยทั่วไปได้ว่าเป็นช่วงเวลาซึ่งอากาศแห้งผิดปกติหรือขาดฝน ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำใช้และพืชผลต่างๆ เสียหาย ความรุนแรงของช่วงฝนแล้งนั้นขึ้นอยู่กับความชื้นในอากาศ ระยะเวลาที่เกิดความแห้งแล้ง และความกว้างใหญ่ไพศาลของบริเวณพื้นที่ที่มีความแห้งแล้ง

2.1.2 ฤดูแล้ง (Dry Season) หมายถึงฤดูที่มีปริมาณฝนตกในช่วงระยะเวลาของปีนั้นๆ ที่เกือบจะขาดแคลนน้ำโดยทั่วไป (ในความหมายนี้ส่วนใหญ่จะใช้บริเวณแถบละติจูดต่ำ)

2.1.3 ระยะเวลาแล้ง (Dry Spell) หมายถึงช่วงระยะเวลาที่ขาดแคลนน้ำหรือฝนแล้งที่เกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้างแต่ความรุนแรงน้อยกว่าช่วงฝนแล้ง ซึ่งอาจจะกำหนดเป็นช่วงระยะเวลาที่ขาดฝนไม่น้อยกว่า 1-2 สัปดาห์และช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีฝนตกที่สามารถวัดปริมาณฝนได้

2.1.4 แล้งทางบรรยากาศ (Atmospheric Drought) หมายถึงปริมาณความชื้นในบรรยากาศต่ำเกิดจากการขาดแคลนปริมาณความชื้นสูงมากที่จะทำให้บรรยากาศในขณะนั้นอึมครึม

2.1.5 แล้งทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Drought) หมายถึงปริมาณฝนโดยเฉลี่ยจะมีปริมาณน้อยกว่าเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงระยะเวลายาวนานในอดีตที่ผ่านมา

2.1.6 แล้งทางอุตุนิยมวิทยาเกษตร (Agricultural Drought) หมายถึง พิจารณาถึงความชื้นในดินพอเพียงที่สามารถจะนำไปใช้ประโยชน์สำหรับพืช โดยจะพิจารณาจากผลผลิตที่ได้จากการเพาะปลูกเปรียบเทียบกับสภาวะที่พืชใช้น้ำปกติ ถ้าผลผลิตที่ได้มีปริมาณน้อยกว่าโดยเฉลี่ยแล้วก็คงเพราะสาเหตุของการขาดแคลนน้ำ

2.1.7 แล้งทางอุตุนิยมวิทยาอุทก (Hydrological Drought) หมายถึงช่วงเวลาของระดับน้ำที่ไหลมีระดับต่ำกว่าปกติ

2.1.8 แล้งทางสรีรศาสตร์ (Physiological Drought) หมายถึง พืชไม่สามารถนำเอาน้ำมาใช้ได้ทั้งๆที่มีความชื้นในดินเพียงพอ

2.1.9 แล้งทางสังคมและเศรษฐกิจ (Socioeconomic Drought) ผู้ขายและผู้ซื้อของสินค้าบางชนิดในทางเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องกับธาตุประกอบทางอุตุนิยมิวิทยา อุทกวิทยา และแล้งทางด้านเกษตร

2.1.10 ความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการผันแปรของสภาพอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นจากปัจจัย 3 ประการคือ แล้งทางอุตุนิยมิวิทยา แล้งทางด้านเกษตร และแล้งทางอุทกวิทยา ทั้ง 3 ประการนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ใช้ระยะเวลายาวนานนำไปสู่ผลกระทบทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของประเทศ

แล้งทางอุตุนิยมิวิทยา เกิดจากปัจจัยที่สำคัญได้แก่

- ปริมาณฝนขาดแคลน ซึ่งดูได้จาก ปริมาณฝน ความแรงของฝน เวลาที่ฝนตก
- การไหลซึมของน้ำลดลง การไหลของน้ำลดลง ปริมาณน้ำซึมลงไปในดินในระดับที่ลึกและการเพิ่มปริมาณน้ำใต้ดินลดลง

- อุณหภูมิสูงขึ้น ลมมีกำลังแรงขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ พลังงานแสงอาทิตย์แรงขึ้น และเมฆปกคลุมท้องฟ้าลดน้อยลง

- เพิ่มการคายน้ำและการระเหยของน้ำมากขึ้น

แล้งทางเกษตร ได้แก่ น้ำในดินขาดแคลน การดูดน้ำของพืชมีปัญหา ปริมาณและผลผลิตทางเกษตรลดน้อยลง

แล้งทางอุตุนิยมิวิทยาอุทก ได้แก่ การลดปริมาณการไหลของน้ำลงในอ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบและบ่อ และพื้นที่เปียกชื้นและที่อยู่ของสัตว์น้ำลดน้อยลงเป็นบริเวณกว้าง

สาเหตุของการเกิดความแห้งแล้งของประเทศไทยเกิดจากการขาดฝน หรือปริมาณฝนในปีที่แล้งนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าปกติมาก ซึ่งในประเทศไทยปริมาณฝนในแต่ละปีจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการที่สำคัญได้แก่

(1) พายุหมุนเขตร้อน เป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้มีฝนตกหนักเป็นบริเวณกว้าง จากสถิติที่ผ่านมาจะมีพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยปีละประมาณ 3-4 ลูก ถ้าปีใดมีพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนเข้ามาหรือไม่เคลื่อนผ่านเข้ามาเลย อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณฝนน้อยกว่าปกติ อย่างไรก็ตามปริมาณฝนที่เกิดขึ้นเนื่องจากพายุจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ทิศทาง ขนาดและความแรงของพายุ

(2) ร่องมรสุมหรือร่องความกดอากาศต่ำ ปกติในแต่ละปีร่องมรสุมจะเคลื่อนที่ตามแนวดวงอาทิตย์ (Declination) โดยพาดผ่านประเทศไทย 2 ช่วง คือ ช่วงแรกประมาณเดือนเมษายนถึงมิถุนายน เคลื่อนจากใต้ไปเหนือ และช่วงหลังประมาณเดือนสิงหาคมถึงพฤศจิกายน เคลื่อนจากเหนือลงใต้ การเคลื่อนของร่องมรสุม จะทำให้เกิดฝนตกในบริเวณที่เคลื่อนผ่านอย่างต่อเนื่อง หากปีใดร่องมรสุมมีกำลังอ่อนหรือเคลื่อนออกไปพาดผ่านนอกเขตประเทศไทยเร็วกว่าปกติ ก็อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณฝนมีค่าน้อยกว่าปกติ และเกิดความแห้งแล้งขึ้นได้

(3) **ฝนทิ้งช่วง** ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นระหว่างปลายเดือนมิถุนายนถึงปลายเดือนกรกฎาคม ปกติจะมีฝนทิ้งช่วงเกิดขึ้นเป็นประจำ อาจจะนานประมาณ 2 สัปดาห์ถึงเกือบทั้งเดือน ทั้งนี้เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าว ร่องมรสุมจะเลื่อนขึ้นไปพาดผ่านบริเวณประเทศจีนตอนใต้ ทำให้ฝนในประเทศไทยลดลงโดยทั่วไป ด้วยเหตุนี้หากปีใดมีฝนทิ้งช่วงเกิดขึ้นนานกว่า 2 สัปดาห์ขึ้นไป ก็จะก่อให้เกิดความเดือดร้อนต่อเกษตรกร เพราะจะทำให้การเพาะปลูกหรือปักดำข้าวกล้าช้ากว่าปกติ หรือหากมีฝนทิ้งช่วงนานเป็นเดือน ๆ เช่นในปี พ.ศ. 2522 และ 2530 ก็จะทำให้เกิดภัยแล้งรุนแรงทั่วประเทศ

(4) **ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้** ในช่วงฤดูฝนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะพัดพาเอาความชื้นจากทะเลเข้าสู่ประเทศไทยทำให้เกิดฝนตกเป็นประจำ แต่ถ้าหากว่าปีใดลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีกำลังอ่อนหรือเกิดในช่วงระยะเวลาสั้นๆและขาดความชื้นที่จะสนับสนุนให้เกิดฝนได้แล้ว ปีนั้นปริมาณฝนอาจจะน้อยกว่าปกติ และสภาวะความแห้งแล้งอาจเกิดขึ้นได้

นอกจากปัจจัยที่ก่อให้เกิดฝนโดยตรงดังกล่าวข้างต้นแล้ว ในทางอุตุนิยมวิทยายังเน้นความสนใจเรื่องระบบการหมุนเวียนของบรรยากาศ และการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างบรรยากาศกับมหาสมุทร เช่น ปรากฏการณ์เอนโซ และ Indian Ocean Dipole เป็นต้น

2.2 ธรรมชาติความแห้งแล้ง

ธรรมชาติความแห้งแล้ง คือ ธรรมชาติที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่มีผลกระทบสะสมเกิดขึ้นเป็นระยะเวลานานและมีความผิดปกติของความชื้นที่ลดลงและขาดแคลน จากการศึกษาในเรื่องราวของธรรมชาติความแห้งแล้งที่ผ่านมาของนายคันเคล โชทาน หน่วยงานอุตุนิยมวิทยาฮังการี และได้ทำการรวบรวมพิจารณาจัดกลุ่มธรรมชาติความแห้งแล้งที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันอยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ทั้งสิ้น 6 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1. ความผิดปกติของปริมาณฝน (Precipitation anomaly) รูปแบบของความแห้งแล้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝนในช่วงเวลาก่อนหน้านั้นซึ่งอาจเป็น 3-4 สัปดาห์ถึงหลายๆ ปี ความแห้งแล้งเกิดขึ้นภายหลังฤดูฝนที่ผิดปกติหรือขึ้นกับช่วงเวลา ตัวอย่าง เช่น ความแห้งแล้งทางการเกษตรมีความต่อเนื่องของช่วงเวลาในฤดูหนาวและฤดูร้อนที่แห้ง ธรรมชาติความแห้งแล้งที่ง่ายที่สุดคือ การคำนวณค่าเบี่ยงเบนที่แตกต่างไปจากค่าปกติของฝน เราสามารถวิเคราะห์จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือสามารถหาค่าเบี่ยงเบนโดยเปรียบเทียบจากค่าปกติเพื่อการเปรียบเทียบที่ดีกว่า ธรรมชาติความแห้งแล้งที่ดีจะไม่สามารถสมมุติขึ้นได้ โดยที่ไม่มีการเปรียบเทียบกับค่าของผลผลิตก่อนที่จะตั้งค่าให้ใกล้เคียงสภาพแวดล้อมให้มากที่สุด แล้วจึงกำหนดนิยามของธรรมชาติในระดับความรุนแรงต่างๆ ที่มีการกระจายนั้นขึ้นมา

1. **ดัชนีปริมาณฝน (precipitation index)** คือความแตกต่างของปริมาณฝนกับค่าเฉลี่ยของปริมาณฝน คำนวณจากสูตร

$$\Delta P = P - m(P) \quad (2.1)$$

เมื่อ ΔP คือ ดัชนีปริมาณฝน

P คือ ปริมาณฝนรวมในระยษนาน

$m(P)$ คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนระยษนาน หรือค่ามาตรฐาน หรือค่าปกติทางภูมิอากาศในช่วงเวลานาน

ความผิดปกติของภูมิภาคหรือบริเวณพื้นที่กว้างใหญ่ที่ไม่มีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันกับเงื่อนไขทางภูมิอากาศที่มีลักษณะแตกต่างกัน ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวนี้ จึงแนะนำถึงความสัมพันธ์กับจำนวนหรือมาตรฐานดังนี้

2. **ความสัมพันธ์ของปริมาณฝนรวม (relative precipitation sum)** คืออัตราส่วนร้อยละของปริมาณฝนต่อค่าเฉลี่ยของปริมาณฝน คำนวณจากสูตร

$$RP = \frac{P}{m(P)} \quad (2.2)$$

เมื่อ RP คือ ร้อยละของความสัมพันธ์ของปริมาณฝนรวม

3. **ความสัมพันธ์ผิดปกติ (relative precipitation anomaly)** คือร้อยละความผิดปกติของปริมาณฝนต่อหนึ่งหน่วยของปริมาณฝนเฉลี่ย คำนวณจากสูตร

$$AI = \frac{P - m(P)}{m(P)} \quad (2.3)$$

เมื่อ AI คือ ความสัมพันธ์ผิดปกติ

4. **ดัชนีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานผิดปกติ (standardized anomaly index)** คือความผิดปกติของปริมาณฝนต่อหนึ่งหน่วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฝน คำนวณจากสูตร

$$SAI = \frac{P - m(P)}{d(P)} \quad (2.4)$$

เมื่อ SAI คือ ดัชนีฝนที่ผิดปกติจากมาตรฐาน

$d(P)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฝน

5. **ค่าเฉลี่ยมาตรฐานผิดปกติ (average standard anomaly)** คือค่าเฉลี่ยของความผิดปกติของปริมาณฝนต่อหนึ่งหน่วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฝน คำนวณจากสูตร

$$ASA = \frac{\sum_1^K \frac{\Delta P_K}{dP_K}}{K} \quad (2.5)$$

เมื่อ ΔP คือ ปริมาณฝนที่แตกต่างไปจากค่าเฉลี่ย

dP คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฝน

K คือ จำนวนข้อมูล

กลุ่มที่ 2. ความแห้งแล้งบรรยากาศ (Atmospheric drought) เป็นสัญญาณที่เป็นมาตรฐานของช่วงเวลาแห้งแล้งที่ความชื้นในบรรยากาศมีปริมาณน้อยขาดแคลนไอน้ำที่ทำให้อิ่มตัวตามปกติ ลักษณะของการวิเคราะห์คุณสมบัติของความแห้งแล้งบรรยากาศ เช่น บางช่วงเวลากการวิเคราะห์ปกติจะสั้นกว่า 1 เดือน บางครั้งไม่ก็วัน แต่จำนวนวันต้องติดต่อกัน ซึ่งสามารถบอกถึงสาเหตุที่จะก่อให้เกิดเหตุร้ายเพียงไม่กี่ประเภทก็ได้ ธรรมชาติยังไม่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป เช่น (Selyaninov) แต่บางครั้งจะมีคุณค่าที่สามารถแนะนำการปฏิบัติงานด้านชลประทานเป็นอย่างมาก รูปแบบที่ง่ายที่สุดทางสารประกอบทางอุณหภูมิมิวิทยาเรียกว่า การขาดแคลนปริมาณความชื้นที่จะทำให้บรรยากาศอิ่มตัว (saturated deficit: d) คือปริมาณความชื้นที่จะทำให้บรรยากาศอิ่มตัวในขณะนั้น คำนวณจากสูตร

$$d = E - e = E(1 - f) \quad (2.6)$$

เมื่อ E คือ ความกดไอน้ำที่จุดอิ่มตัว (hPa)

f คือ ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ

e คือ ความกดไอน้ำที่ตรวจวัดได้ (hPa)

เกณฑ์ของค่าธรรมชาติ (hPa)	ระดับความแห้งแล้ง
20-29	แห้งแล้งน้อย (weak)
30-39	แห้งแล้งปานกลาง (moderate)
40-49	แห้งแล้งรุนแรง (intensive)
>50	แห้งแล้งรุนแรงมาก (intensive dry spell)

กลุ่มที่ 3. ธรรมชาติความแห้งแล้ง (Aridity index) เป็นธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเกี่ยวข้องกับภูมิอากาศมีสัมพันธ์กับปริมาณฝนที่ไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้บริหารจัดการกับพืช สำหรับสถานีหนึ่งๆ จะมีระดับความน่าจะเป็นปกติ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยการประยุกต์หรือเลือกค่าที่ใกล้เคียงจากการกระจายตามสมมติฐานของการประมาณค่ามาตรฐานของสัปดาห์การคายระเหย ซึ่งสามารถพบธรรมชาติความแห้งแล้งชนิดนี้มากมายหลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดคือ การประมาณค่าการระเหยโดยใช้อุณหภูมิชนิดเดียวหรืออุณหภูมิรวมและ degree days ทฤษฎีพื้นฐานที่อยู่ในรูปแบบธรรมชาติความแห้งแล้ง ได้แก่

1. อัตราส่วนการคายระเหยต่อปริมาณฝน (Bristov, 1987; Budyko, 1952) ความแตกต่างของพรรณนิความแห้งแล้งเป็นค่าประมาณของการระเหยหรือการคายระเหย ซึ่งมีสูตรการ

$$\text{คำนวณจาก } \frac{P}{PE} \quad \text{หรือ} \quad \frac{P}{\frac{R_n}{L}}$$

เมื่อ PE คือ การคายระเหยที่กระจายอยู่ในรูปของฝน

R_n คือ สมดุลพลังงานแสงอาทิตย์

L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

2. ดรรชนีปริมาณฝนของกลาง(Lang's rainfall index) คือ อัตราส่วนของปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีต่ออุณหภูมิเฉลี่ยรายปี คำนวณจากสูตร

$$R = \frac{P}{T} \quad (2.7)$$

เมื่อ R คือ ดรรชนีปริมาณฝนของกลาง

P คือ ปริมาณฝนรวมในช่วงเวลาที่ศึกษา

T คือ อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ศึกษา

3. ดรรชนีความแห้งแล้งของ เดอ มาร์ทอนนี (De Martonne aridity index) จะมี 2 สูตรในการคำนวณ

$$\text{สูตรที่ 1} \quad Ib = \frac{12P}{T + 10} \quad (2.8)$$

$$\text{สูตรที่ 2} \quad Ia = \frac{P}{T + 10} \quad (2.9)$$

เมื่อ Ia และ Ib คือ ดรรชนีความแห้งแล้งของ เดอ มาร์ทอนนี

4. ดรรชนีความแห้งแล้งของโทรนวัต (Thornthwaite index: TI) จะคำนวณเป็นรายเดือนมีสูตรดังนี้

$$TI = 1.65 \left[\frac{P}{T + 12.2} \right]^{\frac{10}{9}} \quad (2.10)$$

ดรรชนี Lang's rainfall index, De Martonne aridity index และ Thornthwaite index ทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นดรรชนีสำหรับการเกษตรที่มีความแตกต่างของ degree days อีกชนิดหนึ่งของกลุ่มที่ใช้ประมาณค่า degree days ในดรรชนี Selyaninov index ซึ่งเป็นดรรชนีที่รู้จักคือ hydro-thermal index จะใช้ข้อมูลรายวันในการคำนวณช่วงเวลาที่ศึกษา

5. สัมประสิทธิ์ของ Selyaninov 's hydro-thermal คำนวณจากสูตร

$$HTK = \frac{P}{\sum_{T \geq 10} T} \quad (2.11)$$

เมื่อ T คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรายวันที่มากกว่า 10°C

สัมประสิทธิ์ Selyaninov	ระดับความแห้งแล้ง
0.4-0.7	แห้งแล้งมาก(very dry)
0.7-1.0	แห้งแล้ง(dry)
1.0-1.3	มีความชื้นไม่พอเพียง(insufficiently wet)
>1.3	มีความชื้น(wet)

6. ดรรชนีความแห้งแล้งของเพด (Ped's Drought index: PDI1) ใช้ศึกษาเกี่ยวกับความแปรปรวนของกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์ซึ่งจะใช้ข้อมูลเป็นรายเดือนของอุณหภูมิและฝน ซึ่งมีสูตรการคำนวณจากสูตร

$$PDI1 = \frac{\Delta T}{d(T)} - \frac{\Delta P}{d(P)} \quad (2.12)$$

เมื่อ ΔT คือ ความผิดปกติของอุณหภูมิ
 ΔP คือ ความผิดปกติของฝน
 $d(T)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิ
 $d(P)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของฝน

ไม่ใช่แต่ฤดูนิยมนิยามวิทยาเพื่อการเกษตรเท่านั้นแต่ยังมีการศึกษาถึงการถ่ายเทพลังงานใกล้ผิวดิน ที่เป็นที่รู้จักกันคือ

7. อัตราส่วนของโบเวน (Bowen ration) (Skvortsov, 1950) มีความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนแฝงและความร้อนที่รู้สึกได้ เพราะว่ามี ความยุ่งยากในการตรวจวัดจึงได้แปลงอยู่ในรูปของการคำนวณดังนี้

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (2.13)$$

เมื่อ β คือ ดรรชนี อัตราส่วนของโบเวน
 H คือ sensible heat flux ($\text{Wm}^{-2}\text{s}^{-1}$)
 LE คือ latent heat flux ($\text{Wm}^{-2}\text{s}^{-1}$)

นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นๆ อีกมาก เช่น

- Potential water deficit $PE - P$
- Potential evaporation ratio, reciprocal of aridity index $\frac{PE}{P}$
- Aridity index, moisture availability index $\frac{P}{PE}$
- Relative evaporation $\frac{ET}{PE}$

กลุ่มที่ 4 ดรรชนีความชื้นในดิน (Soil moisture index) ใช้ตรวจวัดหรือคำนวณข้อมูลความชื้นในดิน (Budagovsky, 1956) สามารถหา ดรรชนีความแห้งแล้งได้จากสูตร

1. ความสัมพันธ์ความชื้นที่มีอยู่ในดิน (Relative soil moisture content) ดังนี้

$$RSMI = \frac{W}{AWC} \quad (2.14)$$

เมื่อ $RSMI$ คือ Relative soil moisture index

W คือ ความชื้นในดินที่แท้จริง

AWC คือ ความชื้นในดินที่อิ่มตัวที่ความลึกของดิน 1 เมตร หรือกำหนดให้ตามความลึกของรากพืช

2. ดรรชนีความแห้งแล้งของเพด 2 (Ped's Drought index2: PDI2) ได้นำเอาแนวคิดของค่ามาตรฐานของปริมาณความชื้นในดินมาคำนวณด้วยกับ PDI1 จึงได้สูตรที่ 2 ดังนี้

$$PDI2 = \frac{\Delta T}{d(T)} - \frac{\Delta P}{d(P)} - \frac{\Delta W}{d(W)} \quad (2.15)$$

เมื่อ $d(w)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความชื้นในดิน

3. ดรรชนีความชื้นในดินแบบสมดุลน้ำ (Soil Moisture Index Based on Water Balance, SMI) หาได้จากองค์ประกอบและชนิดของดิน และเงื่อนไขความชื้นในดิน ได้แก่ ความชื้นในดินที่มีอยู่จริง (Soil Moisture, SM) ความชื้นในดินที่ความจุสนาม (Field Capacity, FC) และความชื้นในดินที่จุดแห้งเหี่ยว (Wilting Point, WP) ในพื้นที่ที่ตรวจวัด ตามการกำหนดของ V. Sridhar และคณะ (2008) ดังนี้

$$SMI = \left[\frac{5(SM - WP)}{(FC - WP)} - 5 \right] \quad (2.16)$$

ค่า SMI มีค่าอยู่ระหว่าง มากกว่า -1 ถึง น้อยกว่า -5

กลุ่มที่ 5 ดรรชนีที่มีความเชื่อมโยง (Combined or Recursive indices) เป็นดรรชนีที่อธิบายถึงความชื้น โดยมีเงื่อนไขที่มีความสัมพันธ์กับช่วงระยะเวลายาวนาน โดยการรวมค่าความสัมพันธ์ของสารประกอบทางอตุณิยวิทยาที่มีอยู่ที่มีภาพรูขรุขระของเงื่อนไขที่ขัดแย้งกันในช่วงระยะเวลาที่ศึกษา สิ่งที่กำลังกล่าวมาทั้งหมดนี้มีผลกระทบสะสมที่เกิดขึ้นเป็นเวลานานของ

ความชื้นที่ขาดแคลนในเดือนต่อเดือนนั้นควรมีคุณสมบัติที่มีการกระจาย ธรรมชาติที่ได้มีการพิสูจน์ และใช้ประโยชน์ได้สูงเพื่อหาค่าความแห้งแล้งหรือช่วงเวลาแห้งแล้งซึ่งขึ้นอยู่กับค่าจริงที่เกิดขึ้น ก่อนหน้านั้นสัมพันธ์กับการผันแปรทางอุคินิยมวิทยาซึ่งเราเรียกวิธีการนี้ว่า Recursive indices ได้แก่

1. Foley's anomaly index: FAI เป็นการรวมฝนรายเดือนที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกัน
คำนวณได้จากสูตร

$$FAI_1 = \Delta P_1 \quad (2.17)$$

$$FAI_K = FAI_{K-1} + \Delta P_K \quad (2.18)$$

เมื่อ ΔP_K คือ ค่าความแตกต่างของค่ามาตรฐานกับค่าที่แท้จริงของฝนในเดือนที่ k

ในที่สุดเราสามารถหาลำดับอนุกรมของธรรมชาติรายปีที่ให้ค่าแนวโน้มความแห้งแล้งจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไปยังเป้าหมายได้ (Fensham and Holman, 1999)

2. Bhalme-Mooley Drought Index: BMDI ได้พิจารณาและดัดแปลงวิธีการของ Palmer Drought Severity Index: PDSI (Alley, 1984) ที่เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ปริมาณ ฝนรายเดือนในธรรมชาติ Bhalme-Mooley Drought Index: BMDI ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$i_0 = 0 \quad (2.19)$$

$$i_k = c_1 i_{k-1} + \frac{SAI_k}{c_2} \quad (2.20)$$

$$BMDI = \frac{\sum_1^n i_k}{n} \quad (2.21)$$

เมื่อ c_1, c_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ภูมิภาคของพื้นที่ที่กำหนด

SAI คือ standardized precipitation anomaly index (Bhalme and Mooley, 1980)

คำนวณได้จากช่วงเวลาของพืช จะเริ่มในเดือนเมษายน ถึงกันยายน สุดท้ายจะได้ค่า 1 ค่า ที่หามาได้จากทั้งปีที่จะเป็นตัวบ่งบอกถึงสถานะการณ์ของความแห้งแล้ง

3. Palmer Drought Severity Index: PDSI เป็นธรรมชาติที่ใช้ทั่วไปและเป็นที่ยอมรับ ซึ่งเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์สารประกอบของความสมดุลของน้ำผิวดินและเปรียบเทียบกับค่าที่แท้จริงทางด้านภูมิอากาศหรือค่าศักย์ทางฟิสิกส์ การคำนวณ PDSI ขึ้นตอนหลายๆ ขั้นตอนที่พิจารณาถึงฝนรายเดือน การคายระเหย และความชื้นในดิน โดยทั่วไปมีอยู่หลายวิธีที่สามารถคำนวณค่าศักย์การคายระเหยของน้ำ ตัวแปรที่เป็นปัจจัยสำคัญของสมดุลของน้ำและ เช่นเดียวกันกับขั้นตอนการคำนวณ PDSI, Palmer (Alley, 1984) ได้ประยุกต์รูปแบบของโทรนเวต(Thornthwaite-formula) ซึ่งมีคุณสมบัติทางภูมิอากาศมาเกี่ยวข้องด้วย ต่อมา Blaney-Criddle method จัดทำการประมาณค่าที่ดีกว่า(Alley, 1984) โดยเฉพาะทางเลือกของพืชที่กำหนด PDSI เป็นมาตรฐานที่แตกต่างของภูมิภาคและช่วงเวลาซึ่งใช้ประโยชน์ในการประเมิน สำหรับพื้นที่กว้างกับภูมิอากาศที่แตกต่างกันซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การนับค่าที่เกี่ยวข้องกับน้ำ(Hydrological accounting) เริ่มคำนวณด้วยสมดุลของน้ำทางภูมิอากาศโดยใช้อัตราของฝนรายเดือนและอุณหภูมิมรายเดือนที่ได้มีการบันทึกไว้ ขบวนการที่มีความชำนาญที่จะนับความชื้นที่เก็บอยู่ในดินโดยการหารด้วยดิน 2 ระดับที่ไม่มีกฎเกณฑ์ ในดินชั้นบนมีสมมุติฐานว่าประกอบด้วยความชื้นที่ใช้ประโยชน์ที่ความจุของสนาม-ไร้การสูญเสียที่เกิดในชั้นต่ำกว่าขึ้นอยู่กับความจุของความชื้นเริ่มแรก เช่นเดียวกับการคำนวณค่าศักยภาพของการคายระเหยของน้ำ (PE) และการใช้ประโยชน์จากน้ำที่มีความจุเต็มที่ (AWC) การไหลของน้ำสมมุติว่าเกิดขึ้นได้ทั้ง 2 ระดับรวมถึงการรวมความจุความชื้น AWC สำหรับค่า PE หาได้จากการรวมกันของค่าศักยภาพมากกว่า 3 ค่า ได้แก่ potential recharge คือจำนวนความชื้นที่ต้องการที่ทำให้ดินมีความจุในการอุ้มน้ำ Potential loss คือจำนวนความชื้นที่สามารถสูญหายไปจากดินโดยการคายระเหยของน้ำระหว่าง ช่วงเวลาที่ฝนมีค่าเป็นศูนย์ Potential runoff คือค่าความแตกต่างระหว่างฝนกับ potential recharge

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านภูมิอากาศ (Calculation of climatic coefficients) คำนวณจากแบบจำลองสมดุลของน้ำสำหรับช่วงเวลาที่มีการบันทึกสภาพอากาศที่ใช้ประโยชน์ ค่าสัมประสิทธิ์รายเดือนจะถูกคำนวณเป็นสัดส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยภูมิอากาศของค่าจริงกับค่าศักยภาพของการระเหย recharge การไหลของน้ำ และการสูญหาย ตามลำดับได้แก่

$$\alpha = ET / PE , \beta = actual / potentialrecharge , \gamma = actual / potrunoff , \delta = loss$$

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณค่า CAFEC (Climatically Appropriate For Existing Condition) สัมประสิทธิ์ถูกใช้หาปริมาณของฝนที่ต้องการสำหรับ CAFEC ตัวอย่างเช่น ค่าปกติของสภาพอากาศระหว่างแต่ละเดือน

ขั้นตอนที่ 4 ดรรชนีความชื้นที่ผิดปกติ (Moisture anomaly index) ความแตกต่างระหว่างค่าจริงของฝนกับ CAFEC ของฝนเป็นตัวบ่งชี้ถึงการขาดแคลนน้ำหรือน้ำส่วนเกินในเดือนนั้นและสถานีนั้นซึ่งมีสมการคือ $D = P - I$, เมื่อ D คือ ค่าแตกต่างของฝนกับค่าCAFEC ของฝน P คือ ปริมาณฝน และ I คือ ปริมาณฝนที่เป็นค่าปกติ

