

# ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการประเมินสถานะความรุนแรงและผลกระทบจากอุทกภัยและภัยแล้งใน  
ประเทศไทยอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก  
(ปี พ.ศ. 2551 - 2552)



จัดทำโดย

กลุ่มงานวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและระบบนิเวศ

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ปี พ.ศ. 2552

## คณะวิจัย

### คณะที่ปรึกษาโครงการ

นายบุญชอบ สุทธมนัสวงษ์

ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

นายโสฬส ชันธุ์เครือ

ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีสะอาด

### หัวหน้าโครงการ

นายอัศมน ลิมสกุล

นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ

### ผู้วิจัยหลัก

นายอ่อนจันทร์ โคตรพงษ์

เจ้าพนักงานวิทยาศาสตร์ชำนาญงาน

นายวุฒิชัย แพงแก้ว

นักวิชาการสิ่งแวดล้อม

นายธงชัย สีฟ้า

นักวิชาการสิ่งแวดล้อม

นางสาวเพชรไพลิน สุวรรณโชติ

นักวิชาการสิ่งแวดล้อม

นางสาวนิตาลักษณ์ สิทธิพล

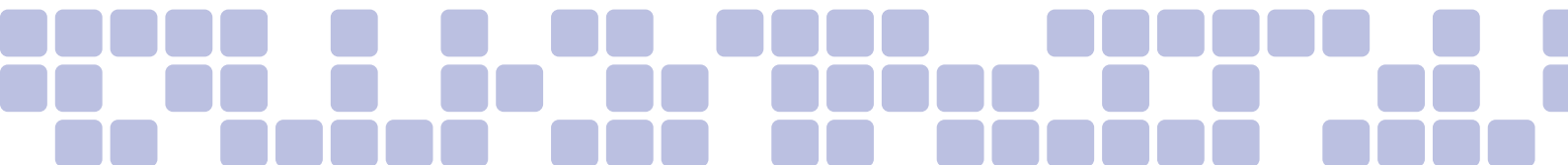
นักวิชาการสิ่งแวดล้อม

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย โครงการประเมินสภาวะความรุนแรงและผลกระทบจากอุทกภัยและภัยแล้งในประเทศไทยอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ขอขอบพระคุณ ดร. แสงจันทร์ ลีมีจรกาล สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของทุกจังหวัดทั่วประเทศไทย ส่วนพัฒนาสารสนเทศ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทานและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ศูนย์สารสนเทศสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม และหอสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับการให้ข้อมูลและการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการนี้ ทั้งนี้คณะผู้วิจัยขอกล่าวขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งคณะผู้จัดหวังว่างานวิจัยชิ้นนี้จักเป็นประโยชน์แก่การศึกษา งานวิจัย และผู้ที่สนใจทั่วไปไม่มากนักนอ

หากงานวิจัยมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัย  
ตุลาคม 2552



# สารบัญ

	หน้า
คณะวิจัย	i
กิตติกรรมประกาศ	ii
สารบัญ	iii
สารบัญรูป	v
สารบัญตาราง	xii
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
<b>บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร</b>	
2.1 อุทกภัย (Flood)	9
2.1.1 นิยาม/ความหมาย และลักษณะและประเภทของอุทกภัย	9
2.1.2 ภัยพิบัติจากอุทกภัย	14
2.1.3 แนวโน้มความถี่ของอุทกภัย	16
2.1.4 ความล่อแหลมและความเสี่ยงจากอุทกภัย	17
2.2 ภัยแล้ง (Drought)	21
2.2.1 นิยามและความหมายของภัยแล้ง	21
2.2.2 ภัยพิบัติจากภัยแล้ง	23
2.2.3 ความล่อแหลมและความเสี่ยงจากภัยแล้ง	27
<b>บทที่ 3 แนวคิดและระเบียบวิธีการศึกษาวิจัย</b>	
3.1 กรอบแนวคิด	31
3.2 ระเบียบและขอบเขตการศึกษาวิจัย	35
3.2.1 ระเบียบการศึกษาวิจัย	35
3.2.2 ขอบเขตการศึกษาวิจัย	36
<b>บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล</b>	
4.1 การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุทกภัยและภัยแล้ง จากฐานข้อมูล Dartmouth Flood Observatory และ EM-DAT	48

## สารบัญ (ต่อ)

---

	หน้า
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลความเสียหายจากอุทกภัยและภัยแล้งในภาพรวม ของประเทศไทยและระดับจังหวัด/อำเภอ	64
4.3 การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้งและอุทกภัยด้วยดัชนี SPI	98
4.4 การวิเคราะห์ความเสี่ยงของน้ำท่วมฉับพลันและระยะเวลาความแห้งแล้ง จากดัชนีสภาวะความรุนแรงของภูมิอากาศ	109
4.5 ทบทวนแนวคิด เทคนิควิธีการคำนวณและวิเคราะห์ความล่อแหลมทาง ชีวกายภาพและทางสังคม	112
<b>บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา</b> สรุปผลการศึกษา	142
<b>บรรณานุกรม</b>	147

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงจำนวนผู้ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติธรรมชาติในช่วงปี ค.ศ. 1900-2008 ที่รายงานในฐานข้อมูล EM-DAT <sup>41</sup>	5
2.2	แสดงจำนวนเหตุการณ์ของภัยพิบัติธรรมชาติในช่วงปี ค.ศ. 1900-2008 ที่รายงานในฐานข้อมูล EM-DAT <sup>41</sup>	6
2.3	แสดงลักษณะและประเภทของภัยพิบัติตามการแบ่งของศูนย์วิจัยทางระบาดวิทยาด้านภัยพิบัติ (Center for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED) <sup>48</sup>	8
2.4	สาเหตุของอุทกภัยครั้งยิ่งใหญ่ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1985 <sup>72</sup>	13
2.5	แสดงพื้นที่เสี่ยงจากอุทกภัยของโลก <sup>36</sup>	20
2.6	แสดงชนิดของภัยแล้งและผลกระทบในเชิงเวลาตั้งแต่การเริ่มต้นภัยแล้งจนกระทั่งเกิดผลกระทบ	22
2.7	แสดงพื้นที่เสี่ยงจากภัยแล้งของโลก <sup>36</sup>	28
2.8	แสดงแผนที่ความล่อแหลมและการสัมผัสทางกายภาพต่อภัยแล้ง <sup>98</sup>	30
2.9	แสดงแผนที่เสี่ยงต่อภัยแล้ง <sup>98</sup>	30
3.1	แสดงกรอบแนวคิดของโครงการศึกษาความล่อแหลมและการปรับตัวต่อภัยแล้งและอุทกภัยในประเทศไทย	34
3.2	The Hazards-of-Place model of vulnerability <sup>102,103</sup>	35
3.3	แสดงที่ตั้งสถานีผิวพื้นของข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา (TMD) กรมชลประทาน (RID) และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) ที่ใช้สำหรับคำนวณ SPI	38
3.4	แสดงรายละเอียดและขั้นตอนของกระบวนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือน	38
3.5	แสดงดัชนี PSDI แบบกริดที่ใช้ในการ validate ดัชนี SPI ที่คำนวณจากข้อมูลสถานีผิวพื้น	42
3.6	แสดงรายละเอียดและขั้นตอนการคำนวณ SPI	43
3.7	แสดงขั้นตอนการ validate ดัชนี SPI กับ PSD	44

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมครั้งใหญ่ (Extremely large ood event) ในประเทศไทย ระหว่างปี ค.ศ. 1985 - 1996 โดย Dartmouth Flood Observatory ได้วิเคราะห์ จากข้อมูลหลายแหล่งทั้ง ground - based และ remote - based observations	56
4.2	แสดงสาเหตุของเหตุการณ์น้ำท่วมในประเทศไทย ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1985-2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory	58
4.3	แสดงการเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1985 – 2008 โดยแยกเป็นรายเดือน (Climatologically seasonal occurrence) วิเคราะห์จากฐานข้อมูล ของ Dartmouth Flood Observatory	59
4.4	แสดงระดับความรุนแรงของเหตุการณ์น้ำท่วมในประเทศไทย ระหว่าง ปี ค.ศ. 1985 - 2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory โดยนิยามระดับความรุนแรง แสดงในตารางที่ 4.1	60
4.5	แสดง Magnitude ของเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 985 – 2008 โดย $Flood\ magnitude = LOG(Duration \times Severity \times Affected\ Area)$	61
4.6	แสดงขอบเขตพื้นที่รวมที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทยในระหว่าง ปี ค.ศ. 1985 -2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory	61
4.7	แสดงจำนวนวันเฉลี่ยต่อเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1985 - 2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory	62
4.8	แสดงผู้เสียชีวิตสะสมจากเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1985 -2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory	62
4.9	แสดงผู้ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1990 - 2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูล EM - DAT	63
4.10	แสดงตำบลที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1989 - 2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย	64
4.11	แสดงตำบลที่ได้รับผลกระทบจากอุทกภัยในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1989 - 2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย	65

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	แสดงมูลค่าความเสียหายจากสถานการณ์อุทกภัยในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 – 2551 แหล่งข้อมูล: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย	65
4.13	แสดงจำนวนราษฎรผู้ประสบอุทกภัยในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 – 2551 แหล่งข้อมูล: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย	66
4.14	แสดงจำนวนราษฎรผู้ประสบภัยแล้งในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 – 2551 แหล่งข้อมูล: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย	67
4.15	แสดงจำนวนราษฎรผู้ประสบภัยแล้งและอุทกภัย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 - 2550 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย	67
4.16	แสดงพื้นที่ในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดภัยแล้งใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจาก สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	71
4.17	แสดงราษฎรที่ประสบภัยแล้งในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจาก สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	72
4.18	แสดงพื้นที่ในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดอุทกภัยใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจาก สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	73
4.19	แสดงราษฎรที่ประสบอุทกภัยในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจาก สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	74
4.20	แสดงพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดภัยแล้งใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	75
4.21	แสดงราษฎรที่ประสบภัยแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจาก สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	76



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.22	แสดงพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดอุทกภัยใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	77
4.23	แสดงราษฎรที่ประสบอุทกภัยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	78
4.24	แสดงพื้นที่ในภาคเหนือที่เกิดภัยแล้งใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	79
4.25	แสดงราษฎรที่ประสบภัยแล้งในภาคเหนือใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	80
4.26	แสดงพื้นที่ในภาคเหนือที่เกิดอุทกภัยใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	81
4.27	แสดงราษฎรที่ประสบอุทกภัยในภาคเหนือใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	82
4.28	แสดงพื้นที่ในภาคใต้ที่เกิดภัยแล้งใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	83
4.29	แสดงราษฎรที่ประสบภัยแล้งในภาคใต้ใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	84
4.30	แสดงพื้นที่ในภาคใต้ที่เกิดอุทกภัยใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	85

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.31	แสดงราษฎรที่ประสบอุทกภัยในภาคใต้ใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	86
4.32	แสดงพื้นที่ในประเทศไทยที่เกิดภัยแล้งใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	87
4.33	แสดงราษฎรที่ประสบภัยแล้งในประเทศไทยใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	88
4.34	แสดงพื้นที่ในประเทศไทยที่เกิดอุทกภัยใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	89
4.35	แสดงราษฎรที่ประสบอุทกภัยในประเทศไทยใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด	90
4.36	Probability Density Function (PDF) ของ regional normalized SPI index คาบเวลา 6 เดือน สำหรับภาพรวมของประเทศไทย ซึ่งคำนวณโดยใช้ข้อมูลทุกสถานี ในการประมาณค่า $\alpha$ (28.90) และ $\beta$ (0.37)	99
4.37	แสดงตัวอย่างอนุกรมดัชนี SPI สำหรับ 6 เดือน ระหว่าง ปี ค.ศ. 1975 – 2006 ของ 6 สถานีที่ตั้งอยู่ในแต่ละภาคของประเทศไทย	101
4.38	Scree plot แสดงสัดส่วนความแปรปรวนของ SPI ทั้งหมดที่อธิบายโดยแต่ละโหมดของ Principal Component Analysis (PCA) หรือ Empirical Orthogonal Function (EOF)	103
4.39	ค่า loading ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ของดัชนี SPI คาบเวลา 6 เดือน	103
4.40	อนุกรม time coefficient (score) ของ PC โหมดที่ 1 เส้นสีน้ำเงิน แทน 11 - term smoothed series และเส้นสีแดงแทน linear trend	104
4.41	อนุกรม time coefficient (score) ของ PC โหมดที่ 2 เส้นสีน้ำเงิน แทน 11 -term smoothed series และเส้นสีแดงแทน linear trend	104
4.42	ความถี่รวมของความแห้งแล้งระดับมาก (very) และรุนแรง (extremely) ในช่วง 1975-1984, 1985-1994 และ 1995 -2004 จำแนกโดยค่าดัชนี SPI ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -1.55	106

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.43	ความถี่รวมของความเปียกชื้นระดับมาก (very) และรุนแรง (extremely) ในช่วง 1975-1984, 1985-1994 และ 1995 -2004 จำแนกโดยค่าดัชนี SPI ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 1.75	107
4.44	ความถี่ของความแห้งแล้งและความเปียกชื้นระดับมาก (very) และรุนแรง (extremely) รวมรวมทั้งประเทศ จำแนกโดยค่าดัชนี SPI ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -1.55 หรือมากกว่าหรือเท่ากับ 1.75	108
4.45	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (trend) ของดัชนีปริมาณฝนสูงสุดในรอบ 1 วัน (RX1day) และดัชนีจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง (CDD) ซึ่งแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในระยะยาวของแต่ละสถานี โดยสัญลักษณ์ สีแดงและสีน้ำเงิน แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%	110
4.46	แสดงสถานีที่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนที่มากผิดปกติ (R99) และดัชนีความถี่ของปริมาณฝนที่มากผิดปกติ (P99) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ	111
4.47	องค์ประกอบหรือฟังก์ชันที่กำหนดระดับความล่อแหลมของระบบ	112
4.48	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความล่อแหลม ภัยคุกคาม การเผชิญ/สัมผัส และผลกระทบของระบบ social - ecological เชิงมโนทัศน์	114
4.49	แสดงความสัมพันธ์ในเชิงกรอบแนวคิดระหว่างความล่อแหลม ความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืน สภาพเดิม และความสามารถในการตั้งรับและปรับตัว สัญลักษณ์ที่ใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ ประกอบด้วย = 'subset of' และ = 'not a subset of' R, V, AC และ CR หมายถึง resilience, vulnerability, adaptive capacity และ capacity of response ตามลำดับ	115
4.50	ความเชื่อมโยงเชิงกรอบแนวคิดระหว่างความล่อแหลม ความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืน สภาพเดิมและความสามารถในการตั้งรับและปรับตัว	116
4.51	ความสัมพันธ์ระหว่างความล่อแหลมทางชีวภาพและความเสี่ยง	120
4.52	ความเชื่อมโยงระหว่างความล่อแหลมทางชีวภาพและความเสี่ยง	120
4.53	Pressure and Release Model โดย Blaikie et al. (1994)	121
4.54	The Hazards - of - Place model of vulnerability	122
4.55	Vulnerability framework of nested scales and coupled system by Turner et al. (2003)	123
4.56	องค์ประกอบพื้นฐาน พลวัตของระบบ การเชื่อมโยงกับปัจจัยภายในและภายนอก รวมทั้ง feedbacks ของกรอบแนวคิดการศึกษาความล่อแหลมที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น	123
4.57	องค์ประกอบพื้นฐานของ Vulnerability - led approach (Risk-Hazard) Framework	125
4.58	ชนิดและประเภทข้อมูลด้านเศรษฐกิจ - สังคมหลักที่ใช้ในการประเมินผลกระทบ ความล่อแหลมและการปรับตัว	126

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.59	ลำดับชั้นของความล่อแหลมและดัชนีความล่อแหลม	128
4.60	โครงสร้างของ Human Development Index โดยดัชนี แสดงด้วยกล่องสีขาว ในขณะที่ Sub-indices และ HDI แสดงด้วยกล่องสีดำ	131
4.61	โครงสร้างรวมของ Human Well-being Index โดยดัชนีแสดงด้วยกล่องสีขาว ในขณะที่ Sub - indices และ HWI แสดงด้วยกล่องสีดำ	132
4.62	โครงสร้างรวมของ Environmental Sustainability Index (ESI) โดยดัชนี แสดงด้วยกล่องสีขาว ในขณะที่ Sub – indices และ ESI แสดงด้วยกล่องสีดำ	134
4.63	โครงสร้างรวมของ Prevalent Vulnerability Index (PVI) โดยดัชนีแสดงด้วยกล่องสีขาว ในขณะที่ Sub – indices และ PVI แสดงด้วยกล่องสีดำ	135
4.64	โครงสร้างรวมของ Index of Social Vulnerability to Climate Change โดยดัชนี แสดงด้วยกล่องสีขาวในขณะที่ Sub – indices และ SVA แสดงด้วยกล่องสีดำ	136
4.65	โครงสร้างรวมของ Disaster Risk Index (DRI) โดยดัชนีแสดงด้วยกล่องสีขาว ในขณะที่ Sub-indices และ DRI แสดงด้วยกล่องสีดำ Euler constant คือ ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ (base of the natural logarithm)	138
4.66	โครงสร้างรวมของ Predictive Vulnerability Indicators โดยดัชนีแสดงด้วยกล่องสีขาว ในขณะที่ Sub – indices และ PIV แสดงด้วยกล่องสีดำ	139

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงเหตุการณ์ภัยแล้งที่รุนแรงที่สุดใน 10 อันดับแรกในช่วงปี ค.ศ. 1900 - 2009 ที่รายงานในฐานข้อมูล EM-DAT <sup>41</sup>	7
2.2	แสดงสาเหตุของน้ำท่วม <sup>35</sup>	12
2.3	แสดงภัยพิบัติจากอุทกภัยแยกตามทวีปในช่วงปี ค.ศ. 1993 - 2002 <sup>35</sup>	15
2.4	แสดงภัยพิบัติที่เกิดจากพายุแยกตามทวีปในช่วงปี ค.ศ. 1993 - 2002 <sup>35</sup>	15
2.5	แสดงข้อมูลที่ใช้ประเมินพื้นที่วิกฤติของภัยพิบัติทางธรรมชาติ 6 ประเภท ได้แก่ แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด ดินถล่ม น้ำท่วม ภัยแล้ง และพายุไซโคลน ของธนาคารโลกและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย <sup>36</sup>	19
2.6	แสดงดัชนีความแห้งแล้งหลักที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาในศตวรรษที่ 20 <sup>39</sup>	25
2.7	แสดงลักษณะดัชนีความแห้งแล้งบางดัชนีที่ใช้ในอดีตและปัจจุบัน <sup>92</sup>	26
2.8	แสดงระดับความแห้งแล้งแบ่งตามค่าของ PDSI <sup>91</sup>	26
2.9	แสดงแหล่งข้อมูลของ drought hazards ที่ใช้ในโครงการ Global Risk and Vulnerability Index Trend per Year (GRAVITY)	29
2.10	แสดงแหล่งข้อมูลความเสื่อมโทรมของดิน ที่ใช้ในโครงการ Global Risk and Vulnerability Index Trend per Year (GRAVITY)	29
2.11	แสดงแหล่งข้อมูลผู้ที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง ที่ใช้ในโครงการ Global Risk and Vulnerability Index Trend per Year (GRAVITY)	29
2.12	แสดงแหล่งข้อมูลปัจจัยความล่อแหลมที่ใช้ในโครงการ Global Risk and Vulnerability Index Trend per Year (GRAVITY)	29
4.1	เหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ระหว่างปี ค.ศ. 1985 - 2008 จากฐานข้อมูล Dartmouth Flood Observatory	49
4.2	นิยามของระดับความรุนแรงของเหตุการณ์น้ำท่วม	60
4.3	สรุปรายละเอียดของอุทกภัยและภัยแล้งครั้งสำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1900 - 2009 ที่บันทึกและรายงานในฐานข้อมูล EM-DAT	64
4.4	แสดงพื้นที่ประสบภัยแล้งในแต่ละภูมิภาคและภาพรวมทั้งประเทศ	92
4.5	แสดงพื้นที่ประสบอุทกภัยในแต่ละภูมิภาคและภาพรวมทั้งประเทศ	92
4.6	จังหวัดและอำเภอที่เกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออก	92
4.7	จังหวัดและอำเภอที่เกิดอุทกภัยซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออก	93
4.8	จังหวัดและอำเภอที่เกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	94
4.9	จังหวัดและอำเภอที่เกิดอุทกภัยซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	96
4.10	จังหวัดและอำเภอที่เกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคเหนือ	97

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.11	จังหวัดและอำเภอที่เกิดอุทกภัยซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคเหนือ	98
4.12	จังหวัดและอำเภอที่เกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคใต้	98
4.13	จังหวัดและอำเภอที่เกิดอุทกภัยซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคใต้	98
4.14	ระดับความแห้งแล้งและความเปียกชื้นซึ่งแสดงในรูปของ non - exceedance probability $P(x)$ สำหรับ P3-based 6-month SPI	100
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี SPI คาบเวลา 12 เดือน และดัชนี PDSI ในแต่ละ block ที่แสดงในรูปที่ 3.5 ข้อมูลในช่วง ค.ศ. 1951 – 2003 ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์	101
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของความแห้งแล้งหรือความเปียกชื้นระดับมากและรุนแรง (SPI < -1.55) หรือ (SPI > 1.75) และดัชนี MEI ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ข้อมูลรายปีในช่วง ปี ค.ศ. 1975 - 2006	109
4.17	นิยามของความเลี้ยว	120
4.18	มิติที่สนับสนุนความล่อแหลมทางสังคมต่อภัยคุกคามทางธรรมชาติ และความไม่เสมอภาค ด้านสุขภาพ	130
4.19	ดัชนีความล่อแหลมที่ใช้ประเมินและติดตามตรวจสอบความล่อแหลมในระดับโลกและภูมิภาค	131
4.20	แสดงการเปรียบเทียบเชิงกรอบแนวคิดของ 7 ดัชนีความล่อแหลม 164	141

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ภัยแล้งและอุทกภัย เป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติ (Natural disaster) ที่มีต้นกำเนิดจากความแปรปรวนของระบบภูมิอากาศและวัฏจักรของน้ำ (Hydrological cycle) ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความผันแปรของฝนในแง่ความถี่ ความรุนแรงและระยะเวลา ภัยแล้งและอุทกภัย นับว่าเป็นสภาวะความรุนแรง (Extreme events) ด้านอุทก-อุตุนิยมวิทยา (Hydro-meteorology)<sup>1</sup> ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม More complex event - driven extremes<sup>2</sup> ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่มักปรากฏอยู่บริเวณปลายทั้งสองด้านของการแจกแจงทางสถิติ โดยสัดส่วนการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว มักแปรผันในลักษณะเอ็กโพเนนเชียลกับค่าเฉลี่ยของสภาพภูมิอากาศ (Mean climate state) มีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้สูงและรวดเร็วกว่า Mean climate state<sup>3</sup> โดยทั่วไป ความถี่ของการเกิดและความรุนแรงของเหตุการณ์ มักเชื่อมโยงกับกระบวนการตามธรรมชาติที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างมหาสมุทร บรรยากาศและพื้นดิน ในรูปของพลังงานความร้อน ความชื้นและโมเมนตัม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความแปรปรวนตามธรรมชาติของระบบภูมิอากาศโลกที่สำคัญ เช่น El Nio - Southern Oscillation (ENSO), North Atlantic Oscillation (NAO), Global Monsoon, Pacific - North American (PNA) pattern, Pacific Decadal Oscillation (PDO) และ Indian Ocean Dipole (IOD)<sup>4</sup> ผลการศึกษาที่ผ่านมา ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์และกลไกการเชื่อมโยง ระหว่างแต่ละโหมดของความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศและภาวะความแห้งแล้งและอุทกภัยในหลายพื้นที่ของโลก<sup>3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17</sup> นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นและสะสมของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศหลังจากยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม ยังเป็นปัจจัยเสริมที่ส่งผลให้ภัยแล้งและอุทกภัย มีแนวโน้มทวีความรุนแรงและความถี่ของเกิดเพิ่มขึ้น รวมทั้งมีความแปรปรวนสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกจากปรากฏการณ์เรือนกระจก ส่งผลให้ความสามารถในการรองรับความชื้นและไอน้ำของชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น ประกอบกับเป็นปัจจัยเร่งการเคลื่อนย้ายมวลน้ำ ความชื้นและพลังงานความร้อนในแต่ละองค์ประกอบของวัฏจักรน้ำ ให้มีอัตราที่เร็วขึ้นกว่าปกติที่เกิดขึ้นในอดีต (Enhanced hydrological cycle)<sup>3,4</sup> Milly และคณะ (2002) ได้ศึกษาความเสี่ยงของอุทกภัยครั้งยิ่งใหญ่ที่มีปริมาณน้ำท่าถูกระบายออกมากกว่าระดับ 100 ปี (100 - year level) ในลุ่มน้ำขนาดใหญ่ (> 200,00 กิโลเมตร) จำนวน 29 ลุ่มน้ำทั่วโลก โดยผลการ ศึกษา พบว่า ความถี่การเกิดอุทกภัยครั้งยิ่งใหญ่ เพิ่มขึ้นอย่างมากในศตวรรษที่ 20 ซึ่งสอดคล้องกับการคาดการณ์ด้วยแบบจำลองทางภูมิอากาศที่แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นในอนาคต<sup>18</sup> ในขณะที่ Dai และคณะ (2004) ได้ใช้ดัชนี Palmer Drought Severity Index (PDSI) วิเคราะห์พื้นที่แห้งแล้งของโลก ซึ่งผลการศึกษา พบว่า ตั้งแต่ทศวรรษที่ 1950 พื้นที่แห้งแล้งมีแนวโน้มขยายเพิ่มขึ้นเป็นบริเวณกว้างในซีกโลกทางด้านเหนือเส้นศูนย์สูตรขึ้นไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ทวีปยุโรปและเอเชีย บริเวณด้านเหนือของทวีปแอฟริกา ประเทศแคนาดา และรัฐอาลาสกของประเทศสหรัฐอเมริกา<sup>3</sup>

ภัยพิบัติจากภัยแล้งและอุทกภัย นับว่าเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญต่อการแก้ไขปัญหาความยากจนและการพัฒนาของแต่ละประเทศ ซึ่งได้ส่งผลต่อความเสียหายต่อชีวิต ทรัพย์สิน เศรษฐกิจและสังคม เป็นมูลค่ามหาศาลในแต่ละปี