ดรรชนีความชื้นที่ผิดปกติ (Indexes of moisture anomaly) มีสมการคือ $Z = K(j)D$ เมื่อ K(j) คือ ค่าน้ำหนักที่กำหนดให้(weighting factor)

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณความแห้งแล้งรุนแรง ในขั้นตอนสุดท้ายนี้ ดรรชนี Z ที่เป็นลำดับอนุกรมเวลาถูกวิเคราะห์เพื่อพัฒนาเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการเริ่มต้นและสิ้นสุดของช่วงเวลาของความแห้งแล้งและรูปแบบที่ตั้งขึ้นไว้จากการสังเกตในการหาค่า PDSI

ดรรชนีความแห้งแล้งรุนแรงของปาร์มเมอร์(Palmer drought severity index) มีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$PDSI_k = PDSI_{k-1} + \frac{Z_k}{3} - 0.103PDSI_{k-1} \quad (2.22)$$

หรือ

$$PDSI_k = \frac{Z_k}{3} + 0.897PDSI_{k-1} \quad (2.23)$$

เมื่อ Z คือ ธรรมชาติความชื้นที่ผิดปกติ สมการ PDSI จะใช้ข้อมูลรายเดือนขึ้นอยู่กับการข้อมูลเดือนก่อนหน้านั้นและความชื้นที่ผิดปกติของเดือนจริง เป็นสาเหตุที่มีความสัมพันธ์โดยอัตโนมัติของ PDSI โดยทั่วไป ลำดับช่วงของอนุกรมเวลา PDSI อยู่ระหว่าง -9 และ +9 จะกำหนดให้ค่าที่มากกว่า 4 และ 6 เป็นรุนแรง และอยู่ในเงื่อนไขวิกฤติ ค่าที่กำหนดอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพภูมิประเทศของภูมิภาคของโลก ขณะที่ครั้งแรกได้กำหนดช่วงการกระจายไว้อยู่ระหว่าง -4 และ 4 ซึ่งเป็นการพิจารณาเหตุการณ์ที่เข้าใกล้จุดวิกฤติ โดยที่เหตุการณ์ความแห้งแล้งเกิดขึ้นค่า PDSI ที่คำนวณได้จะมีค่าเป็นลบ ในขณะที่เป็นบวกจะหมายถึงมีความชื้น การเปรียบเทียบค่าธรรมชาติความแห้งแล้งอื่นๆแล้ว PDSI สามารถแปลงใช้ประโยชน์ได้หลายๆ แบบ และสามารถจำลองความชื้นในดินในแต่ละเดือน และเปรียบเทียบความรุนแรงของเหตุการณ์ความแห้งแล้งในภูมิภาคที่มีภูมิอากาศและฤดูกาลที่แตกต่างกันได้และมีการจัดระดับความรุนแรงดังนี้

PDSI	ระดับความรุนแรงของความแห้งแล้ง
$4.0 < PDSI$	ชื้นมากเข้าขั้นวิกฤติ(extreme wet)
$3.0 < PDSI < 4.0$	ชื้นมาก(very wet)
$2.0 < PDSI < 3.0$	ชื้นปานกลาง(moderate wet)
$1.0 < PDSI < 2.0$	ชื้นเล็กน้อย(slightly wet)
$0.5 < PDSI < 1.0$	ชื้นในช่วงเวลาหนึ่ง(wet spell)
$-0.5 < PDSI < 0.5$	ปกติ(normal)
$-1.0 < PDSI < -0.5$	แห้งเล็กน้อย(slightly dry)
$-2.0 < PDSI < -1.0$	แห้งแล้งไม่มาก(mild drought)
$-3.0 < PDSI < -2.0$	แห้งแล้งปานกลาง(moderate drought)
$-4.0 < PDSI < -3.0$	แห้งแล้งรุนแรง(severe drought)
$PDSI < -4.0$	แห้งแล้งเข้าขั้นวิกฤติ(extreme drought)

- นอกจากธรรมชาติ PDSIแล้วยังมีธรรมชาติอื่นๆที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันนี้ได้แก่
- ธรรมชาติมาตรฐานของฝน (Standardized Precipitation Index: SPI)
 - ธรรมชาติน้ำต้นทุนที่ผิวน้ำ (Surface Water Supply Index: SWSI)
 - ธรรมชาติความแห้งแล้งน้ำใช้การได้(Reclamation Drought Index: RDI)
 - ธรรมชาติความแห้งแล้งของปาร์มเมอร์(Palmer Drought Index: PDI)

- ดัชนีความชื้นการเพาะปลูกของปาร์มเมอร์ (Palmer Crop Moisture Index: CMI)
- ดัชนีความแห้งแล้งของKeetch-Byram (Keetch–Byram Drought Index: KBDI)

กลุ่มที่ 6 ดัชนีที่ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกล (Indices based on remotely sensed information)

การสะท้อนกลับของพืชมีความแตกต่างจากแร่ธาตุที่อยู่ในดินเป็นส่วนใหญ่ (Wangner et al., 1996) หากได้จากการดูดกลืนของคลอโรฟิลล์ในช่วงคลื่นสีน้ำเงินและแดง ที่ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้รังสีจะถูกกระจายออกไปจากใบพืช เหตุผลโดยทั่วไปการสะท้อนกลับสูงจะขึ้นอยู่กับรูปทรงและขนาดของใบพืช สิ่งที่ขัดแย้งกันคือ พืชมีการสะท้อนกลับที่ต่ำในช่วงคลื่น visible ที่มากที่สุดเป็นลำดับสองเล็กน้อยรอบๆ $0.55 \mu m$ เมื่อพืชมีความเครียดเมื่อขาดน้ำเช่นเดียวกับสิ้นสุดช่วงเวลาการปลูกพืช การดูดกลืนคลอโรฟิลล์น้อยลงและมีอัตราส่วนของช่วงคลื่นอินฟราเรดกับสีแดงหรือการสะท้อนของ visible ลดลง อัตราส่วนนี้เรียกว่า ดัชนีพืช (Vegetation Index) ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Vegetation Index} = \frac{NIR}{VIS} \quad (2.24)$$

เมื่อ NIR คือ รังสีสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

VIS คือ รังสีสะท้อนช่วงคลื่นสีแดงหรือช่วง visible

การตรวจวัดทางสรีรศาสตร์ของพืชในทางปฏิบัติ Normalized Difference

Vegetation Index (NDVI) บ่อยครั้งจะถูกนำมาใช้กำหนดสถานะของพืช เพราะสถานะของพืชขึ้นอยู่กับสถานะของน้ำต้นตุน

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad (2.25)$$

เราสามารถใช่ NDVI เป็น ดัชนีความแห้งแล้ง ความเครียดเกิดจากการขาดแคลนน้ำ เป็นผลในการลดลงของขนาดดัชนีพืช NDVI มีความยุ่งยากที่จะตีความในกรณีของพืชต่างๆ เพราะว่าการสะท้อนกลับของความยาวคลื่นของดินส่วนมากจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

อุณหภูมิของผิวพื้นสามารถตรวจวัดจากการสำรวจระยะไกล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิใกล้ผิวพื้นและผิวพื้นเป็นตัวชี้อัตราส่วนของ latent และ heat flux ต่อมาได้มีการประมาณค่าโดย Jackson et al., 1981, 1984 ซึ่งเป็นดัชนีมาตรฐานที่เรียกว่า Crop Water Stress Index (CWSI) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$CWSI = \frac{PE - ET}{PE} \quad (2.26)$$

เมื่อ PE คือ ศักย์การคายระเหยของน้ำ

ET คือ การระเหยของน้ำที่แท้จริง

การสำรวจอุณหภูมิผิวพื้นจากระยะไกล ร่วมกับสารประกอบทางอุทุนิยมวิทยาตัวอื่นๆ เป็นพื้นฐานของ CWSI (Bristow, 1987) ที่ใช้ประโยชน์สำหรับแนะนำระบบทางชลประทาน และความต่อเนื่องของค่ารายวันสามารถใช้เป็นดัชนีความแห้งแล้งด้วย ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวพื้นและใกล้ผิวพื้น (Idso et al., 1981; Seguin et al., 1994) เป็นตัวบ่งบอกถึงความแห้งแล้งอย่างเดียว การใช้ภาพของ degree day สามารถหา stress degree day (SDD) จากสูตร

$$SDD = \sum_K (T_C - T_A) \quad (2.27)$$

เมื่อ T_C คือ อุณหภูมิพื้นผิว (canopy) จากการสำรวจระยะไกล

T_A คือ อุณหภูมิอากาศมาตรฐานที่เป็นช่วงเวลาต่อเนื่องของช่วงแห้ง

ดัชนีความแห้งแล้งสามารถคำนวณได้จากสถานีที่มีการตรวจสถานะอากาศหรือพื้นที่ที่กว้างใหญ่กว่านั้นโดยการใช้ข้อมูลของหลายๆ สถานี ตัวอย่างค่าเฉลี่ยของพื้นที่ที่สามารถผลิต หรือให้น้ำหนักเฉลี่ยก็จะสามารถคำนวณได้ เป้าหมายในหลายๆ กรณีที่ได้มีการกระจายดังตัวอย่างที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น และการให้ความหมายที่ดีของจำนวนหรือการผันแปรทางฟิสิกส์ในมิติต่างๆ ซึ่งสามารถตอบคำถามเกี่ยวกับความแห้งแล้งได้หรือบางครั้ง การตรวจวัดความชื้นในดิน หรือมีเหตุผลที่ดีในการประมาณค่าที่ใช้เป็นประโยชน์ โดยเฉพาะดัชนีความชื้นในดินจากประสบการณ์ที่มีมากกว่านี้ การพิจารณาการรวบรวมข้อมูลและสมรรถนะของเครื่องคำนวณ เราสามารถใช้ดัชนีง่ายๆ (Budyko, 1952) ซึ่งทำได้เร็วแต่ให้ผลไม่ละเอียด หรือเราสามารถเตรียมแผนที่ที่ซับซ้อนด้วยเทคนิคของ GIS (Eitzinger et al., 2008) ประโยชน์ของเทคนิคการสำรวจระยะไกลทำให้นักวิจัยและผู้ตัดสินใจสามารถทำการศึกษาในบริเวณพื้นที่กว้างขึ้นและเวลาที่ยาวนานกว่าเดิม

2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

2.3.1 ดรรชนีความแห้งแล้งด้านอุทุนิยมวิทยา

Virmani และ Singh (2529) ศึกษาลักษณะภูมิอากาศเกษตรของบริเวณที่ปลูกถั่วลิสงในพื้นที่กึ่งแห้งแล้งบริเวณโซนร้อน 4 แห่ง ได้แก่ 1.อเมริกาใต้ ที่ Campo Grande (บราซิล) 2.อาฟริกาตะวันตก ที่ Dakar (Yoff) (เซเนกัล) และ Kano (ไนจีเรีย) 3.อาฟริกาใต้ ที่ Lilongwe (มาลาวี) 4.เอเชียใต้ ที่ Ahmedabad และ Madras (อินเดีย) โดยการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของ MAI รายเดือน จากข้อมูลฝนระหว่างปี 2474 – 2503 สรุปว่า MAI น้อยกว่า 0.33 ดินมีความชื้นไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช MAI อยู่ระหว่าง 0.34 – 0.99 ความชื้นในดินจากฝนจะเพียงพอต่อความต้องการของพืช MAI มากกว่า 1.00 ความชื้นในดินจะมีจำนวนมากเกินไป

McKee et al (2536) ได้พัฒนาวิธี SPI ขึ้นมาเพื่อจำแนกและเฝ้าดูสถานะแห้งแล้ง โดย SPI จะสามารถวิเคราะห์หาสถานะความแห้งแล้งที่เป็นเหตุการณ์ที่นานๆ จะเกิดขึ้นครั้งหนึ่ง หรือ

วิเคราะห์หาสภาวะความชุ่มชื้นที่ผิดปกติได้ ณ เวลาที่สนใจในช่วงต่างๆ ของสถานที่ใดก็ตามที่มีการตรวจวัดและบันทึกสถิติปริมาณฝนไว้ในอดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งในปัจจุบันหน่วยงานที่ใช้ดรรรชนีนี้อย่างแพร่หลาย เพื่อติดตามความแห้งแล้งในประเทศสหรัฐอเมริกา อาทิ เช่น Colorado Climate Center, the Western Regional Center และ National Drought Mitigation Center

ชลาลัย แจ่มผล (2547) ได้ศึกษาความรุนแรงของความแห้งแล้งในประเทศไทย วิเคราะห์ค่า SPI เพื่อใช้ติดตามระดับความแห้งแล้งในช่วงเวลา 3 , 6 และ 12 เดือน พบว่าในช่วง 3 เดือน ปีที่มีความแห้งแล้งปานกลาง แห้งแล้งรุนแรง และแห้งแล้งที่สุด มากที่สุดได้แก่ปี 2523, 2522, 2537, 2502 และ 2498 ตามลำดับ และในช่วง 6 เดือน ปีที่มีความแห้งแล้งปานกลาง แห้งแล้งรุนแรง และแห้งแล้งที่สุด มากที่สุดได้แก่ ปี 2526, 2522, 2535, 2503, 2523, 2541 และ 2506 ตามลำดับ ส่วนในช่วง 12 เดือน ปีที่มีความแห้งแล้งปานกลาง แห้งแล้งรุนแรง และแห้งแล้งที่สุด มากที่สุดได้แก่ ปี 2522, 2536, 2535, 2503, 2520, 2541 และ 2540 ตามลำดับ

เทวินทร์ โจมทา (2549) ได้ศึกษาดรรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ประสบภัยแล้งบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยวิธี AI, PDSI, SPI และ D (Drought Index) ในคาบ 10 ปี พ.ศ. 2536 – 2545 พบว่าในปี 2536 และ 2541 เป็นปีที่มีความแห้งแล้งรุนแรงที่สุดเป็นอันดับหนึ่งและสองตามลำดับ เมื่อพิจารณาแผนที่แสดงพื้นที่ความแห้งแล้งตามค่าดรรรชนี พบว่าแผนที่แสดงความแห้งแล้งตามค่าดรรรชนี AI ให้ค่าใกล้เคียงกับแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมากที่สุด แผนที่แสดงพื้นที่ความแห้งแล้งตามค่าดรรรชนีที่มีค่าใกล้เคียงกับแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งซึ่งได้จัดลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่ AI, D, SPI และ PDSI ตามลำดับ

อดิศร สมหวัง (2550) ได้ประเมินผลกระทบของสภาวะฝนในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือของปี 2548 โดยวิธี GMI_{NE} ของประเทศไทย พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคใต้ของประเทศไทยสามารถปลูกพืชได้โดยไม่มีผลกระทบต่อสภาวะความแห้งแล้ง โดยมีสภาวะความแห้งแล้งอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างแล้งถึงแล้งเป็นบางเดือน ส่วนบริเวณประเทศไทยตอนบนพื้นที่ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อสภาวะความแห้งแล้งคือทางตอนบนของภาคเหนือ และบริเวณตะวันตกเฉียงใต้ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางตอนล่าง และภาคตะวันออกซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ของบริเวณที่กล่าวมานี้มีสภาวะความแห้งแล้งอยู่ในเกณฑ์ปกติถึงความชื้นเกินความต้องการ

อภันตรี ยุทธพันธ์ (2551) ได้ศึกษาดรรรชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชช่วง 10 วันของประเทศไทย โดยวิธี MAI และใช้ข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา ทั่วประเทศจำนวน 54 แห่ง นำเสนอในรูปแบบของตารางและแผนที่เชิงตัวเลขแสดงค่าบนแผนที่ประเทศ

ไทย พบว่าภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือค่า MAI ส่วนมากจะมีค่าสูงกว่า 0.33 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดซึ่งพืชจะเจริญเติบโตได้ในช่วงกลางเดือนพฤษภาคม-ปลายเดือนกันยายน ภาคกลางค่า MAI บริเวณตอนบนและตอนล่างของภาคจะสูงกว่า 0.33 ในช่วงกลางเดือนพฤษภาคม-กลางเดือนตุลาคม สำหรับบริเวณตอนกลางของภาคค่า MAI สูงกว่า 0.33 เฉพาะในช่วงต้นเดือนกันยายน-ปลายเดือนตุลาคม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือค่า MAI มากกว่า 0.33 อยู่ในช่วงปลายเดือนเมษายน-ปลายเดือนตุลาคมบริเวณด้านตะวันออกของภาคจะมีค่ามากกว่าทางด้านตะวันตก ภาคใต้ค่า MAI ส่วนมากมีค่าน้อยกว่า 0.33

2.3.2 การใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลเพื่อติดตามสถานะความชื้นในดิน

ความร้อนเฉื่อย (Thermal Inertia) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงความสามารถทางกายภาพของวัสดุที่เป็นตัวนำความร้อนและเก็บความร้อน ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดความสามารถในการเก็บความร้อนของพื้นผิวดินช่วงเวลากลางวันและการคายความร้อนช่วงกลางคืน เทคนิคด้านการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) สามารถตรวจสอบความชื้นในดินได้อย่างรวดเร็วและครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง เพราะเป็นการวัดในเชิงพื้นที่เป็นปัจจุบัน (real time) และเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ การตรวจสอบความชื้นในดินโดยใช้การรับรู้ระยะไกลนั้นมีหลายวิธีที่ได้รับการพัฒนาและใช้ในการติดตามสถานะความชื้นในดิน (Jackson et al. 2531, Moran et al. & Wang et al 2547) ค่า Thermal Inertia ของน้ำสูงกว่าดินแห้ง การเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นในดินจะทำให้ค่า Thermal Inertia ของผิวพื้นเปลี่ยนแปลง

Watson et al. (2514) ได้มีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อหาค่า Thermal Inertia และนำไปประยุกต์ใช้ด้านธรณีวิทยา โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงคลื่น Infrared (IR)

Kahle et al. (2518) ได้คำนวณค่า Thermal Inertia จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงคลื่น Infrared และ Visible ขึ้นมาเป็นภาพแรก

Kahle (2520) ดัดแปลงแบบจำลองในสมัยก่อนที่อ้างอิงหลักการถ่ายเทรังสีความร้อน (Radiative Heat Transfer) โดยนำค่าการถ่ายเท latent heat และ sensible heat ระหว่างชั้นบรรยากาศและพื้นดินเข้ามาพิจารณาด้วย ลักษณะทั่วไปของทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณค่า Thermal Inertia จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมถูกกำหนดโดย Price (2520) แต่ทฤษฎีนี้นำไปประยุกต์ใช้ยาก เพราะจำเป็นต้องทราบค่าตัวแปรหลายตัว เช่น ความเร็วลม ความชื้น ซึ่งตรวจวัดจากดาวเทียมได้ยาก

Price (2528) ได้กำหนดค่า Apparent Thermal Inertia แต่ไม่สามารถใช้ได้ในพื้นที่ซึ่งค่าความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงบ่อย จากแบบจำลอง Apparent Thermal Inertia นี้

Xue and Cracknell (2538) ได้พัฒนาแบบจำลอง Real Thermal Inertia โดยใช้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืนเข้ามาพิจารณาด้วย Xue and Cracknell

พบว่าแบบจำลองนี้ต้องการตัวแปรที่ได้จากการตรวจภาคสนามเพียงตัวเดียวเพื่อนำมาคำนวณค่า Real Thermal Inertia คือเวลาที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลากลางวันที่ได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยา

Sobrino and Kharraz (2542) ได้จัดทำแผนที่แสดงค่า Thermal Inertia บริเวณคาบสมุทร Iberian โดยพัฒนาขั้นตอนการคำนวณใหม่จากแบบจำลอง Real Thermal Inertia ด้วยการถ่ายภาพดาวเทียม NOAA-AVHRR 4 ภาพ เรียกวิธีการนี้ว่า Four Temperature Algorithm (FTA) ประโยชน์หลักของวิธีการนี้คือ เพื่อให้ได้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืนจากดาวเทียมโดยไม่จำเป็นต้องทราบค่าการแผ่รังสีของพื้นผิวและไอน้ำทั้งหมดในบรรยากาศ

Majumdar (2546) ได้ทำแผนที่แสดงค่า Thermal Inertia บริเวณคาบสมุทรอินเดีย โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Indian National Satellite (INSAT) Very High Resolution Radiometer (VHRR) ในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน Mitra and Majumdar (2547) ได้พัฒนาเทคนิคการหาค่า Thermal Inertia เพื่อตรวจหาค่าอุณหภูมิผิวดินและแหล่งน้ำมัน

Xue (2529), Tramutoli et al (2543), Claps and Laguardia (2547) พบว่าค่า Thermal Inertia สามารถคำนวณได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และค่าความสัมพันธ์นี้มีหลายแบบ เช่น แบบเชิงเส้น (linear) แบบลอการิทึม (logarithm) และแบบเอกโปเนนเชียล (exponential) Ma and Xue (2533) ได้ทำแผนที่ความชื้นในดินบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยในช่วงฤดูใบไม้ผลิ โดยใช้ข้อมูล AVHRR และอาศัยความสัมพันธ์แบบเอกโปเนนเชียลระหว่างค่า Real Thermal Inertia และค่าความชื้นในดินโดยน้ำหนัก

Zhang et al. (2545) ได้คำนวณค่าความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์โดยอาศัยค่าความแตกต่างของค่า Thermal Inertia ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าส่วนประกอบของดิน ชนิดของดินและตัวแปรอื่นๆ ในพื้นที่นั้น เช่น อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม และค่าความต้านทานของดิน โดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์, Bowen Ratio, ตัวแปรของรังสีดวงอาทิตย์รวม, apparent thermal inertia และ soil heat flux

2.3.3 การใช้ข้อมูลความชื้นในดิน เพื่อหาค่าดัชนีความแห้งแล้ง

ความชื้นในดินที่สัมพันธ์กับความสามารถในการใช้น้ำของพืช หรือน้ำในดินที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตได้ (Available Water, AW) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างค่าความชื้นในดินที่ความจุสนาม (field capacity, FC) และความชื้นในดินที่จุดแห้งเหี่ยว (wilting point, WP) แต่ถ้าความชื้นในดินลดลงไปเรื่อยๆ จะเกิดความลำบากในการดูดน้ำไปใช้ของพืช (water stress) พืชจะเริ่มเครียด และสูญเสียผลผลิต เมื่อความชื้นในดินลดลงประมาณ 50 % ของน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้

Eric D. Hunt และคณะ (2551) ได้สังเกตเห็นความสำคัญของความชื้นในดินที่เป็นตัวแปรสำคัญในสมมูลทางอุทกวิทยา จากชุดข้อมูล 8 ปีของความชื้นในดินของแปลงปลูกหญ้าภายใต้เงื่อนไขการใช้น้ำฝนปี พ.ศ. 2542 – 2549 ที่ Nebraska สหรัฐอเมริกา คณะศึกษาก็ได้พัฒนาดัชนีความชื้นในดิน (Soil Moisture Index Based on Water Balance, SMI) เพื่อใช้กำหนดจุดเริ่มต้นของสภาวะแล้งทางการเกษตร บนพื้นฐานของความชื้นในดินที่มีอยู่จริง (Actual Water Content) รวมทั้งทราบค่าความชื้นในดินที่กักเก็บได้ที่มีความจุสนาม (Field Capacity, FC)¹ และจุดแห้งเหี่ยว (WP) ในพื้นที่ที่ตรวจวัด กำหนดให้ SMI มีค่าอยู่ระหว่าง 5.0 และ - 5.0 โดย SMI มีค่า 5.0 เมื่อความชื้นในดินมีค่าที่ FC และ SMI มีค่า - 5.0 เมื่อความชื้นในดินมีค่าเท่ากับ WP ขณะที่ SMI มีค่าเป็นบวก หมายความว่าความชื้นในดินมีเพียงพอสำหรับพืช แต่ถ้า SMI เป็นลบ หมายความว่าความชื้นในดินขาดแคลนไม่พอเพียงสำหรับพืช ในทำนองเดียวกัน V. Sridhar และคณะ (2551) ได้พัฒนาดัชนีความชื้นในดินสำหรับประเมินสภาวะแล้ง จะประเมินทั้งขอบเขตและช่วงเวลา โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ นับตั้งแต่ไม่แล้งจนถึงสภาวะแล้งอย่างรุนแรง

2.3.4 การใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ (Normalized Differential Vegetation Indices, NDVI)

Mongkolsawat C. Thirangoon P. and Suwanwerakamtorn R. (2544) การประเมินหาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดภัยแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูล Remote Sensing และเทคโนโลยี GIS ซึ่งแบ่งข้อมูลที่มีผลต่อระดับความรุนแรงของการเกิดภัยแล้งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านอุตุนิยมิวิทยา อุทกวิทยาและลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ โดยวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งในแต่ละด้านก่อนที่จะนำแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 ด้าน นำมาซ้อนทับกันอีกครั้งหนึ่งเพื่อหาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดภัยแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งด้านอุตุนิยมิวิทยา ตัวแปรที่นำมาใช้วิเคราะห์ คือ ปริมาณน้ำฝน 264 สถานีวัดน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยวิเคราะห์ดัชนีฝนแล้งด้วยวิธี Rainfall Decile เป็นการคำนวณค่าดัชนีฝน (Decile Range) จากปริมาณฝนรวมรายปี โดยแบ่งข้อมูลปริมาณฝนรายปีออกเป็น 10 ช่วงเท่า ๆ กัน พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งด้านอุทกวิทยา ตัวแปรที่นำมาใช้วิเคราะห์ คือ แหล่งน้ำผิวดิน เขตชลประทาน ความหนาแน่นของลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ปริมาณและคุณภาพน้ำใต้ดิน พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งด้านกายภาพ ตัวแปรที่นำมาใช้วิเคราะห์ คือ ลักษณะ

¹ field capacity** คือปริมาณของน้ำในดินที่ดูดยึดไว้เป็นแผ่นบาง ๆ ตามผิวของอนุภาคดินและอยู่ในช่องว่างขนาดเล็กของอนุภาคดิน หลังจากที่มีน้ำในดินได้สูญเสียจากดินไปด้วยแรงดึงดูดของโลกแล้ว เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นหลังจากปริมาณฝนที่ทำให้ความชื้นในดินอิ่มตัว ผ่านไปแล้ว 2 – 3 วัน การที่จะนำน้ำออกจากเนื้อดินได้ต้องใช้แรงดัน 33 kPa

ภูมิประเทศ การระบายน้ำของดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลการศึกษา ได้แบ่งระดับชั้นของความเสียหายเป็น 4 ระดับ ได้แก่ น้อยมาก น้อย ปานกลางและรุนแรง พบว่าพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งทางอุทกนิยมนิวทาสส่วนใหญ่อยู่ในระดับความรุนแรงน้อย คิดเป็นร้อยละ 35.20 พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งทางอุทกนิยมนิวทาสส่วนใหญ่อยู่ระดับความรุนแรงปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 38.07 พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งทางกายภาพส่วนใหญ่อยู่ระดับความรุนแรงน้อย คิดเป็นร้อยละ 42.78 และทำการประเมินรวมข้อมูลทั้ง 3 ด้าน พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งอยู่ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 32.06

กัลยาณี สุวรรณประเสริฐ (2548) ได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงของสภาพหมูบ้านจากภาวะภัยแล้ง โดยได้พิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับภาวะภัยแล้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยทางด้านอุทกนิยมนิวทาส ปัจจัยทางด้านอุทกวิทยา และปัจจัยทางด้านลักษณะทางกายภาพ รวมไปถึงค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) จากข้อมูลดาวเทียม MODIS โดยได้ทำการวิเคราะห์จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการให้ค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งปัจจัยด้านอุทกนิยมนิวทาสที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ปัจจัยด้านอุทกวิทยา ได้แก่ ความหนาแน่นของแหล่งน้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ พื้นที่ชลประทาน และปัจจัยด้านกายภาพ ได้แก่ ความสูง ชุดดิน และการใช้ที่ดิน ผลการศึกษาพบว่าประเทศไทยส่วนใหญ่ มีความเสี่ยงจากภัยแล้งในระดับปานกลาง ส่วนพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในระดับสูงมีเนื้อที่ร้อยละ 14.05 ของพื้นที่ประเทศไทย ส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ยังพบว่าดัชนีพืชพรรณจากดาวเทียม MODIS สามารถนำมาใช้ในการเฝ้าระวังและติดตามภัยแล้งในระดับภาพรวมของประเทศไทยได้เป็นอย่างดี และมีความสอดคล้องกับฐานข้อมูลหมูบ้านที่ประสบภัยแล้ง

ณกร วัฒนกิจ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ (2551) ได้ทำการศึกษา การตรวจวัดความแห้งแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยวิธีดัชนีพรรณพืชมาตรฐานจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลาจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิส (Terra MODIS) เพื่อหาพื้นที่ที่มีค่า NDVI ผิดปกติไปจากค่าเฉลี่ยของ NDVI ในช่วงเวลาเดียวกันซึ่งจะสามารถสะท้อนให้เห็นความแห้งแล้งจากพืชพรรณได้ จากผลของการศึกษาพบว่าในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 เป็นช่วงที่มีพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 83.52 รองลงมาในเดือนมกราคม พ.ศ. 2548 คิดเป็นร้อยละ 72.68 การศึกษาครั้งนี้ได้วิธีการในการวิเคราะห์รูปแบบของความแห้งแล้งทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ซึ่งชี้ให้เห็นว่าข้อมูลจากดาวเทียมหลายช่วงเวลาเทอร์ราโมดิสสามารถระบุรูปแบบของความแห้งแล้งได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นประโยชน์ในการจัดทำแผนการช่วยเหลือในพื้นที่ได้อย่างทันท่วงที

แคสสาด มงคลสวัสดิ์และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ (2552) ได้ศึกษาแนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลดาวเทียมหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งจากสภาวะด้าน