จากรายงาน Thirty years of natural disasters 1974 - 2003: The numbers ของ Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) พบว่า ในช่วง ค.ศ. 1974 - 2003 ได้เกิดภัยแล้งครั้งยิ่งใหญ่ จำนวน 640 ครั้ง ซึ่งทำให้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 1 ล้านคน และส่งผลกระทบต่อประชาชนมากกว่า 1,800 ล้านคน<sup>19</sup> ในขณะที่ อุทกภัยครั้งยิ่งใหญ่ จำนวน 2,156 ครั้ง ได้ถูกรายงานและบันทึกในฐานข้อมูล Emergency Events Database (EM-DAT) ของ CRED ในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งส่งผลให้มีผู้เสียชีวิต 206,303 คน และส่งผลกระทบต่อประชาชนมากกว่า 2,600 ล้านคน<sup>19</sup> ยิ่งกว่านั้น ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ส่งผลกระทบต่อประชาชนสูงสุด 10 อันดับแรกในช่วง ค.ศ. 1974 - 2003 คือ ภัยแล้ง จำนวน 3 ครั้ง และอุทกภัย 7 ครั้ง โดยภัยพิบัติที่ส่งผลกระทบต่อประชาชนสูงสุด 10 อันดับแรกดังกล่าวเกิดขึ้นในทวีปเอเชียทั้งหมด เมื่อพิจารณาในภาพรวมโดยเปรียบเทียบกับทวีปอื่น ๆ แล้ว ทวีปเอเชีย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ประเทศจีนและอินเดีย เป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งและอุทกภัยสูงสุดในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา<sup>19</sup>

ประเทศไทย นับว่าเป็นประเทศหนึ่งในทวีปเอเชียที่มีความล่อแหลมสูงต่อความแปรปรวน/การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สภาพความรุนแรงลมฟ้าอากาศและภัยพิบัติทางภูมิอากาศในรูปของภัยแล้งและอุทกภัย เนื่องจากการดำรงชีวิตของประชาชนและการพัฒนาประเทศในภาพรวม ต้องพึ่งพาฐานทรัพยากรธรรมชาติและผลผลิตที่มีความเปราะบางสูงต่อความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น ทรัพยากรน้ำ ผลผลิตทางการเกษตร ตลอดจนทรัพยากรชายฝั่ง อีกทั้งเมืองขนาดใหญ่ซึ่งเป็นศูนย์กลางการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและการค้า และประชากรตั้งถิ่นฐานอย่างหนาแน่น อยู่บริเวณที่ราบลุ่มปากแม่น้ำและชายฝั่ง<sup>20,21</sup> ประเด็นที่สำคัญที่สังเกตได้ชัดเจน ในปัจจุบัน คือ ประเทศไทย กำลังเผชิญกับสภาวะความรุนแรงและภัยพิบัติของลมฟ้าอากาศและสภาพภูมิอากาศ (Extreme weather and climate events) ในหลายรูปแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาวะภัยแล้งและน้ำท่วม ซึ่งนับวันจะทวีความรุนแรงและถี่ของการเกิดบ่อยครั้งขึ้น<sup>22,23</sup> ทั้งนี้ พบว่าในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ได้เกิดภาวะภัยแล้งและอุทกภัยที่รุนแรงในประเทศไทยมากกว่า 50 ครั้ง คิดเป็นมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจมากถึงหลายพันล้านบาท<sup>19</sup> กรมบรรเทาและป้องกันสาธารณภัยรายงานระหว่างปี พ.ศ. 2532 - 2547 พบว่า ความเสียหายที่เกิดขึ้นมีมูลค่าสูงถึง 65,497 ล้านบาท<sup>24</sup> นับได้ว่าเป็นปัจจัยเสี่ยงสำคัญต่อการแก้ไขปัญหาความยากจนและการพัฒนาประเทศอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น ในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทย มีพื้นที่การเกษตรประสบอุทกภัย 6,560,541 ไร่ ใน 58 จังหวัด ราษฎรได้รับผลกระทบ จำนวน 6,050,674 คน คิดเป็นมูลค่าความเสียหายเบื้องต้นถึง 9,627,418,620 บาท<sup>24</sup> ภาวะภัยแล้งและอุทกภัยที่เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ระหว่างปี พ.ศ. 2547-2551 เป็นตัวอย่างที่ชัดเจนของผลพวงจากการเปลี่ยนแปลงและความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศ ที่มีต่อการพัฒนาสังคมเศรษฐกิจของประเทศ ตลอดจนสุขภาพและความเป็นอยู่ของประชาชนโดยรวม<sup>25</sup>

ภัยพิบัติและความเสียหายจากภัยแล้งและอุทกภัย ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งประเทศไทย ถูกคาดการณ์ว่า จะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับในอนาคตอันใกล้ ตามสภาวะความแปรปรวนตามธรรมชาติของระบบภูมิอากาศโลก ที่มีการเชื่อมโยงและปฏิสัมพันธ์อย่างซับซ้อนกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อถึงกันและกันมากขึ้นเป็นลำดับ<sup>4,26</sup> ทั้งนี้เนื่องจากภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งประเทศไทย ตั้งอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางความแปรปรวนของระบบภูมิอากาศโลกที่สำคัญ คือ ENSO, Asian Monsoon และ IOD ซึ่งเป็นโหมดความแปรปรวนของระบบภูมิอากาศที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างมหาสมุทรบรรยากาศและพื้นดิน บริเวณเส้นศูนย์สูตรระหว่างมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิก อันเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบภูมิอากาศโลก ที่มีแนวโน้มความผิดปกติของความแปรปรวนเพิ่มขึ้นในแง่ของความรุนแรงและความถี่ตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกและอุณหภูมิของโลก<sup>27,28,29</sup> การคาดการณ์ดังกล่าว ค่อนข้างสอดคล้องกับผล



การวิเคราะห์แนวการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและฝนในประเทศไทย ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงทั้งในระยะสั้นและระยะยาวที่สัมพันธ์กับปรากฏการณ์ ENSO<sup>30,31</sup> นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ แสดงให้เห็นถึงสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ ฝนและความชื้นในหลายภูมิภาคของประเทศไทย มีการเปลี่ยนแปลงที่มีรูปแบบและแนวโน้มที่สอดคล้องกับภาวะโลกร้อน ซึ่งสื่อถึงความเสี่ยงของการเกิดภาวะภัยแล้งและอุทกภัยในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย<sup>32,33</sup> ดังนั้น แนวทางและวิธีการที่เหมาะสมในการปรับตัวและการลดผลกระทบ จึงมีความสำคัญเร่งด่วนลำดับต้นๆ ที่ต้องรีบดำเนินการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การวิเคราะห์ความล่อแหลม และการประเมินความเสี่ยงจากภัยพิบัติที่เกิดจากภัยแล้งและอุทกภัยในพื้นที่วิกฤติ ตลอดจนการศึกษา รูปแบบและแนวทางการปรับตัวในลักษณะ community-based adaptation เพื่อให้ได้ข้อมูลทางวิชาการที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ รวมทั้งรูปแบบและแนวทางที่เหมาะสมต่อบริบทของประเทศไทย ที่สามารถนำไปสู่การวางแผน จัดการ และขยายผลได้อย่างเป็นรูปธรรม

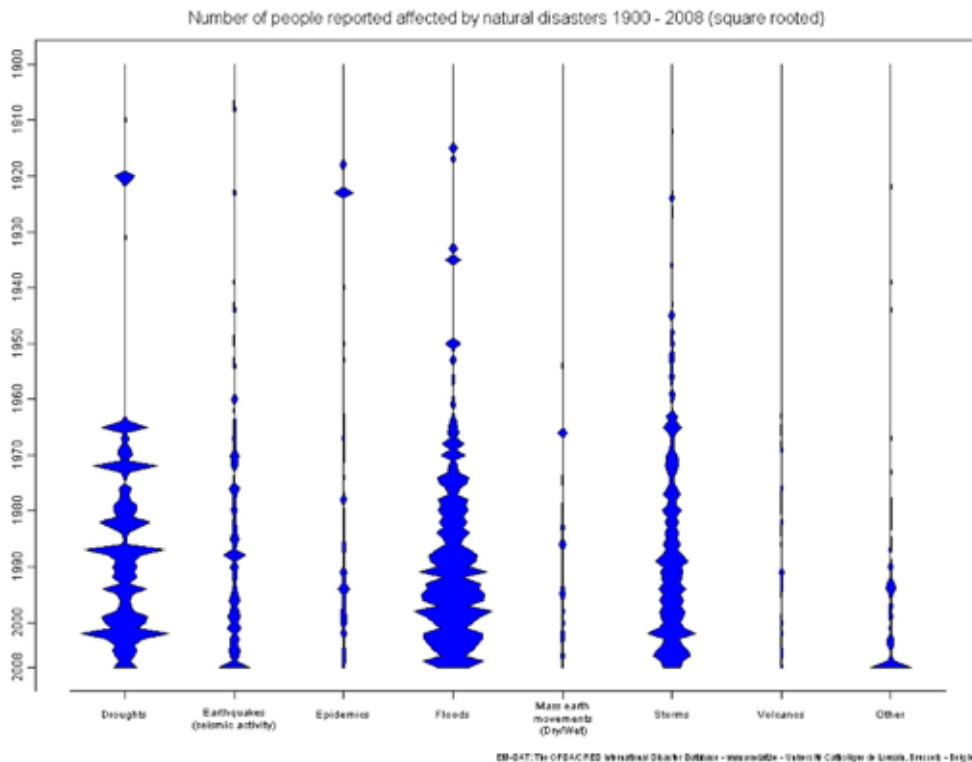
## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มความรุนแรงและความถี่ของการเกิดภัยแล้งและอุทกภัยในประเทศไทย
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติ (hot spots) ของภัยแล้งและอุทกภัย
- 1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีการและแนวทางการวิเคราะห์ความล่อแหลมและประเมินความเสี่ยงจากภัยแล้งและอุทกภัย

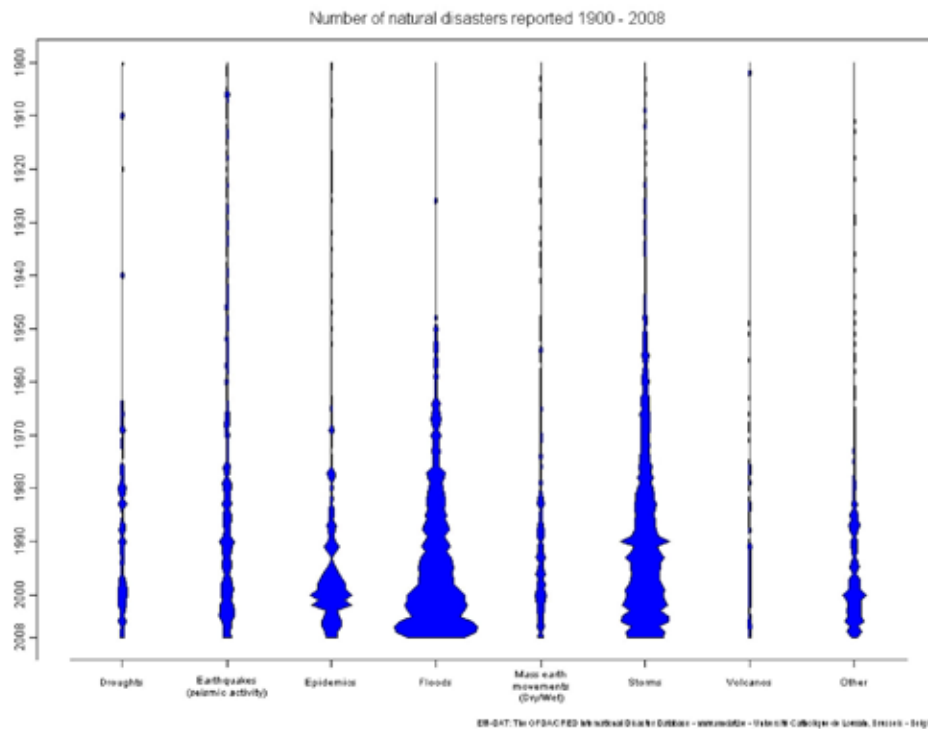
## บทที่ 2

### บททวนเอกสาร

นับตั้งแต่ประวัติศาสตร์ของมนุษยชาติ ภัยแล้งและอุทกภัย จัดเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่มีความสำคัญลำดับต้นๆ ที่ส่งผลกระทบต่ออย่างกว้างขวางและรุนแรงต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ - สังคม ความเป็นอยู่และสุขภาพของมนุษย์และระบบนิเวศน์<sup>4,34,35,36,37,38,39,40</sup> ข้อมูลของ EM-DAT<sup>41</sup> ระบุว่า ในศตวรรษที่ 20 ประชาชนทั่วโลก ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งและอุทกภัยมากกว่าภัยพิบัติทางธรรมชาติอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทั้งนี้ ความถี่ของการเกิดภัยแล้งและอุทกภัยทั่วโลก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงหลังของศตวรรษที่ 20 ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดงจำนวนผู้ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติธรรมชาติในช่วงปี ค.ศ. 1900-2008 ที่รายงานในฐานข้อมูล EM-DAT<sup>41</sup>



**รูปที่ 2.2** แสดงจำนวนเหตุการณ์ของภัยพิบัติธรรมชาติในช่วงปี ค.ศ. 1900-2008 ที่รายงานในฐานข้อมูล EM-DAT<sup>41</sup>

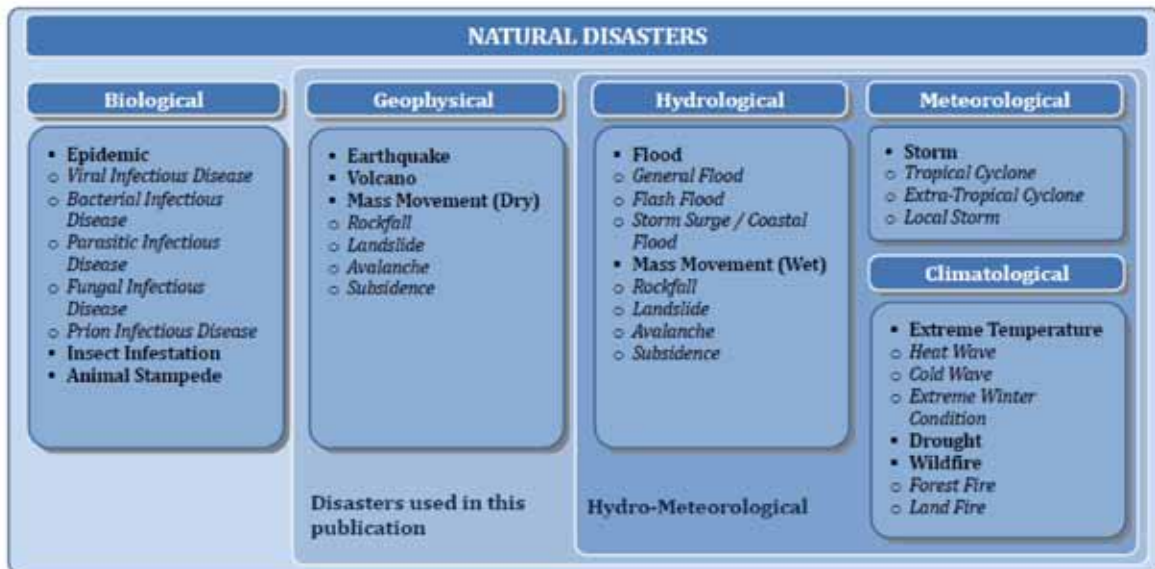
จากข้อมูลของ International Federation of Red Cross และ Red Crescent พบว่า ในรอบ 10 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993 ถึง ปี ค.ศ. 2002 ภัยพิบัติจากอุทกภัย ส่งผลกระทบต่อประชาชนทั่วโลกมากกว่า 140 ล้านคนต่อปี ซึ่งมากกว่าผลกระทบจากภัยพิบัติอื่นๆ รวมกัน<sup>42</sup> ในขณะที่ ภัยแล้งมีส่วนการเกิดเพียงแค่ 20% ของภัยพิบัติทางธรรมชาติทั้งหมด แต่ส่งผลกระทบมากถึง 80% ของประชาชนทั้งหมดที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติธรรมชาติ<sup>38</sup> ภัยพิบัติจากภัยแล้งครั้งยิ่งใหญ่ 10 ลำดับแรกของโลกที่เกิดขึ้นในช่วง ปี ค.ศ. 1900 - 2009 ทำให้มีผู้เสียชีวิตมากถึง 11 ล้านคน 41 ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ตัวอย่างภัยแล้งและอุทกภัยครั้งยิ่งใหญ่ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เช่น ภัยแล้งในภาคกลางและตะวันตกเฉียงใต้ของทวีปเอเชียในช่วง ปี ค.ศ. 1998 - 2003<sup>43,44</sup> ภัยแล้งในประเทศออสเตรเลียในช่วงปี ค.ศ. 2002 - 2003<sup>45</sup> ภัยแล้งในบริเวณตะวันตกของทวีปอเมริกาเหนือในปี ค.ศ. 1999 - 2004<sup>46</sup> และอุทกภัยในทวีปยุโรปในช่วงฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2002<sup>47</sup>

**ตารางที่ 2.1** แสดงเหตุการณ์ภัยแล้งที่รุนแรงที่สุดใน 10 อันดับแรกในช่วงปี ค.ศ. 1900 - 2009 ที่รายงานในฐานข้อมูล EM-DAT41

Top 10 most important Drought disasters for the period 1900 to 2009 sorted by numbers of killed at the country level:		
Country	Date	No Killed
China P Rep, Drought	1928	3,000,000
Bangladesh, Drought	1943	1,900,000
India, Drought	1942	1,500,000
India, Drought	1965	1,500,000
India, Drought	1900	1,250,000
Soviet Union, Drought	1921	1,200,000
China P Rep, Drought	1920	500,000
Ethiopia, Drought	May-1983	300,000
Sudan, Drought	Apr-1983	150,000
Ethiopia, Drought	Dec-1973	100,000

ภัยแล้งและอุทกภัย เป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม Hydro-meteorological ตามการแบ่งประเภทของภัยพิบัติของศูนย์วิจัยทางระบาดวิทยาด้านภัยพิบัติ (Center for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED) มหาวิทยาลัยคาทอลิก ลูเวน ประเทศ เบลเยียม ซึ่งได้แบ่งประเภทของภัยพิบัติทางธรรมชาติออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ โดยครอบคลุม ภัยพิบัติ 12 ประเภท และประเภทของภัยพิบัติย่อยๆ อีกมากกว่า 30 ประเภท<sup>48</sup> ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยความแห้งแล้งและน้ำท่วมนี้ มีสาเหตุหลักเกิดจากความแปรปรวนและผิดปกติ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาวของตัวแปรสำคัญทางภูมิอากาศและวัฏจักรของน้ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความผันแปรตามธรรมชาติของโหมดภูมิอากาศที่สำคัญทั้งระดับภูมิภาคและโลก และเกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนของระบบภูมิอากาศโลกในรูป ‘Teleconnection’<sup>4</sup> ผลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ความแปรปรวนในเชิงพื้นที่และช่วงเวลาการเกิดภัยแล้งและอุทกภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่ตั้งอยู่ติดกับมหาสมุทรแปซิฟิกและบริเวณ mid-latitude มีส่วนเกี่ยวข้องอย่างยิ่งกับวัฏจักรของปรากฏการณ์เอลนีโญ<sup>4,5,6,7,8,15,49</sup> นอกจากนี้ ภาวะความแห้งแล้งที่ยาวนานบริเวณทะเลทราย Sahel ในทวีปแอฟริกา มีความเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงของการหมุนเวียนของระบบภูมิอากาศ ที่มีต้นกำเนิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณเส้นศูนย์สูตรในมหาสมุทรอินเดีย มหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรแอตแลนติก<sup>4</sup> Barlow และคณะ (2002) พบว่า ความแห้งแล้งในบริเวณภาคกลางและตะวันตกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย ในช่วงปี ค.ศ. 1998 - 2001 มีความสัมพันธ์กับการสะสมที่ยาวนานกว่าปกติของมวลน้ำอุ่นบริเวณฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเหตุการณ์ La Nia ของปรากฏการณ์เอลนีโญ<sup>50</sup> Dai et al. (2004) ระบุว่า พื้นที่แห้งแล้งมากทั่วโลกเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัว

หลังจากกลาง ค.ศ. 1970s ซึ่งสอดคล้องกับเหตุการณ์ 'climatic regime shift' ที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ โดยเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า 10 ปีของความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศ โหมดอื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วย ปรากฏการณ์เอนโซ Pacic Decadal Oscillation (PDO) Pacic-North American (PNA) pattern และ Asian Monsoon<sup>3,4,51</sup> ในช่วง ค.ศ. 1990s ซึ่งโหมดโดดเด่นของความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศบริเวณ มหาสมุทรแอตแลนติกเหนือ คือ North Atlantic Oscillation (NAO) มีค่าเป็นบวกสูงผิดปกติ ส่งผลให้เกิดภาวะ เปียกชื้นมากกว่าปกติบริเวณทางเหนือของทวีปยุโรป ในขณะที่เกิดภาวะแห้งแล้ง บริเวณแถบเมดิเตอร์เรเนียนและ ตอนเหนือของทวีปแอฟริกา<sup>4</sup> ผลการศึกษาของ Yu et al. (2004) แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการเกิดภัยแล้งและน้ำท่วม บริเวณตอนเหนือของประเทศจีนและหุบเขาแม่น้ำ Yangtze มีสาเหตุจากความแปรปรวนของลมมรสุมเอเชีย<sup>52</sup> ภัยพิบัติ ของอุทกภัยในบริเวณตะวันออกของทวีปแอฟริกา ในช่วงปี ค.ศ. 1997 - 1998 เกิดขึ้นตรงกับปรากฏการณ์ IOD ที่มีกำลังแรงสูงสุดในอนุกรมข้อมูลที่ได้ตรวจวัดและบันทึกในอดีตที่ผ่านมา<sup>4</sup> การวิเคราะห์ห้วงปีของไม้สักบริเวณ ตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่า ในรอบ 448 ปีที่ผ่านมา ความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในช่วงต้นและกลาง 1700s มีส่วนเกี่ยวข้องกับลมมรสุมฤดูร้อนและสภาวะ El Nio ของปรากฏการณ์เอนโซ<sup>53</sup>



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะและประเภทของภัยพิบัติตามการแบ่งของศูนย์วิจัยทางระบาดวิทยาต้านภัยพิบัติ (Center for Research on the Epidemiology of Disasters, CREDE)<sup>48</sup>

หลักฐานจากข้อมูลสังเกตการณ์ในอดีตถึงปัจจุบัน ได้แสดงถึงแนวโน้มความรุนแรงและความถี่ของการเกิดภัยแล้งและอุทกภัย เพิ่มขึ้นอย่างมากหลังจาก ค.ศ. 1970s และคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) ได้คาดการณ์ว่า มีความเป็นไปได้ที่ภัยพิบัติจากภัยแล้งและอุทกภัยเพิ่มขึ้นในหลายภูมิภาคของโลกในอนาคตอันใกล้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ราบลุ่มปากแม่น้ำและชายฝั่ง และพื้นที่ที่ได้รับฝนในปริมาณที่สูง<sup>4,35</sup> ทั้งนี้ มีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากมนุษย์ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้นศักยภาพการรองรับของชั้นบรรยากาศหลังจาก ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม<sup>4</sup> การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากมนุษย์ ได้กลายเป็นแรงเสริมสำคัญที่ทำให้ความแปรปรวนที่เกิดจากกระบวนการปฏิสัมพันธ์ในแง่ของพลังงานความร้อน ความชื้น และโมเมนตัมระหว่างองค์ประกอบทางมหาสมุทร บรรยากาศ และดินซึ่งเป็นกลไกหลักที่ก่อให้เกิดภัยแล้งและอุทกภัย มีความถี่ และความรุนแรงเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันเนื่องมาจากมนุษย์ ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของฝน อุณหภูมิ การระเหยของน้ำและการคายน้ำของพืช เป็นปัจจัยที่ทำให้วัฏจักรของน้ำเสียสมดุล ในแง่ปริมาณและอัตราการเคลื่อนที่หรือถ่ายเทพลังงานความร้อน ความชื้นและโมเมนตัม ระหว่างแต่ละองค์ประกอบในวัฏจักรของน้ำ<sup>49,54</sup> จากกฎทางฟิสิกส์ (the Clausius-Clapeyron relation) พบว่า ความสามารถในการรองรับความชื้นและไอน้ำของชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นประมาณ 7% ทุกๆ 1 องศาเซลเซียสของของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น<sup>4</sup>

## 2.1 อุทกภัย (Flood)

### 2.1.1 นิยาม/ความหมาย และลักษณะและประเภทของอุทกภัย

ความหมายของอุทกภัย ได้มีการนิยามอย่างมากมายจากนักวิจัยหลายท่าน โดยรวม อุทกภัย หมายถึง ภัยหรืออันตรายที่เกิดจากน้ำท่วมหรืออันตรายอันเกิดจากสภาวะที่น้ำไหลเอ่อล้นฝั่งแม่น้ำ ลำธารหรือทางน้ำ เข้าท่วมพื้นที่ซึ่งปกติไม่ได้อยู่ใต้ระดับน้ำเป็นบริเวณกว้าง โดยระดับและอัตราการไหลของน้ำเกินความสามารถเก็บกักของแม่น้ำและแหล่งน้ำ หรือเกิดจากการสะสมน้ำบนพื้นที่ซึ่งระบายออกไม่ทันทำให้พื้นที่นั้นปกคลุมไปด้วยน้ำ ทั้งนี้ ความรุนแรงขึ้นอยู่กับปริมาณ ระยะเวลาและกระแสและระดับน้ำ<sup>55,56,57,58,59,60</sup> ซึ่งสอดคล้องกับ Satterand and Adams (1992) กล่าวว่าอุทกภัยเกิดจากอัตราการไหลของน้ำในลำธารสูงเกินกว่าศักยภาพของลำน้ำ<sup>61</sup> จึงกล่าวได้ว่า อุทกภัย เป็นอันตรายอันเกิดจากสภาวะที่น้ำไหลเอ่อล้นฝั่งแม่น้ำลำธารและทางน้ำเข้าท่วมพื้นที่ เมื่อระบายน้ำไม่ทันทำให้พื้นที่ปกคลุมไปด้วยน้ำ<sup>61</sup> สมิท ธรรมสโรช (2533) ได้ให้ความหมายของอุทกภัยว่า เป็นอันตรายจากระดับน้ำในทะเลและแม่น้ำเพิ่มสูงมากจนล้นฝั่งและตลิ่ง ไหลท่วมบ้านเรือนด้วยความรุนแรงของกระแสน้ำ ทำความเสียหายแก่ทรัพย์สิน พืชผล พาหนะต่างๆ ทำให้การคมนาคมหยุดชะงักและก่อให้เกิดโรครณะบาดได้<sup>62</sup> ในขณะที่ วิชา นิยม (2535) กล่าวถึงความหมายของอุทกภัยว่า อุทกภัยตามสภาพความเข้าใจของคนทั่วไป หมายถึงสภาวะที่มีน้ำใน ลำธารไหลบ่าสูงขึ้นผิดปกติ ทำให้เกิดการท่วมพื้นที่ต่างๆ เช่น พื้นที่การเกษตรกรรม ถนนหนทาง ตัวเมือง เป็นต้น ทำให้เกิดความสูญเสียทรัพย์สินไปทั้งทางตรงและทางอ้อม<sup>63</sup> น้ำท่วม มีสาเหตุมาจากฝนตกหนักต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน น้ำหลากจากภูเขาบริเวณต้นน้ำลำธาร น้ำทะเลหนุน และเขื่อนพัง เป็นต้น อุทกภัย เป็นผลพวงที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างกระบวนการทางภูมิอากาศและอุทกวิทยาซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้หลากหลายสเกลทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา เหตุการณ์น้ำท่วม สามารถเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ ซึ่งประกอบด้วย เหตุการณ์เริ่มต้นจากระดับน้ำเพิ่มขึ้นและล้นตลิ่งอย่างช้าๆ น้ำท่วมฉับพลัน