ชีพลักษ์ณ์ของป่ามรสุมเขตร้อนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจาก ดาวเทียมเทอร์ราเรระบบ โมดิสตรววัดความเปลี่ยนแปลง โดยเทคนิคผลต่างภาพดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) ดัชนีผลต่างความชื้น (NDWI) และดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (EVI) และดำเนินการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณน้ำฝนกับความเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีเหนือพื้นที่ ผลลัพธ์ที่ได้บ่งบอกว่าความเปลี่ยนแปลงของสภาวะชีพลักษ์ณ์ของพืชพรรณที่ปกคลุมที่แตกต่างกัน สามารถชี้ถึงรูปแบบเชิงเวลาและพื้นที่ของความแห้งแล้งได้ แสดงให้เห็นในค่า dNDVI, dNDWI และ dEVI ของภาพถ่ายต่างวันที่ครอบคลุมเหนือพื้นที่พืชพรรณหลากหลายประเภท ป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณหรือป่าผสมผลัดใบมีความไวต่อสภาวะแห้งแล้ง และแสดงสภาวะชีพลักษ์ณ์ คือ การทิ้งใบออกมาอย่างเด่นชัด ภาพผลต่าง NDVI และ EVI (dNDVI และ dEVI) บ่งบอกความแตกต่างระหว่างพื้นที่ของพืชพรรณที่ปกคลุม ค่า dNDVI และ dEVI ที่สูงกว่าหมายถึงระดับของความเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่า ค่า dNDWI แสดงความแตกต่างที่เกี่ยวข้องกับการผสมผสานระหว่างพืชพรรณที่ปกคลุมกับปริมาณน้ำในพื้นที่ รูปแบบเชิงพื้นที่และเวลาของความแห้งแล้งสามารถบอกได้จาก dNDWI ประกอบกับ dNDVI และ dEVI แทนที่การใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาหรือในกรณีที่ข้อมูลด้านภูมิอากาศมีไม่เพียงพอหรือไม่ครอบคลุมพื้นที่

Walailak J Sci & Tech (2552) การศึกษาการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยทางธรรมชาติ (พื้นที่ภัยแล้งและน้ำท่วม) ในลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยการศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์จากรายงาน เอกสาร ผู้เชี่ยวชาญ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และแบ่งวิธีการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยทางธรรมชาติ และการเสนอแนะการวางยุทธศาสตร์ความเสี่ยงแบบมีส่วนร่วมของประชาชน ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมดประกอบไปด้วย แผนที่สภาพภูมิประเทศ ภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลดิน ข้อมูลแหล่งน้ำ ข้อมูลพื้นที่ชลประทาน ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลความลาดชัน ข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำ ข้อมูลธรณีวิทยา และข้อมูลขอบเขตการปกครอง การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งแบ่งออกเป็น 3 ระดับเหมือนกัน ได้แก่ พื้นที่เสี่ยงภัยต่ำ ปานกลาง และสูง แล้วนำมาวิเคราะห์ร่วมกับชั้นข้อมูลความหนาแน่นของประชากร และการใช้ประโยชน์ที่ดินอีกครั้งหนึ่ง โดยกำหนดค่าน้ำหนักและค่าปัจจัยในการวิเคราะห์ พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งที่ได้จากการวิเคราะห์ นำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและป้องกัน ไม่ว่าจะเป็นการหาเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่จะสามารถช่วยบรรเทาหรือแก้ไขเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นทั้งภัยแล้งและน้ำท่วม เช่น การสร้างประตูน้ำ เครื่องมือตรวจวัดระดับน้ำ ช่องทางระบายน้ำ ทำนบน้ำ การวางแผนการใช้ที่ดิน ระบบเตือนภัย การอพยพ และการสูญเสียทรัพย์สินต่างๆ เป็นต้น ตลอดจนการมีส่วนร่วมของประชาชนในการสอดส่องดูแล ยอมรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น และให้ความร่วมมือแก่การปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่

2.3.5 รายงานความแห้งแล้งในประเทศไทย (ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา มีนาคม 2555)

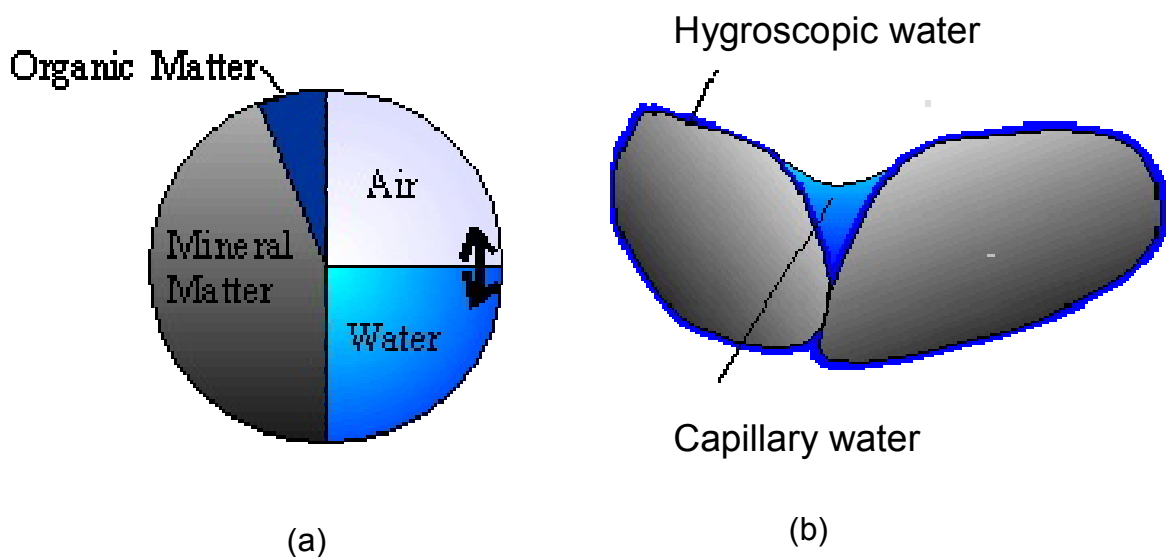
ในอดีตได้เคยมีการบันทึกสภาวะฝนแล้งหรือฝนแล้งจัดที่ประเทศไทยเคยประสบมา คือ พ.ศ. 2510 2511 2515 2520 และ 2522 ครั้งที่รุนแรงที่สุดเกิดขึ้นใน พ.ศ. 2522 ซึ่งเกิดจากฝนทิ้งช่วงกลางฤดูฝนยาวนานกว่าปกติตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ปริมาณฝนรายปีต่ำกว่าค่าปกติ ทุกภาค บริเวณที่ได้รับผลกระทบเป็นบริเวณกว้างคือ ภาคเหนือต่อภาคกลางทั้งหมด ตอนบนและด้านตะวันตกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และทางตอนบนของภาคใต้ฝั่งตะวันออก ทำความเสียหายและมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะด้านเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมซึ่งต้องอาศัยผลผลิตทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบ รวมทั้งการผลิตกระแสไฟฟ้าอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนเพราะขาดน้ำกินน้ำใช้ และกระแสไฟฟ้า พืชผลที่ทำการเพาะปลูกไปแล้วได้รับความเสียหายเป็นจำนวนมากจากการขาดแคลนน้ำเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและทำให้แมลงศัตรูพืชบางชนิด เช่น พวกเพลี้ยระบาดรุนแรงได้

นอกจากสภาวะฝนแล้งในปี พ.ศ. 2522 แล้วได้เกิดสภาวะฝนแล้งที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากขึ้นอีกใน พ.ศ. 2529 2530 2533-2536 2540-2541 และ 2547-2548

3. ความชื้นในดิน

3.1 ความชื้นในดิน (Soil Moisture or Soil Water Content)

โดยทั่วไปดินจะประกอบด้วย 3 สถานะ คือส่วนที่เป็นของแข็งหรือเนื้อดินที่ประกอบด้วยแร่ (mineral matter) และสารอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ส่วนที่เป็นของเหลวที่ประกอบด้วยน้ำ (water) ส่วนที่เป็นก๊าซประกอบด้วย อากาศ (air) และไอน้ำ (water vapor) ตามรูปที่ 3.1(a) ดังนั้นส่วนที่เป็นของเหลวหรือน้ำในดินจะเป็นความชื้นของดินคือ ปริมาณน้ำที่ถูกอนุภาคของดินดูดยึดไว้ทำให้ น้ำที่แทรกซึมลงในดินยังคงค้างอยู่ตามช่อง (capillary water) หรือเคลือบเปลือกอนุภาค (hygroscopic water) ตามรูปที่ 3.1(b) ถ้าในส่วนของช่องว่างในดินมีน้ำอยู่เต็มไม่มีก๊าซอยู่เลยเรียกว่า ดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil) แต่ถ้าน้ำในช่องว่างของดินมีทั้งน้ำและก๊าซอยู่ด้วยเรียกว่า ดินที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated soil) ดังนั้น ดินที่ใช้ในการทำการเกษตรส่วนใหญ่ คือ ดินที่ไม่อิ่มตัว ความชื้นในดินมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับสิ่งมีชีวิตในดิน ได้แก่ สัตว์ พืช หรือจุลินทรีย์ เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของพืชและสัตว์ เพื่อใช้ในขบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ต่าง ๆ เช่น ขบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และจุลินทรีย์ในดินบางชนิด



รูปที่ 3.1(a) Three-Phase System of Soil Structure (b) ปริมาณน้ำที่ถูกอนุภาคของดินดูดยึดไว้
ที่มา (<http://www.css.cornell.edu/faculty/hmv1/watrsoil/theta.htm>)

3.2 ความชื้นดินในภาคสนาม (Field Soil Water Content)

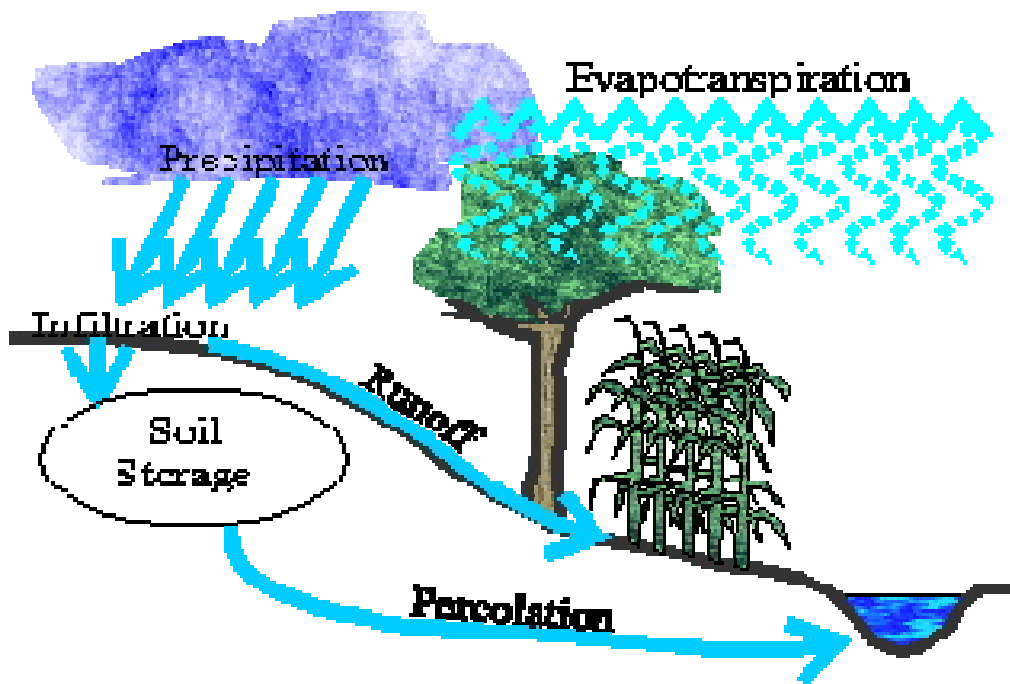
ระดับความชื้นดินในภาคสนามมีค่าตั้งแต่ความชื้นของดินที่แห้ง (air-dried water content) หรือ hygroscopic coefficient ไปจนถึงดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation point) ขึ้นกับฤดูกาล การจัดการดิน สมบัติของดิน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 Four standard water contents that are routinely measured and used

Name	Notation	Suction pressure (J/kg or kPa)	Typical water content (vol/vol)	Description
Saturated water content	θ_s	0	0.2–0.5	Fully saturated water, equivalent to effective porosity
Field capacity	θ_{fc}	-33	0.1–0.35	Soil moisture 2–3 days after a rain or irrigation
Permanent wilting point	θ_{pwp} or θ_{wp}	-1500	0.01–0.25	Minimum soil moisture at which a plant wilts
Residual or air-dried water content	θ_r	$-\infty$	0.001–0.1	Remaining water at high tension

ที่มา (http://en.wikipedia.org/wiki/Water_content)

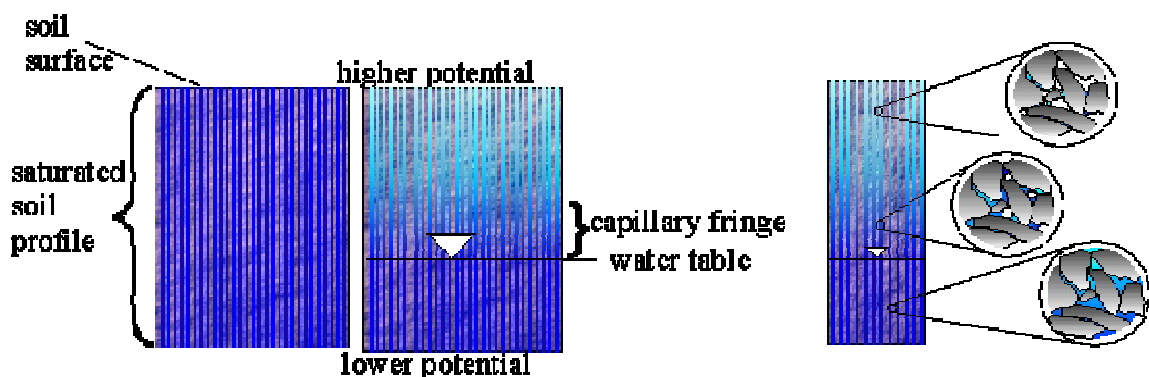
หลังจากฝนตก หรือให้น้ำบนผิวดินใหม่ๆ ดินชั้นบนจะมีระดับความชื้นเท่ากับจุดอิ่มตัว (saturation) เป็นระดับที่เนื้อดินเต็มไปด้วยน้ำ และมีความชื้นในดินประมาณ 20 – 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับนี้เนื้อดินจะไม่ยึดเกาะน้ำทำให้ไม่ต้องใช้แรงดันในการนำน้ำออกจากอนุภาคดิน จึงเป็นการง่ายที่น้ำจะซึมซาบลงไปดินชั้นล่าง (percolation) น้ำที่ซึมซาบลงไปดินชั้นล่างชั่วระยะเวลาหนึ่งก็จะหยุดซึมซาบ น้ำจะถูกเก็บกักไว้ในดิน (soil storage) ซึ่งเป็นดินที่ไม่อิ่มตัวตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 Partitioning Water Flow

ที่มา (<http://www.css.cornell.edu/faculty/hmv1/watrsoil/theta.htm>)

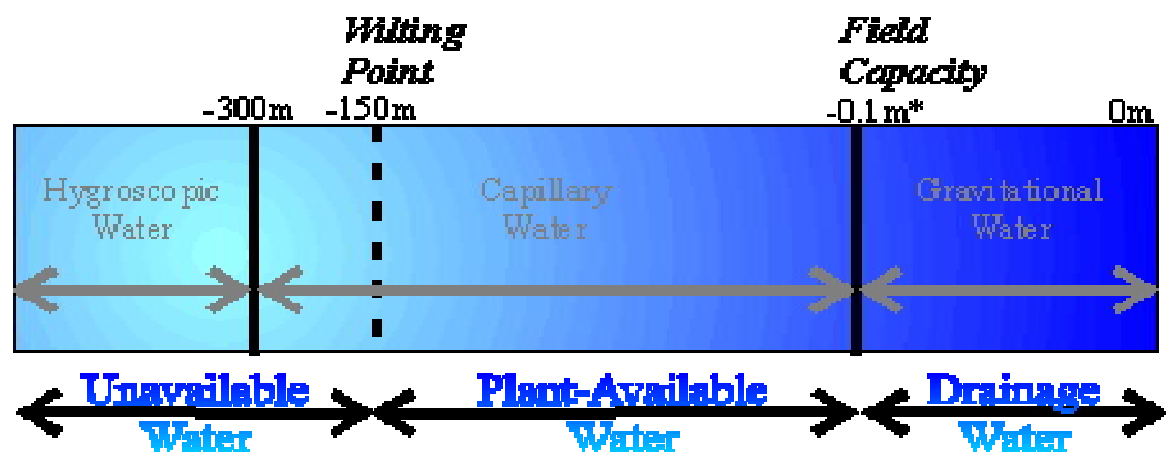
ในขณะที่น้ำในชั้นดินไม่อิ่มตัวที่ถูกเก็บกักไว้ในดินชั้นบนนั้น ระดับความชื้นในดินชั้นบนจะค่อนข้างคงที่ เรียกว่า ความจุภาคสนาม (Field Capacity, FC) ซึ่งเป็นระดับที่ต้องใช้แรงดันมากกว่า 33 kPa จึงจะนำน้ำออกจากเนื้อดินได้ และมีระดับความชื้นในดินประมาณ 10 – 35 เปอร์เซ็นต์ ที่จุดนี้น้ำจะขังอยู่ในช่องที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\leq 50 \mu\text{m}$ น้ำส่วนเกินที่ขังในช่องที่โตกว่านี้ เรียกว่า Gravitation water หรือน้ำซึมลึก (Drainage water) ซึ่งจะถูกอิทธิพลแรงดึงดูดของโลกทำให้เคลื่อนออกไปจากดินไปสู่ระดับน้ำใต้ดิน พืชจึงใช้ประโยชน์จากน้ำในดินประเภทนี้ได้น้อยมากตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความชื้นในดินที่มีระดับความชื้นอิ่มตัว และความชื้นที่ระดับความจุสนาม

ที่มา (<http://www.css.cornell.edu/faculty/hmv1/watrsoil/theta.htm>)

เมื่อเวลาผ่านไป น้ำที่ขังในช่อง $\leq 50 \mu\text{m}$ ที่เป็นระดับความชื้นระดับความจุสนามจะไหลไปมาช้าๆในดิน เปรียบเหมือนน้ำที่อยู่นิ่ง ซึ่งถูกรากพืชดูดไปใช้และคายน้ำออกทางใบ (Transpiration) และระเหยจากผิวน้ำดินโดยตรง (Evaporation) ต่อไปน้ำจะค่อยๆระบายสู่ส่วนลึก (Drainage) ที่จุดนี้ระดับความชื้นในชั้นความจุสนามจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดเหี่ยวถาวร (Permanent Wilting Point, PWP) ที่จุดนี้จะมีปริมาณความชื้นในดินประมาณ 1 – 25 เปอร์เซ็นต์ และจะต้องใช้แรงดันถึง 1,500 kPa เพื่อจะนำน้ำออกจากเนื้อดิน ทำให้รากพืชไม่สามารถที่จะดูดน้ำจากดินได้อีก พืชจะแสดงอาการเหี่ยวถาวรโดยไม่ฟื้นหากไม่เติมน้ำ ตอนนี้มีน้ำขังอยู่ในดินที่มีช่องขนาด $< 0.2 \mu\text{m}$ และมีความชื้นในดินประมาณ 0.1 – 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับความชื้นฝั่งแห้ง (Air dried water content) หรือ Hygroscopic coefficient ที่จุดนี้ น้ำที่เคลือบอนุภาคดินมีแรงดึงผิวสูงมากต้องใช้แรงดันมหาศาลที่จะนำน้ำออกจากเนื้อดิน ดังนั้นความชื้นในดินที่มีประโยชน์ต่อพืช (Available water) จะอยู่ในช่วงระหว่างความชื้นระดับความจุสนามและจุดเหี่ยวถาวร ซึ่งมีช่องว่างของดินที่มีขนาดระหว่าง $0.2 - 50 \mu\text{m}$ ตามรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 Soil Water Storage

ที่มา (<http://www.css.cornell.edu/faculty/hmv1/watrsoil/theta.htm>)

น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นหลัก พบว่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินเหนียวที่เป็นดินเนื้อละเอียดจะมีช่วงกว้างกว่าดินร่วนและดินทราย ถ้าเนื้อดินเป็นดินทรายการให้น้ำต้องบ่อยครั้งมากกว่าดินร่วนและดินเหนียว ในการหาน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหาได้ดังนี้ น้ำที่เป็นประโยชน์ = ความชื้นที่ความจุสนาม - ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินในระดับต่างๆกับเนื้อดิน ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินในระดับต่างๆ กับเนื้อดิน

ระดับความชื้นในดิน (%)				
เนื้อดิน	จำนวนตัวอย่าง	ความจุความชื้นในภาคสนาม	จุดเหี่ยวถาวร	น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช
หยาบ	4	5.5	2.0	3.5
ค่อนข้างหยาบ	5	22.2	12.0	10.2
ปานกลาง	9	34.6	20.3	14.3
ค่อนข้างละเอียด	6	33.8	21.3	12.5
ละเอียด	9	33.5	20.2	13.3

ที่มา (เกษมศรี ชับซ้อน, 2541, หน้า 43)

ในทางการเกษตรกล่าวได้ว่า ความชื้นในดินเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะบ่งบอกถึงสถานการณ์ทางการเกษตร ในขณะที่ดินที่มีความแห้งแล้งมากพืชจะคายน้ำลดลง เพราะน้ำในดินจะถูกเนื้อดินยึดด้วยแรงดึงดูดที่สูงมากทำให้รากพืชดูดน้ำได้น้อยลง เมื่อความชื้นในดินลดลงต่ำกว่าจุดเหี่ยวถาวร รากพืชไม่สามารถที่จะดูดน้ำจากดินได้อีก พืชจะแสดงอาการเหี่ยวถาวรและจะหยุดการคายน้ำอย่างสิ้นเชิง ทำให้พืชชงักการเจริญเติบโตและล้มตายในที่สุดหากไม่มีการให้น้ำจากการชลประทาน สามารถกล่าวว่า สภาพที่ดินมีความแห้งแล้งมากและความชื้นในดินน้อยกว่าจุดเหี่ยวถาวรที่ทำให้พืชหยุดการเจริญเติบโตและล้มตายนี้ เป็นเงื่อนไขในการเกิดสภาวะแห้งแล้งทางการเกษตร (agricultural drought) ดังนั้นการตรวจวัดความชื้นในดินในภาคสนามจึงมีความสำคัญต่อการจัดการชลประทานเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร

3.3 การวัดความชื้นในดิน (Measuring Water Content)

การวัดความชื้นในดินเป็นการวัดจำนวนของน้ำในดินซึ่งจะวัดเป็นระดับความชื้น (Water content) คือ สัดส่วนระหว่างปริมาณของน้ำกับปริมาณของดินที่น้ำหนักนั้นบรรจุอยู่

3.3.1 ระดับความชื้น โดยมวล (Mass water content)

$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s} \quad (3.1)$$

เมื่อ m_w คือ มวลของน้ำในดิน

m_s คือ มวลของดินแห้ง

ดินแห้งสนิท = ดินที่ผ่านการอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 - 110°C จนมีมวลคงที่

3.3.2 ระดับความชื้น โดยปริมาตร (Volume water content)

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_b} \quad (3.2)$$

เมื่อ V_w คือ ปริมาตรของน้ำในดิน

V_b คือ ปริมาตรรวม (bulk volume)

หรือหาได้จาก

$$\theta_v = \frac{\rho_v \theta_m}{\rho_w} \quad (3.3)$$

เมื่อ ρ_v คือ ความหนาแน่นรวมของดิน

ρ_w คือ ความหนาแน่นรวมของน้ำ

θ_m คือ ระดับความชื้นโดยมวล

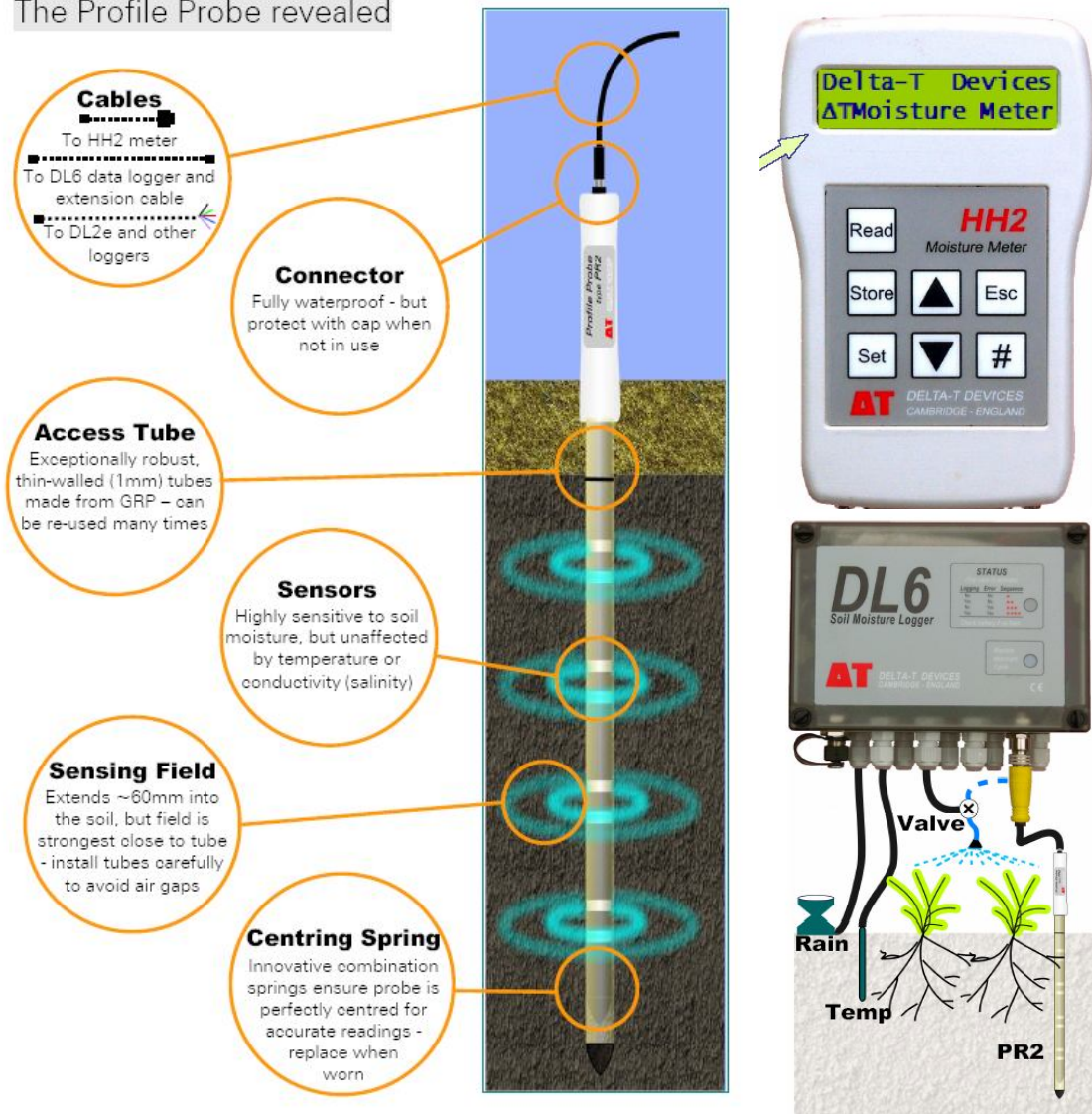
3.4 การตรวจวัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Measurement)

เครื่องมือสำหรับใช้ตรวจวัดความชื้นในดิน สามารถทำการตรวจวัดความชื้นในดินได้โดยตรงในภาคสนาม (Field measurement method) หรือทางอ้อมโดยการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite remote sensing method) ซึ่งการแปลภาพถ่ายดาวเทียมจะใช้ในการประมาณค่าความชื้นในดินที่ระดับผิวพื้น (surface soil moisture) สำหรับการตรวจวัดโดยตรงในภาคสนามสามารถตรวจวัดความชื้นของดินในระดับความลึกต่างๆขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือ ในที่นี้จะกล่าวถึง profile probe ชนิด PR2 ซึ่งผลิตโดยบริษัท Delta-T Devices Ltd. ประเทศอังกฤษ

การตรวจวัดความชื้นในดินโดย Profile probe PR2



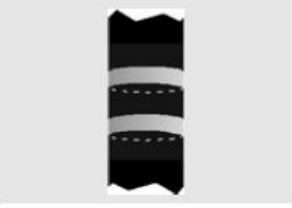

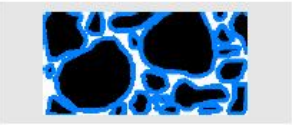
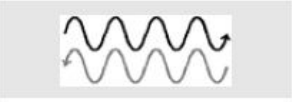
Profile probe PR2 เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดระดับความชื้นในดินที่ระดับความลึกของชั้นดินประมาณ 4-6 ระดับชั้นขึ้นอยู่กับความยาวของเครื่องมือ และสามารถตรวจวัดได้อย่างต่อเนื่องตลอดชั้นดิน Probe PR2 จะประกอบด้วยแท่งที่ถูกเคลือบด้วย Polycarbonate ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25 mm และภาคส่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (electronic sensors) ที่กำหนดขนาดและระยะทางในการส่งสัญญาณตลอดความยาวของ Probe PR2 ขั้นตอนในการตรวจวัดข้อมูลจะต้องนำ Probe PR2 ใส่ในท่อ Access tube เพื่อป้องกันไม่ให้สัมผัสดินโดยตรง Access tube เป็นท่อไฟเบอร์กลาสที่มีผนังบางเพื่อให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านไปยังผิวดินรอบข้างได้สูงสุด ผลที่ได้จากการตรวจวัดจะอยู่ในรูป DC voltage ซึ่งสามารถแปลงค่ากับมาเป็นความชื้นในดิน โดยข้อมูลที่ตรวจวัดได้สามารถเก็บอย่างต่อเนื่องใน Data logger DL6 หรืออ่านได้โดยตรง HH2 meter ตามรูปที่ 3.5

The Profile Probe revealed



รูปที่ 3.5 Profile probe PR2 และส่วนประกอบ

ที่มา (Delta-T Devices Ltd. (2004). Profile Probe type PR2 Quick Start Guide Version 1.0)

a		When power is applied to the <i>Profile Probe</i> ...
b		...it creates a 100MHz signal (similar to FM radio).
c		The signal is applied to pairs of stainless steel rings....
d		... which transmit an electromagnetic field extending about 100mm into the soil. The field passes easily through the access tube walls, but less easily through any air gaps.
e		The water content of the soil surrounding the rings...
f	ϵ	...dominates its permittivity . (A measure of a material's response to polarisation in an electromagnetic field. Water has a permittivity ≈ 81 , compared to soil ≈ 4 and air ≈ 1)
g		The permittivity of the soil has a strong influence on the applied field...
h	V_{out}	...resulting in a stable voltage output that...
i	soil Moisture 22 %	...acts as a simple, sensitive measure of soil moisture content .

รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทำงานของ Profile probe PR2

ที่มา (Delta-T Devices Ltd. (2004). User Manual for the Profile Probe typePR2, page 8)

การทำงานของ Profile probe PR2 จะใช้หลักการ Frequency domain reflectometry โดยมีขั้นตอนการทำงานตามรูปที่ 3.6 เมื่อให้พลังงานแก่ Profile probe PR2 (ตามรูป a) Probe PR2 จะสร้างสัญญาณความถี่ 100 MHz (ตามรูป b) สัญญาณจะส่งไปยังคู่ของแผ่นวงแหวนสเตนเลส (ตามรูป c) ซึ่งจะส่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในดินประมาณ 100 mm ซึ่งสนามแม่เหล็ก

ไฟฟ้าจะผ่าน Access tube อย่างง่ายดาย แต่จะผ่านช่องอากาศได้ยาก (ตามรูป d) และส่งผ่านไปหา ระดับความชื้นในดินที่อยู่รอบๆ วงแหวน (ตามรูป e) ซึ่งแปรผันตามอัตราความจุกระแสไฟฟ้า (permittivity) ที่วัดจากการตอบสนองค่า Polarisation ในสนามแม่เหล็กของสสาร ซึ่งน้ำมีค่า อัตราความจุกระแสไฟฟ้าประมาณ 80 ดินมีค่าประมาณ 4 และอากาศมีค่าประมาณ 1 (ตามรูป f) โดยที่ค่าอัตราความจุกระแสไฟฟ้าของดินมีอิทธิพลอย่างมากต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้ไป ทำให้ สนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีกำลังอ่อนลง (ตามรูป g) ซึ่งค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้า (voltage) ที่คงที่ (ตามรูป h) ที่สามารถแปลงค่ากับมาเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณของความชื้นในดิน (ตามรูป i) การแปลงค่าจากความต่างศักย์ไฟฟ้ามาเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณของความชื้นในดิน แสดง ดังในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การแปลงค่าจากความต่างศักย์ไฟฟ้ามาเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณของความชื้นในดิน

<i>soil moisture</i>		<i>mineral soil</i>	<i>organic soil</i>
$m^3 \cdot m^{-3}$	%vol	Volt	Volt
0	0	0.257	0.177
0.05	5	0.379	0.280
0.10	10	0.497	0.394
0.15	15	0.595	0.501
0.20	20	0.677	0.590
0.25	25	0.749	0.667
0.30	30	0.810	0.734
0.35	35	0.860	0.793
0.40	40	0.899	0.843
0.45	45	0.930	0.882
0.50	50	0.956	0.914
0.55	55	0.977	0.940
0.60	60	0.995	0.962
0.65	65	1.011	0.981
0.70	70	1.026	0.997
0.75	75	1.038	1.012
0.80	80	1.050	1.025
0.85	85	1.060	1.037
0.90	90	1.070	1.048
0.95	95	1.079	1.057
1.00	100	1.088	1.067

4. ทฤษฎีที่นำมาใช้ในการศึกษา

ดัชนีความแห้งแล้ง คือค่าของดัชนีที่มีความสัมพันธ์กับบางปัจจัยที่มีผลกระทบสะสมที่เกิดขึ้นเป็นเวลานานและความชื้นที่ขาดแคลนผิดปกติ ได้แก่ ฝนที่ผิดปกติ บรรยากาศแห้ง ความแห้งแล้ง ซึ่งเกิดขึ้นจากคุณสมบัติของภูมิอากาศสัมพันธ์กับฝนที่ไม่พอเพียงที่จะใช้บริหารจัดการกับพืชผัก ความชื้นในดิน การรวบรวมสิ่งต่างๆที่เกิดขึ้นจะเป็นข้อมูลข่าวสารหรือสิ่งที่เคยเกิดขึ้นเป็นวัฏจักร และข้อมูลข่าวสารสารสนเทศ

การศึกษาวิจัยในเอกสารฉบับนี้ได้ทำการศึกษานิวคิคของดัชนีความแห้งแล้งรวมทั้งสิ้น 8 วิธี ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

4.1 ดัชนีความแห้งแล้งแสดงผลกระทบเนื่องจากฝน (Effective Drought Index: EDI)

ค้นพบโดย Byun and Wilhite เมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งมีค่าดัชนีความแห้งแล้งอยู่ระหว่าง 2 ถึง -2 (-2 หมายถึงความแห้งแล้งมากที่สุด, 2 หมายถึงความชื้นมากที่สุด) ดัชนีความแห้งแล้ง EDI จะใช้ข้อมูลปริมาณฝนรายวันมาทำการวิเคราะห์ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณ 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณปริมาณฝนในแต่ละวันที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์(Daily effective precipitation: EP) โดยใช้เทคนิคของอนุกรมเวลา (time series) มาทำการวิเคราะห์จากข้อมูลปริมาณฝนรายวัน จากสูตร

$$EP_j = \sum_{n=1}^j \left[\left(\sum_{m=1}^n P_m \right) / n \right] \quad (4.1)$$

เมื่อ $m = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n$
 $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, i$

โดยที่ EP_j คือ ฝนใช้การของวันที่คำนวณ เมื่อ $j = i + 1$
 i คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณผลบวกของ P_m
 P_m คือ ปริมาณฝนรายวัน $m - 1$ วันก่อนคำนวณ

ตัวอย่าง ถ้า $i = 3$ จากสมการที่ (4.1) จะได้ $EP_4 = P_1 + (P_1+P_2)/2 + (P_1+P_2+P_3)/3$
 ถ้า $i = 365$ การคำนวณในทางปฏิบัติจะได้ค่าของ EP เริ่มตั้งแต่วันที่แรกของปีที่สอง
 ถ้าเรามีข้อมูลปริมาณฝนรายวัน 30 ปี เราสามารถคำนวณค่า EP ได้ทั้งหมด 365×29
 ครั้ง ตัวอย่างเช่น

$$\begin{aligned}
 EP_{1(2)} &= P1(1) + (P1(1) + P2(1))/2 + (P1(1) + P2(1) + P3(1))/3 + \dots + (P1(1) + P2(1) + \dots + P365(1))/365 \\
 EP_{2(2)} &= P2(1) + (P2(1) + P3(1))/2 + (P2(1) + P3(1) + P4(1))/3 + \dots + (P2(1) + P3(1) + \dots + P365(1) + P1(2))/365 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 EP_{365(30)} &= P365(29) + (P365(29) + P1(30))/2 + (P365(29) + P1(30) + P2(30))/3 + \dots + (P365(29) + \dots + P364(30))/365 \\
 \uparrow &\quad \uparrow \\
 \text{วันที่} &\quad \text{ปีที่}
 \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณหาค่าแตกต่างระหว่าง EP รายวันและค่าเฉลี่ยของ EP รายวัน

(1) คำนวณหาค่าเฉลี่ย EP_j ในแต่ละวันของปีปฏิทิน (MEP_j) โดยใช้ข้อมูล EP_j ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 1 ของวันเดียวกันในแต่ละปี

$$MEP_j = \left(\sum_{k=1}^n EP_j \right) / n \quad (4.2)$$

เมื่อ j คือ วันที่คำนวณ เช่น 25 มกราคม

k คือ ปีที่ 1,2,3,...,n

(2) คำนวณหาค่าความแตกต่างของ EP และ MEP

$$DEP_j = EP_j - MEP_j \quad (4.3)$$

(3) คำนวณหาปริมาณฝนที่จำเป็นเพื่อกลับเข้าสู่ภาวะปกติ (PRN) หรือปริมาณฝนที่ต้องการเพื่อชดเชยการขาดแคลนสะสมที่ผ่านมา

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{N=1}^j 1/N} \quad (4.4)$$

โดยที่ j คือช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาค่าดัชนีความแห้งแล้ง EDI

$$EDI_j = \frac{PRN_j}{ST(PRN_j)} \quad (4.5)$$

เมื่อ $ST(PRN)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ PRN

เกณฑ์ดัชนีความแห้งแล้ง EDI

ค่าดัชนี EDI	ระดับความแห้งแล้ง
<-2	ความแห้งแล้งมากที่สุด (extremely dry conditions)
-1.5 ถึง -1.99	ความแห้งแล้งรุนแรง (severe drought)
-1 ถึง -1.49	ความแห้งแล้งปานกลาง (moderate drought)
-0.99 ถึง 0.99	ใกล้เคียงค่าปกติ (near normal conditions)
> 2	ความชื้นมากที่สุด (extremely wet conditions)

4.2 ดรรชนีความแห้งแล้งทางด้านเกษตรกรรมตามฤดูกลุมรสุม (Generalized Monsoon Index: GMI)

เป็นดรรชนีความแห้งแล้งทางด้านเกษตรที่แสดงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับพืชที่กำลังเจริญเติบโต อันเนื่องมาจากการขาดแคลนความชื้น โดยแบ่งระยะการเจริญเติบโตของพืชได้ 4 ระยะ ดังนี้ คือ ระยะเริ่มต้นปลูก (Planting) ระยะเติบโตทางลำต้น (Vegetative) ระยะออกดอกและระยะเจริญเติบโตของผลและเมล็ด (Flowering/Reproductive) และระยะเติบโตเต็มที่ของผลผลิต (Maturity) ซึ่งในแต่ละระยะมีความต้องการน้ำไม่เท่ากันหากเปรียบเทียบกันแล้วความต้องการน้ำมากที่สุดคือ ช่วงระยะออกดอกและระยะเจริญเติบโตของผลและเมล็ด รองลงมาคือช่วงระยะเติบโตเต็มที่ของผลผลิต ส่วนระยะเริ่มต้นปลูกและระยะเจริญเติบโตทางลำต้นนั้นมีความต้องการน้ำน้อยที่สุด โดยจะกำหนดน้ำหนักของการใช้น้ำของพืชในอัตราส่วน 1/8: 1/8: 1/2: 1/4 ตามลำดับในสมการการคำนวณค่า GMI ซึ่งเป็นการศึกษาพัฒนามาจาก Yield Monsoon Index (YMI) โดย Achutuni, Steyaert และ Sakimoto (1982) การวิเคราะห์ค่า GMI จะมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณฝนรายเดือนในระหว่างช่วงฤดูมรสุมนั้นๆ ซึ่งประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Southwest Monsoon: SW) พัดปกคลุมประเทศไทยประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ส่วนมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Northeast Monsoon : NE) พัดปกคลุมประเทศไทย ช่วงประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ โดยค่า GMI ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้คำนวณได้จาก

$$GMI_{sw} = 0.125P6 + 0.125P7 + 0.5P8 + 0.25P9 \quad (4.6)$$

เมื่อ $P6$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนมิถุนายน

$P7$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนกรกฎาคม

$P8$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนสิงหาคม

$P9$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนกันยายน

GMI_{sw} ใช้ในช่วงที่เกิดมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ระหว่างเดือนมิถุนายนจนถึงกันยายน โดยจะคำนวณค่า GMI_{sw} เมื่อสิ้นเดือนมิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม และกันยายน โดยมีค่า GMI_{sw} เมื่อสิ้นเดือนดังกล่าว ตามลำดับดังนี้

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนมิถุนายน} \quad GMI6 = 0.125P6$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนกรกฎาคม} \quad GMI7 = 0.125P6 + 0.125P7$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนสิงหาคม} \quad GMI8 = 0.125P6 + 0.125P7 + 0.5P8$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนกันยายน} \quad GMI9 = 0.125P6 + 0.125P7 + 0.5P8 + 0.25P9$$

ส่วนค่า GMI ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือคำนวณได้จาก

$$GMI_{NE} = 0.125P10 + 0.125P11 + 0.5P12 + 0.25P1 \quad (4.7)$$

เมื่อ $P10$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนตุลาคม

$P11$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนพฤศจิกายน

$P12$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนธันวาคม

$P1$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนมกราคม

GMI_{NE} ใช้ในช่วงที่เกิดมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างเดือนตุลาคมจนถึงมกราคม โดยจะคำนวณค่า GMI_{NE} เมื่อสิ้นเดือนตุลาคม พฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม โดยมีค่า GMI_{NE} เมื่อสิ้นเดือนดังกล่าว ตามลำดับดังนี้

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนตุลาคม} \quad GMI10 = 0.125P10$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนพฤศจิกายน} \quad GMI11 = 0.125P10 + 0.125P11$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนธันวาคม} \quad GMI12 = 0.125P10 + 0.125P11 + 0.5P12$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนมกราคม} \quad GMI1 = 0.125P10 + 0.125P11 + 0.5P12 + 0.25P1$$

ค่า GMI ที่คำนวณได้จะมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร เพื่อความสะดวกในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการพิจารณาสภาพพืช GMI จะถูกนำมาวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ไทล์ (percentile rank) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0-100 โดยนำค่า GMI มาเรียงลำดับจากน้อยไปมาก และคำนวณค่า percentile rank จากสูตร

$$GMI_{pct} = (r \times 100) / (n + 1) \quad (4.8)$$

เมื่อ GMI_{pct} คือ percentile rank ของ GMI

r คือ ลำดับที่ของข้อมูลดิบ

n คือ จำนวนปีของข้อมูลของแต่ละสถานี

เกณฑ์การชนิความแห้งแล้ง GMI_{pct}

ค่าการชนิ GMI_{pct}	สภาวะของพืช
0-20	แล้งจัด(severe drought impact and possible crop failure)
21-30	แล้ง(drought impact on crop)
31-40	ค่อนข้างแล้ง(moderate drought impact on crop)
41-60	ปกติ(normal crop)
61-90	ความชื้นสูงกว่าปกติ(possible above normal crop)
91-100	ความชื้นเกินความต้องการ(possible excessive moisture)

4.3 ดรรชนีความแห้งแล้งของฝนที่ต่างจากค่าปกติ (Standardized Precipitation Index: SPI)

ดรรชนีความแห้งแล้ง SPI ได้พัฒนาขึ้นจากแนวคิดของ Mckee et al (1993) เพื่อเฝ้าดูสถานะแห้งแล้งในช่วงเวลาต่างๆ ที่กำหนด โดยดูจากปริมาณฝนสะสมในแต่ละช่วงเวลาที่น่าสนใจ ซึ่งอาจมีตั้งแต่ 1 เดือน 2 เดือน 3 เดือน.....จนถึง 72 เดือน ตามปกติปริมาณฝนโดยทั่วไปจะมีการกระจายในรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงแบบแกมมา (Gamma Distribution) แต่เนื่องจากการศึกษาเพื่อหาค่าดรรชนี SPI จะต้องใช้ฝนรวมเป็นหลักจึงได้พิจารณาโดยใช้ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (cumulative probability density function) ของปริมาณฝนรวม แล้วทำการแปลง (transform) ให้เป็นค่าปกติมาตรฐาน Z ซึ่งจะได้ค่า SPI ที่ต้องการแล้วนำมาจัดรูปแบบความรุนแรงที่บอกถึงระดับความชุ่มชื้น และความแห้งแล้งของปริมาณฝนในแต่ละพื้นที่

ฟังก์ชันการแจกแจงแบบแกมมาจะกำหนดโดยฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็น (Probability density function) ดังนี้

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{เมื่อ } x > 0 \quad (4.9)$$

โดยที่ $\alpha > 0$, $\beta > 0$ และ $x > 0$

α คือ shape parameter

β คือ scale parameter

x คือ ปริมาณฝน

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

โดยค่าประมาณของ α และ β คือ

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (4.10)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (4.11)$$

และ

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (4.12)$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลฝน

ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นสะสม (Cumulative probability density function)

ดังสมการ

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (4.13)$$

ถ้าให้ $t = x/\hat{\beta}$ จะได้

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (4.14)$$

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

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (4.15)$$

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

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{เมื่อ } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (4.16)$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{เมื่อ } 0.5 < H(x) < 1 \quad (4.17)$$

โดยที่

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(H(x))^2} \right)} \quad \text{เมื่อ } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (4.18)$$

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2} \right)} \quad \text{เมื่อ } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (4.19)$$

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

เกณฑ์การแบ่งระดับความรุนแรงของดรชนี SPI

ค่าดรชนี SPI	ระดับความรุนแรง
มากกว่าหรือเท่ากับ 2	ฝนชุกมากที่สุด
1.50 ถึง 1.99	ฝนชุกมาก
1.00 ถึง 1.49	ฝนชุกปานกลาง
-0.99 ถึง 0.99	ฝนใกล้เคียงค่าปกติ
-1.00 ถึง -1.49	ฝนแล้งปานกลาง
-1.50 ถึง -1.99	ฝนแล้งรุนแรง
น้อยกว่าหรือเท่ากับ -2	ฝนแล้งรุนแรงที่สุด

4.4 ดรชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (Moisture Available Index: MAI)

Hargreaves (1972) ได้กำหนดดรชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช ซึ่งเป็นอัตราส่วนของค่าความน่าจะเป็นของปริมาณฝนที่ระดับ 75% หรือฝนที่คาดหวังได้ (Dependable Rainfall) กับ ศักย์การคายระเหยน้ำของพืช (Potential Evapotranspiration, PET) การศึกษาได้นำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ โดยใช้ค่าปริมาณฝนที่ตรวจวัดในช่วงที่ศึกษาแทนค่าความน่าจะเป็นของปริมาณฝนที่ระดับ 75% ดังสมการ

$$MAI = P/PET \quad (4.20)$$

เมื่อ MAI คือ ดรชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช

P คือ ปริมาณฝน

PET คือ ศักย์การคายระเหยน้ำของพืช

การคำนวณค่า PET ได้ใช้สมการ Reference Evapotranspiration ของ Penman-Monteith method (Allen et. Al., 1998) โดยสมการดังกล่าวมีสารประกอบทางอุณหภูมิตฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่อการใช้น้ำของพืช ได้แก่ รังสีดวงอาทิตย์ (ความนานของแสงแดด) อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ซึ่งมีสมการในการคำนวณ ดังนี้

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (4.21)$$

เมื่อ ET_0 คือ Reference Evapotranspiration หรือ PET [mm/day]

R_n คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ [$MJm^{-2}day^{-1}$]

- G คือ soil heat flux [$\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$]
 T คือ อุณหภูมิอากาศ [$^{\circ}\text{C}$]
 U_2 คือ ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร [m sec^{-1}]
 e_s คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวของบรรยากาศ [kPa]
 e_a คือ ความดันไอน้ำเฉลี่ยของบรรยากาศ [kPa]
 Δ คือ ความชันของกราฟความดันไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิที่อุณหภูมิ T [$\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$]
 γ คือ psychometric constant [$\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$]

- การคำนวณหาค่า γ จากสูตร

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} = 0.665 \times 10^{-3} P \quad (4.22)$$

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} \quad (4.23)$$

- เมื่อ P คือ ความดันบรรยากาศมาตรฐานที่ 20°C ที่ระดับน้ำทะเล [kPa]
 c_p คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศชื้น มีค่า $1.013 \times 10^{-3} \text{ MJ Kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
 λ คือ ความร้อนแฝงของการระเหย มีค่า 2.45 MJ Kg^{-1}
 ϵ คือ อัตราส่วนน้ำหนักโมเลกุลของไอน้ำต่ออากาศแห้งมีค่า 0.622
 z คือ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล [m]

- การคำนวณหาค่า Δ

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp \left(\frac{17.27T}{T + 237.3} \right) \right]}{(T + 237.3)^2} \quad (4.24)$$

- การคำนวณความดันไอน้ำเฉลี่ยของบรรยากาศ (e_a)

$$e_a = e_s \frac{RH_{mean}}{100} \quad (4.25)$$

- เมื่อ RH_{mean} คือ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย [%]

- การคำนวณความดันไอน้ำอิ่มตัวเฉลี่ยของบรรยากาศ (e_s)

$$e_s = \frac{\left[0.6108 \exp\left(\frac{17.27T_{\max}}{T_{\min} + 237.3}\right) \right] + \left[0.6108 \exp\left(\frac{17.27T_{\min}}{T_{\min} + 237.3}\right) \right]}{2} \quad (4.26)$$

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

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

- การคำนวณความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร (U_2)

$$U_2 = U_z \frac{4.87}{\ln(67.8Z - 5.42)} \quad (4.27)$$

เมื่อ U_z คือ ความเร็วลมวัดที่ระดับความสูง Z เหนือพื้นดิน [ms^{-1}]

Z คือ ความสูงของเสาวัดลมเหนือพื้นดิน [m]

- การคำนวณค่า Soil heat flux (G)

$$G = c_s \frac{T_i + T_{i-1}}{\Delta t} \quad (4.28)$$

เมื่อ c_s คือ ความจุความร้อนในดิน [$\text{MJ m}^{-2} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$]

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 สำหรับ 1 วันหรือ 10 วัน จะมีค่าน้อยมากจึงกำหนดให้

$$G = 0$$

- การคำนวณรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ (R_n)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (4.29)$$

เมื่อ R_{ns} คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้นสุทธิ [$\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$]

R_{nl} คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์คลื่นยาวสุทธิ [$\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$]

- ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้นสุทธิ (R_{ns}) คำนวณจาก

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (4.30)$$

$$R_s = \left(0.25 + 0.50_s \frac{n}{N}\right)R_a \quad (4.31)$$

เมื่อ α คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อน มีค่า 0.23 สำหรับพืชที่ใช้อ่างอิงในสมการ
 R_s คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้น [$\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$]
 n คือ ความนานแสงแดด [hour]
 N คือ ความนานแสงแดดสูงสุด [hour]
 R_a คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ขอบบนของบรรยากาศโลก [$\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$]

โดยที่
$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (4.32)$$

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s] \quad (4.33)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (4.34)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (4.35)$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan \phi \tan \delta] \quad (4.36)$$

เมื่อ G_{sc} คือ ค่าคงที่สุริยะ มีค่า $0.0820 \text{ MJm}^{-2}\text{min}^{-1}$
 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)

- ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์คลื่นยาวสุทธิ (R_{nl}) คำนวณจาก

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] \left(0.34 - 0.14 \sqrt{e_a} \right) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (4.37)$$

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (4.38)$$

- เมื่อ σ คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann มีค่า $4.903 \times 10^{-9} \text{ MJK}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$
 $T_{\max, K}$ คือ อุณหภูมิสูงสุด [K]
 $T_{\min, K}$ คือ อุณหภูมิต่ำสุด [K]
 R_{so} คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่คลื่นสั้นเมื่อท้องฟ้าโปร่ง [$\text{MJm}^{-2} \text{ day}^{-1}$]

เกณฑ์ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช MAI

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

4.5 ดรรชนีความแห้งแล้งที่ผิดปกติทางด้านเกษตรกรรม (Aridity Anomaly Index: AI)

คืออัตราส่วนของค่าผลต่างของศักย์การคายระเหยกับการคายระเหยจริงต่อศักย์การคายระเหย โดยได้พัฒนามาจากแนวคิดของ Thornthwaite กำหนดค่า AI ดังนี้

$$AI = \left(\frac{ET_p - ET_a}{ET_p} \right) \times 100 \quad (4.39)$$

- เมื่อ ET_p คือ ศักย์การคายระเหย (Potential Evapotranspiration)
 ET_a คือ การคายระเหยจริง (Actual Evapotranspiration)

ค่า ET_p คำนวณจากวิธีการของ Penman-Monteith (1965) โดยใช้โปรแกรม FAO-PMON ที่มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$ET_p = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a C_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right)} \quad (4.40)$$

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_m - d}{z_{om}} \right] \ln \left[\frac{z_h - d}{z_{oh}} \right]}{k^2 u_z} \quad (4.41)$$

$$r_s = \frac{r_1}{LAI_{active}} \quad (4.42)$$

$$\rho_a = \frac{101.3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26}}{1.01(T + 273)287} \quad (4.43)$$

- เมื่อ ρ_a คือ mean air density [kg m^{-3}]
 r_a คือ aerodynamic resistance [sm^{-1}]
 r_s คือ (bulk) surface or canopy resistance [sm^{-1}]
 z_m คือ ความสูงของการตรวจวัดลม [m]
 z_h คือ ความสูงของการตรวจวัดความชื้น [m]
 d คือ zero plane displacement height [m]
 z_{om} คือ roughness length governing momentum transfer [m]
 z_{oh} คือ roughness length governing transfer of heat and vapour [m]
 k คือ von Karman's constance มีค่า 0.41
 r_1 คือ bulk stomatal resistance of well-illuminated leaf [sm^{-1}]
 LAI_{active} คือ active (sunlit) leaf area index

$$ET_a = K_c ET_o \quad (4.41)$$

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (4.42)$$

- เมื่อ ET_o คือ อัตราการคายระเหยอ้างอิง (Reference Evapotranspiration)
 K_c คือ ค่าดัชนีความต้องการน้ำของพืช ซึ่งค่านี้มีความผันแปรขึ้นกับชนิดของพืช อายุของพืช และฤดูกาล ซึ่งคำนวณจากข้อมูลสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูก
 ให้ $K_c = 1$ เป็นค่าดัชนีความต้องการน้ำของพืชตระกูลหญ้า

เกณฑ์ดัชนีวัดความแห้งแล้ง AI

ดัชนี AI	ระดับความรุนแรง
0 หรือเป็นลบ	ไม่แล้ง(Non arid)
1 - 25	แล้งเล็กน้อย(Mild arid)
26 - 50	แล้งปานกลาง(Moderate arid)
> 50	แล้งรุนแรง(Severe arid)

4.6 ความชื้นในดินที่คำนวณได้จากดาวเทียม (Soil Moisture Estimate from Satellite image: SMest)

4.6.1 Thermal Inertia Modelling

Thermal inertia คือ ความสามารถในการนำความร้อนและการเก็บความร้อนของเนื้อวัตถุ ซึ่งจะวัดความสามารถของวัตถุในการเก็บความร้อนในช่วงเวลากลางวันและคายความร้อนในช่วงเวลากลางคืน

จากสมการการกระจายตัวของส่วนประกอบต่างๆ ของของเหลวภายใต้อิทธิพลของระดับอุณหภูมิ (Thermal diffusion equation) เมื่อพิจารณาในหนึ่งมิติจะได้

$$D \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} \quad (4.43)$$

เมื่อ $T(x,t)$ คือ อุณหภูมิที่ระดับความลึก x และ เวลา t

D คือ thermal diffusivity of the half-space [m^2s^{-1}]

Xue และ Cracknell (1995) แสดงการคำนวณสมการที่ (4.43) ภายใต้งื่อนไขในสมการที่ (4.44) และ (4.45) ตามสมการที่ (4.46):

$$-K \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = (1-A)S_0C_t \cos Z - [A_c + BT(0,t)] \quad (4.44)$$

$$T(x,t) \Big|_{x \rightarrow \infty} = C \quad (4.45)$$

$$T(x,t) = -\frac{A_c}{B} + (1-A)S_0C_t \sum_{n=1}^{\infty} A_n \frac{\exp(-k_0 \sqrt{nx}) \cos(n\omega t - k_0 \sqrt{nx} - \delta_n)}{\sqrt{\omega n p^2 + \sqrt{2\omega n B P} + B^2}} \quad (4.46)$$

สมการที่ (4.44) คือ การเปลี่ยนแปลงของสมดุลพลังงานที่พื้นผิวโลก ซึ่งจะเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ, $A_c + BT(0,t)$ คือ outgoing energy fluxes จากพื้นผิวโลก โดยที่ A_c และ B เป็นสัมประสิทธิ์เชิงเส้นที่ขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิวและตัวแปรทางด้านอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิอากาศ ความชื้น และความเร็วลม

และ Z คือ zenith angle ของพื้นผิวเรียบ ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันของ δ , α และ ω

δ คือ solar declination

α คือ latitude

ω คือ ความเร็วเชิงมุมของการหมุนของโลก (angular velocity of rotation of the earth)

A คือ surface albedo

S_0 คือ ค่าคงที่แสงอาทิตย์ (solar constant) โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 1367 Wm^{-2}

C_t คือ อัตราการเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศ (atmospheric transmittance) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น

สมการที่ (4.45) แสดงให้เห็นว่า $T(x,t)$ จะคงที่เมื่อ x มีความลึกที่ระยะอนันต์ (infinity)

สมการที่ (4.46) $T(x,t)$ คือ อุณหภูมิที่ระดับความลึก x และ เวลา t ที่มีการกระจายแบบ Fourier series และ A_n คือ สัมประสิทธิ์ของ Fourier series.

$$k_0 = \frac{P}{K} \sqrt{\frac{\omega}{2}} \quad (4.47)$$

$$\delta_n = \arctan\left(\frac{P\sqrt{n\omega}}{\sqrt{2B + P\sqrt{n\omega}}}\right) \quad (4.48)$$

$$A_1 = \frac{2}{\pi} \sin \delta \sin \alpha + \frac{1}{2\pi} \cos \delta \cos \alpha [\sin(2\psi) + 2\psi] \quad (4.49)$$

$$A_n = \frac{2 \sin \delta \sin \delta}{n\pi} \sin(n\psi) + \frac{2 \cos \delta \cos \alpha}{\pi(n^2 - 1)} [n \sin(n\psi) \cos \psi - \cos(n\psi) \sin \psi] \quad (4.50)$$

$$n = 2, 3, \dots$$

$$\psi = \arccos[\text{tg} \delta \times \text{tg} \alpha] \quad (4.51)$$

เมื่อ ψ คือ azimuth of the slope angle ซึ่งวัดตามเข็มนาฬิกาจากทิศเหนือ

δ_n คือ phase difference

จากสมการที่ (4.46) โดยการใช้การประมาณอันดับแรก (first order approximation) สามารถแสดงอุณหภูมิพื้นผิว ($x=0$) ที่เวลา t ดังนี้

$$T(0,t) = -\frac{A_c}{B} + (1-A)S_0C_t \left[A_1 \frac{\cos(\omega t - \delta_1)}{\sqrt{\omega P^2 + \sqrt{2\omega BP} + B^2}} \right] \quad (4.52)$$