การสะสมหรือท่วมขังของน้ำฝนในบริเวณที่มีการระบายน้ำไม่ดี และน้ำท่วมบริเวณชายฝั่งที่เกิดจากน้ำทะเลหนุนและคลื่นพายุซัดฝั่ง<sup>64</sup> ทั้งนี้ คำจำกัดความที่ชัดเจนของแต่ละรูปแบบของเหตุการณ์ดังกล่าว ไม่ง่ายในการนิยาม โดยน้ำท่วมในพื้นที่ดินและชายฝั่ง อาจเกิดขึ้นควบคู่กับเหตุการณ์พายุและลมมรสุม โดยทั่วไป เหตุการณ์น้ำท่วม มีความผันผวนอย่างสูงในแง่ของความรุนแรงและผลกระทบ ซึ่งขึ้นอยู่กับความลึก ความเร็วของกระแสน้ำ ระยะเวลา ฤดูกาล ขอบเขตและความเร็วของการเริ่มต้นเหตุการณ์น้ำท่วม<sup>65</sup> โดยทั่วไป อุทกภัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ดังนี้

1. น้ำท่วมขัง (drainage oods) เป็นสภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบการระบายน้ำไม่มีประสิทธิภาพ มักเกิดในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำและบริเวณชุมชนเมืองใหญ่ ๆ เช่น กรุงเทพฯ ลักษณะการเกิดอุทกภัยเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไปที่เกิดจากฝนตกหนักและติดต่อกันเป็นเวลานานหลายวันหรือจากสภาวะน้ำล้นตลิ่ง น้ำท่วมขังส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณท้ายน้ำและมีลักษณะแผ่เป็นบริเวณกว้างเนื่องจากไม่สามารถระบายน้ำลงสู่ทะเลหรือแม่น้ำได้ทัน

2. น้ำท่วมฉับพลันหรือน้ำป่า (ash oods) เป็นสภาวะที่น้ำท่วมที่เกิดขึ้นและลดลงอย่างฉับพลัน เนื่องจากฝนตกหนักในบริเวณพื้นที่ที่มีความชันมากและคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำหรือด้านน้ำน้อย เช่นบริเวณต้นน้ำที่มีความชันมากเนื่องจากพื้นที่ป่าถูกทำลายไปทำให้การต้านหรือชะลอความเร็วของน้ำหลากหรือน้ำป่าของพื้นที่ลดลง หรืออาจเกิดสาเหตุอื่น ๆ เช่น เขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำพัง น้ำท่วมฉับพลันมักเกิดขึ้นหลังจากเกิดฝนตกหนักไม่เกิน 6 ชั่วโมงและมักเกิดบริเวณที่ราบระหว่างหุบเขา ซึ่งอาจจะไม่มีฝนตกหนักในบริเวณนั้นมาก่อนเลยแต่มีฝนตกหนักมากบริเวณต้นน้ำที่อยู่เหนือพื้นที่เข้าไป

ลักษณะของอุทกภัยที่เกิดขึ้น แบ่งตามสภาพการเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ<sup>66</sup>

- 1) สภาพน้ำท่วมอันเกิดจากเหตุการณ์ทางธรรมชาติ ประกอบด้วย สภาพน้ำท่วมที่เกิดจากน้ำหลากจากภูเขา ลงมาท่วมฉับพลันซึ่งมีสาเหตุจากฝนตกหนักบริเวณต้นน้ำลำธาร สภาพน้ำล้นตลิ่ง เนื่องจากปริมาณน้ำป่าที่ไหลลงสู่แม่น้ำมีปริมาณเกินความจุของแม่น้ำจะรับได้ และสภาพน้ำท่วมตามปกติของแม่น้ำต่าง ๆ บริเวณปากแม่น้ำในช่วงน้ำทะเลหนุนสูง
- 2) สภาพน้ำท่วมที่เกิดจากมนุษย์ทำขึ้น เช่น สภาพน้ำท่วมเนื่องจากเขื่อนพัง สภาพน้ำท่วมที่เกิดจากสิ่งก่อสร้างขวางทางน้ำ และสภาพน้ำท่วมที่เกิดจากน้ำฝนขังท่วมในเขตชุมชนและในเขตเมือง กรณีเมื่อเกิดฝนตกหนัก

เมื่อพิจารณาถึงรูปแบบของน้ำท่วม สามารถแบ่งได้ 5 ชนิด คือ<sup>65,66</sup>

- น้ำล้นตลิ่ง (River Flood)
- น้ำท่วมฉับพลัน (Flash Flood)
- คลื่นพายุซัดฝั่ง (Storm Surges)
- น้ำท่วมขัง (Drainage Flood)
- เขื่อนพัง (Dam Break)

น้ำท่วมในหลายพื้นที่ของโลก เกิดจากหลายสาเหตุและลักษณะที่แตกต่างกัน<sup>65,66,67</sup> Paker (2000) ได้จำแนกชนิดสาเหตุและประเภทของน้ำท่วม ดังแสดงในตารางที่ 2.2 สาเหตุหลักของน้ำท่วม เกิดจากเหตุการณ์ฝนตกหนักอย่างต่อเนื่อง ในระยะเวลาที่ยาวนาน หรือเหตุการณ์ฝนตกหนักที่มีความแรงของฝนสูง ซึ่งส่งผลให้น้ำท่ามีปริมาณที่สูงและสะสมในที่ราบลุ่ม ฝนที่ตกเป็นระยะเวลานาน อาจก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ของระดับน้ำในแม่น้ำซึ่งส่งผลให้เกิดน้ำล้นตลิ่ง ไหลท่วมพื้นที่โดยรอบเป็นเวลาหลายวันหรืออาทิตย์ ในขณะที่ ความแรงของเหตุการณ์ฝนตกหนักที่เกิดจากพายุ ส่งผลให้เกิดน้ำไหลหลากและท่วมฉับพลันในพื้นที่ราบหุบเขา น้ำท่วมแบบฉับพลันนี้ เกิดขึ้นเฉพาะที่ในระยะเวลานั้น แต่สามารถสร้างความเสียหายอย่างสูงต่อทรัพย์สินและชีวิต ความแรงของฝน อาจทำให้เกิดน้ำท่วมขังในชุมชนเมือง ในกรณีที่ปริมาณน้ำท่าเกินการรองรับของระบบระบายน้ำ

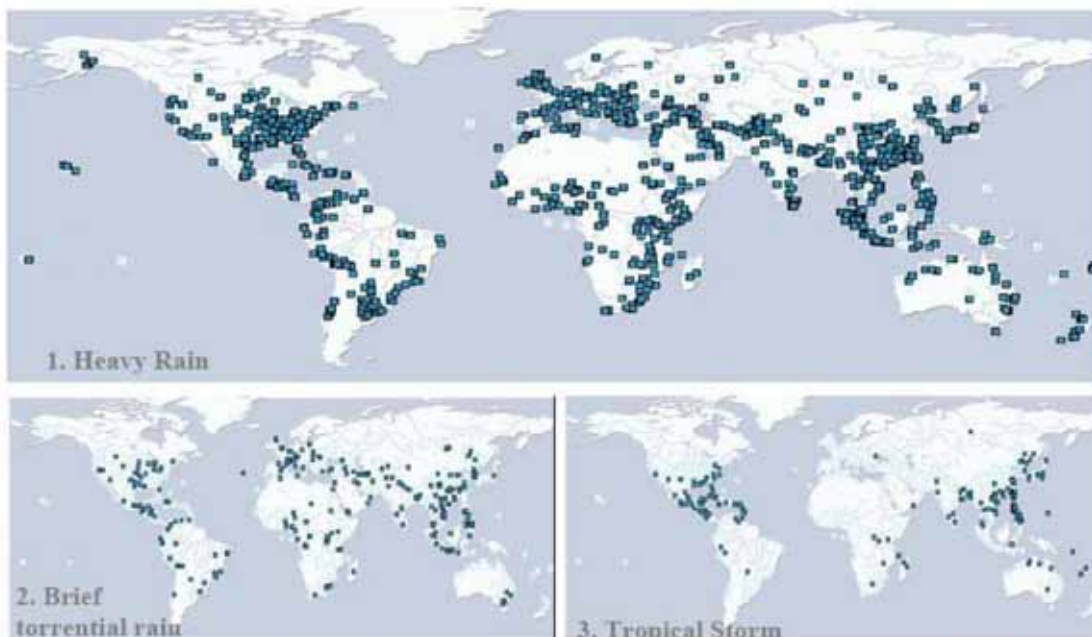
**ตารางที่ 2.2** แสดงสาเหตุของน้ำท่วม<sup>35</sup>

<i>Cause</i>	<i>Examples of flood types</i>
High Rainfall	Slow-onset riverine flood Flash flood (rapid onset) Sewer/urban drain flood
Tidal and wave extremes	Storm surge Tsunami
Thawing of Ice	Jökulhlaup Snowmelt
Structural failure	Dam-break flood Breaching of sea defences

คลื่นพายุซัดฝั่งและน้ำทะเลหนุน เป็นสาเหตุอันดับที่สองของสภาพน้ำท่วม โดยพัดพาน้ำทะเลเข้าสู่พื้นดินที่อยู่ระดับใกล้เคียงกับระดับน้ำทะเลปกติ นอกจากนี้ พายุไซโคลน อาจก่อให้เกิดคลื่นพายุซัดฝั่ง (storm surge) โดยความกดอากาศต่ำ ทำให้เกิดการยกตัวของระดับน้ำทะเล ประกอบกับลมที่มีกำลังแรง ผลักดันให้น้ำทะเลและคลื่นซัดและไหลป่าเข้าสู่ชายฝั่ง อย่างไรก็ตาม การเกิดน้ำท่วม อาจมีหลายสาเหตุรวมกัน เช่น พายุฤดูหนาวในสหราชอาณาจักร อาจส่งผลให้เกิดน้ำท่วมในพื้นที่ ในขณะที่เดียวกัน คลื่นพายุซัดฝั่งและน้ำทะเลหนุน ช่วยเสริมให้สภาพน้ำท่วมเพิ่มขึ้นในบริเวณปากแม่น้ำ<sup>35</sup> เหตุการณ์น้ำท่วม มีลักษณะที่แตกต่างอย่างมากในแง่ ระดับความรุนแรง ระยะเวลาและผลกระทบ Hadmer et al. (1999) ได้ระบุถึงนิยามของน้ำท่วมว่า สามารถครอบคลุมถึงความต่อเนื่องของเหตุการณ์จากแทบจะสังเกตเห็น จนถึงภัยพิบัติที่เกี่ยวข้องกับภาวะน้ำท่วม<sup>68</sup> มีหลายวิธีที่สามารถแยกความแตกต่างของเหตุการณ์น้ำท่วม ซึ่งประเมินได้จากระดับความลึกของน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ ขอบเขตในเชิงพื้นที่ ระยะเวลา ฤดูกาล ขอบเขตและความเร็วของการเริ่มต้นเหตุการณ์น้ำท่วม<sup>64,66</sup> สภาพน้ำท่วม อาจมีระดับน้ำที่ต่างกันตั้งแต่ 2 - 3 เซนติเมตร ถึงหลายเมตร และมีลักษณะเป็นน้ำนิ่งหรือน้ำไหลที่มีกระแสน้ำเชี่ยว รวมทั้งระยะเวลาการท่วมขังของน้ำน้อยกว่าหนึ่งชั่วโมงจนถึงหลายเดือน



น้ำท่วม อาจเกี่ยวเนื่องกับการเปลี่ยนแปลงปกติตามฤดูกาลของฝนมรสุม ช่วงฝนตกหนักในรอบปี อย่างไรก็ตาม ความรุนแรงของสภาพน้ำท่วมตามฤดูกาล มีความแตกต่างกันในแต่ละปี ซึ่งบางพื้นที่ อาจประสบกับเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่กว่าปกติ เช่น ใน ปี ค.ศ. 1998 ประเทศบังคลาเทศ ประสบกับน้ำท่วมที่มีทั้งความรุนแรงและระยะเวลาซึ่งเกินกว่าระดับที่ได้ถูกบันทึกในอดีต<sup>69</sup> ดังแสดงในรูปที่ 2.4 แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของอุทกภัยครั้งสำคัญตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1985 ที่เกิดจาก 3 สาเหตุหลักที่ถูกจำแนกโดย Dartmouth Flood Observatory น้ำท่วมที่รุนแรงที่เกิดจากเหตุการณ์ฝนตกหนักทั้งระยะสั้นและระยะยาว เกิดขึ้นเกือบทุกพื้นที่เป็ยกชั้นและกึ่งแห้งแล้งของโลก พายุเขตร้อน (ไซโคลน ไต้ฝุ่น และเฮอริเคน) เกิดขึ้นบ่อยครั้งบริเวณชายฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก คาริเบียน ตะวันออกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกา และอ่าวเบงกอล



รูปที่ 2.4 สาเหตุของอุทกภัยครั้งยิ่งใหญ่ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1985<sup>72</sup>

วิศวกรด้านชลประทานและการกีดเซาะชายฝั่ง จำแนกเหตุการณ์ท่วมด้วยการวิเคราะห์ความถี่เชิงสถิติ โดยใช้ข้อมูลที่บันทึกในอดีตมาประเมินโอกาสที่เกิเกิดขึ้นของน้ำท่วมในระดับความรุนแรงที่กำหนด 64 ดังนั้น ‘100 - year ood’ หมายถึงเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นหนึ่งครั้งทุกๆ 100 ปี ในขณะที่ ‘1 - year ood’ ถูกคาดการณ์ว่า เกิดขึ้นทุกๆ ปี อย่างไรก็ตาม ปัจจัยทางกายภาพของน้ำท่วมไม่สามารถตรวจวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่จำเป็นต้องเป็นดัชนีที่น่าเชื่อถือถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น ข้อแตกต่างในการนิยามและความเข้าใจต่อความรุนแรงของน้ำท่วม

ได้ทำให้ยากต่อการจัดหมวดหมู่ น้ำท่วมให้เป็นมาตรฐาน ซึ่งบางครั้ง การจัดหมวดหมู่ระดับความรุนแรงของน้ำท่วม อาจทำให้เข้าใจผิดและคลาดเคลื่อน เมื่อพิจารณาถึงแง่มุมความรุนแรงของผลกระทบ เนื่องจาก เหตุการณ์น้ำท่วมที่ ความรุนแรงเหมือนกัน อาจมีผลกระทบที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสเกลระดับชุมชนและครัวเรือน<sup>70</sup>

ผลลัพธ์ของน้ำท่วม ไม่ใช่จะมีผลกระทบในลบอย่างเดียวนั้น น้ำหลากตามฤดูกาลบริเวณสองฝั่งของแม่น้ำ มีบทบาทสำคัญในการค้ำจุนระบบนิเวศน์ เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินสำหรับการเพาะปลูกในพื้นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง 70 ในบางพื้นที่ เช่น ที่ราบลุ่มของประเทศบังคลาเทศ น้ำหลากตามฤดูกาล นับว่ามีผลกระทบทางด้านบวก ยกเว้นกรณีที่ ระดับน้ำสูงกว่าปกติ จึงถือว่าเป็นเหตุการณ์ที่สร้างความเสียหาย 64 โดยคำว่า ‘ภัยพิบัติจากอุทกภัย’ ใช้ในกรณีหลัง ซึ่ง หมายถึง เหตุการณ์น้ำท่วม ที่มีศักยภาพในการสร้างความเสียหายและส่งผลกระทบต่อมนุษย์และทรัพย์สิน ทั้งนี้ ภัยพิบัติจากอุทกภัย อาจมีหลายระดับ ตั้งแต่ ส่งผลกระทบเล็กน้อยในพื้นที่ขนาดเล็ก จนถึงความเสียหายรุนแรงที่เกิดขึ้นอย่างกว้างขวาง

### 2.1.2 ภัยพิบัติจากอุทกภัย

คำนิยามที่หมายถึงอะไรคือองค์ประกอบของภัยพิบัติ เป็นประเด็นที่ยังโต้เถียงกันอยู่ โดยทั่วไปใช้อธิบายเหตุการณ์ ที่สร้างความสูญเสียอย่างกว้างขวาง และก่อให้เกิดความเสียหาย ต่อสังคม ซึ่งบางนิยาม รวมถึงเหตุการณ์ที่เกิน ความสามารถของชุมชน/สังคมที่จะตั้งรับบนพื้นฐานของทรัพยากรที่มีอยู่ 64,71 การศึกษาและรายงานจำนวนมาก ได้กล่าว ถึงภัยพิบัติจากอุทกภัยในสเกลที่แตกต่างกัน และสถิติของภัยพิบัติจากอุทกภัย เป็นดัชนีที่มีประโยชน์ต่อการเข้าใจถึง ความเสี่ยงที่เกิดจากสภาพน้ำท่วม ศูนย์วิจัยทางระบาดวิทยาต้านภัยพิบัติ (Center for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED) ได้ดำเนินการรวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลผลกระทบจากภัยพิบัติในระดับโลก โดย CRED ได้จำแนกเหตุการณ์ที่มีลักษณะอย่างน้อยหนึ่งคุณสมบัติ เป็นภัยพิบัติ คือ มีผู้คนเสียชีวิตมากกว่า 10 คน และผู้ได้รับบาดเจ็บหรือคนมากกว่า 100 คน ร้องขอความช่วยเหลือจากต่างประเทศ และ/หรือประกาศภาวะฉุกเฉิน จากสถิติ ที่ได้ถูกบันทึก น้ำท่วม เป็นอันดับสอง รองลงมาจากภัยแล้งที่เป็นสาเหตุให้ผู้คนเสียชีวิต และมีสัดส่วนมากกว่าครึ่งหนึ่งของผู้ที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ ถึงแม้ว่า ยังมีข้อจำกัดในแง่ของคุณภาพข้อมูล สถิติจากภัยพิบัติ ยังเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงภูมิภาคที่เสี่ยงต่อน้ำท่วม ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และ ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 แสดงภัยพิบัติจากอุทกภัยแยกตามทวีปในช่วงปี ค.ศ. 1993 - 2002<sup>35</sup>

<i>Continent</i>	<i>Reported disasters</i>	<i>People reported killed</i>	<i>People affected reported</i>
<b>Africa</b>	238	9,642	19,939
<b>Americas</b>	239	35,236	9,730
<b>Asia</b>	385	47,009	1,364,957
<b>Europe</b>	187	1,654	6,700
<b>Oceania</b>	26	20	147

Source: EM-DAT, CRED, University of Louvain, Belgium

ตารางที่ 2.4 แสดงภัยพิบัติที่เกิดจากพายุแยกตามทวีปในช่วงปี ค.ศ. 1993 - 2002<sup>35</sup>

<i>Continent</i>	<i>Reported disasters</i>	<i>People reported killed</i>	<i>People affected reported</i>
<b>Africa</b>	63	1,335	5,687
<b>Americas</b>	285	23,703	18,117
<b>Asia</b>	328	34,923	277,780
<b>Europe</b>	90	739	6,655
<b>Oceania</b>	57	271	4,306

Source: EM-DAT, CRED, University of Louvain, Belgium

จากตาราง จะแสดงการเปรียบเทียบสถิติภัยพิบัติจากอุทกภัยและลมพายุในแต่ละทวีป โดยใช้ข้อมูล EM-DAT ของ CRED จากตาราง พบว่า ภัยพิบัติจากอุทกภัยและผลกระทบต่อชีวิต เกิดขึ้นบ่อยในทวีปเอเชีย ที่มีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่นบริเวณที่ราบลุ่มของแม่น้ำสายหลัก และพื้นที่ชายฝั่งที่ล่อแหลมต่อพายุไซโคลน เช่น อ่าวเบงกอล และทะเลจีนใต้

Dartmouth Flood Observatory เป็นอีกหนึ่งแหล่งข้อมูลที่รวบรวมและทำการวิเคราะห์ระดับน้ำ สภาพน้ำท่วมรวมทั้งภัยพิบัติจากอุทกภัยที่เกิดขึ้นทั่วโลก โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากหลายแหล่ง ฐานข้อมูลนี้ ประกอบด้วยสถิติจำนวนและความรุนแรงของน้ำท่วมครั้งใหญ่ ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1985 แผนที่ของน้ำท่วมในแต่ละปี รวมทั้งความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิตที่เกิดขึ้นทั่วทุกภาคของโลก<sup>72</sup> ซึ่งเป็นสถิติและข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัย และประเมินความเสี่ยงและความล่อแหลมจากอุทกภัยทั้งระดับโลกและภูมิภาค

### 2.1.3 แนวโน้มความถี่ของอุทกภัย

น้ำท่วมและผลกระทบ ไม่เพียงแปรปรวนในเชิงพื้นที่เท่านั้น แต่มีการเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลาอีกด้วย การเปลี่ยนแปลงระยะสั้น (ปีต่อปี) เป็นองค์ประกอบหนึ่งของความแปรปรวนของการเกิดสภาพน้ำท่วม ซึ่งมีสาเหตุจากความผันแปรตามธรรมชาติของสภาพภูมิอากาศ อิทธิพลหลักต่อความแปรปรวนนี้ คือ วัฏจักรของปรากฏการณ์เอนโซ ที่ส่งผลต่อการเคลื่อนตัวในพื้นที่กว้างของเส้นทางพายุ รูปแบบของฝนและความเสี่ยงของภาวะน้ำท่วม<sup>73</sup> องค์ประกอบที่สอง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงในระยะยาวที่เกี่ยวข้องกับการขยับตัวของแนวโน้มการเกิดน้ำท่วมในระยะยาวหลายสิบปี ประเด็นสำคัญที่พิจารณาจากหลักฐานแนวโน้มการเกิดน้ำท่วมของโลก คือ ความถี่ของน้ำท่วม อาจเพิ่มขึ้น จากผลพวงของกิจกรรมมนุษย์ที่รบกวนระดับความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ อันนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของระบบภูมิอากาศโลก หลักฐานในปัจจุบัน บ่งบอกถึงแนวโน้มการเพิ่มของสภาพน้ำท่วมของโลก ยังไม่ชัดเจน Robson (2002) ระบุว่า ยังไม่พบหลักฐานที่ชัดเจนในแง่การเพิ่มขึ้นของเหตุการณ์น้ำท่วมของโลกในศตวรรษที่ 20<sup>74</sup> Milly et al. (2002) รายงานว่า ความถี่ของเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ที่ระดับเกิดขึ้นหนึ่งครั้งในรอบ 100 ปี (100 - year ood) เพิ่มขึ้นในศตวรรษที่ 20 ในบริเวณ high latitude ของทวีปอเมริกาเหนือและเอเชีย<sup>18</sup> แม้กระนั้นก็ตาม ยังไม่มีหลักฐานบ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นของน้ำท่วมที่มีระดับความรุนแรงน้อย ๆ Frei (2003) อธิบายถึง โอกาสความเป็นไปได้ ที่มีสะสมของเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในทวีปยุโรปในทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของความแรงของฝนในช่วงฤดูหนาว ที่เพิ่มขึ้นเกือบทั่วทุกพื้นที่ของทวีปในรอบ 5 ทศวรรษที่ผ่านมา<sup>75</sup>

แต่อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยังไม่ชัดเจน ปัญหาหนึ่งของศึกษาความเชื่อมโยงระหว่างแนวโน้มของภาวะน้ำท่วมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ คือ พลวัตของเหตุการณ์น้ำท่วม เกิดจากหลายสาเหตุ โดยความถี่ของการเกิด อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงด้านอื่น ๆ ของสภาพแวดล้อม<sup>76</sup> การเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดิน และการขยายชุมชนเมือง ส่งผลต่อลักษณะการดูดซับของน้ำ ซึ่งในหลายกรณี การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำท่าส่งผลให้สภาพน้ำท่วมในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนสูง ๆ มีความรุนแรงเพิ่มขึ้น ความล่อแหลมต่อเหตุการณ์น้ำท่วม ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยการเปลี่ยนแปลงด้านอื่น ๆ เช่น การเพิ่มขึ้นของประชากรและรูปแบบการตั้งถิ่นฐาน เป็นต้น

### 2.1.4 ความล่อแหลมและความเสี่ยงจากอุทกภัย

ความเสี่ยงจากอุทกภัย หมายถึง ความเสี่ยงที่เกิดกับมนุษย์และสังคม ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากความรุนแรงและโอกาสการเกิดภัยพิบัติจากน้ำท่วม และความล่อแหลมของกลุ่มประชากรและระบบ<sup>77</sup> ความล่อแหลม ถูกกำหนดโดยปัจจัยทางกายภาพ สังคม เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ซึ่งลักษณะของประชากรและระบบ เป็นเงื่อนไขของผลกระทบจากสภาพน้ำท่วม ในอดีตที่ผ่านมา ลักษณะทางกายภาพของความล่อแหลมในแง่การกระจายของประชากรและโครงสร้างพื้นฐานได้รับความสนใจเป็นพิเศษในการศึกษาวิจัยด้านภัยพิบัติ<sup>78</sup> แต่การศึกษาความล่อแหลมในปัจจุบัน ได้มุ่งเน้นลักษณะทางสังคมเพิ่มขึ้น สำหรับระดับบุคคล ความเปราะบางต่อภัยพิบัติ ขึ้นอยู่กับพฤติกรรม ความเป็นอยู่ และทรัพยากรที่สามารถใช้หลีกเลี่ยงและบรรเทาจากความเสียหาย ซึ่งทั้งหมดเหล่านี้ ถูกกำหนดโดยลักษณะและโครงสร้างทางด้านสังคม เศรษฐกิจ และการเมือง รวมทั้งกระบวนการที่ทำให้ผลกระทบของสภาพน้ำท่วมต่อประชาชนและระบบมนุษย์มีความแตกต่างกัน<sup>79</sup> การวิเคราะห์ความล่อแหลม ได้เน้นลักษณะธรรมชาติที่สังคมสร้างขึ้น ซึ่งได้ให้ความสำคัญถึงความเข้าใจต่อกระบวนการทางสังคมและการเมือง ที่สามารถสร้างความล่อแหลมต่อภัยพิบัติอย่างไร<sup>78,80</sup>

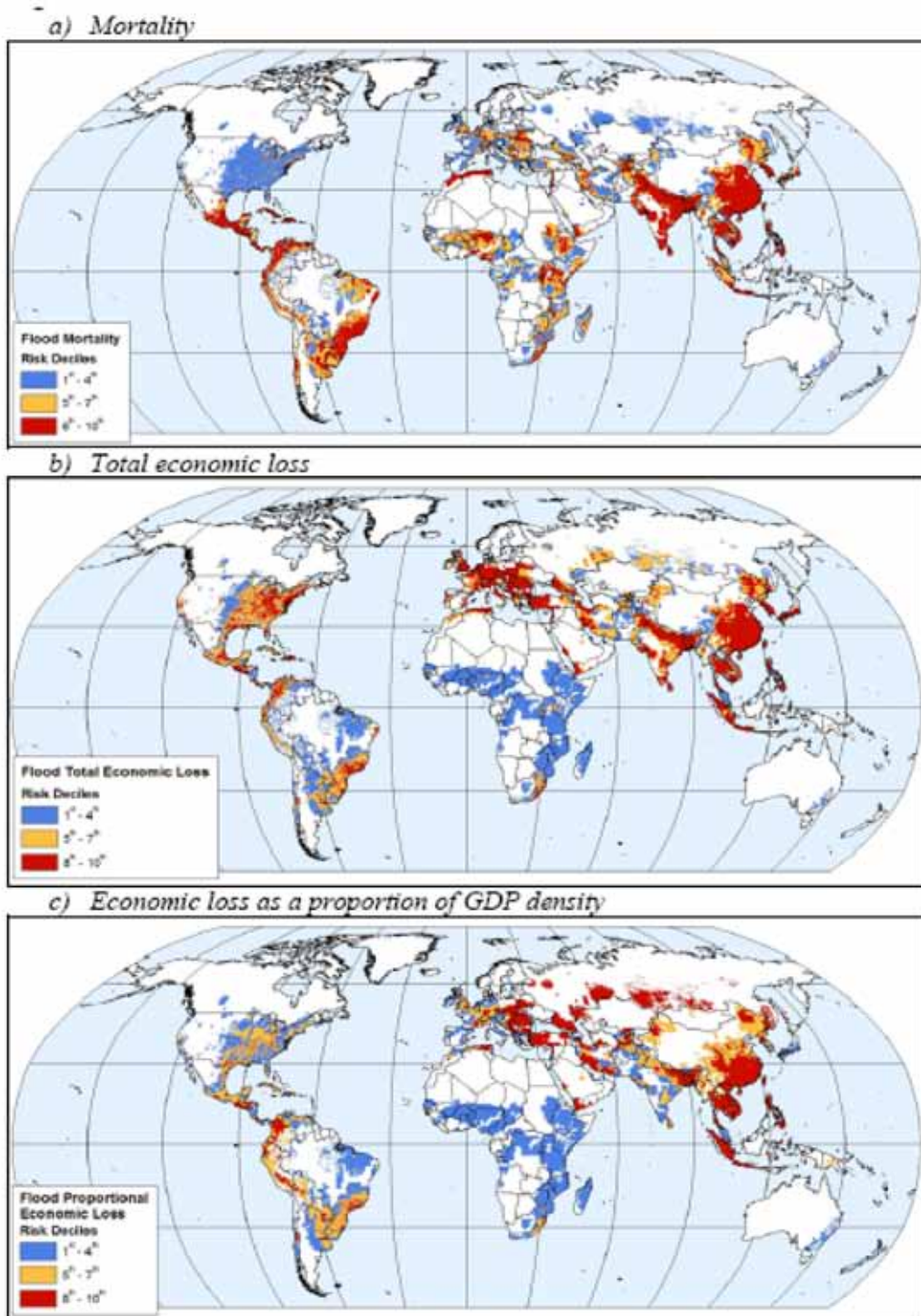
Wisner (2004) ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อแสดงถึงสาเหตุพื้นฐานที่เกิดจากความไม่เสมอภาคกัน อันเป็นแหล่งให้เกิดความล่อแหลมอย่างซ้ำๆ ซึ่งเปลี่ยนสภาวะความไม่ปลอดภัยต่อความเสี่ยงเป็นภัยพิบัติ โดยไม่นำแปลกใจที่ผลกระทบจากอุทกภัย โน้มเอียงอย่างสูงสู่ประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งเชื่อมโยงกับความไม่เสมอภาคกันในระดับโลก ต่อทรัพยากรที่ใช้ในการลดความเสี่ยงทั้งภาครัฐบาลและประชาชน ในระดับชุมชน ความยากจน และโอกาสสามารถสร้างระดับความล่อแหลมที่แตกต่างกัน โดยประชาชนที่ยากจน เป็นกลุ่มที่เปราะบางสูงกว่าและมีโอกาสสัมผัสกับความเสี่ยงและภัยพิบัติมากกว่า อย่างไรก็ตาม ความยากจนและความล่อแหลม ไม่ใช่เรื่องเดียวกันและเหมือนกัน ซึ่งสภาพน้ำท่วม สามารถส่งผลกระทบต่อกลุ่มคนที่ร่ำรวยได้อีกด้วย โดยแท้จริงแล้ว การพัฒนาที่ขาดการวางแผนในพื้นที่ชายฝั่งและพื้นที่ราบสามารถสร้างความล่อแหลมได้ทุกประเทศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อทุกคนจนและร่ำรวย ประเด็นสำคัญที่ควรระมัดระวัง คือระดับความล่อแหลมมีลักษณะที่แตกต่างด้วยมิติทางสังคมมากกว่าความมั่งมี ทั้งในประเทศที่กำลังพัฒนาและพัฒนาแล้ว กลุ่มสตรี เด็ก คนพิการ และคนสูงวัย อาจได้รับผลกระทบในสัดส่วนที่สูงกว่าปกติ<sup>81</sup> แนวคิดของความสามารถในการตั้งรับ มุ่งเน้นศักยภาพเชิงบวกในการตั้งรับของประชาชนและสังคมต่อผลกระทบจากอุทกภัย ดังนั้น จึงขึ้นอยู่กับนโยบายและการดำเนินงานในระดับบน ประกอบกับภูมิปัญญาในระดับท้องถิ่นซึ่งรวมถึง ความรู้ ความสามารถในการใช้กลไกและยุทธศาสตร์การตั้งรับ โดยการตอบสนองต่อความเสี่ยงจากอุทกภัย ที่เกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมและนโยบาย หมายถึง การปรับตัวและความสามารถของประชาชนและระบบในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ความสามารถในการปรับตัวซึ่งถูกกำหนดโดยกระบวนการทางสังคม เศรษฐกิจและการเมือง<sup>82</sup>

ธนาคารโลกและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ได้ริเริ่มโครงการประเมินพื้นที่วิกฤติของความเสี่ยงจากภัยพิบัติธรรมชาติ<sup>86</sup> ในการศึกษาได้ประเมินความเสี่ยงในระดับโลกของผลลัพธ์ ที่เกี่ยวข้องกับภัยธรรมชาติในสองด้าน คือ การสูญเสียชีวิตและความเสียหายทางเศรษฐกิจ ความเสี่ยงได้ถูกประมาณจากการสัมผัสกับภัยคุกคามและความล่อแหลมในอดีต สำหรับ 2 ดัชนีขององค์ประกอบที่เสี่ยง คือ ประชากรในแต่ละกริดและ Gross Domestic Product (GDP) ต่อพื้นที่ของภัยพิบัติทางธรรมชาติ 6 ประเภท ได้แก่ แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด ดินถล่ม น้ำท่วม ภัยแล้ง และพายุไซโคลน โดยใช้ข้อมูลในการประเมิน ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ องค์ประกอบที่เสี่ยง (Elements at risk) ปัจจัยของภัยคุกคาม/ภัยพิบัติ (Hazards) และความล่อแหลม (Vulnerability) ซึ่งรายละเอียดของข้อมูล ดังสรุปในตารางที่ 2.5 การคำนวณความเสี่ยงสัมพัทธ์ในแต่ละกริดเซล สามารถประมาณระดับความเสี่ยงในพื้นที่ย่อยของแต่ละประเทศได้ แผนที่ความเสี่ยงจากอุทกภัยในแง่การสูญเสียชีวิตและความเสียหายทางเศรษฐกิจในระดับโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.5 กรอบแนวคิดการศึกษาความเสี่ยงจากภัยพิบัติธรรมชาติในระดับโลกนี้ ได้นำไปประยุกต์ใช้ศึกษารายละเอียดของความเสี่ยงจากภัยพิบัติแต่ละชนิด ในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเป็นการเฉพาะ เช่น Nicholls (2006) ได้นำกรอบแนวคิดดังกล่าว ศึกษาลักษณะและความรุนแรงของคลื่นพายุซัดฝั่งของโลก ความเสี่ยงในระดับภูมิภาค ความเสียหายและการสูญเสียชีวิตจากน้ำท่วมที่เกิดจากพายุซัดฝั่ง รวมทั้งกรณีศึกษาในบางพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อพายุซัดฝั่ง 84 ภายใต้กรอบการประเมินพื้นที่วิกฤติของความเสี่ยงจากภัยพิบัติธรรมชาติในระดับโลก Gadain et al. (2006) ได้นำมาศึกษาและจัดทำแผนที่ความเสี่ยงจากน้ำท่วมในประเทศเคนยา โดยใช้แบบจำลองอุทกศาสตร์และข้อมูลภูมิศาสตร์ควบคู่กับข้อมูลดาวเทียม รวมทั้งเชื่อมโยงภัยพิบัติจากน้ำท่วมกับการดำรงชีวิตของประชาชนที่อาศัยอยู่ที่ราบลุ่มแม่น้ำ Tana และโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ เพื่อประมาณระดับผลกระทบจากอุทกภัย<sup>84</sup> Kannami และ Takeuchi (2008) ได้ประเมินความเสี่ยงจากอุทกภัยในระดับประเทศ จำนวน 235 ประเทศด้วย Flood Risk Index (FRIc) ซึ่งถูกพัฒนาจาก Pressure and Release (PAR) Model โดยดัชนี FRIc พิจารณาจาก 5 ด้านของความเสี่ยงจากอุทกภัย กล่าวคือ Hazard, Exposure, Basic vulnerability, capacity soft countermeasure และ capacity hard countermeasure<sup>85</sup> ผลการศึกษา พบว่า ดัชนี FRIc มีความสัมพันธ์กับ Flood Damage Indicator (FDIa) ที่คำนวณจากข้อมูล EM - DAT และเป็นดัชนีหนึ่งที่เหมาะสมที่สามารถบ่งบอกถึงศักยภาพความเสี่ยงจากอุทกภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย Connor และ Hiroki (2005) ได้พัฒนา

Flood Vulnerability Index (FVI) ด้วยเทคนิคสถิติเชิงพหุ โดยสมการของ FVI คือ Exposure + Susceptibility – Resilience<sup>86</sup> และมี 4 องค์ประกอบที่สำคัญ (Climate, Hydrological, Social - economic และ countermeasure components) FVI นับเป็นดัชนีหนึ่งที่มีการประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจ การสร้างจิตสำนึก รวมทั้งวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบความล่อแหลมจากอุทกภัยในระดับลุ่มน้ำของแต่ละพื้นที่<sup>86</sup>

**ตารางที่ 2.5** แสดงข้อมูลที่ใช้ประเมินพื้นที่วิกฤติของภัยพิบัติทางธรรมชาติ 6 ประเภท ได้แก่ แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด ดินถล่ม น้ำท่วม ภัยแล้ง และพายุไซโคลน ของธนาคารโลกและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย<sup>36</sup>

Element at risk	Hazards	Vulnerability
<p>การสูญเสียชีวิตและความเสียหายทางเศรษฐกิจ จากข้อมูลสองแหล่งที่แสดงถึงองค์ประกอบที่เสี่ยง คือ ประชากรของโลกในลักษณะกริดของ Gridded Population of the World<sup>83</sup> และ GDP ต่อพื้นที่</p>	<p>รวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่ง</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ภัยแล้ง ใช้ Weighted Anomaly of Standardized Precipitation (WASP) พัฒนาโดย International Research Institute for Climate Prediction (IRI)</li> <li>2. อุทกภัย จาก Dartmouth Flood Observatory</li> <li>3. แผ่นดินไหว ใช้ข้อมูลโอกาสการเกิดแผ่นดินไหวจาก Global Seismic Hazard Program และข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวฉบับพลัน ที่เกินกว่า 4.5 Richter scale ในช่วง 1976-2002</li> <li>4. การเกิดแผ่นดินไหว ใช้ข้อมูล volcanic activity ที่พัฒนาโดย UNEP-GRID จากฐานข้อมูล Worldwide Volcano Database</li> <li>5. แผ่นดินไหว ใช้ Global landslide และ Snow avalanche hazard map</li> <li>6. พายุไซโคลน ใช้ข้อมูลความแรงของลม</li> </ol>	<p>ประเมินจากอัตราการสูญเสียในอดีตของแต่ละภัยคุกคามและภัยพิบัติในช่วง ค.ศ.1981 – 2000 ซึ่งคำนวณฐานข้อมูล EM - DAT</p>



รูปที่ 2.5 แสดงพื้นที่เสี่ยงจากอุทกภัยของโลก<sup>36</sup>

## 2.2 ภัยแล้ง (Drought)

### 2.2.1 นิยามและความหมายของภัยแล้ง

ภัยแล้ง เป็นเหตุการณ์ที่ซับซ้อนและเกิดขึ้นไม่บ่อยครั้งนัก ซึ่งถือเป็นหนึ่งของความผันแปรของระบบภูมิอากาศ<sup>38,87</sup> และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ในอดีตและปัจจุบัน อาจเป็นปัจจัยเสริมเพิ่มความถี่และความรุนแรงของภัยแล้งในอนาคต<sup>4</sup> ภัยแล้ง คือ การเบี่ยงเบนจากสภาพภูมิอากาศปกติชั่วคราว โดยสามารถเกิดขึ้นได้เกือบทุกเขตอากาศแต่มีลักษณะที่แตกต่างค่อนข้างสูงในแต่ละพื้นที่<sup>38,39,40,87</sup> ภัยแล้ง แตกต่างจากพื้นที่แห้งแล้ง ซึ่งเป็นลักษณะถาวรของสภาพภูมิอากาศที่พื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งมีปริมาณน้ำฝนน้อยเป็นปกติ เช่น ทะเลทราย<sup>38,87</sup> ในความหมายกว้าง ๆ ภัยแล้ง หมายถึง ความแห้งแล้งของลมฟ้าอากาศ อันเกิดจากการที่มีฝนน้อยกว่าปกติหรือฝนทิ้งช่วงไม่ตกต้องตามฤดูกาลในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งหรือครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง เป็นระยะเวลา นานกว่าปกติก่อให้เกิดสภาวะลดลงของความชื้นในดิน น้ำในแม่น้ำลำคลองและระดับน้ำใต้ดิน ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำ ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรรม น้ำอุปโภคบริโภคของชุมชนและระบบนิเวศน์ รวมทั้งพืช และสัตว์<sup>38,39,40,87</sup> เช่นเดียวกับภัยพิบัติธรรมชาติอื่นๆ ภัยแล้ง มีลักษณะเฉพาะที่สามารถอธิบายได้โดยความรุนแรง ระยะเวลา สถานที่และเวลาที่เกิด<sup>88</sup> ทั้งนี้ ความรุนแรงจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความชื้นในอากาศ ความชื้นในดิน ระยะเวลาที่เกิดความแห้งแล้ง และขนาดของพื้นที่ที่มีความแห้งแล้ง เป็นต้น เหตุการณ์ภัยแล้ง มีลักษณะการเกิดขึ้นอย่างซ้ำ ๆ แต่มีระยะเวลาที่ยาวนาน และครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างเมื่อเปรียบเทียบกับภัยพิบัติอื่นๆ โดยผลกระทบค่อยๆ สะสมอย่างต่อเนื่องทั้งทางตรงและทางอ้อมซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจในสเกลที่ใหญ่<sup>88</sup>

ภัยแล้ง สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ 4, 38,39,40,87

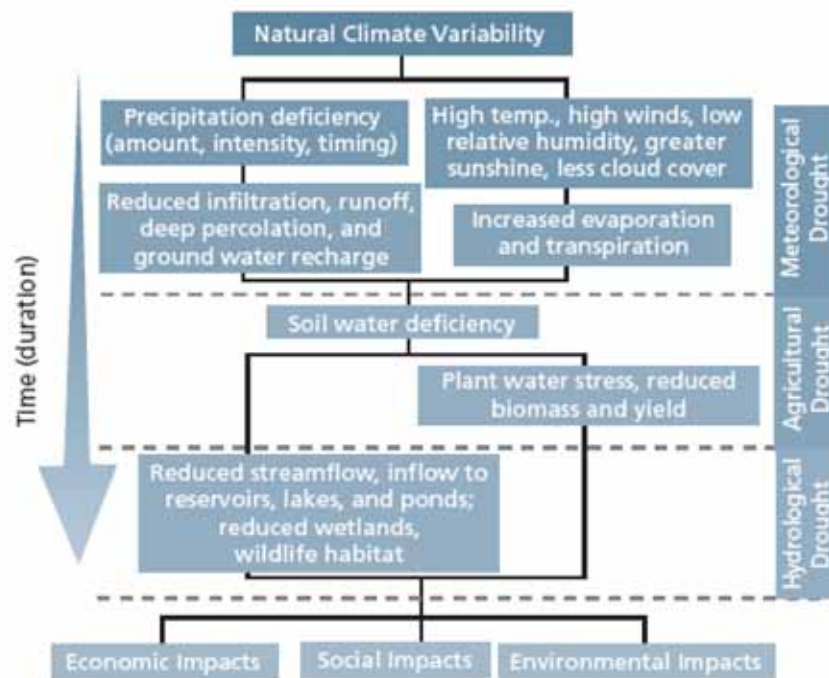
1. ความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorological drought) เป็นลักษณะตามธรรมชาติที่มีสาเหตุจากสภาพภูมิอากาศ โดยนิยามตามระดับความแห้งแล้งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปกติและช่วงระยะเวลาของความแห้งแล้ง ภัยแล้งโดยปกติเริ่มเกิดขึ้นจากความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา
2. ความแห้งแล้งทางการเกษตร (Agricultural drought) มีความสัมพันธ์กับการลดลงของความชุ่มชื้นบริเวณชั้นบนของดิน (1 เมตร) ซึ่งมีผลกระทบต่อพืชไร่นา อีกทั้งเชื่อมโยงกับลักษณะต่างๆ ของความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลกระทบต่อเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การขาดแคลนปริมาณน้ำฝน การขาดน้ำในอนุภาคดิน และการลดลงของระดับน้ำใต้ดินหรือระดับของแหล่งเก็บน้ำ



3. ความแห้งแล้งของวัฏจักรน้ำ (Hydrological drought) หมายถึง การขาดแคลนน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินบนพื้นฐานของการตรวจวัดปริมาณการไหลของแหล่งน้ำไหล ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำและระดับของน้ำใต้ดิน ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากความไม่พอเพียงของน้ำฝนในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ที่ทำให้ปริมาณน้ำในแหล่งน้ำตามธรรมชาติลดลง และส่งผลกระทบต่อสังคม

4. ความแห้งแล้งต่อเศรษฐกิจและสังคม (Socio - economic drought) มีลักษณะที่แตกต่างจากความแห้งแล้งประเภทอื่น โดยพิจารณาความเชื่อมโยงระหว่างลักษณะทางกายภาพของความแห้งแล้งทางอุตุนิยมนิเวศวิทยาและกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งเป็นลักษณะความแห้งแล้งที่สะท้อนความสมดุล ระหว่างปริมาณน้ำและความต้องการใช้น้ำเชิงพานิชย์ในรูปแบบที่ขึ้นอยู่กับฝนและมีมูลค่าด้านการตลาด

ชนิดของความแห้งแล้ง ผลกระทบ กระบวนการเกิดความแห้งแล้ง ความสัมพันธ์ระหว่างความแห้งแล้งทางอุตุนิยมนิเวศวิทยา ความแห้งแล้งทางการเกษตร ความแห้งแล้งของวัฏจักรน้ำและความแห้งแล้งต่อเศรษฐกิจและสังคม ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม ขึ้นอยู่กับสเกลในเชิงเวลา บ่งชี้ถึงผลกระทบดังกล่าว สามารถเกิดขึ้นได้ทุกขั้นตอนของความแห้งแล้ง



**รูปที่ 2.6** แสดงชนิดของภัยแล้งและผลกระทบในเชิงเวลา ตั้งแต่การเริ่มต้นภัยแล้งจนกระทั่งเกิดผลกระทบ

## 2.2.2 ภัยพิบัติจากภัยแล้ง

ภัยแล้ง เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นซ้ำซากที่สร้างหายนะต่อความรุ่งเรือง อารยธรรมและการดำรงชีวิตของมวลมนุษยชาติตลอดระยะเวลาในประวัติศาสตร์ที่ผ่านมา โดยสร้างความเสียหายและส่งผลกระทบต่อมนุษย์สูงสุดในบรรดาภัยพิบัติทางธรรมชาติ ซึ่งโดยเฉลี่ยประมาณ 6,000 - 8,000 ล้านเหรียญดอลลาร์สหรัฐในแต่ละปี<sup>37,39,40</sup> ภัยแล้งได้ส่งกระทบในหลายภาคส่วน ซึ่งมีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่และเวลาและในหลายพื้นที่ของโลกมีความเปราะบางต่อภัยแล้ง<sup>4,37,39,40,87,88</sup> ความแห้งแล้งและระดับความรุนแรง สามารถนิยามในเชิงตัวเลขได้โดยใช้ดัชนีซึ่งรวมรวบและประมวลจากข้อมูลปัจจัยด้านต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ หยาดน้ำฝนและตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลต่อการระเหยและคายน้ำของพืชรวมทั้งความชื้นของดิน ดัชนีหลายดัชนี ได้ถูกนำมาประเมินความแห้งแล้งในแง่สภาพพบน้อยกว่าปกติหรือขาดแคลนฝนในหลากหลายรูปแบบในหลายประเทศ<sup>4,39,40,89,90,91,92</sup> Heim (2002) ได้ทำการทบทวนและวิจารณ์การพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาในศตวรรษที่ 20 ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งต่อมา Ntale และ Gan (2003) ได้สรุปลักษณะดัชนีความแห้งแล้งบางดัชนีที่ใช้ในอดีตและปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 2.7 โดยดัชนีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ Palmer Drought Severity Index (PDSI) เป็นดัชนีที่ประเมินระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งได้ทั้งเชิงพื้นที่และเวลา จากแบบจำลองสมดุลมวลของน้ำในแง่ศักยภาพของ Evapotranspiration (PET) โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิ หยาดน้ำฝนและความชื้นของดิน<sup>89</sup> ดัชนี PDSI สามารถคำนวณความแห้งแล้งได้ทุกเขตอากาศและได้กลายเป็นดัชนีความแห้งแล้งมาตรฐานที่ใช้ติดตามตรวจสอบและศึกษาวิจัยความแห้งแล้งยาวนานกว่า 30 ปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกา<sup>39,91</sup> ค่าดัชนี PDSI ถูกแบ่งออกเป็น 11 ระดับ ตั้งแต่สภาวะความแห้งแล้งอย่างรุนแรงจนถึงสภาวะความเปียกชื้นอย่างรุนแรง ดังแสดงในตารางที่ 2.8 Dai และ Trenberth (1998) และ Dai et al. (2004) ได้คำนวณและจัดทำฐานข้อมูลโลกของดัชนี PDSI และใช้ดัชนีดังกล่าวเพื่อประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่และเวลาของความแห้งแล้ง และความเปียกชื้นในระดับโลกและภูมิภาค และความเชื่อมโยงกับความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งผลการศึกษาก็ได้ถูกอ้างอิงและวิจารณ์ในบทที่ 3 หน้าที่ 263 ของ Working Group I ของรายงานการประเมินฉบับที่ 4 ของ IPCC<sup>4</sup>

การขาดแคลนของปริมาณน้ำฝน ส่งผลกระทบต่อความชื้นของดิน น้ำท่า ระดับน้ำในแหล่งเก็บน้ำและระดับน้ำใต้ดิน ในคาบเวลาที่แตกต่างกัน McKee et al. (1993) ได้พัฒนาดัชนี Standardized Precipitation Index (SPI) เพื่ออธิบายการขาดแคลนของปริมาณฝนในคาบเวลาที่ต่างกัน ดัชนี SPI หมายถึง การเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณสะสมของฝนในคาบเวลาใดเวลาหนึ่งที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยในระยะยาว โดยคำนวณจากการแปลงอย่างง่ายของอนุกรมเวลาของปริมาณฝน เป็นค่ามาตรฐานที่มีการแจกแจงปกติ (Standardized normal distribution; Z - distribution) ซึ่งค่าดัชนี SPI แต่ละค่าที่คำนวณได้สามารถนำไปเปรียบเทียบได้ทุกเขตอากาศ Colorado Climate Center, Western Regional Climate Center และ National Drought Mitigation Center ใช้ดัชนี SPI ในการติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งในประเทศอเมริกา<sup>93</sup> Bussay et al. (1998) และ Szalai และ Szinell (2000) ประเมินการใช้ประโยชน์ดัชนี SPI สำหรับอธิบายความแห้งแล้งในประเทศฮังการี<sup>94,95</sup> ปริมาณน้ำท่า สามารถอธิบายได้ดีด้วยดัชนี SPI ที่มีคาบเวลา 2 - 6 เดือน ความสัมพันธ์ที่แน่นหนากับระดับน้ำใต้ดิน สามารถพบได้ในคาบเวลา 5 - 24 เดือน อีกทั้งความแห้งแล้งทางการเกษตร สามารถแสดงได้ดีด้วยดัชนี SPI ในคาบเวลา 2 - 3 เดือน ในปัจจุบัน Lana et al. (2001) ได้ใช้ดัชนี SPI ในการติดตามรูปแบบของฝนในบริเวณ Catalonia ในประเทศสเปน<sup>96</sup> Hayes et al. (1999) ใช้ดัชนี SPI ในการติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งในปี ค.ศ. 1996 ในบริเวณตะวันตกเฉียงใต้และภาคใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา<sup>97</sup>