ดังนั้น ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวระหว่างเวลาที่ดาวเทียมเคลื่อนผ่าน t_1 ในตอนกลางวัน และ t_2 ในตอนกลางคืน คือ

$$\Delta T = (1-A)S_0C_t A_1 \frac{\cos(\omega t_1 - \delta_1) - \cos(\omega t_2 - \delta_1)}{\sqrt{\omega P^2 + \sqrt{2\omega BP} + B^2}} \quad (4.53)$$

จากการศึกษาของ Y.Xue และ A.P.Cracknell (1995) การประมาณอันดับแรก (first order approximation) ของอุณหภูมิพื้นผิว ค่า P และ B มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$P \sqrt{\frac{\omega}{2}} = \frac{\tan(\omega t_{\max})}{1 - \tan(\omega t_{\max})} B \quad (4.54)$$

เมื่อ t_{\max} คือ เวลาที่อุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน

จากสมการที่ (4.53) และ (4.54) จะได้

$$P = \frac{(1-A)S_0 C_t A_1 [\cos(\omega t_1 - \delta_1) - \cos(\omega t_2 - \delta_1)]}{\Delta T \sqrt{\omega} \sqrt{1 + \frac{1}{b} + \frac{1}{2b^2}}} \quad (4.55)$$

$$B = \frac{(1-A)S_0 C_t A_1 [\cos(\omega t_1 - \delta_1) - \cos(\omega t_2 - \delta_1)]}{\Delta T \sqrt{\omega} \sqrt{1 + 2b + 2b^2}} \quad (4.56)$$

$$b = \frac{\tan(\omega t_{\max})}{1 - \tan(\omega t_{\max})} \quad (4.57)$$

$$\delta_1 = \frac{b}{1+b} \quad (4.58)$$

จากสมการที่ (4.46) เมื่อใช้การประมาณอันดับสอง (second-order approximation) สามารถคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวที่เวลา t ดังนี้:

$$T_2(0, t) = -\frac{A_c}{B} + (1-A)S_0 C_t \times \left[A_1 \frac{\cos(\omega t - \delta_1)}{\sqrt{\omega P^2 + \sqrt{2\omega}BP + B^2}} + A_2 \frac{\cos(2\omega t - \delta_2)}{\sqrt{2\omega P^2 + 2\sqrt{\omega}BP + B^2}} \right] \quad (4.59)$$

ดังนั้น ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวระหว่างเวลาที่ดาวเทียมเคลื่อนผ่าน t_1 ในตอนกลางวันและ t_2 ในตอนกลางคืน คือ

$$\begin{aligned} \Delta T_2 &= T_2(0, t_1) - T_2(0, t_2) \\ &= (1-A)S_0 C_t \left[A_1 \frac{\cos(\omega t_1 - \delta_1) - \cos(\omega t_2 - \delta_1)}{\sqrt{\omega P^2 + \sqrt{2\omega}BP + B^2}} + A_2 \frac{\cos(2\omega t_1 - \delta_2) - \cos(2\omega t_2 - \delta_2)}{\sqrt{2\omega P^2 + 2\sqrt{\omega}BP + B^2}} \right] \end{aligned} \quad (4.60)$$

ในเวลาที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดในตอนกลางวัน $\left. \frac{dT_2(0, t)}{dt} \right|_{t=t_{\max}} = 0$ ดังนั้น

$$\sin(\omega t_{\max} - \delta_1) \times A_1 \sqrt{\omega P^2 + \sqrt{2\omega}BP + B^2} + \sin(2\omega t_{\max} - \delta_2) \times 2A_2 \sqrt{2\omega P^2 + 2\sqrt{\omega}BP + B^2} = 0 \quad (4.61)$$

จากสมการที่(4.48) จะได้ $\delta_1 = \arctan\left(\frac{P\sqrt{\omega}}{\sqrt{2B + P\sqrt{\omega}}}\right)$ และ $\delta_2 = \arctan\left(\frac{P\sqrt{2\omega}}{\sqrt{2B + P\sqrt{2\omega}}}\right)$

สมการที่ (4.61) มีสามตัวแปรที่ไม่ทราบค่าคือ P , B และ t_{\max} แต่ค่าของ t_{\max} สามารถได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ ส่วนในสมการที่ (4.60) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิว (ΔT_2) และ surface albedo (A) สามารถคำนวณจากข้อมูลดาวเทียม สำหรับค่า A_1 และ A_2 คือสัมประสิทธิ์ของ Fourier series สามารถหาได้จาก solar declination และ latitude ในแต่ละ

พื้นที่ ดังนั้นสองตัวแปรที่ไม่ทราบค่า P และ B ในสมการที่ (4.60) และ (4.61) สามารถคำนวณได้จากค่าสุดท้ายของ thermal inertia P

4.6.2 Soil Moisture Model

เนื่องจากค่า thermal inertia ของน้ำมีค่ามากกว่าของดินที่มีลักษณะแห้ง ดังนั้นปริมาณความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลงจะเป็นสาเหตุให้ค่า thermal inertia ของดินเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืนแตกต่างกัน ถ้าสามารถหาค่า thermal inertia จากข้อมูลดาวเทียม ดังนั้นค่าความชื้นในดินจะสามารถหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง thermal inertia และค่าความชื้นในดิน โดยความสัมพันธ์ของ thermal inertia และค่าความชื้นในดิน กำหนดได้ ดังนี้

$$P = \left\{ 2.1ds \left[1.2 - 0.02 \left(\frac{ds}{d} \right)^w \right] e \left[-0.007 \left(\frac{wds}{d} - 20 \right)^2 \right] + ds \left[0.8 + 0.02 \left(\frac{ds}{d} \right)^w \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \times \frac{\left(\frac{0.2w}{d} \right) ds^2}{0.001\sqrt{100}} \quad (4.62)$$

เมื่อ ds คือ ค่าความหนาแน่นของดิน (soil density)

d คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (water density)

w คือ เปอร์เซ็นต์เชิงน้ำหนัก (weight percentage) ของความชื้นในดิน

จากสมการที่ (4.62) ค่า thermal inertia P และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของความชื้นในดิน จะมีความสัมพันธ์กับแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (one-to-one relationship) ดังนั้นเราสามารถสร้างตาราง (lookup table) ซึ่งประกอบด้วย thermal inertia ความหนาแน่นของดิน และความชื้นในดิน เพื่อหาค่าความชื้นในดินจากค่า thermal inertia ได้

4.7 ดรรชนีความแตกต่างพืชพรรณ (Normalized Differential Vegetation Indices, NDVI)

NDVI จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนแสงอินฟราเรดและการดูดซับแสงสีแดงของพืชที่สมบูรณ์ ค่า NDVI สูง แสดงถึงมวลชีวภาพและความสมบูรณ์ของพืชสูงด้วย การใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่เพื่อประมาณการหาความหนาแน่นของพืชว่าพื้นที่ดังกล่าวมีพืชพันธุ์ขึ้นอยู่ อย่างหนาแน่นหรือไม่ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (4.63)$$

เมื่อ NIR และ RED คือ ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่นของแสงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) และค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่นของแสงสีแดง (Red) ตามลำดับ

โดยค่าของ NDVI จะอยู่ในช่วง -1 ถึง +1 บริเวณที่ค่า NDVI อยู่ในช่วงค่าลบพื้นที่จะเป็นพื้นที่น้ำ ในบริเวณที่ NDVI เข้าใกล้ศูนย์ แสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณสีเขียวน้อย และในพื้นที่ที่มี

พืชพรรณสีเขียวปกคลุมมากจะมีค่าเข้าใกล้ +1 เนื่องจากคุณสมบัตินี้ NDVI จึงเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และทำนายการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณที่มีผลจากการกระทบจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ ได้ ค่า NDVI จากภาพถ่ายดาวเทียมมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งใช้เพื่อตรวจจับความผิดปกติของพืชพรรณที่มีผลมาจากความแห้งไม่ว่าจะเป็นพื้นที่บริเวณใดบนโลก

เนื่องจากค่า NDVI ไม่สามารถบอกความแห้งแล้งในพื้นที่ได้โดยตรง แต่ความแห้งแล้งสามารถหาได้ โดยการเปรียบเทียบค่าดัชนีพืชพรรณในเวลาที่ต้องการ และค่าเฉลี่ยระยะยาวของดัชนีพืชพรรณในบริเวณเดียวกัน แต่เวลาที่แตกต่างกัน

4.8 ดัชนีความชื้นในดินแบบสมมูลน้ำ (SMI) เพื่อติดตามสถานะแล้งทางการเกษตร

สถานะแล้งเป็นสาเหตุอันดับต้นๆที่จะก่อให้เกิดผลกระทบอย่างรุนแรงต่อผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยแทบทุกปี จึงจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการสถานะแล้งอย่างเหมาะสม มาตรการหนึ่งคือการติดตามสถานการณ์ โดยนิยามหาค่าดัชนีแล้ง (drought indices) บ่งบอกถึงช่วงเวลาที่เริ่ม-สิ้นสุด ขอบเขตพื้นที่ครอบคลุม และระดับความรุนแรง

Rickard and Fitzgerald (2513) ได้ให้คำนิยามสถานะแล้งทางการเกษตรว่า สถานะแล้งทางการเกษตรจะเกิดขึ้นเมื่อความชื้นในดินที่ระดับรากพืชลดลงถึงจุดแห้งเหี่ยว (wilting point) หรือต่ำกว่า ดังนั้นข้อมูลความชื้นในดินเหนือระดับน้ำบาดาลและความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยของน้ำ ปริมาณฝน และความชื้นดินในระดับรากพืช จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อใช้หาปริมาณสถานะแล้งเฉพาะท้องถิ่น ที่เกิดระหว่างฤดูเพาะปลูก (Sandvig and Phillips 2549; Hong and Kalnay 2543; Sheffield และคณะ 2547; Entekhabi และคณะ 2535; Koster และคณะ 2547)

ความชื้นในดินที่สัมพันธ์กับความสามารถในการใช้น้ำของพืช หรือน้ำในดินที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตได้ (Available Water, AW) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างค่าความชื้นในดินที่ความจุสนาม (Field Capacity, FC) และความชื้นในดินที่จุดแห้งเหี่ยว (Wilting Point, WP) แต่ถ้าความชื้นในดินลดลงไปเรื่อยๆจะเกิดความลำบากในการดูดน้ำไปใช้ของพืช (water stress) พืชจะเริ่มเครียด และสูญเสียผลผลิต เมื่อความชื้นในดินลดลงประมาณ 50 % ของน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้

ความชื้นในดินสามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือ แต่ถ้าต้องการข้อมูลครอบคลุมพื้นที่กว้างๆอย่างต่อเนื่อง จะเปลืองแรงงานและมีค่าใช้จ่ายสูง จึงมีการแสวงหาวิธีการอื่นๆทดแทน เช่น ประมาณค่าจากข้อมูลจากดาวเทียม หรือข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ที่สะดวกในการใช้งาน ตอบโจทย์ทั้งเรื่องความถี่เวลาและพื้นที่ครอบคลุมได้ดี แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องความถูกต้องแม่นยำ

การศึกษาในเรื่องดังกล่าวนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะตรวจสอบความถูกต้องของการใช้ค่าความชื้นในดินที่ได้จากการประมาณค่าจากระบบสมมูลน้ำ ที่ใช้ตัวแปรอุตุนิยมวิทยา หากมีความ

น่าเชื่อถือก็จะนำไปสู่การหาค่าดัชนีความชื้นในดิน (SMI) ที่ใช้ติดตามสถานะแล้งทางการเกษตร ได้อย่างกว้างขวางและต่อเนื่อง

SMI หาได้จากองค์ประกอบและชนิดของดิน และเงื่อนไขความชื้นในดิน ได้แก่ ความชื้นในดินที่มีอยู่จริง (SM) FC และ WP ตามการกำหนดของ V. Sridhar และคณะ (2008) ดังนี้

$$SMI = \left[\frac{5(SM - WP)}{(FC - WP)} - 5 \right] \quad (4.64)$$

ค่า SMI มีค่าอยู่ระหว่าง มากกว่า - 1 ถึง น้อยกว่า - 5 สำหรับค่า SM ประมาณได้จากสมการสมดุลของน้ำ

$$SM = dS / dt = P - ET - Ro - Dr \quad (4.65)$$

โดย	SM	คือ	ความชื้นในดิน (soil moisture)
	S	คือ	ปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้ในดิน (soil moisture storage)
	t	คือ	เวลา
	P	คือ	ปริมาณฝนที่ตก (precipitation)
	ET	คือ	การคายระเหยของน้ำ (evapotranspiration)
	Ro	คือ	น้ำไหลบ่าผิวดิน (runoff)
	Dr	คือ	น้ำซึมลงสู่น้ำบาดาล (drainage)

ในการศึกษาครั้งนี้จะไม่พิจารณาค่า Ro และ Dr เนื่องจากมีค่าน้อยมาก ดังนั้นสมการที่ (2) สามารถลดรูปเป็น

$$SM = P - ET \quad (4.66)$$

$$\theta = (SM / d) \quad (4.67)$$

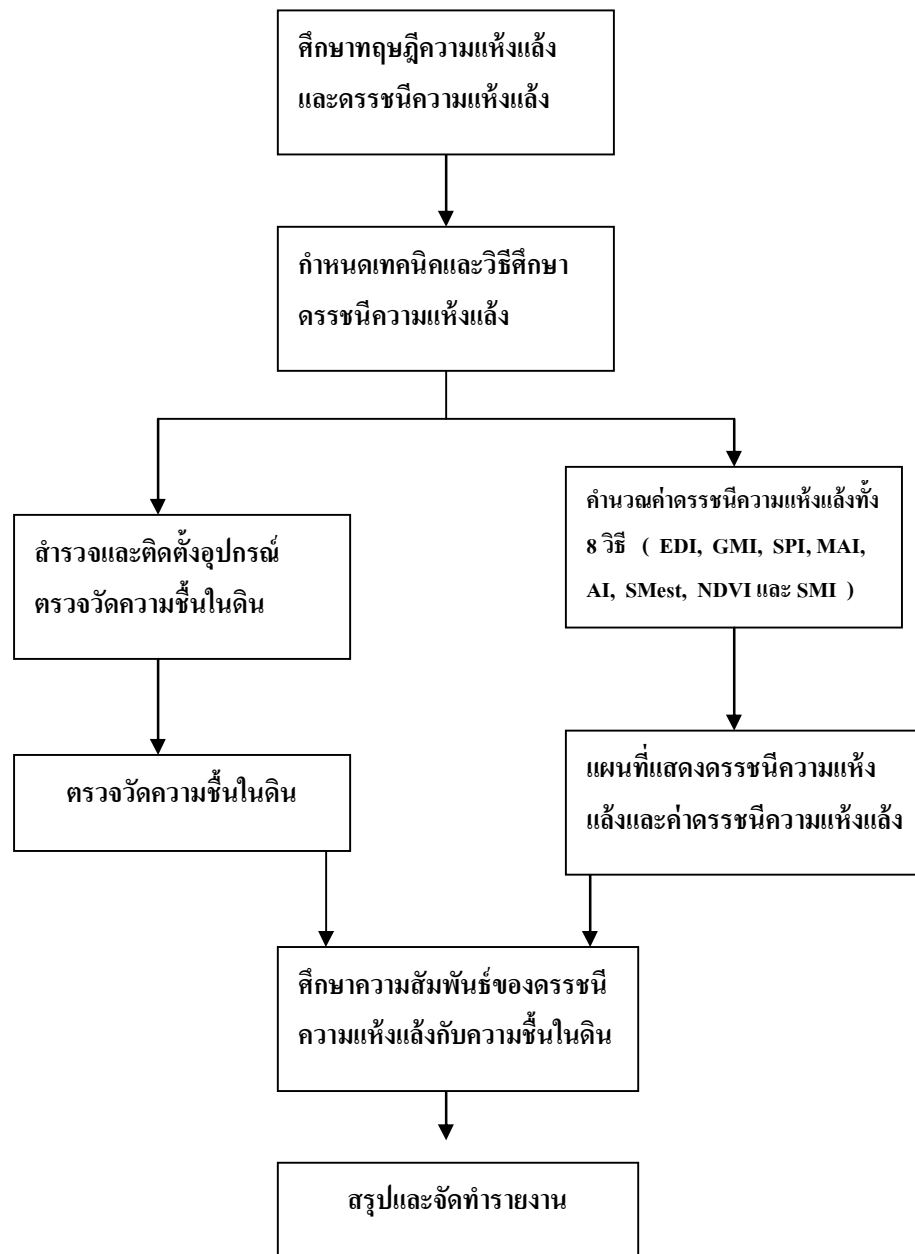
โดย	θ	คือ	ปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตร
	d	คือ	ความลึกของดิน

เกณฑ์ดัชนีความชื้นในดิน (SMI) เพื่อติดตามสถานะแล้งทางการเกษตร มีดังนี้

ค่าดัชนี SMI	ระดับความแห้งแล้ง
- 1 หรือมากกว่า	ปกติ (Normal)
- 2 ถึง < - 1	แล้งเล็กน้อย (Less intense)
- 3 ถึง < - 2	แล้งปานกลาง (Moderate)
- 4 ถึง < - 3	แล้งค่อนข้างรุนแรง (High intense)
- 5 ถึง < - 4	แล้งรุนแรง (Severe)
- 5 หรือน้อยกว่า	แล้งจัด (Extreme)

5. วิธีดำเนินการศึกษา

การดำเนินการศึกษาดรรชนีความแห้งแล้งในเอกสารวิจัยฉบับนี้มีทั้งสิ้น 8 วิธีซึ่งสามารถแสดงในรูปของแผนภูมิ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนภูมิแสดงวิธีดำเนินการศึกษา

สำหรับรายละเอียดของวิธีดำเนินการ มีดังนี้

- 5.1 ศึกษาทฤษฎีความแห้งแล้งและดัชนีความแห้งแล้ง
- 5.2 กำหนดเทคนิคและวิธีศึกษาดรรชนีความแห้งแล้ง
- 5.3 สำรวจพื้นที่และติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นในดิน
- 5.4 ตรวจวัดความชื้นในดิน บริเวณพื้นที่ศึกษาเดือนละ 1-2 ครั้ง เมื่อสภาพแวดล้อมเอื้ออำนวย
- 5.5 กำหนดค่าดรรชนีความแห้งแล้งทั้ง 8 วิธี ได้แก่ EDI, GMI, SPI, MAI, AI, SMest, NDVI โดยเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ และ SMI โดยใช้สถิติวิเคราะห์
- 5.6 วิเคราะห์เชิงพื้นที่ ด้วยวิธี Kriging Interpolation โดยใช้โปรแกรม Arcview เพื่อหาค่า ดรรชนีความแห้งแล้งในพิกัดเดียวกับที่ทำการตรวจวัดความชื้นในดินภาคสนาม รวมทั้งเพื่อนำเสนอในรูปแบบแผนที่เชิงตัวเลข โดยใช้เกณฑ์ดรรชนีวัดความแห้งแล้งพิจารณาระดับความรุนแรงของความแห้งแล้ง
- 5.7 ทดสอบหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของดรรชนีความแห้งแล้งกับข้อมูลการตรวจวัดความชื้นในดินภาคสนาม โดยใช้โปรแกรม SPSS
- 5.8 สรุปผลการศึกษาและจัดทำรายงาน

ส่วนขั้นตอนการคำนวณเพื่อหาค่าดรรชนีความแห้งแล้งต่างๆ ในแต่ละวิธี และตัวอย่างการคำนวณดรรชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาของปี พ.ศ. 2555 ดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 ดรรชนีความแห้งแล้งแสดงผลกระทบเนื่องจากฝน (Effective Drought Index: EDI)

- (1) รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายวันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2555 จำนวน 123 สถานี
- (2) นำข้อมูลปริมาณฝนรายวันมาทำการคำนวณหาดรรชนีชี้วัดความแห้งแล้งแสดงผลกระทบเนื่องจากฝน ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณ 3 ขั้นตอนดังนี้
 - ขั้นตอนที่ 1 คำนวณปริมาณฝนในแต่ละวันที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ (Daily effective precipitation: EP) โดยใช้เทคนิคของอนุกรมเวลา (time series)
 - ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่าง EP รายวันของปีที่ศึกษา (พ.ศ. 2555) และค่าเฉลี่ยของ EP รายวันคาบ 61 ปี (พ.ศ. 2494-2555) เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณฝนที่จำเป็นหรือที่พืชขาดแคลนเพื่อกลับเข้าสู่ภาวะปกติ (PRN)
 - ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาค่าดรรชนีความแห้งแล้ง EDI จากค่า PRN และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ PRN (ST(PRN)) จากสูตร

$$EDI = \frac{PRN}{ST(PRN)}$$

วิธีที่ 2 ธรรมชาติความแห้งแล้งทางด้านเกษตรกรรมตามฤดูกาลมรสุม (**Generalized Monsoon Index: GMI**)

(1) รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนของเดือน มิถุนายน(P_6) กรกฎาคม (P_7) สิงหาคม (P_8) และกันยายน (P_9) เพื่อคำนวณค่า GMI ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย (Southwest Monsoon: SW) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2555 จากสูตร

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนมิถุนายน } GMI_6 = 0.125P_6$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนกรกฎาคม } GMI_7 = 0.125P_6 + 0.125P_7$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนสิงหาคม } GMI_8 = 0.125P_6 + 0.125P_7 + 0.5P_8$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนกันยายน } GMI_9 = 0.125P_6 + 0.125P_7 + 0.5P_8 + 0.25P_9$$

(2) รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนของเดือน ตุลาคม(P_{10}) พฤศจิกายน (P_{11}) ธันวาคม (P_{12}) และมกราคม (P_1) เพื่อคำนวณค่า GMI ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทย (Northeast Monsoon: NE) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2555 จากสูตร

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนมิถุนายน } GMI_{10} = 0.125P_{10}$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนกรกฎาคม } GMI_{11} = 0.125P_{10} + 0.125P_{11}$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนสิงหาคม } GMI_{12} = 0.125P_{10} + 0.125P_{11} + 0.5P_{12}$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนกันยายน } GMI_1 = 0.125P_{10} + 0.125P_{11} + 0.5P_{12} + 0.25P_1$$

(3) นำค่า GMI ของแต่ละสถานีในช่วงเดือนที่ศึกษาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2555 มาวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ไทล์ (percentile rank) เพื่อหา GMI_{pct} ของปี พ.ศ. 2555

วิธีที่ 3 ธรรมชาติความแห้งแล้งของฝนที่ต่างจากค่าปกติ (**Standardized Precipitation Index: SPI**)

(1) รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายวันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2555 จำนวน 123 สถานี มาหาปริมาณฝนสะสมราย 3 เดือน 6 เดือน 9 เดือน หรือ 12 เดือน เพื่อนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ α และ β

(2) คำนวณหาฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นสะสม (Cumulative probability density function: $G(x)$) จากค่าสัมประสิทธิ์ α , β และปริมาณฝนสะสมปี พ.ศ.2555 ราย 3 เดือน 6 เดือน 9 เดือน หรือ 12 เดือน

(3) เนื่องจากเกมมาฟังก์ชันจะหาค่าไม่ได้เมื่อ $x = 0$ แต่โดยทั่วไปแล้วปริมาณฝนจะมีค่า 0 (ไม่มีรายงานฝนตก) ดังนั้นจึงต้องแปลงฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นสะสม ดังนี้

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

เมื่อ q คือ ความน่าจะเป็นที่จะไม่มีรายงานฝนตก ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนวันที่ไม่มีฝนตกหารด้วยจำนวนวันที่เราศึกษา

(4) นำค่า $H(x)$ มาแปลงเป็นค่าปกติมาตรฐาน (standard normal) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งคือค่า SPI

วิธีที่ 4 ดรรชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (Moisture Available Index: MAI)

(1) รวบรวมข้อมูลรายวันของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความยาวนานของแสงแดดของปี พ.ศ. 2555

(2) คำนวณหาค่า psychometric constant (γ) จากค่าความสูงสถานีเหนือระดับน้ำทะเล

(3) คำนวณหาค่าความชันของกราฟความดันไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิ (Δ) จากค่าอุณหภูมิเฉลี่ย

(4) คำนวณหาความดันไอน้ำเฉลี่ยของบรรยากาศ (e_a) จากค่าความชื้นสัมพัทธ์

(5) คำนวณหาความดันไอน้ำอิ่มตัวเฉลี่ยของบรรยากาศ (e_s) จากค่าอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด

(6) คำนวณหาความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร (U_2) จากค่าความเร็วลม

(7) คำนวณหารังสีดวงอาทิตย์สุทธิ (R_n) จากค่าความนานของแสงแดด

(8) คำนวณการคายระเหยน้ำของพืชรายวัน (PET หรือ ET_o) จากค่า γ , Δ , e_a , e_s , U_2 และ R_n

(9) หาปริมาณฝนรวมราย 10 วัน (P) คำนวณการคายระเหยน้ำของพืชราย 10 วัน (PET)

เพื่อนำมาหาค่าดรรชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (MAI) ราย 10 วัน จากสูตร

$$MAI = P/PET$$

วิธีที่ 5 ดรรชนีความแห้งแล้งที่ผิดปกติทางด้านเกษตรกรรม (Aridity Anomaly Index: AI)

(1) รวบรวมข้อมูลรายวันของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความยาวนานแสงแดด ปี พ.ศ.2555

(2) หาค่าเฉลี่ยของข้อมูลราย 10 วันทุกประเภทจากข้อ (1)

(3) คำนวณหาค่าอัตราการคายระเหยอ้างอิง (ET_o) และศักย์การคายระเหย (ET_p) จากอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความนานแสงแดดจากข้อ (2) โดยใช้โปรแกรม FAO-PMON

(4) เนื่องจาก $ET_a = K_c \times ET_o$ ในที่นี้ให้ค่าดรรชนีความต้องการน้ำของพืช $K_c = 1$ ซึ่งเป็นค่าดรรชนีความต้องการน้ำของพืชตระกูลหญ้า ดังนั้น $ET_a = ET_o$

(5) คำนวณหาค่า AI จากค่า ET_p และ ET_a จากสูตร

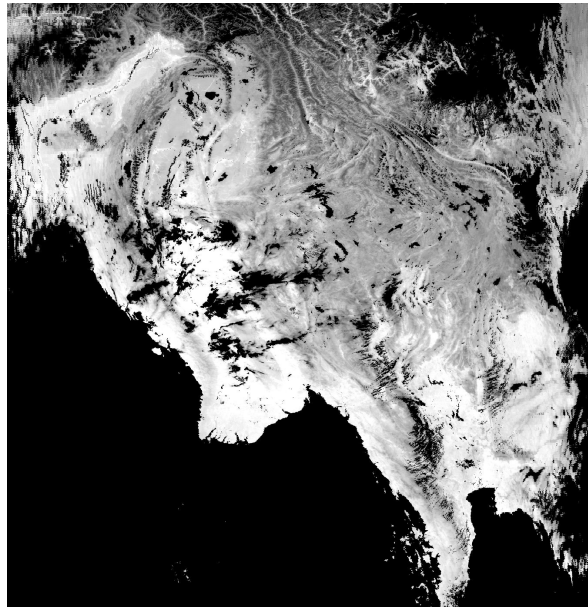
$$AI = \left(\frac{ET_p - ET_a}{ET_p} \right) \times 100$$

วิธีที่ 6 ความชื้นในดินที่คำนวณได้จากภาพถ่ายดาวเทียม (Soil Moisture Estimate from Satellite image: SMest)

(1) ดาวน์โหลดภาพถ่ายดาวเทียม MODIS Level 1B:MODIS/Terra Calibrated Radiances 5-Min L1B Swath 1km V005 , และ Level 2 : MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 5-Min L2 Swath 1km V005 ในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน จากเว็บไซต์ <https://wist.echo.nasa.gov/api/>

(2) เมื่อได้ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากเว็บไซต์จะต้องทำ Pre-processing ดังนี้

(2.1) ใส่พิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geo-reference)

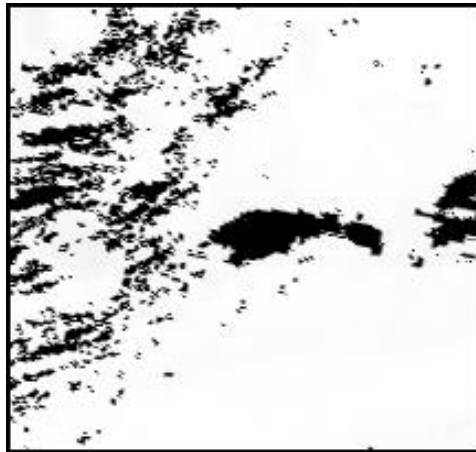


รูปที่ 5.2 Land Surface Temperature วันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551 ก่อนทำ Geo-reference



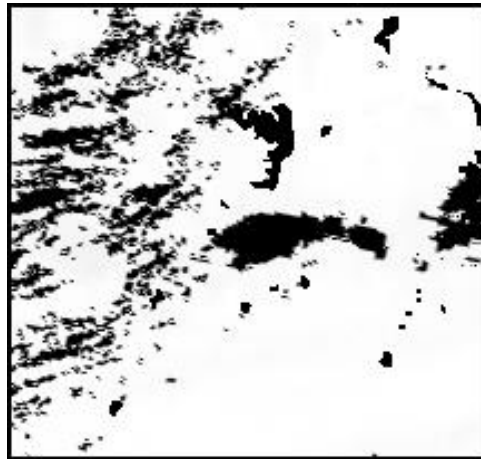
รูปที่ 5.3 Land Surface Temperature วันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551 หลังทำ Geo-reference

(2.2) ตัดภาพให้เหลือเฉพาะพื้นที่ศึกษาบริเวณจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดใกล้เคียง



รูปที่ 5.4 Land Surface Temperature บริเวณพื้นที่ศึกษา

(2.3) ลบข้อมูลที่อยู่บริเวณแหล่งน้ำ



รูปที่ 5.5 Land Surface Temperature บริเวณพื้นที่ศึกษาตัดแหล่งน้ำออก

(3) การประมวลผล (Processing) ภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อหาค่า Thermal Inertia ดังนี้