Hayes et al. (1999) ได้วิจารณ์ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของดัชนี SPI ซึ่งสรุปได้ดังนี้<sup>97</sup> ดัชนี SPI มีข้อดีอย่างน้อย 3 ประการ ซึ่งประการแรกที่สำคัญ คือ ดัชนี SPI ง่ายต่อการคำนวณ เนื่องจากอาศัยเฉพาะข้อมูลปริมาณฝนเพื่อประมาณค่าเพียงแค่สองตัวแปร เมื่อเปรียบเทียบกับ การคำนวณ 68 ตัวแปรที่ใช้อธิบายดัชนี PSDI เพื่อหลีกเลี่ยงการพึ่งพาสภาพความชื้นของดิน ดัชนี SPI สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งฤดูหนาวและฤดูร้อน อีกทั้งยังไม่ถูกรบกวนจากสภาพภูมิประเทศ ข้อได้เปรียบประการที่สอง คือ ดัชนี SPI มีความแปรปรวนในเชิงเวลาซึ่ง ทำให้สามารถติดตามความแห้งแล้งในคาบเวลาต่าง ๆ กันที่มีความสำคัญต่อด้านอุตุนิยมวิทยา เกษตรกรรมและอุทกวิทยา ข้อได้เปรียบในเชิงเวลานี้ มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์พลวัตรของความแห้งแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การประเมินจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของภัยแล้งที่ค่อนข้างยุ่งยากต่อการติดตามด้วยดัชนีอื่นๆ ข้อได้เปรียบประการสุดท้าย ได้แก่ การแปลงข้อมูลปริมาณฝนเป็นค่ามาตรฐานที่มีการแจกแจงปกติ (Z - distribution) เพิ่มความมั่นใจถึงความถี่ของค่าผิดปกติของความแห้งแล้ง ณ จุดใดจุดหนึ่งและเวลาใดเวลาหนึ่ง มีความสอดคล้องกัน อย่างไรก็ตาม ดัชนี SPI มีข้อเสียเปรียบในเรื่องความน่าเชื่อถือในเชิงปริมาณของข้อมูลหลังจากจำลองการแจกแจงและแปลงข้อมูลเป็นค่ามาตรฐาน ทั้งนี้สมมุติฐานการแจกแจงข้อมูลที่จำเป็นทราบก่อนเพื่อใช้จำลองข้อมูลปริมาณฝน รวมทั้งดัชนี SPI คาบเวลา 1 2 และ 3 เดือน อาจมีข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ในพื้นที่ที่มีความแปรปรวนตามฤดูกาลของฝนต่ำ ซึ่งทำให้ดัชนี SPI มีค่าบวกหรือลบ สูงหรือต่ำกว่าปกติ

**ตารางที่ 2.6** แสดงดัชนีความแห้งแล้งหลักที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาในศตวรรษที่ 20<sup>39</sup>

Index	Year introduced	Variables analyzed; application
Munger's Index	1916	Length of period without 24-h precipitation of 1.27 mm; daily measure of comparative forest fire risk
Kincer's Index	1919	30 or more consecutive days with less than 6.35 mm of precipitation in 24 h; seasonal distribution maps
Marcovitch's Index	1930	Temperature and precipitation; climatic requirements of the bean beetle
Blumenstock's Index	1942	Length of drought in days, where drought terminated by occurrence of 2.54 mm of precipitation in 48 h; short-term drought
Antecedent Precipitation Index	1954	Precipitation; a reverse drought index used for flood forecasting
Moisture Adequacy Index	1957	Precipitation and soil moisture; agricultural drought
Palmer's Index (PDSI and PHDI)	1965	Precipitation and temperature analyzed in a water balance model; comparison of meteorological and hydrological drought across space and time
Crop Moisture Index	1968	Precipitation and temperature analyzed in a water balance model; agricultural drought
Keetch-Byram Drought Index	1968	Precipitation and soil moisture analyzed in a water budget model; used by fire control managers
Surface Water Supply Index	1981	Snowpack, reservoir storage, streamflow, and precipitation; computed primarily for western river basins; statistical properties not well analyzed or understood
Standardized Precipitation Index	1993	Precipitation; allows measurement of droughts and wet spells in terms of precipitation deficit, percent of "normal," probability of nonexceedance, and SPI at multiple simultaneous timescales with potentially different behavior at all of them
Vegetation Condition Index	1995	Satellite AVHRR radiance (visible and near-IR); measures "health" of vegetation
Drought Monitor	1999	Integrates several drought indices and ancillary indicators into a weekly operational drought-monitoring map product; multipurpose

ตารางที่ 2.7 แสดงลักษณะดัชนีความแห้งแล้งบางดัชนีที่ใช้ในอดีตและปัจจุบัน<sup>92</sup>

Index and its developer	Input data <sup>a</sup>	Time scale	Brief description
PDSI: Palmer (1965)	<i>P</i> , <i>T</i> , CPI	Weekly, biweekly, monthly	The PDSI is a soil moisture algorithm calibrated for relatively homogeneous regions. It is based on moisture inflow, outflow and storage. Many US government agencies and states still rely on the PDSI to trigger drought relief programs
Crop moisture index: Palmer (1968)	<i>P</i> , <i>T</i> , ET, <i>L</i> , RO	Weekly	A PDSI derivative, which reflects moisture supply in the short term across major crop-producing regions
SPI: McKee <i>et al.</i> (1993)	<i>P</i>	Multiples of months	An index based on the probability of precipitation for any time scale
Surface water supply index (SWSI): Shafer and Dezman (1982); Garen (1993)	<i>P</i> , sn, RO, reservoir storage	Monthly	The SWSI is based on probability, similar to the SPI, but it also considers the snow pack, runoff, and reservoir storage
Reclamation drought index (RDI): Bureau of Reclamation (USA)	<i>P</i>	Monthly	RDI is calculated on the river basin scale. Since the index is unique to each river basin, interbasin comparison is not possible
BMI: Bhalme and Mooley (1979)	<i>P</i>	Monthly	The BMI models the percentage departure of <i>P</i> from the long-term averages using an algorithm similar to that of the PDSI
Deciles: first promoted by the Australian drought authorities, who currently use it	<i>P</i>	Monthly	The decile method groups monthly precipitation occurrences into deciles. By definition 'much lower than' normal precipitation cannot occur more often than 20% of the time
Precipitation anomaly classification (PAC): Janowiak <i>et al.</i> (1986)	<i>P</i>	Monthly or yearly	The PAC is an improvement of the Australian 'decile' method of drought classification
National rainfall index (NRI): Gomme and Petrassi (1994)	<i>P</i>	Monthly	The NRI patterns abnormalities of precipitation on a continental scale
Percentage of normal (PN)	<i>P</i>	Monthly	PN is obtained by dividing <i>P</i> with the normal value. It is a simple calculation well suited to the needs of TV weather people and general audiences

<sup>a</sup> *P*: precipitation; *T*: temperature; ET: evapotranspiration; *L*: soil moisture; RO: runoff; sn: snowpack.

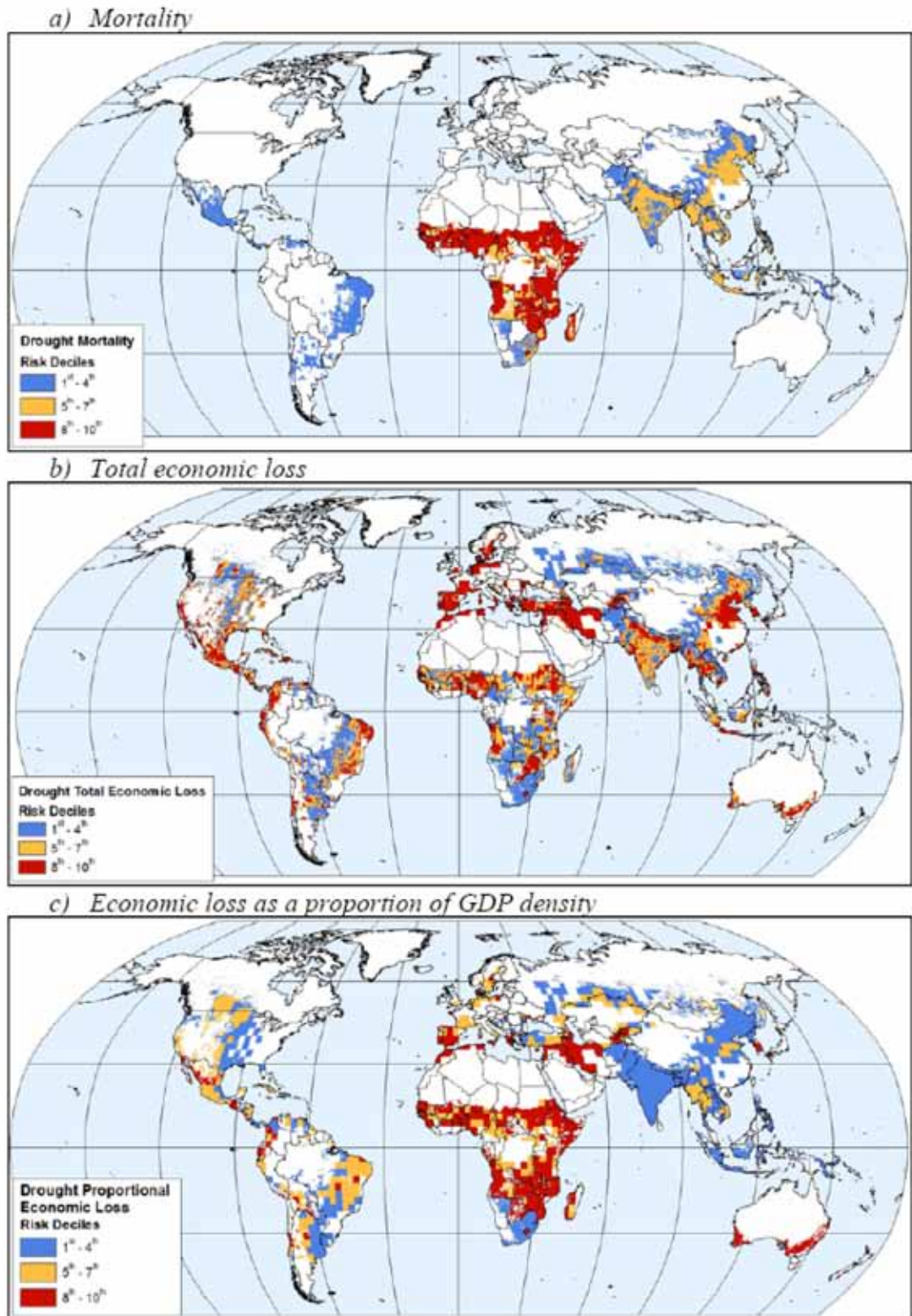
ตารางที่ 2.8 แสดงระดับความแห้งแล้งแบ่งตามค่าของ PDSI<sup>91</sup>

PDSI value	Classification
4.00 or more	Extremely wet
3.00 to 3.99	Very wet
2.00 to 2.99	Moderately wet
1.00 to 1.99	Slightly wet
0.50 to 0.99	Incipient wet spell
0.49 to -0.49	Near normal
-0.50 to -0.99	Incipient dry spell
-1.00 to -1.99	Mild drought
-2.00 to -2.99	Moderate drought
-3.00 to -3.99	Severe drought
-4 or less	Extreme drought

### 2.2.3 ความล่อแหลมและความเสี่ยงจากภัยแล้ง

ความล่อแหลมและเสี่ยงจากภัยแล้ง มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับความเสี่ยงจากอุทกภัยที่ได้อธิบายในหัวข้อ 2.1.4 โดยเป็นภัยพิบัติที่เกิดกับมนุษย์และสังคม ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากความรุนแรงและโอกาสการเกิดภัยพิบัติจากความแห้งแล้งและความล่อแหลมของกลุ่มประชากรและระบบ ทั้งนี้ ความล่อแหลมจากภัยแล้ง ถูกกำหนดโดยปัจจัยทางกายภาพ สังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ดังนั้น อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า การประเมินความล่อแหลมและความเสี่ยงจากภัยแล้ง เน้นการวิเคราะห์ข้อมูลสองส่วน คือ ความเสียหายและความล่อแหลม โดยพิจารณาข้อมูลใน 3 ส่วน คือ องค์ประกอบที่เสี่ยง (Elements at risk) ปัจจัยของภัยพิบัติ (Hazards) และความล่อแหลม (Vulnerability)

ธนาคารโลกและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ได้รวมการวิเคราะห์ความล่อแหลมและความเสี่ยงจากภัยแล้ง เป็นส่วนหนึ่งของโครงการประเมินพื้นที่วิกฤติของความเสี่ยงจากภัยพิบัติธรรมชาติ<sup>36</sup> ซึ่งได้ประเมินความเสี่ยงในระดับโลกของผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับภัยแล้งในสองด้าน คือ การสูญเสียชีวิตและความเสียหายทางเศรษฐกิจ แผนที่ความเสี่ยงจากภัยแล้งในแง่การสูญเสียชีวิตและความเสียหายทางเศรษฐกิจในระดับโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.7 Barlow et al. (2006)<sup>37</sup> ได้นำแนวคิดและทฤษฎีของโครงการ ‘Global Natural Disaster risk Hotspots’ ไปประเมินภัยพิบัติจากภัยแล้งในทวีปเอเชีย โดยวิเคราะห์ข้อมูลในระดับประเทศจากฐานข้อมูล EM-DAT นอกจากนี้ กรณีศึกษาการประเมินและวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติของภัยพิบัติทางธรรมชาติและภัยแล้งในประเทศศรีลังกา ยังได้อาศัยกรอบแนวคิด การศึกษาความเสี่ยงจากภัยพิบัติธรรมชาติในระดับโลกนี้<sup>37</sup> United Nations Environment Programme (UNEP) และ United Nations Development Programme (UNDP) ได้ริเริ่มโครงการ ‘Global Risk and Vulnerability Index Trend per Year (GRAVITY)’ โดยระยะที่สามของโครงการ เป็นการวิเคราะห์ภัยแล้ง บนพื้นฐานของข้อมูลภัยแล้ง ดังแสดงในตารางที่ 2.9 ความเสื่อมโทรมของดิน ดังแสดงในตารางที่ 2.10 ผู้ได้รับผลกระทบ ดังแสดงในตารางที่ 2.11 และปัจจัยความล่อแหลม ดังแสดงในตารางที่ 2.12<sup>98</sup> ซึ่งแผนที่ความล่อแหลม การสัมผัสทางกายภาพและความเสี่ยงต่อภัยแล้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และรูปที่ 2.9<sup>98</sup>



รูปที่ 2.7 แสดงพื้นที่เสี่ยงจากภัยแล้งของโลก<sup>36</sup>

**ตารางที่ 2.9** แสดงแหล่งข้อมูลของ drought hazards ที่ใช้ในโครงการ Global Risk and Vulnerability Index Trend per Year (GRAVITY)

Theme	Data source	URL	Resolution/scale	Spatial units	Intensity	Frequency
Drought Physical drought	CMAP monthly gridded precipitation, Methodology and processing IRI/Columbia university, US National Centers for Environmental Prediction (NCEP), Climate Prediction Center (CPC)	<a href="http://iridl.ldeo.columbia.edu/">http://iridl.ldeo.columbia.edu/</a>	2.5 x 2.5 degree latitude/longitude grid	Grid cells	3 months 50% 3 months 75% 3 months 90% 6 months 50% 6 months 75% 6 months 90%	Number of events in 21 years January 1980 to December 2000

**ตารางที่ 2.10** แสดงแหล่งข้อมูลความเสื่อมโทรมของดิน ที่ใช้ในโครงการ Global Risk and Vulnerability Index Trend per Year (GRAVITY)

Theme	Data source	URL	Resolution/scale	Spatial units	Date	Unit
Soil degradation	ISRIC and UNEP/GRID-Geneva	<a href="http://www.grid.unep.ch/data/grid/index.html">http://www.grid.unep.ch/data/grid/index.html</a>	1:10 000 000	Vector	1990	Soil degradation severity

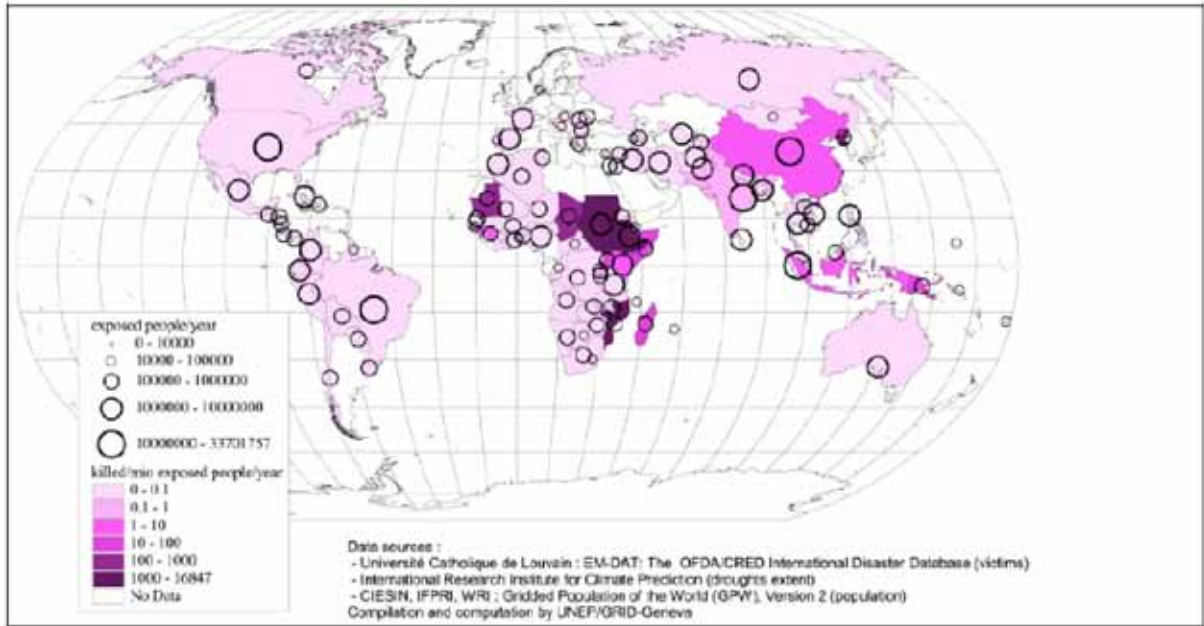
**ตารางที่ 2.11** แสดงแหล่งข้อมูลผู้ที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง ที่ใช้ในโครงการ Global Risk and Vulnerability Index Trend per Year (GRAVITY)

Theme	Data source	URL	Resolution/scale	Spatial units	Intensity	Frequency
Victims from drought	Université Catholique de Louvain : EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database merged with famine as performed by UNDP/BCPR.	<a href="http://www.cred.be/emdat">http://www.cred.be/emdat</a> and famine as refined by UNDP/BCPR	n.a.	Countries	---	Frequency 1980 – 2000 (from EM-DAT)

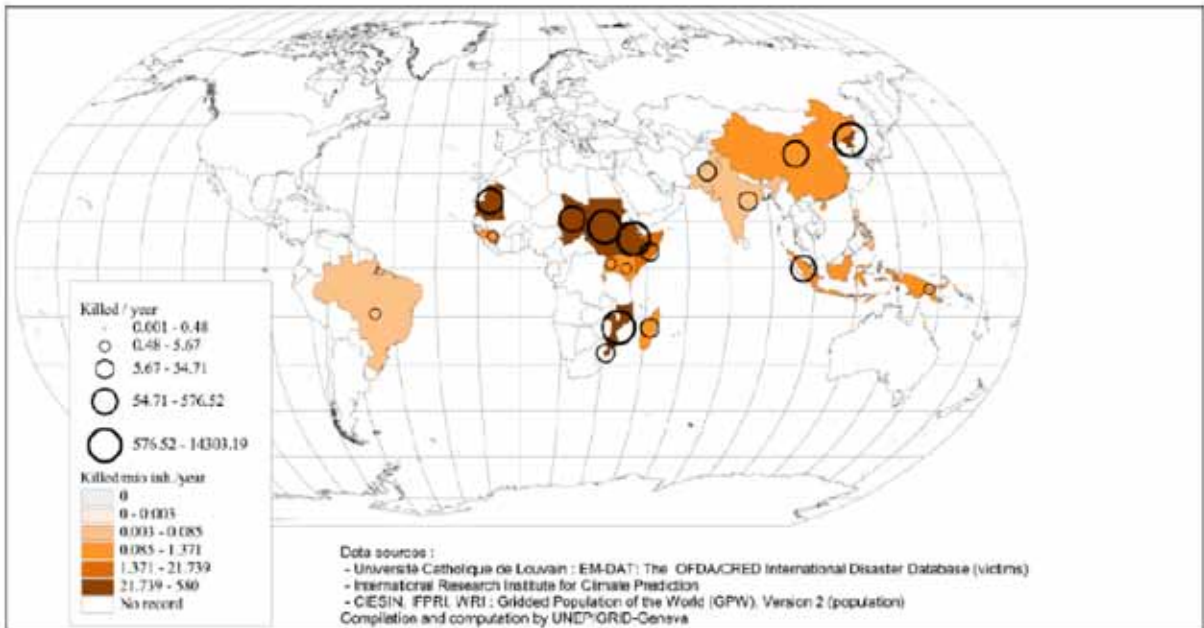
**ตารางที่ 2.12** แสดงแหล่งข้อมูลปัจจัยความล่อแหลมที่ใช้ในโครงการ Global Risk and Vulnerability Index Trend per Year (GRAVITY)

Theme	Data source	URL	Resolution/scale	Spatial units	Values	Time range
Population (exposure)	CIESIN, IFPRI, WRI : Gridded Population of the World (GPW), Version 2	<a href="http://sedac.ciesin.org/plue/gpw/">http://sedac.ciesin.org/plue/gpw/</a>	2.5° or 0.04167 degree $\approx$ 3.5 km in average	Grid cells	Population counts	1990, 1995
Population	Human Population and Administrative Boundaries Database for Asia	<a href="http://www.grid.unep.ch/data/grid/human.html">http://www.grid.unep.ch/data/grid/human.html</a>	2.5° or 0.04167 degree $\approx$ 3.5 km in average	Grid cells	Population counts	1995
Vulnerability factors	UNEP/GRID : GEO-3 Data portal	<a href="http://geo3.grid.unep.ch/">http://geo3.grid.unep.ch/</a>	560 km (average of square root of country areas)	Polygons (country)	23 socio-economic variables	1980-2000
	UNDP : Human Development Report	<a href="http://www.undp.org/">http://www.undp.org/</a>		Country	Human Development Index (HDI)	1995-2000





รูปที่ 2.8 แสดงแผนที่ความล่อแหลมและการสัมผัสทางกายภาพต่อภัยแล้ง<sup>98</sup>



รูปที่ 2.9 แสดงแผนที่เสี่ยงต่อภัยแล้ง<sup>98</sup>

## บทที่ 3

### แนวคิดและระเบียบวิธีการศึกษาวิจัย

#### 3.1 กรอบแนวคิด

กรอบแนวคิดของโครงการศึกษาวิจัยนี้ เป็นการวิเคราะห์ความล่อแหลมของสิ่งแวดล้อมและความเสียหายทางเศรษฐกิจ/สังคมที่เกิดจากภัยแล้งและอุทกภัย และความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สิน โดยได้นำแนวคิดและทฤษฎีของโครงการ 'Global Natural Disaster Risk Hotspot Project'<sup>36</sup> และ 'Global Risk and Vulnerability Index Trend per Year (GRAVITY)<sup>98,99,100,101</sup> มาประยุกต์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยคุกคามของภัยพิบัติ (Hazards) ที่เกิดจากภัยแล้งและอุทกภัยในรูปของความถี่ของการเกิดความรุนแรง และความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สินในภาพรวมของประเทศไทย ตลอดจนประเมินและจัดทำแผนที่วิกฤติ (Hotspot) ในระดับจังหวัด ภายใต้แนวคิดดังกล่าว ความเสียหายที่เกิดจากภัยพิบัติ ประกอบด้วย ปัจจัยคุกคามของภัยพิบัติจากภัยแล้งและอุทกภัย และองค์ประกอบของความล่อแหลมทางด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและสังคม ดังนั้น การวิเคราะห์ความล่อแหลมและความเสี่ยงจากภัยแล้งและอุทกภัย เป็นการประเมินระดับความอ่อนไหวของระบบที่ไม่สามารถตั้งรับต่อผลกระทบด้านลบของภัยคุกคามและภัยพิบัติ ที่เกิดจากภัยแล้งและอุทกภัย โดยประกอบด้วย การวิเคราะห์สองส่วนใหญ่ๆ คือ ความเสียหายและความล่อแหลมทางเศรษฐกิจ-สังคม ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ปัจจัยคุกคามของภัยพิบัติ (Hazards) องค์ประกอบที่เสี่ยง (Elements at risk) และความล่อแหลม (Vulnerability) ปัจจัยคุกคามของภัยพิบัติ จะเกี่ยวข้องกับความถี่ความรุนแรงและพฤติกรรมของปัจจัยคุกคาม หรือปรากฏการณ์ที่องค์ประกอบของระบบกำลังสัมผัสหรือที่ได้รับผลกระทบ<sup>102</sup> กรอบแนวคิดของการศึกษา ดังแสดงสรุปในรูปที่ 3.1 สำหรับการวิเคราะห์ความล่อแหลม (Vulnerability analysis) ได้นำกรอบแนวคิดและแบบจำลองเชิงมโนภาพของความล่อแหลมเชิงสถานที่ (Hazard - of - place model of vulnerability) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ที่ถูกพัฒนาและเสนอแนะโดย Cutter (1996) และ Cutter et al. (2003) มาพิจารณาประกอบ<sup>103,104</sup> ซึ่งความล่อแหลมรวมของพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง ภายใต้แบบจำลอง Hazard - of - place model of vulnerability หมายถึงผลรวมของความล่อแหลมทางชีวกายภาพ (Biophysical vulnerability) และความล่อแหลมทางสังคม (Social vulnerability) ที่เป็นผลลัพธ์เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงและแนวทางและวิธีการลดความเสี่ยงในรูป Hazard potential โดยถูกส่งผ่านและปรับแต่งระดับความรุนแรงด้วยปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่และบริบทของสังคมในพื้นที่นั้น ความรู้ความเข้าใจความล่อแหลมรวมของพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง จะช่วยให้เข้าใจถึงระดับความเสี่ยงและแนวทาง ตลอดจนวิธีการลดความเสี่ยง ดังนั้น กรอบแนวคิดและแบบจำลองความล่อแหลมเชิงสถานที่ เหมาะสมและสอดคล้องกับบริบทของชุมชนและท้องถิ่น เนื่องจากเป็นกรอบแนวคิดที่ประเมินความล่อแหลมในภาพรวมขององค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อความล่อแหลมในแต่ละพื้นที่

ความหมายของความล่อแหลมในการศึกษานี้ จำแนกออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ความล่อแหลมทางกายภาพหรือทางชีวกายภาพ (Physical or biophysical vulnerability) เป็นความล่อแหลมในแง่พฤติกรรมของปัจจัยคุกคามทางกายภาพ ที่มนุษย์หรือระบบกำลังเผชิญหรือสัมผัสขอบเขตและโอกาสที่ระบบจะเผชิญและสัมผัสกับปัจจัยคุกคาม รวมทั้งความอ่อนไหวของระบบต่อผลกระทบที่เกิดขึ้น<sup>105,106,107,108</sup> ทั้งนี้ ความล่อแหลมทางชีวกายภาพ เป็นฟังก์ชันของความถี่และความรุนแรงของปัจจัยคุกคามของแต่ละประเภท

โดยผลลัพธ์ของผลกระทบจากผลรวมทั้งสองด้าน มักปรากฏอยู่ในรูปของจำนวนหรือศักยภาพของความเสียหายของระบบที่เกิดจากปัจจัยคุกคามและภัยพิบัติของภัยแล้งและอุทกภัย<sup>105</sup>

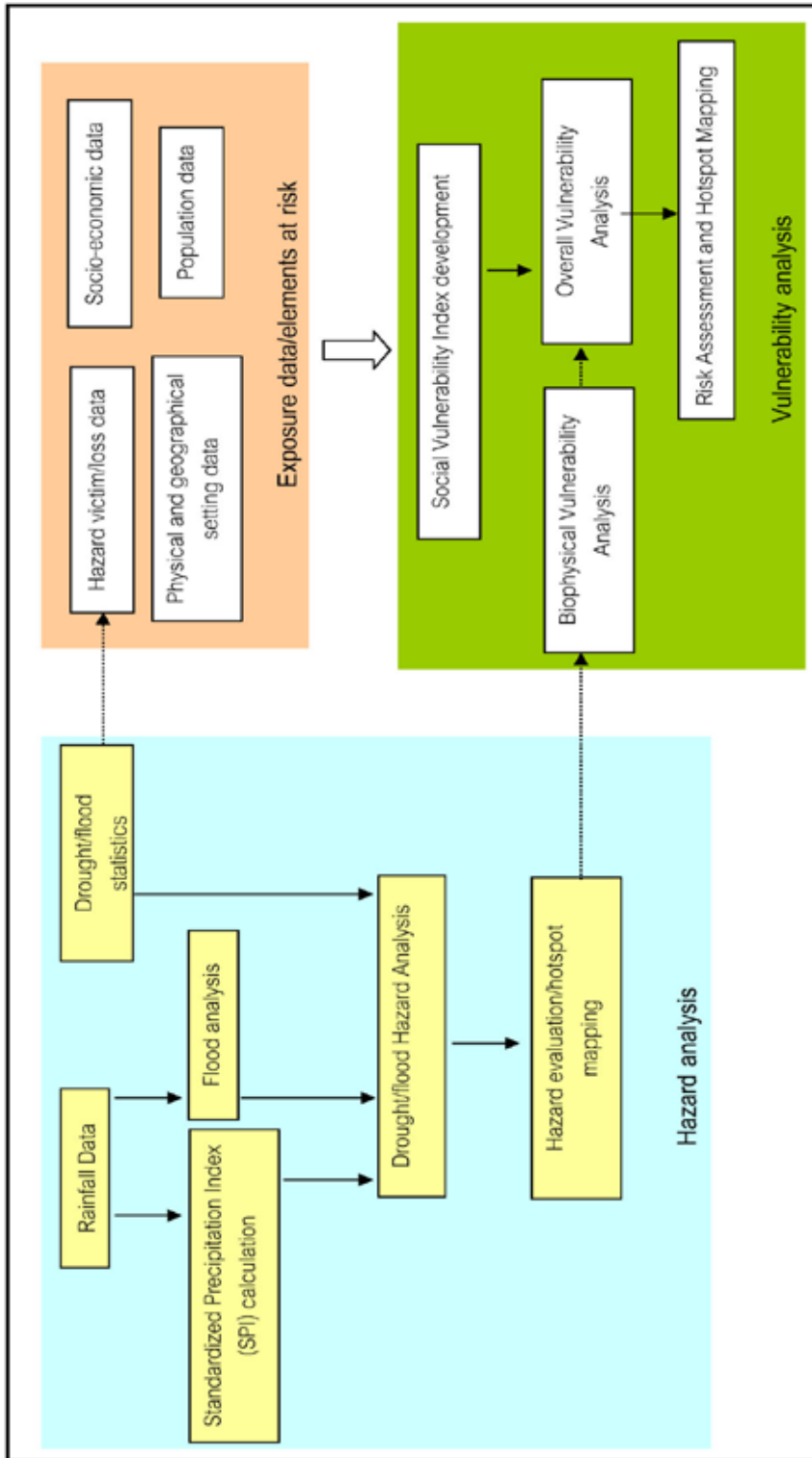
2) ความล่อแหลมโดยธรรมชาติหรือทางสังคม (Inherent or social vulnerability) เป็นความล่อแหลมในเชิงตัวแปรและปัจจัยทางโครงสร้างของกระบวนการภายในของสังคม หรือระบบที่ส่งผลกระทบต่อความอ่อนไหวและความสามารถในการปรับตัว<sup>105,108</sup> ความล่อแหลมนี้ เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและคงอยู่ในแต่ละระบบที่มีลักษณะหลากหลายและเป็นอิสระต่อปัจจัยคุกคามภายนอก ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับสถานภาพขององค์ประกอบด้านต่างๆ ของระบบที่เผชิญหรือสัมผัสกับปัจจัยคุกคาม สำหรับระบบสังคมมนุษย์ ความล่อแหลมมักถูกกำหนดจากปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพเศรษฐกิจ ความยากจน ความไม่เสมอภาค สุขภาพและโอกาสการเข้าถึงแหล่งทรัพยากร ซึ่งผลลัพธ์ของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุกคามและความล่อแหลมทางสังคม มักปรากฏในรูปของความเสียหายทางเศรษฐกิจและทรัพย์สินชีวิตมนุษย์ รวมทั้งโรคภัยไข้เจ็บ<sup>108</sup> ดังนั้น ความล่อแหลมทางสังคมมีความหมายครอบคลุมถึงความอ่อนไหวของระบบ<sup>105</sup> ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดถึงความล่อแหลมทางชีวกายภาพ โดยมีส่วนสำคัญต่อระดับความเสียหายที่เกิดขึ้นจากปัจจัยคุกคาม ความสัมพันธ์ของความล่อแหลมทั้งสองส่วน สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Biophysical vulnerability} = f(\text{hazard} \times \text{social vulnerability})^{108}$$

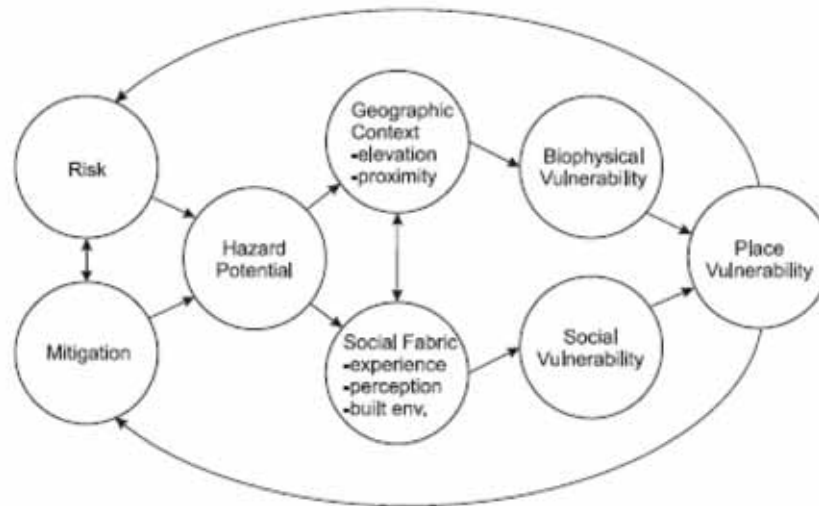
โดยภัยคุกคามหรือภาวะอันตราย (Hazard) มีความหมายรวมถึงโอกาสการเกิดภัยพิบัติ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากปัจจัยคุกคามของภัยแล้งและอุทกภัย นิยามของความล่อแหลมทางชีวกายภาพ มีลักษณะคล้ายคลึง และเกี่ยวพันอย่างใกล้ชิดกับแนวคิดของความเสี่ยงทางด้านสิ่งแวดล้อมและความเสี่ยงจากภัยพิบัติธรรมชาติ<sup>109,110</sup> ซึ่งสามารถแสดงอยู่ในรูปของ

$$\text{Risk} = \text{Probability of hazard (disaster) occurrence} \times \text{Loss or consequences}$$

สำหรับการประเมินความล่อแหลมด้านเศรษฐกิจ-สังคม สิ่งแวดล้อมและมนุษย์จากภัยแล้งและอุทกภัย จะพิจารณาบทวนแนวคิด Vulnerability-led approach ตามเทคนิควิธีการที่ใช้ในโครงการต่างๆ เช่น Global Natural Disaster Risk Hotspots<sup>36</sup>, Global Risk and Vulnerability Trend per Year (GRAVITY)<sup>98,99,100,101</sup> และ Food Insecurity and Vulnerability Information and Mapping Systems (FIVIMS)<sup>111</sup> เป็นต้น โดยทำการวิเคราะห์และพัฒนาดัชนีผลลัพธ์ของความเสียหาย (Outcome risk indicator) หรือความล่อแหลมทางกายภาพหรือทางชีวกายภาพ จากข้อมูลด้านความเสียหาย ความถี่ ความรุนแรงและระยะเวลาของภัยพิบัติธรรมชาติ (อุทกภัยและภัยแล้ง) ควบคู่กับการพัฒนาดัชนีความล่อแหลมทางด้านสังคม จากข้อมูลด้านเศรษฐกิจ-สังคม ภายใต้แนวคิด Hazard-of-place model of vulnerability เทคนิคและวิธีการวิเคราะห์ที่ดัชนีสำหรับการประเมินความมั่นคงของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และความล่อแหลมต่อภัยคุกคามและภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ใช้กันโดยทั่วไปในหลายๆ โครงการ ถูกคัดเลือกและนำมาพัฒนาดัชนีผลลัพธ์ของความเสียหายและดัชนีความล่อแหลมทางสังคมให้เหมาะสมกับบริบทของสังคมไทยและสามารถคำนวณจากฐานข้อมูลของหน่วยงานต่างๆ ในระดับจังหวัดลงไปถึงระดับตำบล อีกทั้งกรอบแนวคิดของการศึกษา ยังได้ครอบคลุมถึงการบทวนถึงรูปแบบและแนวทางการปรับตัวของชุมชนต่อภัยแล้งและอุทกภัย ในลักษณะ community-based adaptation



รูปที่ 3.1 แสดงกรอบแนวคิดของโครงการศึกษาความเสมอแหลมและการปรับตัวต่อภัยแล้งและอุทกภัยในประเทศไทย



รูปที่ 3.2 The Hazards-of-Place model of vulnerability<sup>102,103</sup>

### 3.2 ระเบียบและขอบเขตการศึกษาวิจัย

#### 3.2.1 ระเบียบการศึกษาวิจัย

ระเบียบการศึกษาวิจัยของโครงการนี้ ประกอบด้วย 5 กิจกรรมหลัก ดังนี้

3.2.1.1 การสกัดสถิติภัยแล้งและอุทกภัยจากฐานข้อมูล EM-DAT และฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory ซึ่งเป็นฐานข้อมูลระดับโลกที่บันทึกและรวบรวมความถี่และความรุนแรงของภัยแล้งและอุทกภัย รวมทั้งความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิต เพื่อวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของภัยแล้งและอุทกภัยในภาพรวมของประเทศไทย

3.2.1.2 รวบรวมและวิเคราะห์สถิติและข้อมูลความเสียหายจากภัยแล้งและอุทกภัยในระดับจังหวัด เพื่อวิเคราะห์และจัดทำแผนที่วิกฤติในแง่ความถี่ของการเกิดซ้ำและความเสียหาย

3.2.1.3 คำนวณดัชนี Standardized Precipitation Index (SPI) จากข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดจากสถานีผิวพื้น ตลอดจนวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงของภัยแล้งและอุทกภัย

3.2.1.4 วิเคราะห์ความเสี่ยงของน้ำท่วมฉับพลันและระยะเวลาความแห้งแล้ง บนพื้นฐานของดัชนีสภาวะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศ ที่คำนวณจากข้อมูลปริมาณฝนรายวันที่ตรวจวัดจากสถานีผิวพื้น โดยพิจารณาถึงโอกาสทางสถิติและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์ฝนตกหนักที่ก่อให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน

3.2.1.5 ทบทวนเทคนิคการคำนวณและวิเคราะห์ความล่อแหลมทางชีวภาพและทางสังคม ตลอดจนรูปแบบและลักษณะการปรับตัวของชุมชนต่อภัยแล้งและอุทกภัยในลักษณะ community-based adaptation

### 3.2.2 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

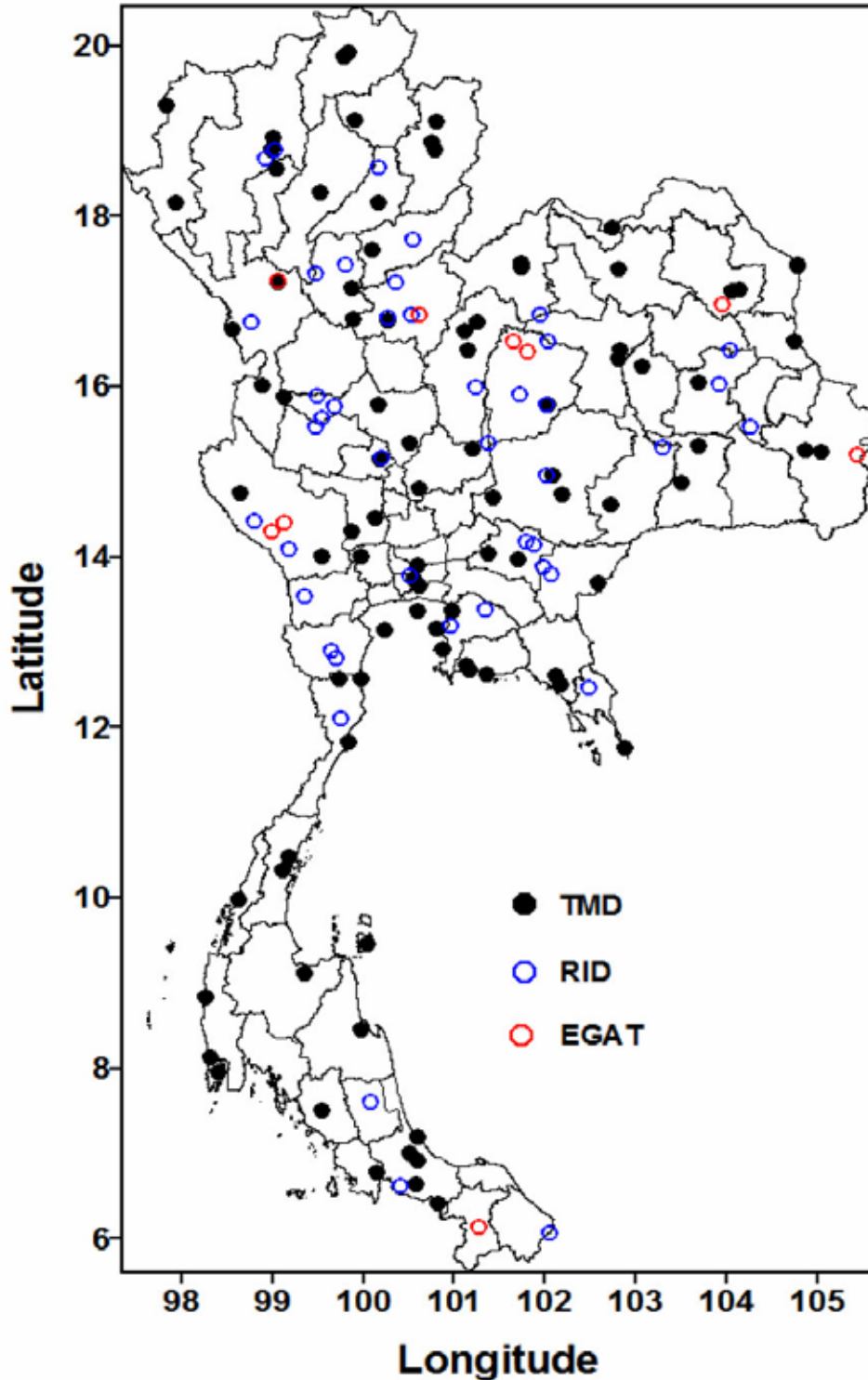
ซึ่งขอบเขตและประเด็นที่ดำเนินการศึกษาวิจัยในแต่ละกิจกรรม มีรายละเอียดดังนี้

3.2.2.1 การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในแง่ความถี่ ความรุนแรงและความเสียหายจากภัยแล้งและอุทกภัยในภาพรวมของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์และประเมินการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ ของภัยแล้งและอุทกภัยในภาพรวมของประเทศไทย สถิติข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับภัยแล้งและอุทกภัยที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบัน ที่ถูกรายงานและบันทึกในฐานะข้อมูล EM-DAT และฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory ถูกสกัดและคัดแยก ตลอดจนนำไปประมวลและวิเคราะห์เชิงสถิติ เพื่อแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของประเทศไทยให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ฐานข้อมูลทั้งสองแหล่ง นับเป็นฐานข้อมูลมาตรฐานระดับโลก ที่ถูกนำไปใช้ในการศึกษาวิจัยด้านภัยพิบัติทางธรรมชาติ อย่างกว้างขวางในหลากหลายหน่วยงาน<sup>19,35,36,37,48,85,98,99,100,101</sup> ฐานข้อมูล EM-DAT เป็นฐานข้อมูลภัยพิบัติระดับโลกที่เปิดให้สาธารณชนทั่วไปนำไปใช้ในด้านต่างๆ และอยู่ภายใต้การดูแลของ Center for Research on the Epidemiology of Disaster ภัยพิบัติที่ถูกรายงานและบันทึกในฐานะข้อมูล EM-DAT มีลักษณะอย่างน้อยหนึ่งคุณสมบัติ คือ มีผู้คนเสียชีวิตมากกว่า 10 คน และผู้ได้รับความเดือดร้อน มากกว่า 100 คน ร้องขอความช่วยเหลือจากต่างประเทศ และ/หรือประกาศภาวะฉุกเฉิน ขอบเขตพื้นที่ฐานในเชิงพื้นที่ของข้อมูลคือ ระดับประเทศ ในขณะที่ ฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory เป็นฐานข้อมูลของเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งยิ่งใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลด้านต่างๆ เช่น วัน/เวลาที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วม ระดับความรุนแรง พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ เป็นต้น นอกจากนี้ Dartmouth Flood Observatory ยังได้รวบรวมและทำการวิเคราะห์ระดับน้ำและสภาพน้ำท่วม โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากหลายแหล่งฐานข้อมูลนี้ ประกอบด้วยสถิติจำนวนและความรุนแรงของน้ำท่วมครั้งใหญ่ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1985 แผนที่ของ น้ำท่วมในแต่ละปี รวมทั้งความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิตที่เกิดขึ้นทั่วทุกภาคของโลก<sup>72</sup> ซึ่งเป็นสถิติและข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัย และประเมินความเสี่ยงและความล่อแหลมจากอุทกภัยทั้งระดับโลกและภูมิภาค การประมวลและวิเคราะห์ข้อมูลที่สกัดจากทั้งสองฐานข้อมูล อาศัยเทคนิคทางสถิติ เช่น Time series analysis และ Spatial-temporal domain analysis เพื่อให้การแสดงผลมีความชัดเจนและถูกต้องเพิ่มขึ้น

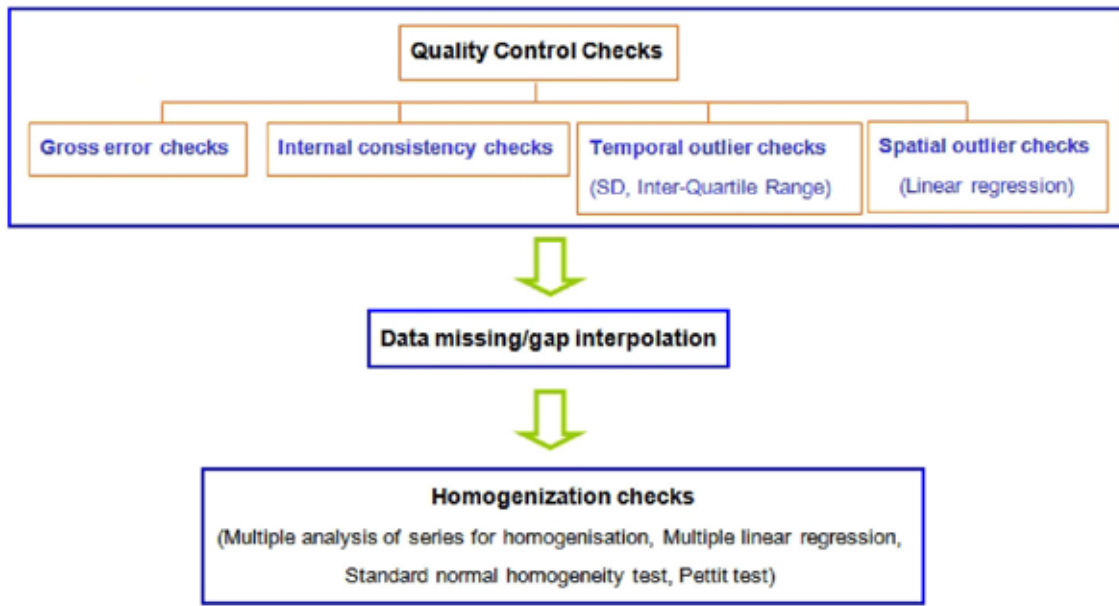
3.2.2.2 รวบรวมและวิเคราะห์สถิติและข้อมูลความเสียหายจากภัยแล้งและอุทกภัยในระดับจังหวัด โดยดำเนินการรวบรวมสถิติและข้อมูลความเสียหายจากภัยแล้งและอุทกภัย จากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยทุกจังหวัด ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รวบรวมสถิติและข้อมูลความเสียหายจากภัยแล้งและอุทกภัยที่เกิดขึ้นในแต่ละจังหวัด การรวบรวมข้อมูลได้ดำเนินการคัดลอกโดยตรงจากฐานข้อมูลของแต่ละสำนักงาน พร้อมทั้งสอบถามและสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ถึงรายละเอียดของข้อมูล และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลที่รวบรวมได้ ถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลและข้อมูลผิดพลาดหรือสงสัย เพื่อให้เกิดความมั่นใจ ก่อนนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ เทคนิคสารสนเทศภูมิศาสตร์ ถูกนำมาประยุกต์ เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลเชิงพื้นที่ รวมทั้งจัดทำแผนที่วิกฤติของภัยแล้งและอุทกภัย

3.2.2.3 คำนวณดัชนี Standardized Precipitation Index (SPI) และวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงของภัยแล้งและอุทกภัย ข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดจากสถานีผิวพื้นของกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทานและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จำนวน 144 สถานี ในช่วงปี ค.ศ. 1975 - 2006 (32 ปี) ถูกนำมาใช้ในการคำนวณดัชนี SPI ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ก่อนดำเนินการคำนวณดัชนี SPI ข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือน ถูกนำเข้ากระบวนการทดสอบคุณภาพข้อมูลทางสถิติ ด้วยวิธีมาตรฐานสำหรับการควบคุมและประกันคุณภาพข้อมูลที่หน่วยงานนานาชาติใช้

กันโดยทั่วไป<sup>112,113,114,115,116,117</sup> ซึ่งประกอบด้วย การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนโดยรวมของฐานข้อมูล การตรวจสอบความไม่สอดคล้องภายในของข้อมูล การตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาด้วยเทคนิค SD และ IQR การตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิคการเปรียบเทียบกับสถานีใกล้เคียง และการประมาณค่าข้อมูลที่ขาดหายไปและข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ รายละเอียดและขั้นตอนกระบวนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.4



**รูปที่ 3.3** แสดงที่ตั้งสถานีผิวพื้นของข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา (TMD) กรมชลประทาน (RID) และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) ที่ใช้สำหรับคำนวณ SPI



**รูปที่ 3.4** แสดงรายละเอียดและขั้นตอนของกระบวนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของข้อมูล ปริมาณฝนสะสมรายเดือน

ดัชนี SPI ถูกคำนวณด้วยเทคนิคที่พัฒนาและเสนอแนะโดย Ntale และ Gan (2003)<sup>92</sup> ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนที่สรุปได้ดังนี้

1) ทำอนุกรมข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายเดือนให้เรียบ (smoothed) ด้วยวิธี moving window ซึ่งขนาดความกว้างของหน้าต่างเท่ากับจำนวนเดือนที่ต้องการคำนวณดัชนีความแห้งแล้ง เช่น ดัชนี SPI คาบเวลา 3 เดือน ใช้ moving window ที่มีหน้าต่างเท่ากับ 3 เดือน Edwards และ McKee (1997) ได้คัดเลือก ดัชนี SPI คาบเวลา 3 เดือน สำหรับดัชนีความแห้งแล้งในระยะสั้น ดัชนี SPI คาบเวลา 12 เดือน สำหรับดัชนีความแห้งแล้งในระยะกลาง และดัชนี SPI คาบเวลา 48 เดือน สำหรับดัชนีความแห้งแล้งในระยะยาว<sup>93</sup> ทั้งนี้ หน้าต่างของ moving window มีลักษณะเป็น non - centred ซึ่งอนุกรมข้อมูลที่ทำให้เรียบแล้ว (smoothed series) ขึ้นกับค่าปัจจุบันและอดีตของอนุกรมข้อมูลเท่านั้น กรณีการศึกษา หน้าต่างมีขนาดเท่ากับ 6 เดือน สำหรับการคำนวณ SPI ในคาบเวลา 6 เดือน ซึ่งอนุกรมข้อมูลใหม่  $X't, t = 1, 2, \dots, n$  สามารถเขียนได้ดังนี้

$$X'_t = \frac{1}{6} \sum_{i=0}^{i=5} X_{t-i} \quad (1)$$

2) อนุกรมที่ทำให้เรียบ ถูกแบ่งออกเป็น 12 เดือนอนุกรม โดยแต่ละอนุกรม นำไปจำลองด้วย gamma distribution  $g(x)$  ซึ่งสามารถอธิบายความเบ้ของตัวแปรทางอุทกวิทยาได้ดี ทั้งนี้ Probability density function (PDF) ของ gamma distribution แสดงได้ดังนี้