(3.1) การคำนวณค่า Surface Albedo โดยใช้ข้อมูล MODIS/Terra Calibrated Radiances 5-Min L1B Swath 1km V005

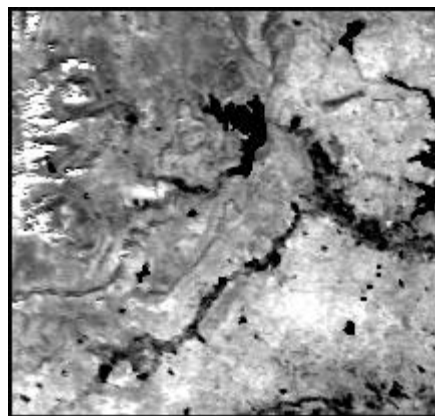
(3.1.1) คำนวณค่า Spectral reflectance ของ band 1 และ 2 ตามสมการ

$$\alpha_i = \frac{(\alpha_i' b - a) + a(1 - \alpha_i') e^{(a-b)\epsilon\tau_0^2 \sec\theta'}}{(\alpha_i' b - a) + b(1 - \alpha_i') e^{(a-b)\epsilon\tau_0^2 \sec\theta'}}$$

เมื่อ $i = \text{band } 1, 2$

(3.1.2) คำนวณค่า Surface Albedo (α_{short}) ตามสมการ

$$\alpha_{short} = 0.160\alpha_1 + 0.291\alpha_2$$



รูปที่ 5.6 Surface Albedo วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2552

(3.2) การคำนวณค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ดังนี้

(3.2.1) คำนวณค่า Tmax โดยใช้ข้อมูล Level 2: MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 5-Min L2 Swath 1km V005 ในช่วงเวลากลางวัน

ตามสมการ

$$T_{\max} = LSTd + \frac{(LSTd - LSTn)\cos[(\omega t_{\max}) - \cos(\omega t_1)]}{\cos(\omega t_1) - \cos(\omega t_2)}$$

$$\text{เมื่อ } t_{\max} = 14.00 \text{ น.}$$

$$t_{\min} = 02.00 \text{ น.}$$

t_1 = เวลาที่ดาวเทียมเคลื่อนผ่านในเวลากลางวัน

t_2 = เวลาที่ดาวเทียมเคลื่อนผ่านในเวลากลางคืน

(3.2.2) คำนวณค่า Tmin โดยใช้ข้อมูล Level 2: MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 5-Min L2 Swath 1km V005 ในช่วงเวลากลางคืน ตามสมการ

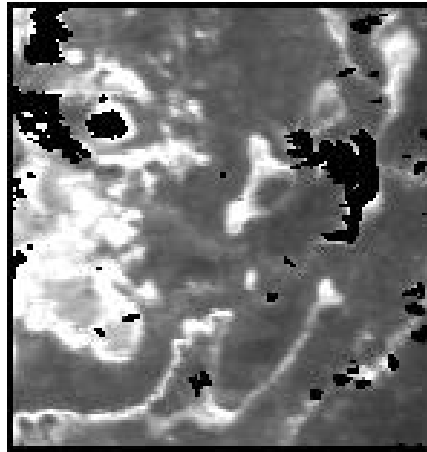
$$T_{\min} = LSTn + \frac{(LSTd - LSTn)\cos[(\omega t_{\min}) - \cos(\omega t_2)]}{\cos(\omega t_1) - \cos(\omega t_2)}$$

(3.2.3) คำนวณค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน จากสมการ

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$$

(3.3) คำนวณค่า Thermal Inertia (P) จาก α_{short} และ ΔT โดยใช้สมการ

$$P = \frac{(1-A)S_0C_t}{\Delta T\sqrt{\omega}} \left(\frac{A_1 \cos(\omega t_1 - \delta_1) - \cos(\omega t_2 - \delta_1)}{\sqrt{1 + \frac{1}{b} + \frac{1}{2b^2}}} + \frac{A_2 \cos(2\omega t_1 - \delta_2) - \cos(\omega t_2 - \delta_2)}{\sqrt{2 + \frac{\sqrt{2}}{b} + \frac{1}{2b^2}}} \right)$$



รูปที่ 5.7 Thermal Inertia วันที่ 26 มกราคม พ.ศ.2552

(4) สร้าง Look-up Table จากค่า Thermal Inertia ที่คำนวณได้ ตามสมการ

$$P = \left\{ 2.1 ds \left[1.2 - 0.02 \left(\frac{ds}{d} \right)_w \right] e \left[-0.007 \left(\frac{w ds}{d} - 20 \right)^2 \right] + ds \left[0.8 + 0.02 \left(\frac{ds}{d} \right)_w \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \times \frac{\left(\frac{0.2w}{d} \right) ds^2}{0.001 \sqrt{100}}$$

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่าง Lookup table ของค่าความชื้นดิน (w) และค่า thermal inertia (P) ที่ความหนาแน่นดิน $ds = 2.65 \text{ Mg m}^{-3}$

w	5.00	5.01	5.02	5.03	5.04	5.05	5.06	5.07	5.08
P	239.17	239.81	240.46	241.10	241.74	242.38	243.02	243.66	244.30
w	5.09	5.10	5.11	5.12	5.13	5.14	5.15	5.16	5.17
P	244.94	245.59	246.23	246.87	247.51	248.16	248.80	249.45	250.09
w	5.18	5.19	5.20	5.21	5.22	5.23	5.24	5.25	5.26
P	250.73	251.38	252.02	252.66	253.30	253.95	254.59	255.23	255.88
w	...	24.93	24.94	24.95	24.96	24.97	24.98	24.99	25.00
P	...	1303.0	1303.9	1304.8	1305.6	1306.5	1307.3	1308.2	1309.1

(5) หาค่าความชื้นในดิน (w) จากค่า P ในข้อ (3.3) โดยใช้ค่า w และ P จาก Lookup table ในข้อ (4)

วิธีที่ 7 ดรรชนีความแตกต่างพืชพรรณ (Normalized Differential Vegetation Indices, NDVI)

(1) รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในการศึกษาครั้งนี้ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลผลิตภัณฑ์จาก Terra (MODIS) ชุด MOD13Q1 ซึ่งเป็นข้อมูล NDVI ได้ทำการดาวน์โหลดข้อมูลผ่านทางเว็บไซต์ของ LP DAAC (<http://edcdaac.usgs.gov/dataproducts.asp>) เป็นข้อมูลราย 16 วัน และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตร

(2) ปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดย

(2.1) ต่อข้อมูลภาพจากดาวเทียมระบบโมดิส เนื่องจากข้อมูล NDVI จากดาวเทียมทั้งประเทศไทยจะครอบคลุมพื้นที่ 5 ระวังของดัชนีภาพของดาวเทียมระบบโมดิส จึงต้องทำการต่อภาพเข้าด้วยกันเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

(2.2) เปลี่ยน Map projection

(3) ทำแผนที่แสดงค่า NDVI ราย 16 วัน

วิธีที่ 8 ดรรชนีความชื้นในดินแบบสมดุลน้ำ (Soil Moisture Index Based on Water Balance :SMI)

- (1) รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายวัน และค่าน้ำระเหยรายวัน ในพื้นที่ศึกษา
- (2) กำหนดค่าดรรชนีความชื้นในดิน (SMI) ที่ใช้ติดตามสถานะแล้งทางการเกษตรได้

จากสมการ

$$SMI = \left[\frac{5(SM - WP)}{(FC - WP)} - 5 \right]$$

โดยที่ $SM = P - ET$

SM	คือ	ความชื้นในดิน (soil moisture)
P	คือ	ปริมาณฝนที่ตก (precipitation)
ET	คือ	การคายระเหยของน้ำ (evapotranspiration)
WP	คือ	ความชื้นในดินที่จุดแห้งเหี่ยว (Wilting Point)
FC	คือ	ความชื้นในดินที่ความจุสนาม (Field Capacity)

ค่า SMI มีค่าอยู่ระหว่าง มากกว่า - 1 ถึง น้อยกว่า - 5

6. ผลการศึกษา

6.1 การติดตั้งเครื่องมือวัดความชื้นในดิน

ในปี พ.ศ. 2552 คณะทำงานได้เดินทางไปตรวจสอบและติดตั้ง Access tube ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประกอบในการวัดความชื้นในดินด้วยเครื่องวัดความชื้นในดินตามลำดับชั้นดิน (vertical soil moisture profiles) แบบพกพา โดยสามารถวัดค่าความชื้นดินได้ 6 ระดับ ที่ระดับ 10, 20, 30, 40, 60 และ 100 เซนติเมตร รวมทั้งเก็บตัวอย่างดินบริเวณที่ติดตั้ง Access tube เพื่อนำไปหาความชื้นในดิน ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นและจังหวัดชัยภูมิ จำนวน 4 จุด พร้อมทั้งได้สำรวจจุดที่ติดตั้ง Access tube อยู่ก่อนแล้วจำนวน 1 จุด ที่จะนำข้อมูลผลการตรวจวัดมาใช้ในการศึกษานี้ คือสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรท่าพระ จังหวัดขอนแก่น

รายละเอียดของบริเวณที่ติดตั้ง Access tube จำนวน 5 จุดมีดังนี้

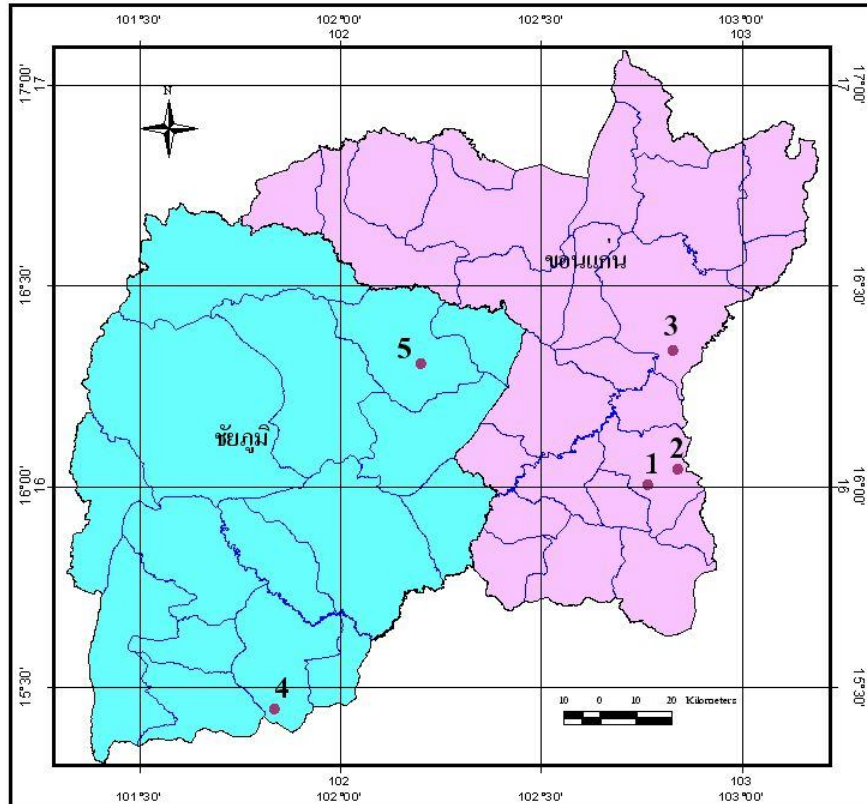
1. บริเวณนาข้าว เขตน้ำฝน บ้านหนองคุณ ต.แคนเหนือ อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น
ที่ละติจูด 16.0027° เหนือ ลองจิจูด 102.7644° ตะวันออก
2. บริเวณแปลงปลูกมันสำปะหลัง บ้านโลกก่อง ต.หินตั้ง อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น
ที่ละติจูด 16.0403° เหนือ ลองจิจูด 102.8390° ตะวันออก
3. บริเวณสนามหญ้าสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรท่าพระ อ.ท่าพระ จ.ขอนแก่น
ที่ละติจูด 16.3362° เหนือ ลองจิจูด 102.8267° ตะวันออก
4. บริเวณแปลงปลูกอ้อย บ้านบัวผักเกวียน ต.กวางโจน อ.ภูเขียว จ.ชัยภูมิ
ที่ละติจูด 16.3042° เหนือ ลองจิจูด 102.1999° ตะวันออก
5. บริเวณแปลงปลูกข้าวโพด บ้านหนองบัวโคก ต.หนองบัวโคก อ.จัตุรัส จ.ชัยภูมิ
ที่ละติจูด 15.4428° เหนือ ลองจิจูด 101.8348° ตะวันออก

สำหรับแผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube เพื่อตรวจวัดความชื้นในดินทั้ง 5 จุดในปี พ.ศ.2552 ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นและชัยภูมิ แสดงดังรูปที่ 6.1

ในปี พ.ศ.2554 คณะทำงานได้เดินทางไปตรวจสอบและติดตั้ง Access tube เพิ่มเติมในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น อุรธานี มหาสารคาม และชัยภูมิ รวมจุดที่ติดตั้งในปี พ.ศ.2552 จำนวนทั้งสิ้น 23 จุด

รายละเอียดของบริเวณที่ติดตั้ง Access tube จำนวน 23 จุด ในปี 2554 มีดังนี้

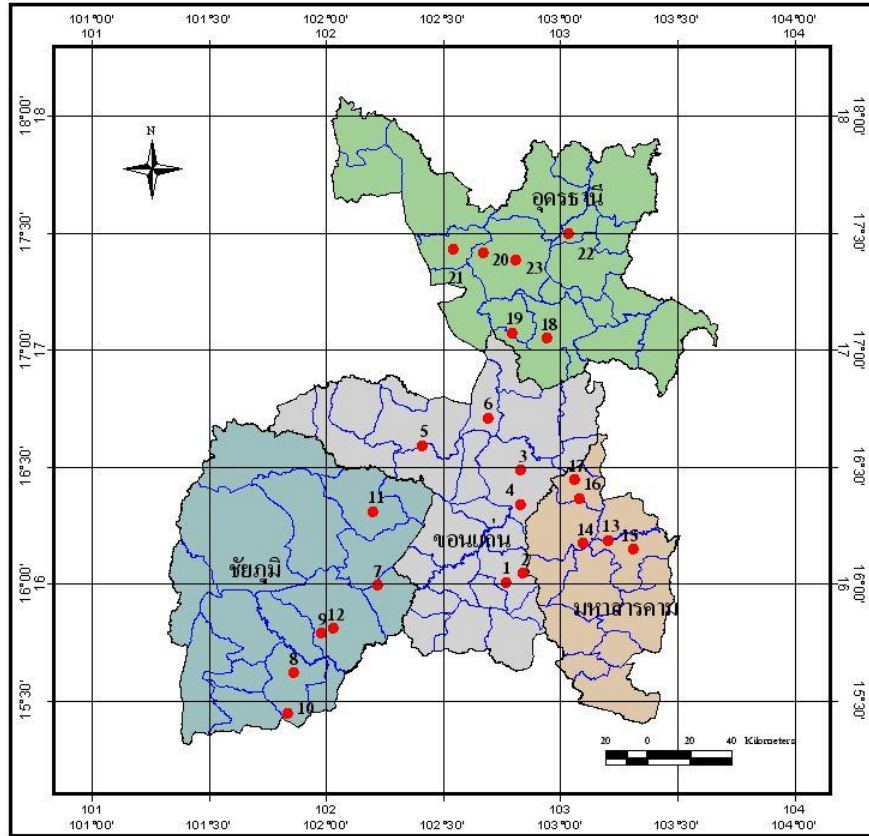
1. บริเวณนาข้าว เขตน้ำฝน บ้านหนองคุณ ต.แคนเหนือ อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น
ที่ละติจูด 16.0027° เหนือ ลองจิจูด 102.7644° ตะวันออก
2. บริเวณแปลงปลูกมันสำปะหลัง บ้านโลกก่อง ต.หินตั้ง อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น
ที่ละติจูด 16.0403° เหนือ ลองจิจูด 102.8390° ตะวันออก



รูปที่ 6.1 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube ปี พ.ศ. 2552

3. บริเวณแปลงปลูกอ้อย ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ต.ศิลา อ.เมือง จ.ขอนแก่น
ที่ละติจูด 16.4830° เหนือ ลองจิจูด 102.8281° ตะวันออก
4. บริเวณสนามหญ้าสถานีอุดุนิยมวิทยาเกษตรท่าพระ อ.ท่าพระ จ. ขอนแก่น
ที่ละติจูด 16.3362° เหนือ ลองจิจูด 102.8267° ตะวันออก
5. บริเวณแปลงปลูกอ้อย หมู่บ้านถ้ำแซ่ ต.ภูเวียง อ.ภูเวียง จ. ขอนแก่น
ที่ละติจูด 16.5872° เหนือ ลองจิจูด 102.4095° ตะวันออก
6. บริเวณแปลงปลูกอ้อย 75 หมู่ 6 บ้านห้วยยาง ต.ทุ่งโป่ง อ.เขื่อนอุบลรัตน์ จ. ขอนแก่น
ที่ละติจูด 16.7049° เหนือ ลองจิจูด 102.6875° ตะวันออก
7. บริเวณแปลงปลูกอ้อย หมู่ 8 ดงเย็น ต.บ้านไร่ อ.คอนสวรรค์ จ.ชัยภูมิ
ที่ละติจูด 15.9895° เหนือ ลองจิจูด 102.2170° ตะวันออก
8. บริเวณแปลงปลูกมันสำปะหลัง หมู่ 13 บ้านมะเกลือ ต.บ้านกอก อ.จัตุรัส จ.ชัยภูมิ
ที่ละติจูด 15.6148° เหนือ ลองจิจูด 101.8577° ตะวันออก
9. บริเวณแปลงปลูกมันสำปะหลัง หมู่ 17 บ้านหนองบัวขาว ต.ชีลอง อ.เมือง จ.ชัยภูมิ
ที่ละติจูด 15.7854° เหนือ ลองจิจูด 101.9793° ตะวันออก

10. บริเวณแปลงปลูกข้าวโพด บ้านหนองบัวโคก ต.หนองบัวโคก อ.จตุรัส จ.ชัยภูมิ
ที่ละติจูด 15.4428° เหนือ ลองจิจูด 101.8348° ตะวันออก
 11. บริเวณแปลงปลูกอ้อย บ้านบัวฝักเกวียน ต.กวางโจน อ.ภูเขียว จ.ชัยภูมิ
ที่ละติจูด 16.3042° เหนือ ลองจิจูด 102.1999° ตะวันออก
 12. บริเวณสนามหญ้าสถานีอุดุนิยมวิทยาชัยภูมิ อ.เมือง จ.ชัยภูมิ
ที่ละติจูด 15.8059° เหนือ ลองจิจูด 102.0278° ตะวันออก
 13. บริเวณแปลงปลูกอ้อย ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมหาสารคาม ต.ท่าสองคอน อ.เมือง
จ.มหาสารคาม ที่ละติจูด 16.1825° เหนือ ลองจิจูด 103.2031° ตะวันออก
 14. บริเวณแปลงปลูกอ้อย บ้านหนองกุงน้อย ต.แก้งแก อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม
ที่ละติจูด 16.1692° เหนือ ลองจิจูด 103.0942° ตะวันออก
 15. บริเวณแปลงปลูกหญ้า ศูนย์วิจัยทดสอบพันธุ์สัตว์มหาสารคาม ต.เวียงนาง อ.เมือง
จ.มหาสารคาม ที่ละติจูด 16.1433° เหนือ ลองจิจูด 103.3094° ตะวันออก
 16. บริเวณไร่นาสวนผสม บ้านเขื่อน หมู่ที่ 1 ต.เขื่อน อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม
ที่ละติจูด 16.3620° เหนือ ลองจิจูด 103.0811° ตะวันออก
 17. บริเวณแปลงปลูกหญ้า สถานีพัฒนาอาหารสัตว์มหาสารคาม อ.เขียงยืน จ.มหาสารคาม
ที่ละติจูด 16.4394° เหนือ ลองจิจูด 103.0602° ตะวันออก
 18. บริเวณแปลงปลูกอ้อย ตำบลห้วยเกิ้ง อ.กุมภวาปี จ.อุดรธานี
ที่ละติจูด 17.0443° เหนือ ลองจิจูด 102.9409° ตะวันออก
 19. บริเวณแปลงปลูกอ้อย บ้านนาเหล่า หมู่ 11 ต.หนองกุงสี อ.โนนสะอาด จ.อุดรธานี
ที่ละติจูด 17.0691° เหนือ ลองจิจูด 102.7897° ตะวันออก
 20. บริเวณแปลงปลูกอ้อย บ้านหนองโอน ต.เขียงพิณ อ.เมือง จ.อุดรธานี
ที่ละติจูด 17.4114° เหนือ ลองจิจูด 102.6673° ตะวันออก
 21. บริเวณแปลงปลูกหญ้า สถานีพัฒนาอาหารสัตว์ อ.กุดจับ จ.อุดรธานี
ที่ละติจูด 17.4267° เหนือ ลองจิจูด 102.5431° ตะวันออก
 22. บริเวณแปลงปลูกมันสำปะหลัง บ้านคอนกลอย หมู่ 7 ต.คอนกลอย อ.พิบูลย์รักษ์ จ.อุดรธานี
ที่ละติจูด 17.4894° เหนือ ลองจิจูด 103.0316° ตะวันออก
 23. บริเวณสนามหญ้าสถานีอุดุนิยมวิทยาเกษตรอุดรธานี อ.เมือง จ.อุดรธานี
ที่ละติจูด 17.3771° เหนือ ลองจิจูด 102.8093° ตะวันออก
- สำหรับแผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube เพื่อตรวจวัดความชื้นในดินทั้ง 23 จุด
ข้างต้น ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น ชัยภูมิ มหาสารคาม และอุดรธานี แสดงผังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube ปี พ.ศ. 2554

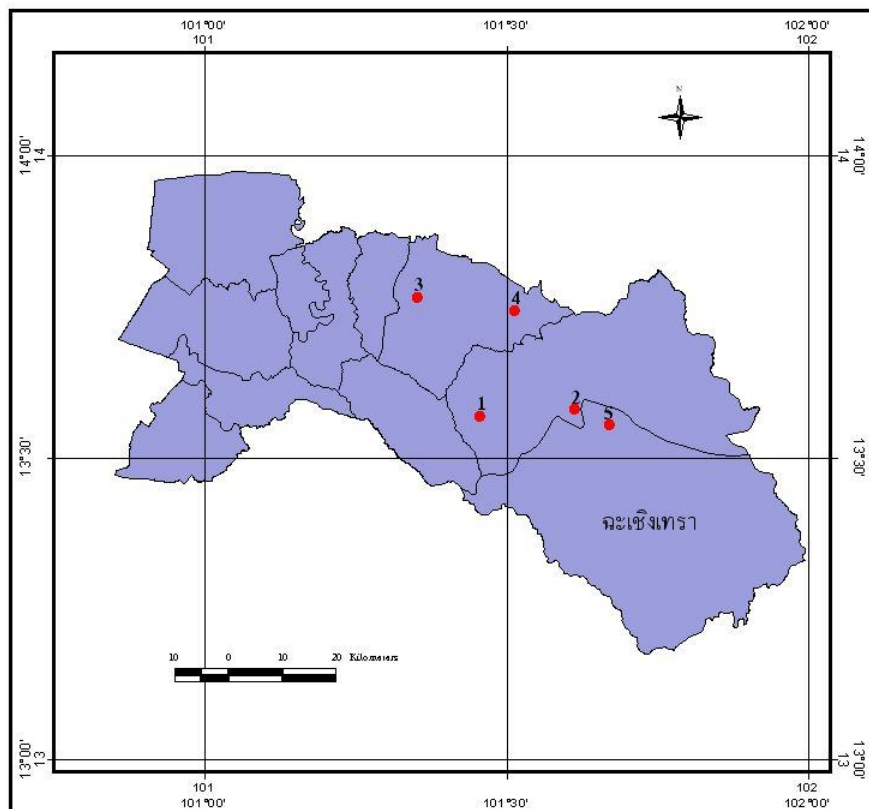
ในปี พ.ศ. 2555 คณะทำงานได้เดินทางสำรวจและติดตั้ง Access tube เพิ่มเติมในพื้นที่ จังหวัดฉะเชิงเทรา ลพบุรี สุโขทัย เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 22 จุด รายละเอียดของบริเวณที่ติดตั้ง Access tube จำนวน 22 จุด ในปี พ.ศ. 2555 ดังนี้

1. บริเวณสนามอศุณิยมหาวิทยาลัย ต.ลาดกระทิง อ.สนามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา
ที่ละติจูด 13.5676° เหนือ ลองจิจูด 101.4545° ตะวันออก
2. บริเวณแปลงปลูกมันสำปะหลัง หมู่ 14 ต.ท่ากระดาน อ.สนามชัยเขต จ. ฉะเชิงเทรา
ที่ละติจูด 13.5782° เหนือ ลองจิจูด 101.6120° ตะวันออก
3. บริเวณแปลงปลูกข้าว หมู่ 6 ต.หนองยาว อ.พนมสารคาม
ที่ละติจูด 13.7631° เหนือ ลองจิจูด 101.3517° ตะวันออก
4. บริเวณแปลงปลูกมันสำปะหลังในโครงการส่วนพระองค์ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน ต.เขาหินซ้อน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา
ที่ละติจูด 13.7417° เหนือ ลองจิจูด 101.5130° ตะวันออก
5. บริเวณแปลงปลูกมันสำปะหลัง หมู่ที่ 5 ต.ท่าตะเกียบ อ.ท่าตะเกียบ จ.ฉะเชิงเทรา
ที่ละติจูด 13.5522° เหนือ ลองจิจูด 101.6698° ตะวันออก

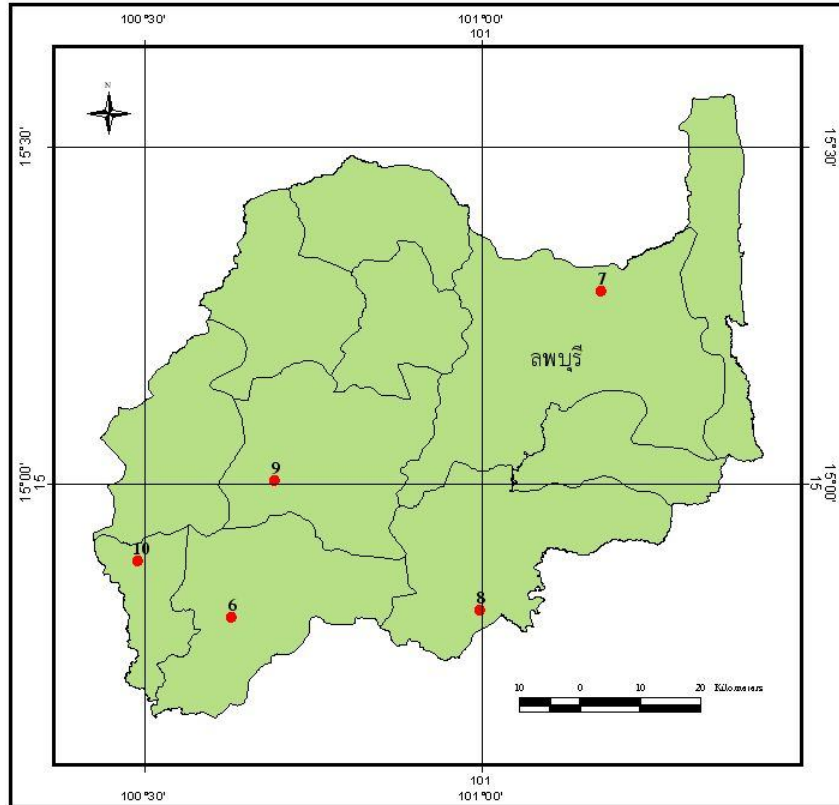
6. บริเวณสนามตรวจอากาศสถานีอุดรนิมวิทยาลัยพนบุรี อ.เมือง จ.ลพบุรี
ที่ละติจูด 14.7999° เหนือ ลองจิจูด 100.7332° ตะวันออก
7. บริเวณแปลงปลูกมันสำปะหลัง ต.นิคมลำนารายณ์ อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี
ที่ละติจูด 15.2848° เหนือ ลองจิจูด 100.1759° ตะวันออก
8. บริเวณแปลงปลูกข้าวโพด หมู่ 3 ต.ชอนน้อย อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี
ที่ละติจูด 14.8108° เหนือ ลองจิจูด 100.9959° ตะวันออก
9. บริเวณแปลงปลูกอ้อย ต.วังขอนขว้าง อ.โคกสำโรง จ.ลพบุรี
ที่ละติจูด 15.0035° เหนือ ลองจิจูด 100.6928° ตะวันออก
10. บริเวณแปลงนาข้าว หมู่ที่ 5 บ้านโคกสลุด ต.โคกสลุด อ.ท่าเรือ จ.ลพบุรี
ที่ละติจูด 14.8844° เหนือ ลองจิจูด 100.4899° ตะวันออก
11. บริเวณแปลงปลูกอ้อยบ้านโรงเจ๊ก หมู่ที่ 5 ต.สามเรือน อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย
ที่ละติจูด 17.1797° เหนือ ลองจิจูด 99.9053° ตะวันออก
12. บริเวณแปลงปลูกอ้อยบ้านคลองต่าง หมู่ที่ 1 ต.น้ำชุม อ.ศรีนคร จ.สุโขทัย
ที่ละติจูด 17.4175° เหนือ ลองจิจูด 99.4226° ตะวันออก
13. บริเวณแปลงปลูกหญ้าอาหารสัตว์ สถานีพัฒนาอาหารสัตว์สุโขทัย หมู่ที่ 5 ต.ศรีคีรีมาศ
อ.คีรีมาศ จ.สุโขทัย ที่ละติจูด 16.7789° เหนือ ลองจิจูด 99.7361° ตะวันออก
14. บริเวณแปลงปลูกข้าวบ้านนา หมู่ที่ 2 ต.เมืองเก่า อ.เมือง จ.สุโขทัย
ที่ละติจูด 17.0391° เหนือ ลองจิจูด 99.3910° ตะวันออก
15. บริเวณแปลงหญ้าสนามอุดรนิมวิทยาลัยพนบุรี หมู่ที่ 4 ต.คลองกระจง อ.สวรรคโลก
จ.สุโขทัย ที่ละติจูด 17.2384° เหนือ ลองจิจูด 99.8197° ตะวันออก
16. บริเวณแปลงหญ้าสนามอุดรนิมวิทยาลัยสุโขทัย หมู่ที่ 3 ต.ทับผึ้ง อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย
ที่ละติจูด 17.1072° เหนือ ลองจิจูด 99.8004° ตะวันออก
17. บริเวณแปลงไร่สับประรด หมู่ 6 ต.ไร่ใหม่พัฒนา อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี
ที่ละติจูด 12.6390° เหนือ ลองจิจูด 99.7137° ตะวันออก
18. บริเวณแปลงไร่สับประรด บ้านหนองคู ต.หนองพลับ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์
ที่ละติจูด 12.6173° เหนือ ลองจิจูด 99.6648° ตะวันออก
19. บริเวณแปลงไร่สับประรด บ้านคอกช้างพัฒนา ต.หนองพลับ อ. หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์
ที่ละติจูด 12.5258° เหนือ ลองจิจูด 99.7211° ตะวันออก
20. บริเวณแปลงหญ้าสนามอุดรนิมวิทยาลัยหนองพลับ อ. หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์
ที่ละติจูด 12.5892° เหนือ ลองจิจูด 99.7348° ตะวันออก
21. บริเวณแปลงไร่สับประรด บ้านเขาเต่า ต.หนองแก อ.หัวหิน จ. ประจวบคีรีขันธ์