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{for } x > 0 \quad (2)$$



$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy$  คือ gamma function และ  $\alpha$  และ  $\beta$  คือ shape และ scale parameter ซึ่งค่าประมาณของ maximum likelihood คือ<sup>92,93</sup>

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

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (4)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \sum \ln(x)/n \quad (5)$$

โดยที่  $n$  คือ จำนวนตัวอย่าง และ cumulative probability  $G(x)$  ของปริมาณฝนสะสมรายเดือน แต่ละค่า คือ<sup>92</sup>

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx \equiv \frac{1}{\hat{\beta}\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (6)$$

Edwards และ McKee (1997) ได้เสนอแนะ actual probability ของ non - exceedance  $P(x)$  โดยสามารถคำนวณได้ในกรณีที่ฝนไม่ตกในบางเดือน ซึ่งแสดงได้ดังนี้<sup>93</sup>

$$P(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (7)$$

ในขณะที่  $q$  คือ probability ของ  $x = 0$

ยังมีข้อโต้แย้งเกี่ยวกับ probability distribution ที่ใช้ในการประมาณ non - exceedance  $P(x)$  ของอนุกรมที่ทำให้เรียบ ถึงแม้ว่า gamma distribution function ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากค่าดัชนี SPI ขึ้นอยู่กับรูปแบบ probability distribution ที่นำมาจำลองกับข้อมูลฝน Ntale และ Gan (2003)<sup>92</sup> ได้เสนอแนะวิธี plotting position สำหรับการประมาณค่า non - exceedance  $P(x)$  ของอนุกรมที่ทำให้เรียบ ซึ่งเป็นเทคนิค non-parametric ที่มีคุณสมบัติสามารถประมาณ unbiased  $P(x)$  ของข้อมูลที่มีการแจกแจงเกือบทุกประเภท เนื่องจาก plotting position คำนวณจาก data rank<sup>118</sup> โดย 'quantile - unbiased t' plotting position หลายสูตรที่นิยมในด้านอุทกวิทยา มีสูตรโดยทั่วไปดังนี้

$$q_i = \frac{i - a}{n + 1 - 2a} \quad (8)$$

โดยที่  $i =$  rank order,  $n =$  ขนาดของจำนวนตัวอย่าง และ  $a =$  parameter Cunnane (1978) ได้อภิปรายถึงคุณลักษณะของสูตร plotting position และเสนอแนะ  $a = 0.40$  เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่า unbiased quantile ของข้อมูลที่มีการแจกแจงเกือบทุกประเภท<sup>119</sup> ซึ่ง Weibull plotting formula ( $a = 0$  ในสมการที่ 8) นับเป็นสูตรที่มีชื่อเสียงอันดับแรกๆ ในการประมาณ unbiased  $P(x)$  ของข้อมูลที่มีการแจกแจงเกือบทุกประเภท<sup>93,118</sup>

3) คำนวณดัชนี SPI ด้วยวิธี Pearson type III distribution (P3) ซึ่งเป็นเทคนิค non-parametric ที่สามารถจัดการความเบ้ของข้อมูลฝนได้ดี<sup>93</sup> ทั้งนี้เนื่องจากการแปลงอนุกรมข้อมูลฝน เป็นค่า Z score ภายใต้สมมติฐานการแจกแจงปกติ อาจไม่เหมาะสมกับดัชนี SPI ที่มีคาบเวลาน้อยกว่า 6 เดือน P3 เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในการ

ศึกษาด้านการจัดการแหล่งน้ำ เนื่องจากสามารถจัดการข้อมูลที่มีการแจกแจงได้หลายประเภท ซึ่งการแจกแจงแบบ gamma และ normal เป็นกรณีพิเศษของ P3:<sup>120</sup>

$$f(x) = \frac{|x|}{\Lambda(x)} [\chi(x - m)]^{\lambda-1} e^{-x(x-m)} \quad (9)$$

ในกรณี P3 การประมาณ 'quantile - unbiased plotting-position' ขึ้นอยู่กับตัวแปร  $\beta$  ดังนั้น ตัวแปร  $\alpha$  ของตัวอย่าง จำเป็นสำหรับการคำนวณ เนื่องจากสมการที่ 8 ไม่สามารถใช้สำหรับการประมาณ P3 Nguyen et al. (1989) พัฒนาสูตร plotting position สำหรับ P3 ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$q_i = \frac{i - 0.42}{n + 0.3\gamma + 0.05} \quad (10)$$

สูตรข้างต้น เหมาะสมสำหรับ  $-3 \leq \gamma \leq 3$  และขนาดตัวอย่างอยู่ในช่วง  $5 \leq n \leq 100$  P3 plotting position ในสมการที่ 10 สามารถแปลงเป็น standardized P3 variates<sup>121</sup> และค่า  $\gamma$  สามารถประมาณได้ด้วยวิธี moment ดังนี้

$$\hat{\gamma} = \frac{1}{s^3} \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i^3}{n} - 3\bar{x}s^2 - \bar{x}^3 \right) \quad (11)$$

ในขณะที่  $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง และ S คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน นักวิจัยหลายท่าน (เช่น Bobee และ Robitaille, 1975<sup>122</sup>) ได้แสดงให้เห็นว่า สมการที่ 11 ประมาณค่า  $\gamma$  ต่ำกว่าปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลที่มีจำนวนตัวอย่างน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก ตามทฤษฎีแล้ว ดังนั้น Bobee และ Robitaille (1975) ได้พัฒนาสูตรเพื่อปรับแก้ค่า  $\gamma$  ของ P3 ดังนี้<sup>122</sup>

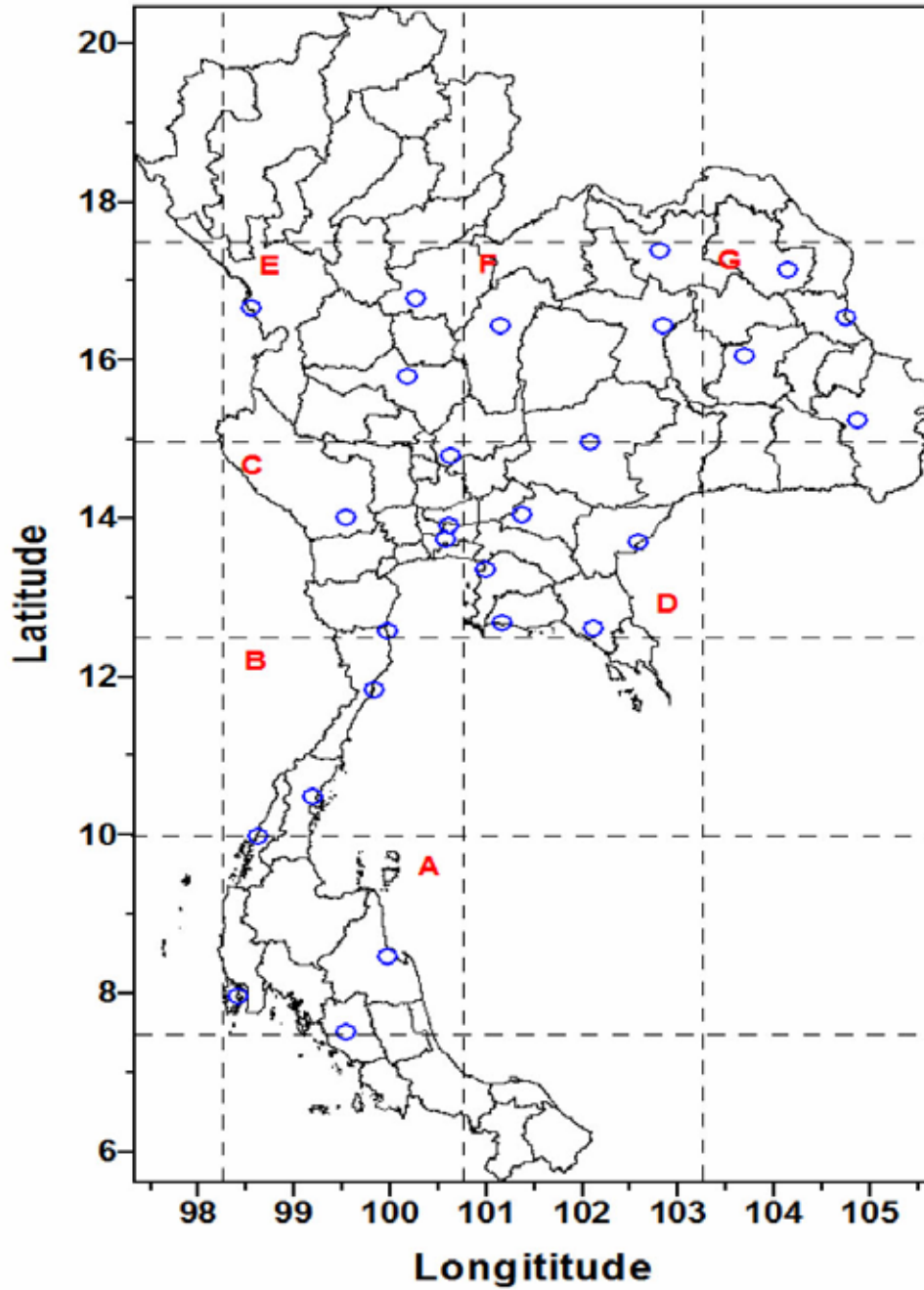
$$\gamma_u = \bar{\gamma} \left[ \left( 1 + \frac{6.51}{n} + \frac{20.2}{n^2} \right) + \left( \frac{1.48}{n} + \frac{6.77}{n^2} \right) \bar{\gamma}^2 \right] \quad (12)$$

ในขณะที่  $\bar{\gamma}$  คือ ค่าเฉลี่ยของ  $\gamma$

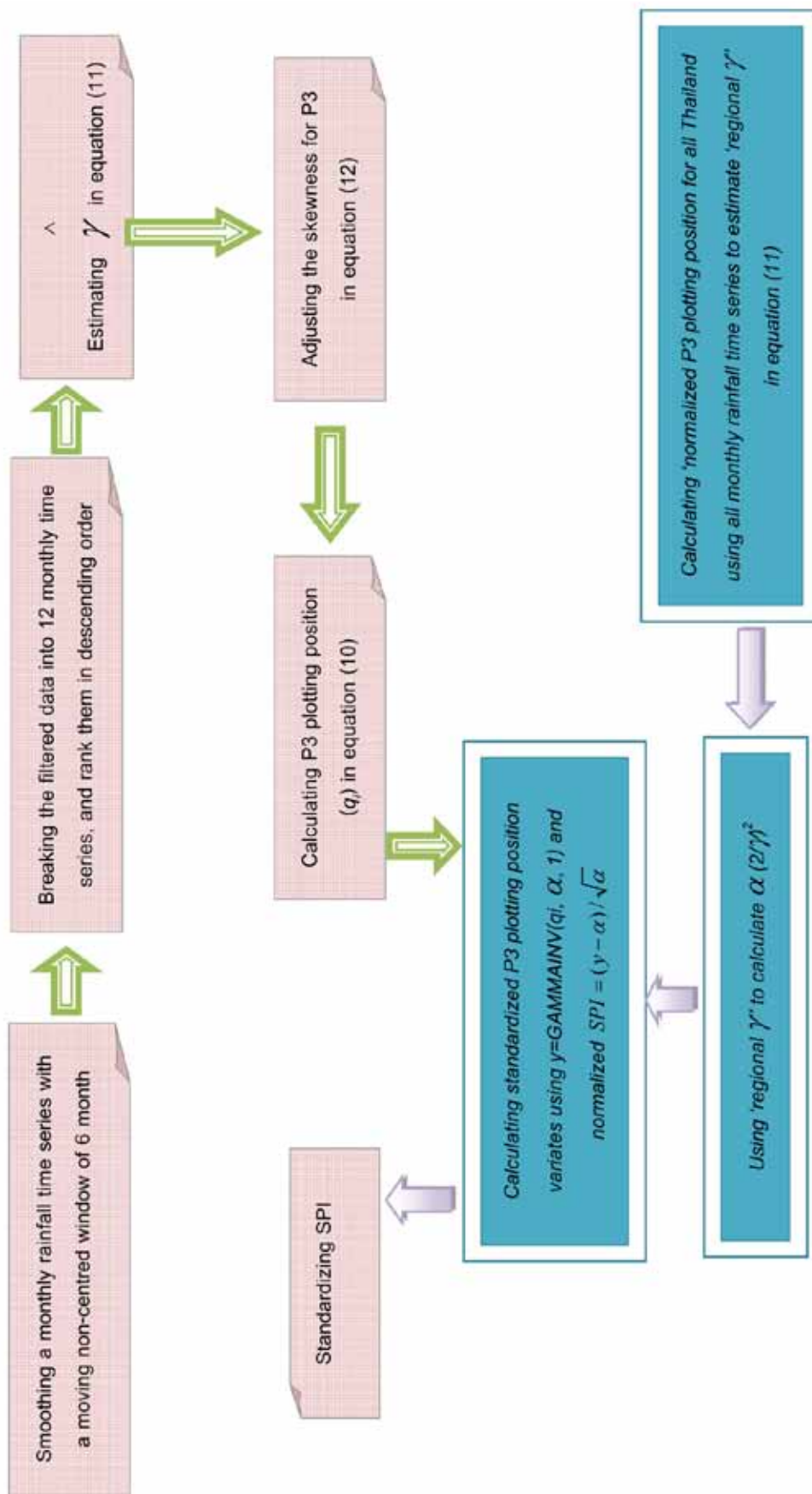
นอกจากนี้ วิธี 'regional normalized index' ซึ่งประมาณค่า normalized P3 ในภาพรวมของประเทศไทย ถูกนำมาประยุกต์เพื่อให้ดัชนี SPI แต่ละสถานีในแต่ละภูมิภาคหรือพื้นที่ สามารถเปรียบเทียบกันได้<sup>118,123</sup>

4) การ validate ดัชนี SPI ที่คำนวณ โดยใช้ดัชนี PSDI แบบกริดที่มีขนาด 2.5 x 2.5 (latitude x longitude) จาก Climate Analysis Section, National Center for Atmospheric Research<sup>124</sup> จำนวน 7 กริด ที่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ ในช่วงปี ค.ศ. 1951 - 2003 ดังแสดงในรูปที่ 3.5 การ validate ดัชนี SPI ดำเนินการโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี PSDI และดัชนี SPI ในคาบเวลา 12 เดือน ในแต่ละกริด

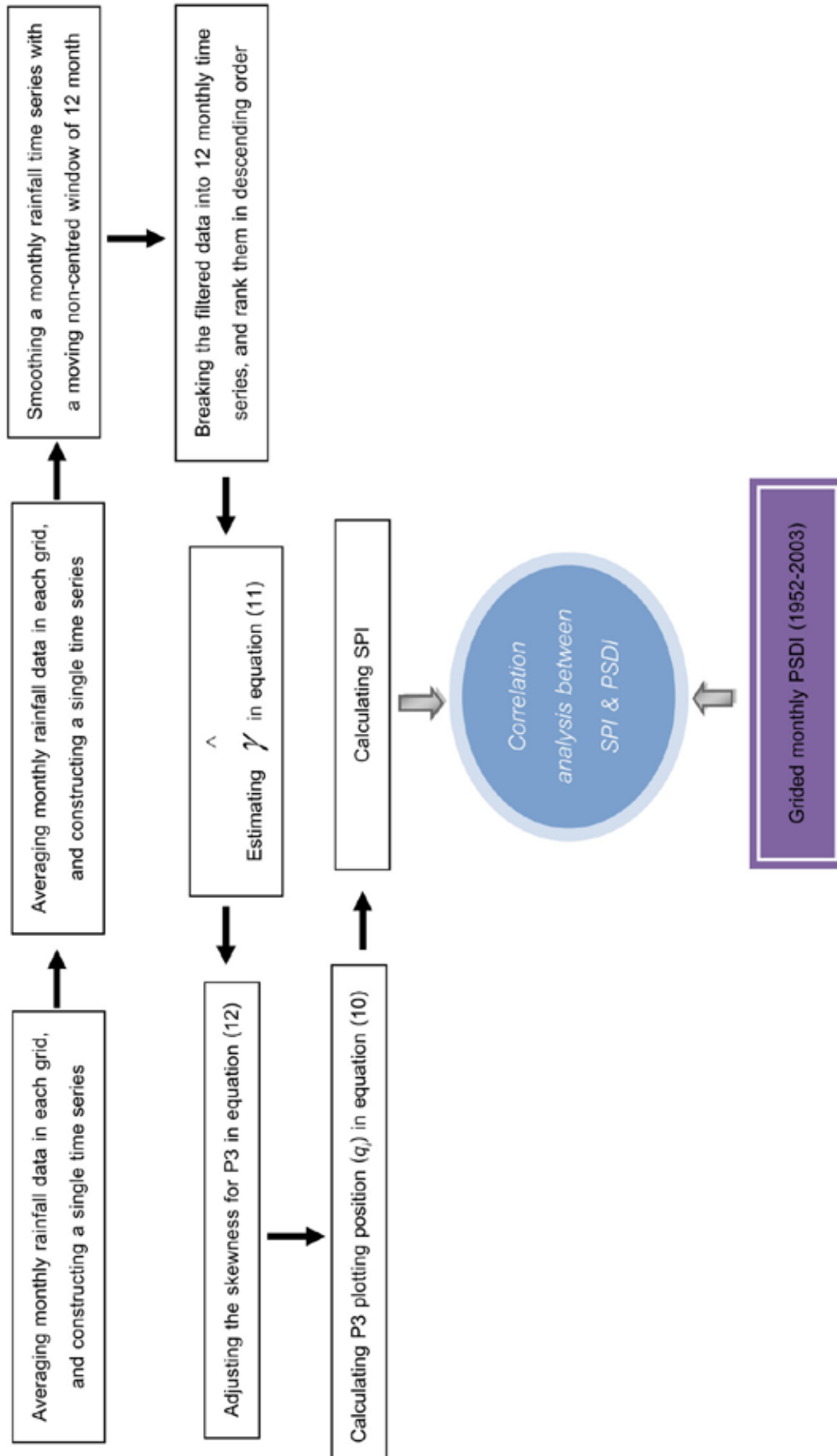
รายละเอียดและขั้นตอนการคำนวณดัชนี SPI รวมทั้งการ validate กับ PSDI ดังแสดงสรุป  
 ในรูปที่ 3.6 และ รูปที่ 3.7



รูปที่ 3.5 แสดงดัชนี PSDI แบบกริดที่ใช้ในการ validate ดัชนี SPI ที่คำนวณจากข้อมูลสถานีผิวพื้น



รูปที่ 3.6 แสดงรายละเอียดและขั้นตอนการคำนวณ SPI



รูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการ validate ดัชนี SPI กับ PSD

ดัชนี SPI ที่คำนวณในแต่ละสถานี ถูกนำไปวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในแง่ความถี่ และความรุนแรงของความแห้งแล้งและความเปียกชื้นทั้งในเชิงเส้นตรง (Linear trend) โดยใช้ Ordinary Least - Square (OLS) Method ซึ่งเป็นเทคนิค Non - parametric statistical method ที่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรง ถูกคำนวณจาก Slope ของค่า Median ที่เชื่อมต่อกันระหว่างคู่ตัวแปรในอนุกรมข้อมูล ซึ่งมีความทนทานและไม่ได้รับผลกระทบจากค่าผิดปกติ (Outliers) และการกระจายตัวของข้อมูลที่ไม่สมมาตร (Non-normal distribution)<sup>125,126,127,128,129,130</sup> นอกจากนี้ ดัชนี SPI ยังถูกนำไปวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในช่วงคาบเวลา 10 ปี Principal Component Analysis (PCA) ซึ่งเป็นเทคนิคทางสถิติเชิงตัวแปรพหุ ถูกนำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในเชิงพื้นที่และเวลา และพื้นที่วิกฤติของดัชนี SPI เทคนิค PCA อาศัยหลักการ การแปลงเชิงเส้นตรงของข้อมูลเดิมที่มีขนาดใหญ่และมีตัวแปรจำนวนมาก ไปสู่ชุดข้อมูลใหม่ที่มีตัวแปรน้อยลงแต่เป็นตัวแทนความแปรปรวนทั้งเชิงพื้นที่และเวลาส่วนใหญ่ของชุดข้อมูลเดิม<sup>127,131,132,133</sup> การประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ จะช่วยสังเคราะห์และลดจำนวนตัวแปร ให้เหลือเพียงจำนวนใหม่ที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงในภาพรวม ทั้งในแง่ความถี่ ความรุนแรง และระยะเวลา วิธี PCA จะคำนวณจากเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix) ของค่าการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงของดัชนี SPI ทุกสถานีในช่วง ปี ค.ศ. 1975 - 2006 เพื่อจำแนกข้อมูลเดิมออกเป็นค่า Eigenvalue, Eigenvector และ Principal Score สมการสำหรับการวิเคราะห์ PCA สรุปได้ดังนี้

$$\mathbf{Z}^* \mathbf{E} = \mathbf{E}^* \mathbf{L} \text{ หรือ } (\mathbf{Z} - \mathbf{L})^* \mathbf{E} = 0 \quad (13)$$

$$\mathbf{A} = \mathbf{Z}^* \mathbf{E} \quad (14)$$

$$\mathbf{E}^* \mathbf{E} \mathbf{T} = \mathbf{E} \mathbf{T}^* \mathbf{E} = \mathbf{I} \quad (15)$$

$$\mathbf{A} \mathbf{T}^* \mathbf{A} = \mathbf{L} \quad (16)$$

โดยที่  $\mathbf{Z}$  = เมตริกซ์ขนาด  $n \times p$  โดย  $n$  = ช่วงระยะเวลา และ  $p$  = สถานีทั้งหมด

$\mathbf{E}$  = เมตริกซ์ของ Eigenvector ขนาด  $p \times p$

$\mathbf{L}$  = เมตริกซ์ของ Eigenvalue ขนาด  $p \times p$  โดยตำแหน่ง Off - diagonal มีค่าเป็นศูนย์

$\mathbf{A}$  = เมตริกซ์ของ Principal Score ขนาด  $p \times p$

$\mathbf{I}$  = เมตริกซ์ที่ตำแหน่ง Diagonal มีค่าเป็นหนึ่ง ในขณะที่ ตำแหน่ง Off - diagonal มีค่าเป็นศูนย์

3.2.2.4 การวิเคราะห์ความเสี่ยงของน้ำท่วมฉับพลันและระยะเวลาความแห้งแล้ง โดยใช้ข้อมูลฝนรายวันที่ตรวจวัดจากสถานีผิวพื้นของกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทานและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จำนวน 144 สถานี ในช่วงปี ค.ศ. 1975 - 2006 (32 ปี) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เพื่อวิเคราะห์ดัชนีสถานะความรุนแรงของฝน (Rainfall extreme indices) ที่บ่งชี้ถึงโอกาสทางสถิติและแนวโน้มของสถานะความเสี่ยงของน้ำท่วมฉับพลันและระยะเวลาความแห้งแล้ง เช่นเดียวกันกับการคำนวณ SPI ก่อนดำเนินการวิเคราะห์ความเสี่ยงน้ำท่วมฉับพลันและระยะเวลาความแห้งแล้ง ข้อมูลฝนรายวัน ถูกนำเข้ากระบวนการทดสอบคุณภาพข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีที่อธิบายในข้อที่ 3.2.2.3

ดัชนีสถานะความรุนแรงของฝนที่วิเคราะห์จากปริมาณฝนรายวัน ประกอบด้วย

1) ดัชนีปริมาณฝนสูงสุดในรอบ 1 วัน (1 - day maximum rainfall amount;  $RX1day$ ) และดัชนีจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง (Consecutive dry and wet days;  $CDD$ ) ทั้งสองดัชนีนี้ เป็นดัชนีหลักของสถานะ

ความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ (Core climate extreme indices) ที่ได้ถูกพัฒนาและเสนอแนะเพื่อประเมินลักษณะต่างๆ ของสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ โดย Joint World Meteorological Organization (WMO) Commission for Climatology (CCI)/World Climate Research Program (WCRP), Climate Variability and Predictability (CLIVAR) project's Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI)<sup>134</sup> *RX1day* เป็นดัชนีที่แสดงถึงเหตุการณ์ฝนตกหนักในช่วงระยะสั้น ซึ่งมักเกิดในช่วงที่เกิดพายุ ส่วน *CDD* เป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงช่วงระยะเวลาที่ยาวนานที่สุดที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง มักใช้ประเมินสภาวะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในรอบปี โดยทั้งสองดัชนี สามารถคำนวณจากสูตร ดังนี้

$$RX1day = \max (RR_{ij}) \quad (17)$$

$$CDD = \max (RR_{ij} < 1 \text{ mm}) \quad (18)$$

โดยที่  $RR_{ij}$  คือ ปริมาณฝนของวันที่  $i$  และช่วงระยะเวลา  $j$ <sup>135</sup>

อนุกรมของดัชนี *RX1day* และ *CDD* ในช่วงปี ค.ศ. 1975 - 2006 ที่คำนวณสำหรับแต่ละสถานี ถูกนำไปวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรง (Linear trend) โดยใช้ Ordinary Least - Square (OLS) Method

2) ดัชนีปริมาณของเหตุการณ์ฝนตกหนักมาก (*R99*) และดัชนีความถี่ของเหตุการณ์ฝนตกหนักมาก (*P99*) หรือสัดส่วนของปริมาณฝนและจำนวนเหตุการณ์ของฝนที่มากกว่าหรือเท่ากับฝนเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 99 ซึ่งเป็นปริมาณและจำนวนฝนรวมในเหตุการณ์ที่ฝนตกหนักมากหรือเหตุการณ์บริเวณ Upper tail ของการแจกแจงข้อมูล โดยทั้งสองดัชนี สามารถคำนวณจากสูตร ดังนี้

$$R99 = \sum_{w=1}^w RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn99} \quad (19)$$