ที่ละติจูด 12.4527° เหนือ ลองจิจูด 99.9597° ตะวันออก
 22.บริเวณแปลงไร่สัปประรด ต.ทับใต้ อ.หัวหิน จ. ประจวบคีรีขันธ์
 ที่ละติจูด 12.5267° เหนือ ลองจิจูด 99.9251° ตะวันออก

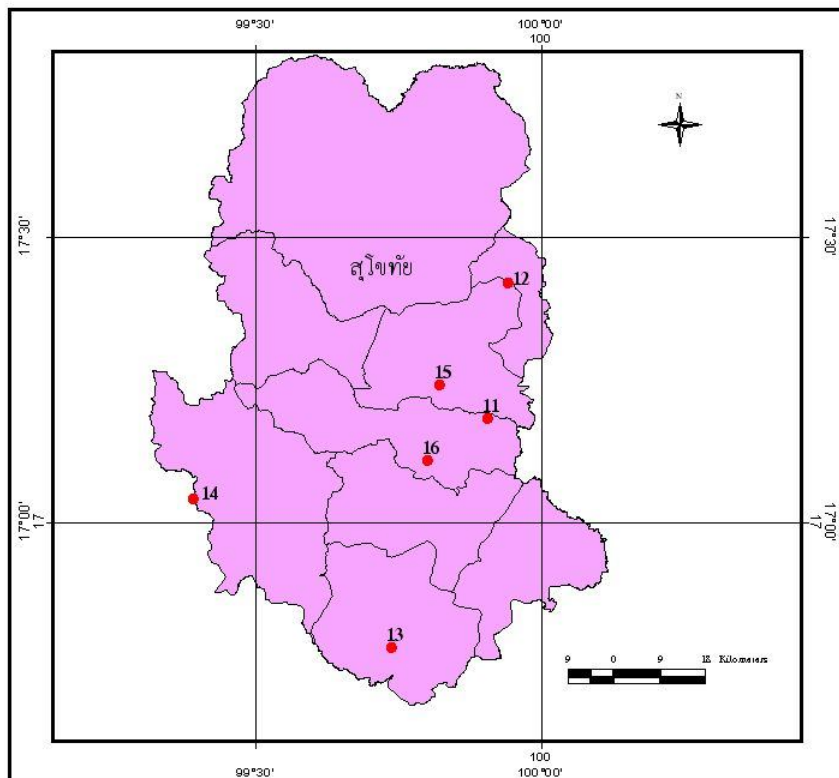
สำหรับแผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube เพื่อตรวจวัดความชื้นในดินทั้ง 22 จุดในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ลพบุรี สุโขทัย เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ แสดงดังรูปที่ 6.3 – 6.6 เมื่อรวมกับจุดตรวจวัดความชื้นในดินที่มีอยู่เดิม 23 จุด จึงมีจำนวนจุดตรวจวัดทั้งสิ้น 45 จุด ดังรูปที่ 6.7



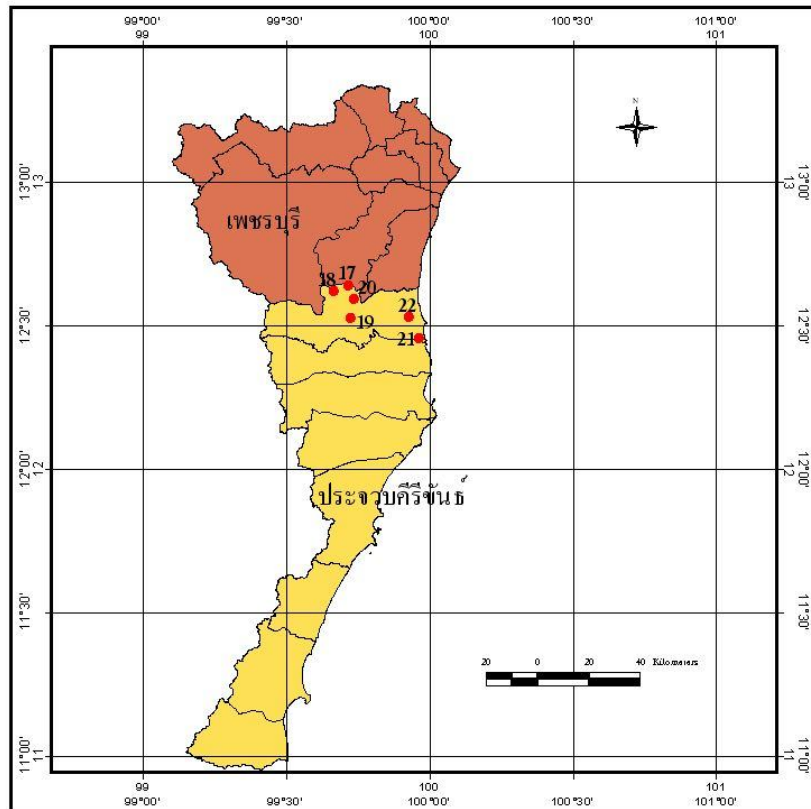
รูปที่ 6.3 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube บริเวณจังหวัดฉะเชิงเทรา



รูปที่ 6.4 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube บริเวณจังหวัดลพบุรี



รูปที่ 6.5 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube บริเวณจังหวัดสุโขทัย

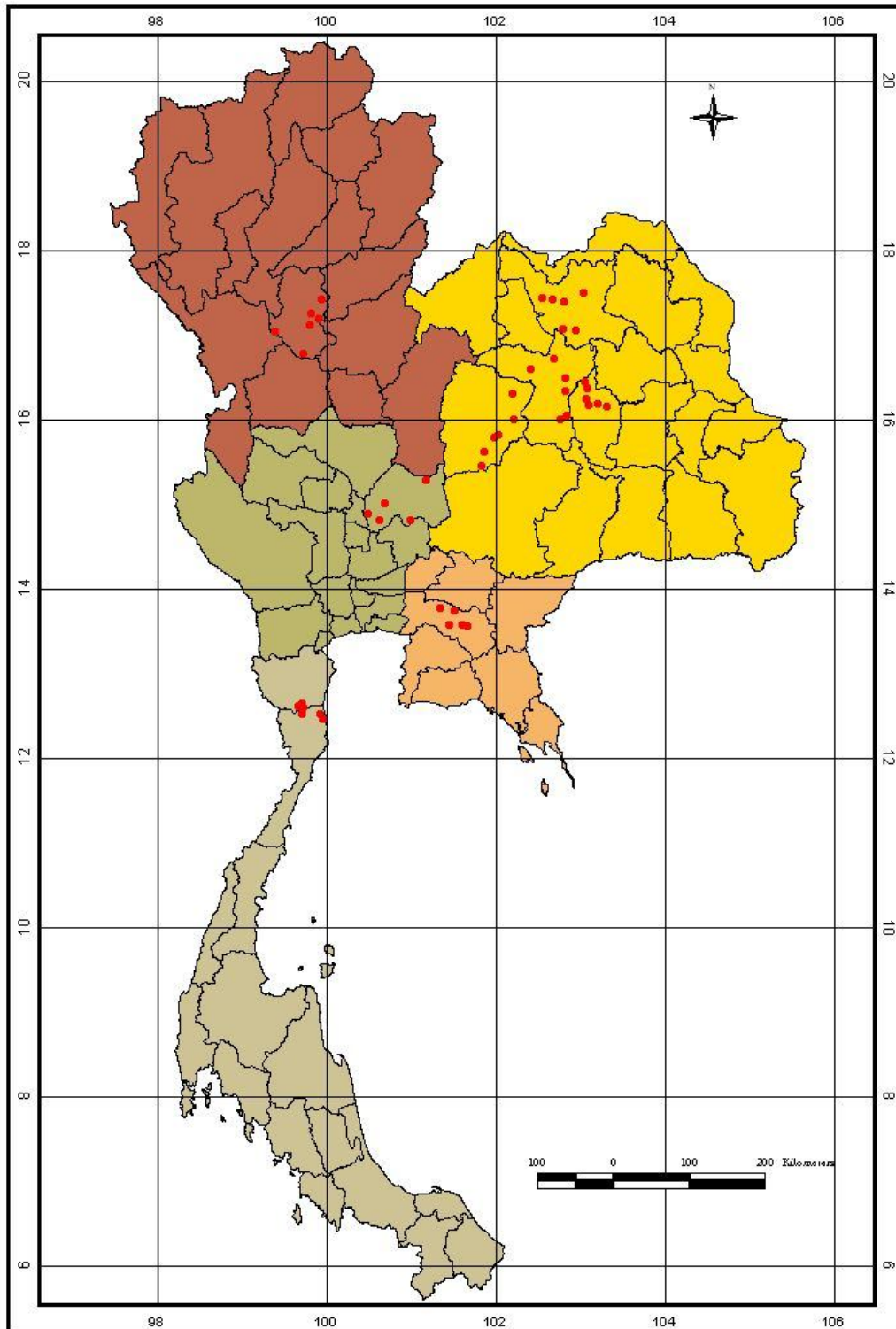


รูปที่ 6.6 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube บริเวณจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์

6.2 การตรวจวัดความชื้นในดิน

คณะทำงานได้ทำการตรวจวัดความชื้นในดินที่ระดับความลึกต่างๆ จำนวน 6 ระดับ ได้แก่ 10, 20, 30, 40, 60 และ 100 เซนติเมตร โดย Profile probe PR2/6 ซึ่งผลิตโดยบริษัท Delta-T Devices Ltd. ประเทศอังกฤษ ซึ่งทำการตรวจวัดความชื้นในดินในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นและชัยภูมิ จำนวน 5 จุด ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2553 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2555 โดยตรวจวัดเดือนละ 1-2 ครั้ง เมื่อสภาพแวดล้อมเอื้ออำนวย เช่น ในวันที่ไม่มีฝนตก หรือไม่มีน้ำท่วมขังในแปลงปลูก

สำหรับจุดที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์เพื่อตรวจวัดความชื้นในดินปี พ.ศ. 2554 ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น ชัยภูมิ มหาสารคาม และอุดรธานีได้เริ่มตรวจวัดความชื้นในดินตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน 2554 และต่อจากนั้นได้หยุดทำการตรวจวัดความชื้นในดินในแปลงศึกษาเนื่องจากประสบปัญหาเกี่ยวกับงบประมาณที่ใช้ออกเดินทางไปตรวจวัดความชื้นในดินเนื่องจากนโยบายรัฐบาล และเมื่อได้รับงบประมาณจึงได้เริ่มทำการตรวจวัดอีกเมื่อเดือนพฤศจิกายน 2554 เป็นต้นมาจนถึงกันยายน ปี พ.ศ.2555



รูปที่ 6.7 แผนที่แสดงบริเวณที่ติดตั้ง Access tube ปี พ.ศ. 2552-2555 (จำนวน 45 จุด)

สำหรับจุดที่ได้ติดตั้งในปี พ.ศ. 2555 ในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ลพบุรี สุโขทัย เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 22 จุด ได้มีการตรวจวัดความชื้นในดินหลังจากได้ติดตั้งอุปกรณ์เพื่อ

ตรวจวัดความชื้นในดินเรียบร้อยแล้ว โดยเริ่มตรวจวัดเดือนมิถุนายนในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา เดือนกรกฎาคมในพื้นที่จังหวัดลพบุรีและสุโขทัย และเดือนสิงหาคมในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ตามลำดับ

6.3 การคำนวณหาความสัมพันธ์ของดัชนีความแห้งแล้ง

ในการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งแต่ละชนิด ได้แก่ AI, EDI, GMI, MAI, SPI, SMest, NDVI และ SMI กับความชื้นในดินนั้น ค่าดัชนีต่างๆ ได้มาจากการคำนวณตามวิธีการที่แตกต่างกันทั้ง 8 วิธี โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดสารประกอบอตุณิยวิทยา และภาพถ่ายจากดาวเทียม สำหรับข้อมูลความชื้นในดินได้จากการตรวจวัดภาคสนามบริเวณพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าว อ้อย และหญ้า รวมทั้งบริเวณสถานีอตุณิยวิทยา ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2553 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2555

การศึกษานี้ได้ทำการหาความสัมพันธ์โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson coefficient of correlation) ซึ่งมีสัญลักษณ์คือ r และค่า r นี้จะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ค่าที่อยู่ตรงกลาง คือ 0 หมายความว่าไม่มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงเลย ส่วนเครื่องหมายบวกหรือลบจะบอกให้ทราบว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทิศทางใด ถ้าเป็นเครื่องหมายลบจะบอกให้ทราบว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม แต่ถ้าเป็นเครื่องหมายบวกจะบอกให้ทราบว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน

โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน จากเกณฑ์ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ระดับความสัมพันธ์
.80 ขึ้นไป	สูงหรือสูงมาก
.60-.79	ค่อนข้างสูง
.40-.59	ปานกลาง
.20-.39	ค่อนข้างต่ำ
ต่ำกว่า.20	ต่ำ

และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) จากสูตร

$$r_{xy} = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

เมื่อ X คือ ค่าดัชนีความแห้งแล้ง

Y คือ ค่าความชื้นในดิน

N คือ จำนวนข้อมูล

เนื่องจากการติดตั้งและเริ่มตรวจวัดของแต่ละสถานีไม่พร้อมกัน ในการหาสัมพัทธ์ระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งชนิดต่างๆ กับความชื้นในดินจึงทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในแต่ละจุด และจำแนกตามชนิดของพืชที่ปลูกเฉพาะจุดที่มีข้อมูลการตรวจวัดความชื้นในดินตั้งแต่ 20 ครั้งขึ้นไป และใช้ข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2553-2555

6.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนีความแห้งแล้ง

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งต่างๆ กับความชื้นในดินในแต่ละจุด โดยวิเคราะห์แยกตามชนิดของพืชที่ปลูก ดังนี้

6.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดินบริเวณพื้นที่ปลูกอ้อย

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์บริเวณพื้นที่เพาะปลูกอ้อยจำนวน 4 จุด บริเวณจังหวัดชัยภูมิ และอุดรธานี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 6.1 โดยพบว่า

- ที่ระดับความลึกของดิน 10 ซม.

ดัชนี EDI และ MAI มีความสัมพันธ์ 2 จุดและ 4 จุดตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง ถึงค่อนข้างสูง สำหรับดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์ 2 จุดอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนดัชนี SMI มีความสัมพันธ์ 4 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 20 ซม.

ดัชนี EDI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับปานกลาง สำหรับดัชนี MAI และ NDVI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ส่วนดัชนี SMI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 30 ซม.

ดัชนี EDI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ดัชนี MAI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง สำหรับดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนดัชนี SMI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 40 ซม.

ดัชนี EDI มีความสัมพันธ์ 4 จุดอยู่ในระดับปานกลาง ดัชนี MAI มีความสัมพันธ์ 4 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง สำหรับดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์ 4 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ส่วนดัชนี SMI มีความสัมพันธ์ 4 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูง

ตารางที่ 6.1 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณ
พื้นที่ปลูกอ้อย ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้

บริเวณ	ระดับความลึก จากพื้นดิน (ซม.)	ดัชนี							
		EDI		MAI		NDVI		SMI	
		r	N	r	N	r	N	r	N
1. บ้านบัวพักเกวียน ต.ท่างโจน อ.ภูเขียว จ.ชัยภูมิ	10			0.431	37			0.598	37
	20	0.405	36	0.461	36	0.414	33	0.477	36
	30	0.361	37	0.37	37	0.498	34	0.397	37
	40	0.452	37	0.365	37	0.495	34	0.37	37
	60			0.331	37	0.354	34	0.529	37
	100					0.462	34	0.488	37
2. ต.ห้วยเกิ้ง อ.ภูทอก จ.อุดรธานี	10	0.444	22	0.564	22	0.449	20	0.571	22
	20	0.45	22	0.614	22	0.542	20	0.79	22
	30	0.478	22	0.633	22	0.543	20	0.828	22
	40	0.424	22	0.672	22	0.659	20	0.879	22
	60			0.635	22	0.583	20	0.743	22
	100					0.486	20	0.688	22
3. บ้านนาเหล่า หมู่ 11 ต.หนองกุงศรี อ.โนนสะอาด จ.อุดรธานี	10	0.688	24	0.775	24	0.425	22	0.821	24
	20	0.586	24	0.684	24	0.608	22	0.863	24
	30	0.574	24	0.612	24	0.569	22	0.824	24
	40	0.564	24	0.582	24	0.57	22	0.843	24
	60	0.554	24	0.559	24	0.612	22	0.842	24
	100	0.491	24	0.444	24	0.709	22	0.77	24
4. บ้านหนองโอน ต.เซียงพิณ อ.เมือง จ.อุดรธานี	10			0.537	23			0.467	23
	20								
	30								
	40	0.497	23	0.674	23	0.587	20	0.798	23
	60	0.419	23	0.555	23	0.507	20	0.628	23
	100			0.636	23			0.738	23

- ที่ระดับความลึกของดิน 60 ซม.

ดรชนี EDI มีความสัมพันธ์ 2 จุดอยู่ในระดับปานกลาง สำหรับดรชนี MAI และ NDVI มีความสัมพันธ์ 4 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง ส่วนดรชนี SMI มีความสัมพันธ์ 4 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 100 ซม.

ดรชนี EDI มีความสัมพันธ์ 1 จุดอยู่ในระดับปานกลาง สำหรับดรชนี MAI, NDVI และ SMI มีความสัมพันธ์ 2, 3 และ 4 จุดตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง

6.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดรชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดินบริเวณพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์บริเวณพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังจำนวน 2 จุด บริเวณจังหวัดขอนแก่นและอุดรธานี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 6.2 โดยพบว่า

- ที่ระดับความลึกของดิน 10, 20, 30 และ 40 ซม.

ดรชนี MAI และ NDVI มีความสัมพันธ์ 2 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างสูง ส่วนดรชนี SMI มีความสัมพันธ์ 2 จุดอยู่ในระดับสูง

ตารางที่ 6.2 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดรชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้

บริเวณ	ระดับความลึก จากพื้นดิน (ซม.)	ดรชนี							
		MAI		SPI		NDVI		SMI	
		r	N	r	N	r	N	r	N
1. บ้านโคกค่อง ต.หินตั้ง อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น	10	0.667	25			0.608	24	0.828	25
	20	0.709	24			0.631	23	0.937	24
	30	0.647	25			0.613	24	0.946	25
	40	0.655	25			0.62	24	0.948	25
	60	0.604	25			0.609	24	0.863	25
	100			0.463	25				
2. บ้านดอนกลอย หมู่ 7 ต.ดอนกลอย อ.พิบูลย์รัตน์ จ.อุดรธานี	10	0.75	24			0.617	22	0.859	23
	20	0.672	24			0.718	22	0.931	23
	30	0.649	24			0.729	22	0.945	23
	40	0.743	24			0.72	22	0.958	23
	60	0.839	24			0.568	22	0.728	23
	100	0.671	24			0.501	22	0.886	23

- ที่ระดับความลึกของดิน 60 ซม.

ดรชนี MAI และ SMI มีความสัมพันธ์ 2 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงสูง ส่วนดรชนี NDVI มีความสัมพันธ์ 2 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 100 ซม.

ดรชนี MAI มีความสัมพันธ์ 1 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างสูง สำหรับดรชนี SPI และ NDVI มีความสัมพันธ์ 1 จุดอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนดรชนี SMI มีความสัมพันธ์ 1 จุดอยู่ในระดับสูง

6.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างดรชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดินบริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพด

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์บริเวณพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดจำนวน 1 จุด บริเวณจังหวัดขอนแก่น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 6.3 โดยพบว่า

- ที่ระดับความลึกของดิน 10 ซม.

ดรชนี EDI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ส่วนดรชนี SMI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง

- ที่ระดับความลึกของดิน 20 ซม.

ดรชนี SMI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง

- ที่ระดับความลึกของดิน 30 และ 40 ซม.

ดรชนี EDI, MAI และ SMI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง ส่วนดรชนี SMest มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง

ตารางที่ 6.3 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดรชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพด ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้

บริเวณ	ระดับความลึก จากพื้นดิน (ซม.)	ดรชนี									
		EDI		MAI		SMest		NDVI		SMI	
		r	N	r	N	r	N	r	N	r	N
บ้านหนองบัวโคก	10	0.389	27							0.4	27
ต.หนองบัวโคก	20									0.413	28
อ.จตุรัส จ.ขอนแก่น	30	0.439	29	0.422	29	0.816	6			0.524	29
	40	0.407	34	0.413	34	0.833	6			0.488	34
	60	0.33	36							0.457	36
	100			0.351	36			0.49	33	0.495	36

- ที่ระดับความลึกของดิน 60 ซม.

ดรรรชนี EDI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ส่วนดรรรชนี SMI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง

- ที่ระดับความลึกของดิน 100 ซม.

ดรรรชนี MAI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ส่วนดรรรชนี NDVI และ SMI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง

6.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างดรรรชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดินบริเวณพื้นที่นาข้าว

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์บริเวณพื้นที่นาข้าวจำนวน 1 จุด บริเวณจังหวัดขอนแก่น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 6.4 โดยพบว่า

- ที่ระดับความลึกของดิน 10 ซม.

ดรรรชนี MAI, NDVI และ SMI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 20 และ 30 ซม.

ดรรรชนี MAI, NDVI และ SMI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 40 ซม.

ดรรรชนี MAI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง ส่วนดรรรชนี NDVI และ SMI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 100 ซม.

ดรรรชนี AI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างสูง

ตารางที่ 6.4 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดรรรชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่นาข้าว ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้

บริเวณ	ระดับความลึก จากพื้นดิน (ซม.)	ดรรรชนี							
		AI		MAI		NDVI		SMI	
		r	N	r	N	r	N	r	N
บ้านหนองคู ต.แคนเหนือ อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น	10			0.854	20	0.858	18	0.829	20
	20			0.751	19	0.794	17	0.788	19
	30			0.641	20	0.716	18	0.747	20
	40			0.565	20	0.737	18	0.652	20
	60								
	100	0.622	20						

6.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดินบริเวณพื้นที่ปลูกหญ้า

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์บริเวณพื้นที่ปลูกหญ้าจำนวน 1 จุด บริเวณจังหวัดอุดรธานี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 6.5 โดยพบว่า

- ที่ระดับความลึกของดิน 10 และ 20 ซม.

ดัชนี EDI และ MAI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง ส่วนดัชนี SMI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 40 ซม.

ดัชนี SMI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง

- ที่ระดับความลึกของดิน 60 และ 100 ซม.

ดัชนี EDI, MAI และ NDVI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง ส่วนดัชนี SMI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างสูง

ตารางที่ 6.5 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่ปลูกหญ้า ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้

บริเวณ	ระดับความลึก จากพื้นดิน (ซม.)	ดัชนี							
		EDI		MAI		NDVI		SMI	
		r	N	r	N	r	N	r	N
สถานีพัฒนาอาหาร สัตว์ อ.กุดจับ จ.อุดรธานี	10	0.506	24	0.409	24			0.595	24
	20	0.505	24	0.481	24			0.613	24
	30								
	40							0.471	24
	60	0.474	24	0.476	24	0.449	22	0.705	24
	100	0.504	24	0.407	24	0.448	22	0.666	24

6.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดินบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยา

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์บริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 3 สถานี ในจังหวัดขอนแก่น ชัยภูมิ และอุดรธานี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 6.6 โดยพบว่า

- ที่ระดับความลึกของดิน 10 ซม.

ดัชนี EDI มีความสัมพันธ์ 1 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ดัชนี GMI และ NDVI มีความสัมพันธ์ 2 และ 3 จุดตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง สำหรับดัชนี MAI มีความสัมพันธ์ 2 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ส่วนดัชนี SMI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง

ตารางที่ 6.6 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณ
สถานีอุตุนิยมวิทยา ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้

บริเวณ	ระดับ ความลึก จากพื้นดิน (ซม.)	พรรณนี้											
		EDI		GMI		MAI		SPI		NDVI		SMI	
		r	N	r	N	r	N	r	N	r	N	r	N
สถานีอุตุนิยม วิทยาเกษตร ท่าพระ อ.ท่าพระ จ. ขอนแก่น	10			0.588	13					0.439	27	0.6	28
	20					0.441	28			0.557	27	0.817	28
	30									0.46	27	0.655	28
	40									0.53	27	0.674	28
	60									0.654	27	0.849	28
	100											0.561	28
สถานีอุตุนิยม วิทยาชัยภูมิ อ.เมือง จ.ชัยภูมิ	10	0.361	40	0.548	24	0.378	40			0.516	37	0.572	40
	20	0.331	40	0.519	24					0.718	37	0.465	40
	30			0.692	24	0.36	40			0.704	37	0.711	40
	40			0.707	24	0.45	40			0.583	37	0.782	40
	60											0.543	40
	100												
สถานีอุตุนิยม วิทยาเกษตร อุครธานี อ.เมือง จ.อุครธานี	10					0.581	46			0.451	41	0.739	46
	20					0.438	46			0.63	41	0.674	46
	30									0.51	41	0.438	46
	40					0.417	46			0.523	41	0.679	46
	60			0.382	32					0.401	41	0.607	46
	100							0.295	46	0.337	41	0.665	46

- ที่ระดับความลึกของดิน 20 ซม.

พรรณนี้ EDI มีความสัมพันธ์ 1 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ พรรณนี้ GMI และ MAI มีความสัมพันธ์ 1 และ 2 จุดตามลำดับซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง สำหรับพรรณนี้ NDVI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ส่วนพรรณนี้ SMI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 30 ซม.

พรรณไม้ GMI มีความสัมพันธ์ 1 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างสูง พรรณไม้ MAI มีความสัมพันธ์ 1 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ส่วนพรรณไม้ NDVI และ SMI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 40 ซม.

พรรณไม้ GMI มีความสัมพันธ์ 1 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างสูง สำหรับพรรณไม้ MAI และ NDVI มีความสัมพันธ์ 2 และ 3 จุดตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนพรรณไม้ SMI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 60 ซม.

พรรณไม้ GMI มีความสัมพันธ์ 1 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ สำหรับพรรณไม้ NDVI มีความสัมพันธ์ 2 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ส่วนพรรณไม้ SMI มีความสัมพันธ์ 3 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง

- ที่ระดับความลึกของดิน 100 ซม.

พรรณไม้ SPI และ NDVI มีความสัมพันธ์ 1 จุดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ส่วนพรรณไม้ SMI มีความสัมพันธ์ 2 จุดอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการศึกษา

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าเกือบทุกๆ ปีประชากรของประเทศส่วนใหญ่ประสบกับปัญหาปริมาณน้ำที่จะนำมาใช้สำหรับอุปโภคและบริโภคมีปริมาณไม่เพียงพอในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนประมาณกลางเดือนตุลาคมจนถึงกลางเดือนพฤษภาคมซึ่งจะมีปริมาณฝนที่ตกในแต่ละแห่งน้อยจนเกิดสภาวะแห้งแล้ง ขาดแคลนน้ำสำหรับการเพาะปลูกและการบริโภค สำหรับในช่วงฤดูฝนตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคมบางปีก็จะเกิดฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานานหลายๆ สัปดาห์ติดต่อกันทำให้พืชขาดแคลนน้ำในการเพาะปลูก จึงทำให้เกิดความเสียหายแก่พืชที่เพาะปลูก

เหตุการณ์ภัยพิบัติที่เกิดจากความแห้งแล้งเหล่านี้เกิดขึ้นจากสภาพของการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศซึ่งในแต่ละปีจะมีผลกระทบที่เกิดจากปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นในปีนั้นๆ แตกต่างกันไป เช่นปรากฏการณ์เอลนีโญ ลานีญา Indian Ocean Dipole ภูเขาไฟระเบิด อุณหภูมิโลกสูงขึ้น ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งสิ่งที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ล้วนเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยาที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่แตกต่างไปจากอดีตมาก จึงทำให้เกิดภัยแล้งขยายพื้นที่ออกไปอย่างกว้างขวาง รัฐบาลได้ตระหนักถึงปัญหาภัยแล้งที่เกิดขึ้นและได้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางช่วยเหลือเกษตรกรอย่างเร่งด่วน ดังตัวอย่าง เช่น โครงการประกันภัยแล้ง เพื่อให้มีการชดเชยค่าเสียหายให้กับเกษตรกรที่ทำประกันภัย โดยการใช้จ่ายบรรษัทเงินเป็นตัวกำหนดการชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้น การศึกษาวิจัยหาค่าบรรษัทความแห้งแล้งก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ในการตัดสินใจให้กับสังคมเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศและลดความเสี่ยงต่อความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้นำข้อมูลสารประกอบอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมาคำนวณหาค่าบรรษัทความแห้งแล้งทั้งสิ้น 8 วิธี และทำการวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปแบบของผลผลิตที่ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อประกอบการตัดสินใจในกิจการที่เกี่ยวข้องของตนเองได้ต่อไป ซึ่งได้แก่

1. บรรษัทความแห้งแล้งแสดงผลกระทบเนื่องจากฝน (EDI)
2. บรรษัทความแห้งแล้งทางด้านเกษตรกรรมตามฤดูกาลมรสุม(GMI)
3. บรรษัทความแห้งแล้งของฝนที่ต่างจากค่าปกติ (SPI)
4. บรรษัทความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (MAI)
5. บรรษัทความแห้งแล้งที่ผิดปกติทางด้านเกษตรกรรม (AI)
6. บรรษัทความแห้งแล้งที่ตรวจวัดและคำนวณได้จากดาวเทียม (SMest)
7. บรรษัทความแตกต่างพืชพรรณที่คำนวณได้จากดาวเทียม (NDVI)
8. บรรษัทความชื้นในดินแบบสมมูลน้ำ (SMI)

ผลการคำนวณหาค่าดัชนีความแห้งแล้งในหัวข้อ ทั้ง 8 วิธี ได้ถูกแปลงเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) โดยใช้เทคนิค Kriging Interpolation ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และนำเสนอในรูปแบบแผนที่เชิงตัวเลข (Digital Map)

สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนีความแห้งแล้งทั้ง 8 วิธี กับข้อมูลความชื้นในดินที่ตรวจวัดจากภาคสนามในระดับความลึกของดินที่ 10, 20, 30, 40, 60 และ 100 เซนติเมตร ในแปลงพื้นที่ปลูกอ้อย จ.ชัยภูมิ 1 จุดและ จ.อุดรธานี 3 จุด พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง จ.ขอนแก่น 1 จุด และ จ.อุดรธานี 1 จุด พื้นที่ปลูกข้าวโพด จ.ขอนแก่น 1 จุด พื้นที่นาข้าว จ.ขอนแก่น 1 จุด พื้นที่ปลูกหญ้า จ.อุดรธานี 1 จุด และสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร จ.ขอนแก่น 1 จุด จ.ชัยภูมิ 1 จุด และ จ.อุดรธานี 1 จุด ระหว่างเดือนมกราคม 2553 ถึงเดือนกรกฎาคม 2555 ซึ่งให้ผลการศึกษาที่แตกต่างกันไปที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แบบเพียร์สัน จากการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าดัชนีความแห้งแล้ง AI, EDI, GMI, MAI, SPI, SMest, NDVI และ SMI แต่ละชนิด กับความชื้นในดินระดับต่างๆ ในแปลงปลูกอ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด นาข้าว แปลงปลูกหญ้า และสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร จะมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่เพาะปลูก (ตาราง 6.1-6.6) สรุปได้ดังนี้

แปลงปลูกอ้อย

ในตารางที่ 6.1 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่ปลูกอ้อย ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้บริเวณ 1. บ้านบัวพักเกวียน ต. กวางโจน อ.ภูเขียว จ.ชัยภูมิ 2. ต.ห้วยเก็ง อ.กุมภวาปี จ.อุดรธานี 3.บ้านนาเหล่า หมู่ 11 ต.หนองกุงสี อ.โนนสะอาด จ.อุดรธานี 4. บ้านหนองโพน ต.เชียงพิณ อ.เมือง จ.อุดรธานี ที่มีค่าดัชนีที่มีความสัมพันธ์มากไปน้อยดังนี้ SMI, MAI, NDVI, EDI ตามลำดับและมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันที่ระดับความลึกจากพื้นดินในพื้นที่ศึกษาแต่ละจุดแตกต่างกันไป

แปลงปลูกมันสำปะหลัง

ในตารางที่ 6.2 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้บริเวณ 1. บ้านโคกก่อ ต. หินตั้ง อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น 2. บ้านคอนกลอย หมู่ 7 ต.คอนกลอย อ.พิบูลย์รัตน์ จ. อุดรธานี มีค่าดัชนีที่มีความสัมพันธ์มากไปน้อยดังนี้ SMI, MAI, NDVI, SPI ตามลำดับและมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันที่ระดับความลึกจากพื้นดินในพื้นที่ศึกษาแต่ละจุดแตกต่างกันไป

แปลงปลูกข้าวโพด

ในตารางที่ 6.3 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพด ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้บริเวณ บ้านบัวโคก ต.บัวโคก อ. จตุรัส จ.ขอนแก่น มีค่าดัชนีที่มีความสัมพันธ์มากไปน้อยดังนี้ SMest, SMI, NDVI, EDI, MAI ตามลำดับและมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันที่ระดับความลึกจากพื้นดินในพื้นที่ศึกษาแต่ละจุดแตกต่างกันไป

แปลงนาข้าว

ในตารางที่ 6.4 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่นาข้าว ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้บริเวณ บ้านหนองคู ต.แคนเหนือ อ. บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น มีค่าดัชนีที่มีความสัมพันธ์มากไปน้อยดังนี้ NDVI, SMI, MAI, AI ตามลำดับและมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันที่ระดับความลึกจากพื้นดินในพื้นที่ศึกษาแต่ละจุดแตกต่างกันไป

แปลงปลูกหญ้า

ในตารางที่ 6.5 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณพื้นที่นาข้าว ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้บริเวณ สถานีพัฒนาอาหารสัตว์ อ.ภูค จ.อุดรธานี มีค่าดัชนีที่มีความสัมพันธ์มากไปน้อยดังนี้ SMI, EDI, MAI, NDVI ตามลำดับและมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันที่ระดับความลึกจากพื้นดินในพื้นที่ศึกษาแต่ละจุดแตกต่างกันไป

สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร

ในตารางที่ 6.6 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ บริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ยอมรับได้บริเวณ 1.บริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรท่าพระ อ.ท่าพระ จ.ขอนแก่น 2.สถานีอุตุนิยมวิทยาชันภูมิ อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 3. สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรอุดรธานี อ.เมือง จ.อุดรธานี มีค่าดัชนีที่มีความสัมพันธ์มากไปน้อย ดังนี้ SMI, NDVI, GMI, MAI, EDI, SPI ตามลำดับและมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันที่ระดับความลึกจากพื้นดินในพื้นที่ศึกษาแต่ละจุดแตกต่างกันไป

ความสัมพันธ์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ดรรชนี SMI มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในหลายระดับความลึกของดินของแปลงปลูกอ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด นาข้าว แปลงปลูกหญ้า และบริเวณสนามของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเกือบทุกระดับที่ให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความแห้งแล้งและความชื้นในดิน ณ จุดต่างๆที่ทำการศึกษาที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ให้ค่าความสัมพันธ์ที่อยู่ในระดับปานกลางถึงระดับสูงมาก ส่วนดรรชนีชนิดอื่นๆขึ้นอยู่กับชนิดของพืช

ในแปลงเพาะปลูกและชนิดของดินในพื้นที่เพาะปลูกที่ให้ค่าความสัมพันธ์แตกต่างกันไปในในแต่ละจุดและในแต่ละระดับของพื้นดินที่ลึกลงไป

7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 ธรรมชาติความแห้งแล้งของแต่ละวิธีแตกต่างกันไป บางชนิดจะใช้เฉพาะข้อมูลของปริมาณฝนอย่างเดียวมาทำการวิเคราะห์ บางชนิดจะใช้ข้อมูลหลายประเภทมาทำการวิเคราะห์ เช่น ปริมาณฝน อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งแต่ละชนิดต่างก็มีข้อจำกัด ดังนั้นในการนำค่าธรรมชาติไปใช้จะต้องดูปัจจัยหลายๆ ชนิดประกอบการตัดสินใจ

7.2.2 การศึกษาธรรมชาติความแห้งแล้งและการหาความสัมพันธ์กับความชื้นในดินที่เกิดขึ้นในครั้งนี้ได้ผลสรุปในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่อาจสรุปได้ชัดเจนในบางจุดเนื่องจากการเก็บตัวอย่างความชื้นในดินในภาคสนามของพื้นที่แปลงปลูกพืชบางชนิดมีเพียงจุดเดียว ซึ่งในปีนี้ได้สำรวจและติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดความชื้นในดินเพิ่มเติมที่ละเชิงเทรา ลพบุรี สุโขทัย ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี จำนวน 22 จุด และคาดว่าในปีต่อไปจะได้ข้อมูลในภาคสนามเพิ่มมากขึ้นหากได้รับการจัดสรรงบประมาณสำหรับการตรวจวัดความชื้นในภาคสนามปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 อนึ่งข้อมูลที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ส่วนใหญ่จะกระจายจุดตรวจวัดความชื้นในดินในภาคสนามบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่านั้น ในภาคอื่นๆกรมอุตุนิยมวิทยายังไม่ได้ดำเนินงาน ซึ่งถ้าหากได้รับการจัดสรรงบประมาณในปีต่อไปก็สามารถดำเนินงานได้ทั่วประเทศไทย ซึ่งจะช่วยให้ได้ข้อมูลเพื่อการศึกษาและตรวจสอบความถูกต้องในภาคอื่นๆต่อไป

7.2.3 แผนที่ธรรมชาติความแห้งแล้งที่ได้จากการศึกษาสามารถบ่งบอกถึงสถานะความแห้งแล้งในเชิงอุตุนิยมวิทยาได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจวางแผนและดำเนินกิจกรรมทางการเกษตรได้ และจะเป็นประโยชน์สำหรับพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัด แต่ผู้ใช้จะต้องระมัดระวังเพราะเป็นข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่าของจุดที่มีการตรวจวัดสารประกอบอุตุนิยมวิทยา

7.2.4 จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างธรรมชาติความแห้งแล้งต่างๆกับความชื้นในดินจะยอมรับได้ในระดับสูงกับชุดข้อมูลความชื้นในดินที่ระดับความลึกไม่มากระหว่าง 10-60 เซนติเมตร ดังนั้นการใช้ธรรมชาติความแห้งแล้งเพื่อติดตามสถานะแล้งทางการเกษตรจะทำได้ดีกับพืชไร่ที่เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศที่มีระบบรากพืชกระจุกตัวจำนวนมากอยู่ที่ระดับความลึกของดินใกล้เคียง 60 เซนติเมตร

คำย่อ (Abbreviation)

ลำดับที่	รายการ	ความหมาย
1	EDI	Effective Drought Index(ดัชนีความแห้งแล้งแสดงผลกระทบเนื่องจากฝน)
2	GMI	Generalized Monsoon Index(ดัชนีความแห้งแล้งทางด้านเกษตรกรรมตามฤดูกาลมรสุม)
3	SPI	Standardized Precipitation Index(ดัชนีความแห้งแล้งของฝนที่ต่างจากค่าปกติ)
4	MAI	Moisture Available Index(ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช)
5	AI	Aridity Anomaly Index(ดัชนีความแห้งแล้งที่ผิดปกติทางด้านเกษตรกรรม)
6	SMest	Soil Moisture Estimate(ดัชนีความแห้งแล้งที่ตรวจวัดและคำนวณได้จากดาวเทียม)
7	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index(ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ)
8	SMI	Soil Moisture Index Based on Water Balance (ความชื้นในดินแบบสมดุลน้ำ)

บรรณานุกรม

- กมลศรี เสด็จตันติกุล. 2538. ปริมาณน้ำที่พืชไร่ต้องการ. กรมอุตุนิยมวิทยา. กระทรวงคมนาคม. เกษมศรี ชับซ้อน. 2541. ปฐพีวิทยา. กรุงเทพมหานคร: นานาสิ่งพิมพ์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2541). ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 8). กรุงเทพมหานคร : เรื่องกรรมการพิมพ์.
- ขงยุทธ โอสดสภา และคณะ. 1998. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 8 กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- แคสเสด มงคลสวัสดิ์. 2553. แนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลดาวเทียมหลายช่วงเวลา เพื่อติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งจากสภาวะด้านชีพลักษ์ณ์ของป่ามรสุมเขตร้อน. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย พฤษภาคม-สิงหาคม. สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).
- ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ และคณะ. 2545. ระบบสารสนเทศพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง. ศูนย์คอมพิวเตอร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. 2540. การสำรวจข้อมูลระยะไกล. ขอนแก่น: ห.จ.ก.ขอนแก่นการพิมพ์.
- ชลาลัย แจ่มผล. 2547. ความรุนแรงของความแห้งแล้งในประเทศไทย. กลุ่มภูมิอากาศ. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ฉกร วัฒนกิจ. 2551. การตรวจวัดความแห้งแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ทรงศักดิ์ จุนทรพงศ์. 2539. อุตุนิยมวิทยาเกษตร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- นงคณาถ อุประสิทธิ์วงศ์. 2537. สภาวะฝนแล้งที่เกิดขึ้นในประเทศไทย. กองภูมิอากาศ. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- รัศมี สุวรรณวีระกำจร. 2545. การวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแล้ง โดยการซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่แบบเมทริกซ์ : กรณีศึกษาพื้นที่ลุ่มน้ำเชิญ. ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วิบูลย์ บุญยช โนกุล. 2526. หลักการชลประทาน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์เอเชีย

- วิศิษฐ์ รัศมีทัต รท. 2521. อุตุนิยมวิทยาเกษตร. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย
- สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน 2005 ลักษณะและคุณสมบัติของชุดดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย สำนักพิมพ์กรมพัฒนาที่ดิน เอกสารวิชาการฉบับที่ 55/03/48
- สมชาย ไบม่วง และคณะ. 2548. Meteorological Drought Classification basing on Using Normalized Difference Vegetative Index. กลุ่มวิชาการอุตุนิยมวิทยาเกษตร. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- สมบัติ อยู่เมือง. 2548. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลเพื่อบริหารจัดการพิบัติภัยที่เกิดจากน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน. ภาควิชาธรณีวิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ความชื้นของดิน (Soil Moisture) จาก website http://globethailand.ipst.ac.th/globe_data/data-soil/pdf/SoilMois.PDF
- กลุ่มภูมิอากาศ. 2547. สถานะฝนแล้งในประเทศไทย. เอกสารเผยแพร่. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กองภูมิอากาศ. 2541. ฤดูฝนของประเทศไทย ประจำปี 2541. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กองภูมิอากาศ. 2536. ฤดูฝนของประเทศไทย ประจำปี 2536. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งรายจังหวัด, http://202.12.97.99/drought/drought_data.htm
- เนื้อที่แล้งซ้ำซาก, http://www.idd.go.th/web_irw/drought.html
- Akhtari, R., S. Morid, M. H. Mahdian, and V. Smakhin. 2008. Assessment of areal interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices. Int. J. Climatol., Published online, DOI: 10.1002/joc.1691.
- Amin Haque. 2003. Estimating actual areal evapotranspiration from potential evapotranspiration using physical models based on complementary relationships meteorological data. Department of Chemistry and Physics, Alcorn State University, Alcorn State, Lorman, Mississippi 39096, USA
- AnClim Software, <http://www.klimahom.com/software/ACDownload.html>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 : p. 300
- Anne Steinemann. 2003. Drought Indicators and Triggers: A Stochastic Approach to Evaluation. Journal of the American Water Resources Association.
- Anne Steinemann et. al 2005. Drought Indicators and Triggers. Forthcoming, in Wilhite, D. (ed).

- Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues. Marcel Dekker, NY, 2005.
- Antarpreet Singh Jutla. 2006. Hydrologic Modeling of Reconstructed Watersheds using a System Dynamics Approach. Forthcoming, in Wilhite, D. (ed). Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues. Marcel Dekker, NY, 2005.
- Alvarez-Mozos J., Casali, J., Gonzalez-Audicana M., Verhoest N. E. C. 2006. Assessment of the operational applicability of RADARSAT-1 data for surface soil moisture estimation, in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, n.44 (4): 913–924.
- Boisvert J. B., Crevier Y., Pultz T. J. 1996. Regional estimation of soil moisture using remote sensing, in Canadian Journal of Soil Science, n.76 (3): 325–334.
- Benjamin Lloyd-Hughes and Mark A. Saunders. 2002. A Drought Climatology For Europe. Royal Meteorological Society. International Journal of Climatology. Int. J. Climatol. 22: 1571-1592 (2002).
- B. Narasimhan and R. Srinivasan. 2005. Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDD) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring.
- Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran,*
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1264/pdf>
- Chang, J.C., and S.R. Hanna .2005. Technical Descriptions and User's Guide for the BOOT Statistic Model Evaluation Software Package, Version 2.0 Harvard School of Public Health Landmark Center, Park Drive Boston, MA 02215-0013
- Cracknell, A.P. and XUE, Y. 1996 a. Estimation of ground heat flux using AVHRR data and an advanced thermal inertia model (SoA-TI model) a. International Journal of Remote Sensing, 17, pp.637–642.
- Cracknell, A.P. and XUE, Y. 1996 b. Dynamic aspects study of surface temperature from remotely sensed using advanced thermal inertia model b. International Journal of Remote Sensing, 17, pp.2517–2532.
- Cracknell A.P. and Xue Y. 1993. Advanced Thermal Inertia Modelling and its Application: modeling the emissivity of the ground. In proceeding of the 25th International Symposium on Remote Sensing and Global Environmental Change, Graz, Austria, 4-8 April 1993, pp.II-121-II-122.
- Department of Science and Technology. 2011. Climate Impact Assessment. Geophysical and

- Astronomical Services Administration (PAGASA).
- Delta-T Devices Ltd. 2004. User Manual for the Profile Probe typePR2. 128., Low Road Burwell
CAMBRIDGE CB5 0EJ UK
- Delta-T Devices Ltd. 2004. Profile Probe typePR2 Quick Start Guide Version 1.0. 128, Low
Road Burwell CAMBRIDGE CB5 0EJ UK
- Dubois P.C., Vanzyl J., Engman T. 1995. Measuring soil-moisture with imaging radars, in IEEE
Transactions on Geoscience and Remote Sensing, n.33 (4): 915–926.
- Deosthali, V., Akmanchi, A. and Salunke, C. 2005. Soybean Agriculture in India, A Spatial
Analysis. Transaction of Institute of Indian Geographers. Vol. 27, No.2 pp. 13 – 31.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. 1977. Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage
Paper No. 24 : p. 144
- Deosthali, V., Akmanchi, A. and Salunke, C. 2005. Soybean Agriculture in India, A Spatial
Analysis. Transaction of Institute of Indian Geographers. Vol. 27, No.2 pp. 13 – 31.
- Dingman SL. 1994. Physical Hydrology. Macmillan: New York.
- Entekhabi, D., I. Rodriguez-Iturbe, and R. L. Bras, 1992 Variability in Large-scale water balance
With Land surface-atmosphere interaction. J. Climate, 5, 798-813pp.
- Eric D. Hunt., et al. 2008. The development and evaluation of a soil moisture index. Int. J.
Climato .Published online in Wiley InterScience. www.interscience.wiley.com.
DOI:10.1002/JOC.1749
- F. Kemal Sonmez et. al 2005. An Analysis of Spatial and Temporal Dimension of Drought
Vulnerability in Turkey Using the Standardized Precipitation Index. Natural Hazards
(2005)35: 243-264. DOI 10.1007/s11069-004-5704-7.
- FAO-PMON Program, <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/webpub/REVMETH.htm>
- Glenn, N. F., Carr J. R. 2004. Establishing a relationship between soil moisture and
RADARSAT-1 SAR data obtained over the Great Basin, Nevada, USA, in Canadian
Journal of Remote Sensing, n.30 (2): 176–181.
- Hargreaves, G.H. 1971. Precipitation Dependability and Potential for Agriculture Production in
Northeast Brazil. EMBRAPA and Utah State University : p.40
- Hargreaves, G.H. 1972. The evaluation of water deficiencies. Age of Change Priorities for Land
and water, Irrigation and Drainage Specialty Conference, Washington : American
Society of Civil Engineers. Pp 273-290.
- Hargreaves, G.H. and Christiansen J.E. 1974. Production as a Function of Moisture Availability.

- ITCC Review. Vol. 3 No. 1(9) pp. 980-984
- Hong, S.-Y., and E. Kalnay. 2000. Role of sea surface temperature and soil moisture feedback in the 1998 Oklahoma-Texas drought. *Nature*, 408, 842-844pp.
- Introduction of a drought monitoring system in Korea,
<http://ressources.ciheam.org/om/pdf/a80/00800463.pdf>
- Jackson, R.D., Kustas, W.P. and Choudhury, B.J. 1988. Are examination of the crop water stress index. *Irrigation Science*. 9, pp.309–317.
- Jianbiao Lu. 2002. Modeling Regional Evapotranspiration for Forested Watersheds across the Southern United States. A thesis submitted to the Faculty of North Carolina State University. Department of Forestry. Raleigh.
- Joshua B. Fisher. et. al 2004. Evapotranspiration Models compared on a Sierra Nava Forest ecosystem. Department of Environmental Science, Policy and Management, Forest
- Kahle, A.B. 1977. A simple thermal model of the Earth's surface for geologic mapping by remote sensing. *Journal of Geophysical Research*. 82, pp.1673–1680.
- Kahle, A.B., GILLESPIE, A.R., GOETZ, A.F.H. and ADDINGTON, J.D., 1975., Thermal inertia mapping. In Proceedings of the Tenth International Symposium on Remote Sensing of Environment. 10, pp.985–994.
- K.C. Sinha Ray. 2000. Role of Drought Early Warning Systems for Sustainable Agricultural Research in India. India Meteorological Department, Pune, India.
- Koster, R. D. ,and Coauthors, 2004 .Regions of strong coupling between soil moisture and Precipitation. *Science*, 305, 1138-1140, doi:10.1126/science.1100217.
- Li K. 2000. Drought Early Warning Impact Assessment in China. Chinese Academy of Sciences, Beijing, China
- L.Wang and J.J.Qu. 2007. NMDI : anormalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. *Geophys.Res.Lett.* 34, p.L20405, doi:10.1029/2007GL031021
- Ma, A.N. and Xue, Y. 1990. A study of remote sensing information model of soil moisture. In Proceedings of the 11th Asian Conference on Remote Sensing. 15–21 November, 1990, I, pp. P-11-1–P-11-5 (Beijing: International Academic Publishers).
- Majumdar, T.J. 2003. Regional thermal inertia mapping over the Indian subcontinent using INSAT-1VHRR data and its possible geological applications. *International Journal of*

- Remote Sensing, 24, pp.2207–2220.
- Meteorological Department. 2005. Impact assessment of the rainfall pattern on the cultivation in Thailand, Third year, Volume 1.
Impact Assessment and Applications Section Climatology and Agrometeorology Division Philippine Atmospheric.
- Mitra, D.S. and Majumdar, T.J. 2004. Thermal inertia mapping over the Brahmaputra basin, India using NOAA-AVHRR data and its possible geological applications. International Journal of Remote Sensing, 16, pp. 3245–3260.
- Moran, M.S., Peters-Lidard, C.D., WATTS, J.M. and McElroy, S. 2004. Estimating soil moisture at the watershed scale with satellite-based radar and land surface models. Canadian Journal of Remote Sensing, 5, pp.805–826.
- Mckee T.B. Doesken, N.J. and J. Kleist. 1993. The Relationship of Drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 17-23, 1993 Anaheim CA, pp. 179-186.
- Michael T. Hobbins. et. al. 1999. The Complementary Relationship in Regional Evapotranspiration: The CRAE Model and The Advection-Aridity Approach. Civil Engineering Dept., Colorado State University, Fort Collins, CO 80523.
- Michael T. Hobbins. et. al. 2001. The Complementary Relationship in Estimation of Regional Evapotranspiration: An enhanced Advection-Aridity model. Civil Engineering Dept., Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, Paper number 2000WR900359.
- Miroslav Trnka. et. al. 2003. Selected Methods of Drought Evaluation in South Moravia and Northern Austria. Institute for Landscape Ecology, Mendel University of Agriculture and Forestry Brno, Czech Republic.
- Meyer, S.J., Hubbard K.G. and Wilhite D.A. 1988. Improving Projected Potential Evapotranspiration Estimates Using National Weather Service Forecasts. Journal of Applied Meteorology. Vol. 27 No. 10 pp. 1183-1188
- Palmer W. C. 1965. Meteorological Drought. Research Paper No.45. Office of Climatology, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C.
- Paul W. Brown. et al. 2001. Penman Monteith Crop Coefficients for Use with Desert Turf Systems. Dep. of Soil, Water and Environmental Sci., Univ. of Arizona, Tucson, AZ 85721, Published in Crop Sci. 41:1197-1206(2001).
- Price, J.C. 1977. Thermal inertia mapping: a new view of the earth. Journal of Geophysical

- Research. 82, pp.2582–2590.
- Price, J.C. 1985. On the analysis of thermal infrared imagery: the limited utility of apparent thermal inertia. Remote sensing of Environment, 18, pp.59–73.
- Portmann F. 2000. The Land-SAF Soil Moisture Product of MIUB and BfG. Paper presented at the CM-SAF (EUMETSAT Climate Monitoring Satellite Application Facility) Training Workshop, Dresden, Germany, 20–22 November 2000, pp. 6
- Richard G. Allen. Luis S. Pereira. Dirk Raes. Martin Smith. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 199., M-56. ISBN 92-5-104219-5.
- Rickard, D.S. (1960). The occurrence of agricultural drought at Ashburton. New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research, 3: 432-441.
- Rickard, D.S. and Fitzgerald P.D. 1970. The effect of soil moisture and irrigation on pasture production in Canterbury, New Zealand. Proceedings of the 11th International Grassland Congress pp. 487-492.
- R-1.9.0 Software, <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.html>
- Shamsuddin Shahid et. al. 2005. Study the Spatio-Temporal Characteristics of Drought in North Bangladesh using Geographic Information System. Remote Sensing & GIS Fos, School of Advance Technologies, Asian Institute of Technology. Pathum Thani -12120, Thailand.
- Sheffield, J.,G. Goteti, F Wen, and E.F. Wood, 2004 A simulated soil moisture based drought analysis for the United States. J. Geophys.Res., 109,D24108,doi:10.1029/2004JD005182.
- Smith, M. 1992. CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46 : p.126
- Smith, M. 1992. Application of Climatic Data for Effective Irrigation Planning and Management. FAO and WMO : p. 177
- Sridhar, V., Kenneth G. Hubbard, Jinsheng You, and Eric D. Hunt.2008. Development of the Soil Moisture Index to Quantify Agricultural Drought and Its “User Friendliness” in Severity-Area-Duration Assessment .American Meteorological Society.
.DOI:10.1175/2007JHM892.1
- S.M. Vicente-Serrano and J.I. Lopez-Moreno. 2005. Hydrological response to different time scale of climatological drought: an evaluation of standardized precipitation index in a

- mountainous Mediterranean basin. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 2, 1221-1246.
- Surat Lertlum. 2002. Geographic Information System and Remote Sensing Essentials for Resource Management Applications. GIS Application Center School of Advanced Technologies, Asian Institute of Technology, Bangkok Thailand.
- Sutor J. 2006. Soil drought prognosis. Acta Hydrologica slovac.v.7.176-182 (in Slovak).
- CLAPS, P. and LAGUARDIA, G., 2004, Assessing spatial variability of soil water content through thermal inertia and NDVI. Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, 5232, pp. 378–387.
- Sutor J. Gombos M. Mati R. 2005. Soil drought quantification and its interpretation podnho sucha. Acta Hydrologica slovac.v.6.299-306 (in Slovak).
- Sobrino, J.A. and Kharraz, M.H.El. 1999a. Combining afternoon and morning NOAA satellites for thermal inertia estimation 1. Algorithm and its testing with Hydrologic Atmospheric Pilot Experiment-Sahel data. Journal of Geophysical Research, D8,pp. 9445–9453.
- Sobrino, J.A. and Kharraz, M.H.El. 1999b. Combining afternoon and morning NOAA satellites for thermal inertia estimation 2. Methodology and application. Journal of Geophysical Research, D8,pp.9455–9465.
- The effective drought index(EDI), <http://atmos.pknu.ac.kr/~intra2/eng.calculation.htm>
- Tucker C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation in Remote Sensing of Environment, n.8 (2): 127–150.
- Tramutoli, V., CLAPS, P. and MARELLA, M. 2000. Hydrological implications of remotely sensed thermal inertia. Remote Sensing and Hydrology, 267,pp.207–211.
- Turner D. P., Ritts W. D., Cohen W. B., Maeirsperger T. K., Gower S., Kirschbaum A. A., Running S. W., Zhao M., Wofsy S. C., Dunn A. L., Law B. E., Campbell J. L., Oechel W. C., Kwon H. J., Meyers T. P., Small E. E., Kurc S. A., Gamon J. A. 2005. Site-level evaluation of satellite-based global terrestrial gross primary production and net primary production monitoring. in Global Change Biology, n.11: 666–684.
- Verstraete M. M., Pinty B. 1996. Designing optimal spectral indexes for remote sensing applications. in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. n.34 (5): 1254–1265.
- Virmani, S.M. and Singh, P. 1986. Agroclimatological Characteristics of the Groundnut-Growing

- Regions in the Semi-Arid Tropics. Proceeding of the International Symposium on Agrometeorology of Groundnut. India : ICRISAT Center. pp. 35 – 45.
- Wan Z. 1999. MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD). Institute for Computational Earth System Science University of California, Santa Barbara, Version 3.3, April 1999.
- Wqng, C.Y., QI, S.H. and NIU, Z.. 2004. Evaluating soil moisture status in China using the temperature-vegetation dryness index (TVDI). Canadian Journal of Remote Sensing, 30,pp. 671–679.
- Watson, K., Rowen, L.C. and OFFIELD, T.W. 1971. Application of thermal modeling in the geologic interpretation of IR images. Remote Sensing of Environment. 3,pp. 2017–2041.
- Delta-T Devices Ltd. User Manual for the Profile Probe typePR2. 128, Low Road Burwell CAMBRIDGE CB5 0EJ UK
- XUE,Y. 1986. Thermal inertia and soil moisture mapping. MSC thesis, Peking University (in Chinese).
- XUE, Y. and CRACKNELL, A.P., 1995a. Advanced thermal inertia modelling. International Journal of Remote Sensing, 16,pp. 431–446.
- Xue,Y.,&Cracknell,A.P. 1995. Operational bi-angle approach to retrieve the earth surface albedo from AVHRR data in the visible band. International Journal of Remote Sensing, 16,417–429.
- ZHANG, R. H., SUN, X.M. and ZHU, Z.L. 2002. Remote sensing information model in surface evaporation from differential thermal inertia and it's validation in Gansu Province. Science in China (Series D), 32,pp.1041–1050.
-