โดยที่  $RR_{wj}$  = ปริมาณฝนรายวันของวันฝนตก  $w$  ( $RR \geq 1.0 \text{ mm}$ ) ในช่วงระยะเวลา  $j$  และ  $RR_{wn99}$  = ฝนเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 99 ของวันฝนตก และ  $w$  = จำนวนวันฝนตก<sup>135</sup>

$$P99 = \sum_{w=1}^w PP_{wj} \text{ where } PP_{wj} > PP_{wn99} \quad (20)$$

โดยที่  $PP_{wj}$  = จำนวนเหตุการณ์ฝนตก  $w$  ( $RR \geq 1.0 \text{ mm}$ ) ในช่วงระยะเวลา  $j$  และ  $PP_{wn99}$  = เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 99 ของจำนวนเหตุการณ์ฝนตก และ  $w$  = จำนวนวันฝนตก

3.2.2.5 ทบทวนวิธีการคำนวณและวิเคราะห์ความล่อแหลมทางชีวกายภาพและทางสังคมด้วยเทคนิค Vulnerability - led approach (Bottom - up) ซึ่งมุ่งเน้นการประเมินความล่อแหลมในปัจจุบันทั้งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่วนเกี่ยวข้องกับความล่อแหลมของสังคมหรือระบบนั้น ตลอดจนแนวทางการศึกษารูปแบบการปรับตัวของชุมชนต่อภัยแล้งและอุทกภัยในลักษณะ community - based adaptation โดยวิเคราะห์กรอบแนวคิดและทบทวนเอกสารจากการศึกษาที่มา รวมทั้งเสนอแนะแนวทางการพัฒนาวิธีการคำนวณและวิเคราะห์สำหรับประเทศไทย

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

#### 4.1 การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุทกภัยและภัยแล้งจากฐานข้อมูล Dartmouth Flood Observatory และ EM-DAT

ผลการวิเคราะห์ พบว่า เหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1985 – 2008 ได้ถูกรายงานและบันทึกในฐานข้อมูล Dartmouth Flood Observatory จำนวน 52 ครั้ง (ตารางที่ 4.1) อย่างไรก็ตาม เหตุการณ์น้ำท่วมในประเทศไทยในรอบ 24 ปีที่ผ่านมา อาจเกิดขึ้นมากกว่าตัวเลขดังกล่าวข้างต้น เนื่องจากบางเหตุการณ์ไม่ได้รายงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรก ๆ ประกอบกับเหตุการณ์น้ำท่วมที่วิเคราะห์ข้างต้นนี้ เป็นเพียงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในประเทศไทยเท่านั้น โดยไม่ได้รวมถึงเหตุการณ์น้ำท่วมที่ถูกรายงานรวมกันหลายประเทศ ในลักษณะเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นพื้นที่กว้างในระดับภูมิภาค รูปที่ 4.1 แสดงแผนที่ขอบเขตและพื้นที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1985 – 2008 ซึ่งรวบรวมและประมวลจากแผนที่ระดับโลกของฐานข้อมูล Dartmouth Flood Observatory

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ประเทศไทยเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ตามนิยามของ Dartmouth Flood Observatory เกือบทุกปี ในรอบ 24 ปีที่ผ่านมา (ปี ค.ศ. 1985 – 2008) โดยระดับความรุนแรง ขอบเขตและพื้นที่ที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย มีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละปี ซึ่งปีที่ไม่มียางานการเกิดน้ำท่วม คือ 1987 1998 และ 2000 และการสังเกตเพิ่มเติม จากรูปที่ 4.1 พบว่า เหตุการณ์น้ำท่วมส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นหลังจากปี ค.ศ. 1995 มีแนวโน้มความถี่ของการเกิดเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.1) รวมทั้งแผ่ขยายเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณภาคกลางในลุ่มน้ำ สีสายหลัก ใน ปี ค.ศ. 2007 มีรายงานการเกิดน้ำท่วมสูงสุด จำนวน 7 ครั้ง



ตารางที่ 4.1 เหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ระหว่างปี ค.ศ. 1985 – 2008 จากฐานข้อมูล Dartmouth Flood Observatory

Country	Year	Locations	Days	Dead	Displaced	Main cause	Severity *	Affected sq km	Magnitude (M)**
Thailand	1985	เกิดในจังหวัดราชบุรี	6	18	7,640		1	13,910	4.9
Thailand	1986	เกิดในจังหวัดกรุงเทพมหานคร อุบลราชธานี ระยอง กำแพงเพชร และราชบุรี	4	32		Monsoonal rain	1.5	83,430	5.7
Thailand	1988	เกิดในจังหวัดพะเยา ระยอง และอุบลราชธานี	18	19	16,000	Brief torrential rain	1	243,200	6.6
		เกิดในจังหวัดนครศรีธรรมราช และสงขลา	12	386	301,000	Brief torrential rain	1.5	96,670	6.2
Thailand	1989	เกิดในภาคใต้ของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ และสุราษฎร์ธานี	8	304	150000	Tropical cyclone	1	44,230	5.5
Thailand	1990	เกิดในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	19	11		Tropical cyclone	1	162,400	6.5
Thailand	1991	เกิดในจังหวัดสตูล	3	1		Brief torrential rain	1.5	2,400	4
		เกิดในจังหวัดสกลนคร นครปฐม มุกดาหาร หนองคายและอุบลราชธานี	4			Tropical cyclone	1	48,320	5.3
		เกิดในภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ เชียงราย	4	16	2,000	Heavy rain	1	12,170	4.7
Thailand	1992	เกิดในภาคใต้ของประเทศไทย ได้แก่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร และนครศรีธรรมราช	4	49	3,000	Tropical cyclone	1	69,560	5.4
		เกิดในภาคใต้ของประเทศไทย	1	3		Tropical cyclone	1	25,180	4.4

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

Country	Year	Locations	Days	Dead	Displace	Main cause	Severity *	Affected sq km	Magnitude (M)**
Thailand	1992	เกิดในภาคใต้ของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร และนครศรีธรรมราช	4	49	3,000	Tropical cyclone	1	69,560	5.4
Thailand	1993	เกิดในภาคใต้ของประเทศไทย เกิดในภาคใต้ของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดตรัง ยะลา นราธิวาส และนครศรีธรรมราช	1 14	3 41	2,000	Tropical cyclone Heavy rain	1 1	25,180 42,420	4.4 5.8
Thailand	1994	เกิดในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดลำปาง น่าน กาญจนบุรี แพร่ ตาก เชียงราย แม่ฮ่องสอน พะเยา และเชียงใหม่	6	9	10,000	Tropical cyclone	1	124,800	5.9
Thailand	1995	เกิดในจังหวัดเชียงใหม่ พะเยา พะเยา พิษณุโลก และกาญจนบุรี	9	10		Tropical cyclone	1	160,000	6.2
Thailand	1996	เกิดในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงราย และน่าน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ นครราชสีมา ภาคตะวันออก ได้แก่ ระยอง และภาคใต้ ได้แก่ ระนอง	101 35	206 29	4,220,000 343,386	Heavy rain Tropical cyclone	2 1	444,500 314,300	8 7
		เกิดในภาคกลาง ได้แก่ กาญจนบุรี และกรุงเทพมหานคร	26	60		Monsoonal rain	1	116,500	6.5

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

Country	Year	Locations	Days	Dead	Displace	Main cause	Severity *	Affected sq km	Magnitude (M)**
Thailand	2003	เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี และตราด	3	2		Heavy rain	1	6,500	4.3
		เกิดในภาคเหนือ ได้แก่ สุโขทัย เชียงราย และเชียงใหม่	31	7	10,000	Monsoonal rain	1	314,900	7
		ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ร้อยเอ็ด ยโสธร ศรีสะเกษ	19	3	3,000	Monsoonal rain	1.5	11,460	5.5
		เกิดในภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี และเพชรบุรี	6	6		Heavy rain	1	23,690	5.2
Thailand	2004	เกิดในภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดตาก แพร่	4	8		Brief torrential rain	1	530	3.3
		นครสวรรค์ สุโขทัย พิจิตร แม่ฮ่องสอน น่าน พะเยา	18	1	4,000	Monsoonal rain	1	62,810	6.1
		พิษณุโลก เลย และเพชรบูรณ์	7	3		Heavy rain	1	17,190	5.1
		เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดร้อยเอ็ด และยโสธร	59	11	60,000	Monsoonal rain	1.5	154,400	7.1

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

Country	Year	Locations	Days	Dead	Displace	Main cause	Severity *	Affected sq km
Thailand	1997	เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย ภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี ภูเก็ต กระบี่ ระนอง และพังงา และสงขลา	14 14	46 46	300,000 200,000	Monsoonal rain Monsoonal rain	1 1	43,610 31,970
Thailand	2001	เกิดในภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดชุมพร สงขลา นราธิวาส ปัตตานีและยะลา	4	5		Monsoonal rain	1	157,200
Thailand	2001	เกิดในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดแพร่	2	30	4,000	Heavy rain	1	19,750
Thailand	2001	เกิดในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง แพร่ น่าน และจังหวัดเพชรบูรณ์	16	173	10,000	Tropical cyclone	1	4,160
Thailand	2002	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ อุตรธานี และหนองคาย						
Thailand	2002	เกิดในจังหวัดแพร่ ยโสธร อุบลราชธานี และอำนาจเจริญ	3			Heavy rain	1	14,950
Thailand	2002	เกิดในจังหวัดนครศรีธรรมราช	1		25,000	Heavy rain	1	8,520
Thailand	2002	เกิดในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดตาก และเชียงใหม่	35	2	150,000	Heavy rain	1	49,780
Thailand	2002	เกิดในภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดลำปาง	101	65	400,000	Monsoonal rain	1.5	358,600
Thailand	2002	เลยและเพชรบูรณ์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ บุรีรัมย์ และอุบลราชธานี						
Thailand	2002	เกิดในภาคกลางได้แก่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปทุมธานี อุทัย และลพบุรี ภาคเหนือ ได้แก่ นครสวรรค์	77	1	3,000	Monsoonal rain	1	139,700

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

Country	Year	Locations	Days	Dead	Displace	Main cause	Severity *	Affected sq km	Magnitude (M)**
Thailand	1997	เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย ภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี ภูเก็ต กระบี่ ระนอง และพังงา และสงขลา	14 14	46 46	300,000 200,000	Monsoonal rain Monsoonal rain	1 1	43,610 31,970	5.8 5.7
Thailand	2001	เกิดในภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดชุมพร สงขลา นราธิวาส ปัตตานีและยะลา	4	5	4,000	Monsoonal rain Heavy rain	1 1	157,200 19,750	5.8 4.6
Thailand	2001	เกิดในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดแพร่	2	30	10,000	Tropical cyclone	1	4,160	4.8
Thailand	2002	เกิดในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง แพร่ น่าน และจังหวัดเพชรบูรณ์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ อุตรดิตถ์ และหนองคาย	16	173					
Thailand	2002	เกิดในจังหวัดแพร่ ยโสธร อุบลราชธานี และอำนาจเจริญ	3			Heavy rain	1	14,950	4.7
Thailand	2002	เกิดในจังหวัดนครราชสีมา	1		25,000	Heavy rain	1	8,520	3.9
Thailand	2002	เกิดในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดตาก และเชียงใหม่	35	2	150,000	Heavy rain	1	49,780	6.2
Thailand	2002	เกิดในภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดลำปาง เลยและเพชรบูรณ์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ บุรีรัมย์ และอุบลราชธานี	101	65	400,000	Monsoonal rain	1.5	358,600	7.7
Thailand	2002	เกิดในภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปทุมธานี อยุธยา และลพบุรี ภาคเหนือ ได้แก่ นครสวรรค์	77	1	3,000	Monsoonal rain	1	139,700	7

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

Country	Year	Locations	Days	Dead	Displace	Main cause	Severity *	Affected sq km	Magnitude (M)**
Thailand	2003	เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี และตราด	3	2		Heavy rain	1	6,500	4.3
		เกิดในภาคเหนือ ได้แก่ สุโขทัย เชียงราย และเชียงใหม่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ร้อยเอ็ด ยโสธร ศรีสะเกษ เกิดในภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี และเพชรบุรี	31	7	10,000	Monsoonal rain	1	314,900	7
Thailand	2004	เกิดในภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช สงขลา สุราษฎร์ธานี พัทลุง ยะลา ปัตตานี กระบี่ และชุมพร	19	3	3,000	Monsoonal rain	1.5	11,460	5.5
		เกิดในภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดตาก แพร่ นครสวรรค์ สุโขทัย พิจิตร แม่ฮ่องสอน น่าน พะเยา พิษณุโลก เลย และเพชรบูรณ์	6	6		Heavy rain	1	23,690	5.2
		เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดร้อยเอ็ด และยโสธร	4	8		Brief torrential rain	1	530	3.3
		เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดร้อยเอ็ด และยโสธร	18	1	4,000	Monsoonal rain	1	62,810	6.1
		เกิดในภาคเหนือ ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย อุบลราชธานี แม่ฮ่องสอน แพร่ พิษณุโลก สุโขทัย อุตรดิตถ์ ลำปาง พิจิตร นครสวรรค์ ภาคกลาง ได้แก่ นครปฐม ปราณบุรี นครนายก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ มุกดาหารหนองบัวลำภู ยโสธร สุรินทร์บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด กาฬสินธุ์ ศรีสะเกษ	7	3		Heavy rain	1	17,190	5.1
			59	11	60,000	Monsoonal rain	1.5	154,400	7.1

An archive number is assigned to any ood that appears to be “large”: significant damage to structures or agriculture, long intervals since the last similar event, and/or fatalities

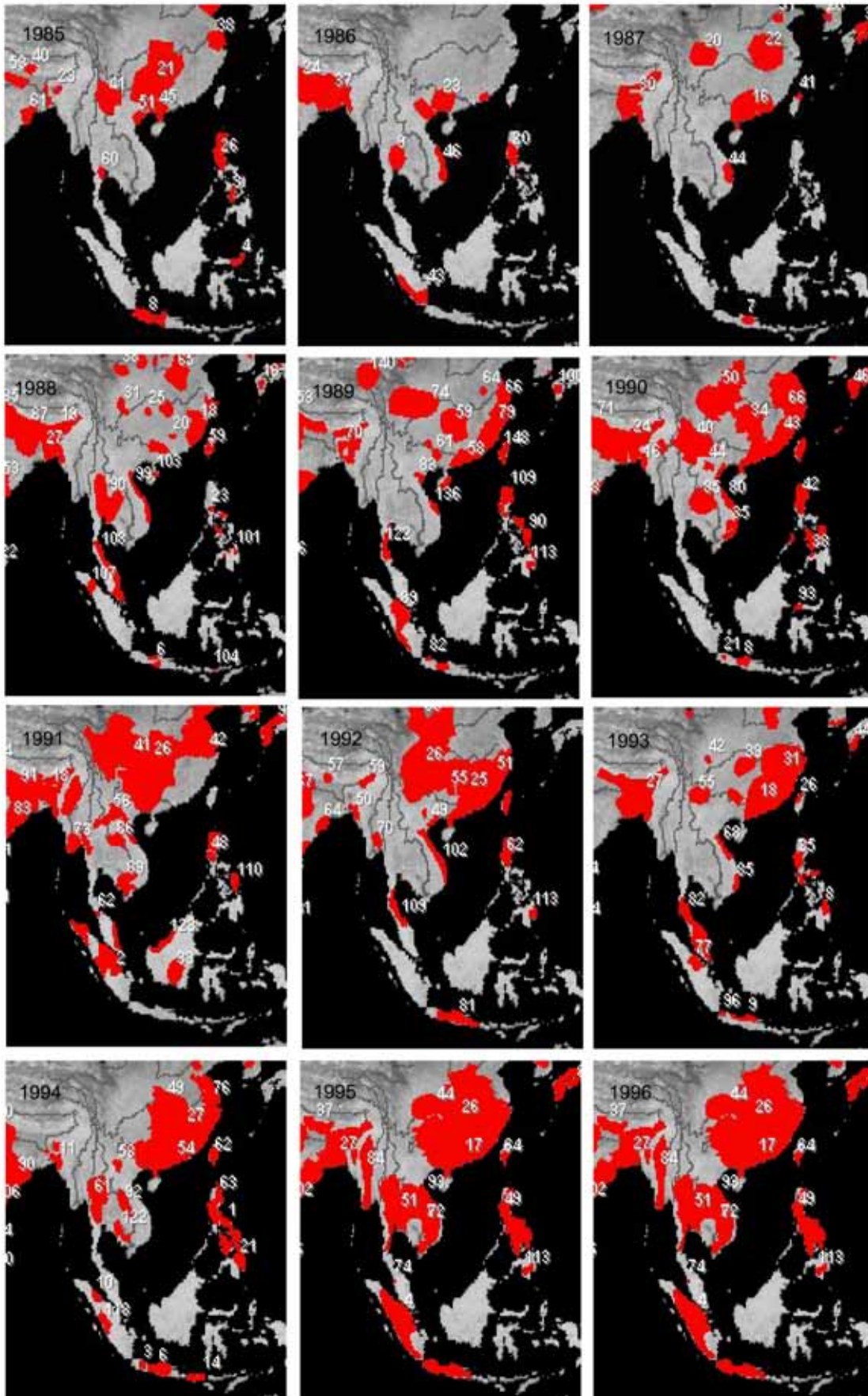
\*Severity Class

Class 1: large ood events: significant damage to structures or agriculture; fatalities; and/or 1-2 decades-long reported interval since the last similar event.

Class 1.5: very large events: greater than 20 yr but less than 100 year recurrence interval, and/or a local recurrence interval of at 10-20 yr.

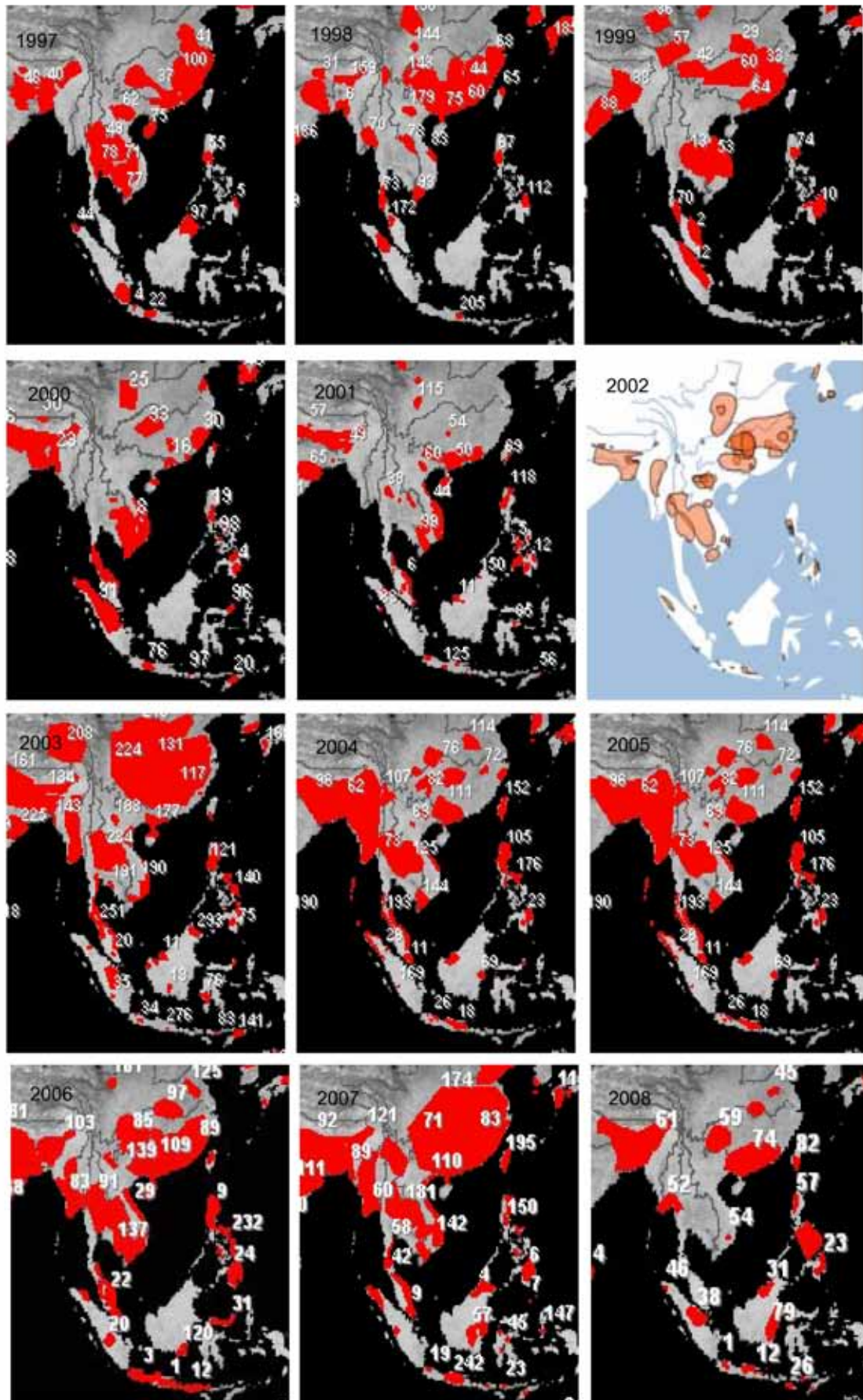
Class 2: Extreme events: with an estimated recurrence interval greater than 100 years

\*\*Flood Magnitude =LOG(Duration x Severity x Affected Area)



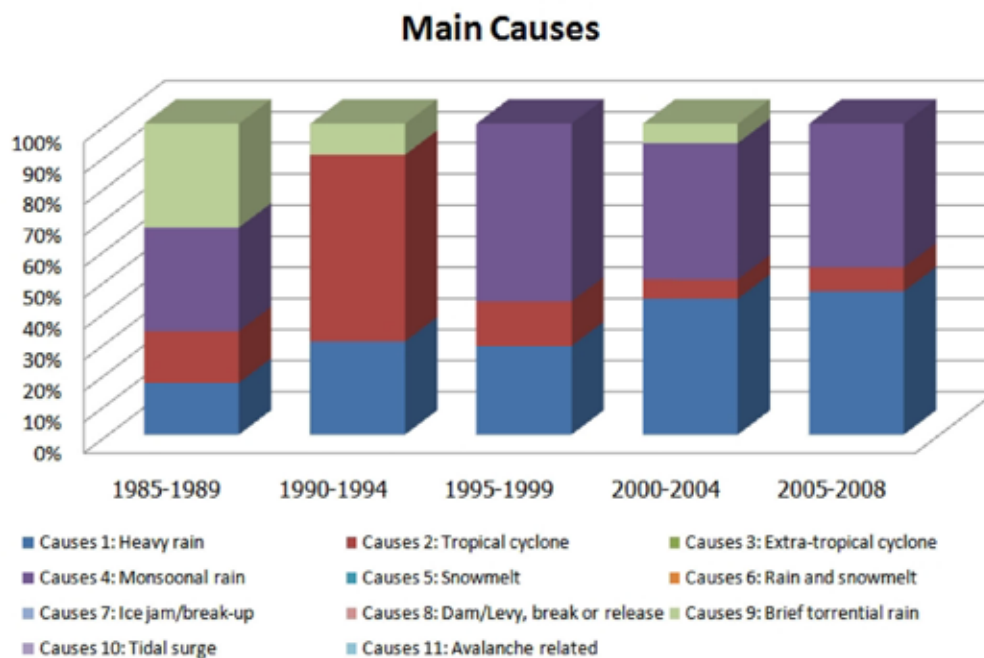
**รูปที่ 4.1** แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมครั้งใหญ่ (Extremely large ood event) ในประเทศไทย ระหว่างปี ค.ศ. 1985 - 1996 โดย Dartmouth Flood Observatory ได้วิเคราะห์จากข้อมูลหลายแหล่งทั้ง ground - based และ remote - based observations



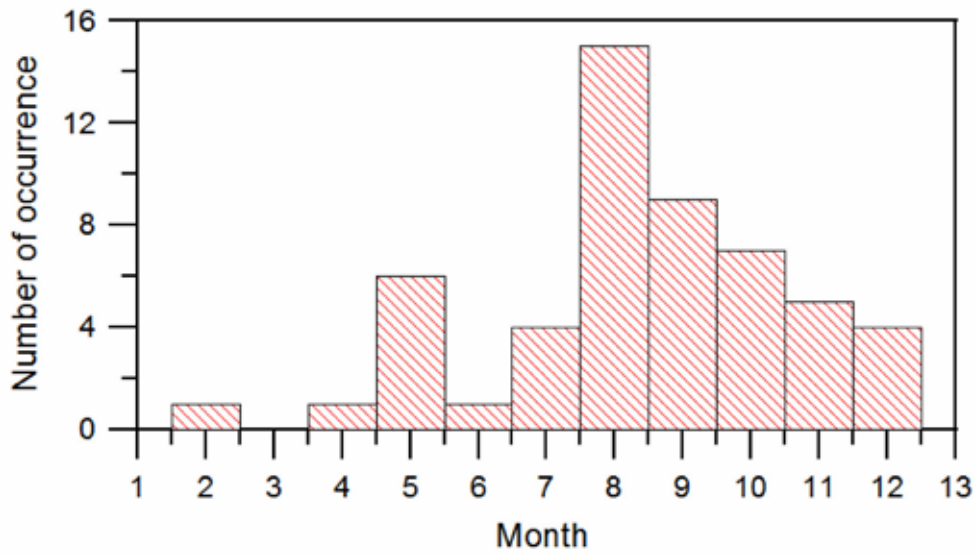


รูปที่ 4.1 (ต่อ) แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมครั้งใหญ่ (Extremely large ood event) ในประเทศไทย ระหว่างปี ค.ศ. 1997 - 2008 โดย Dartmouth Flood Observatory ได้วิเคราะห์จากข้อมูลแหล่งทั้ง ground - based และ remote - based observations

ผลการวิเคราะห์ พบว่า เหตุการณ์น้ำท่วมในประเทศไทย มีสาเหตุหลักจาก Heavy rain, Monsoonal rain, Tropical rain และ Brief torrential rain ซึ่งน้ำท่วมในระหว่าง ปี ค.ศ. 1990 – 1994 เกิดจาก Tropical rain เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่น้ำท่วมหลัง ปี ค.ศ. 1995 มีสาเหตุหลักจาก Heavy rain และ Monsoonal rain (รูปที่ 4.2) ในระหว่างปี ค.ศ. 1985 – 2008 เหตุการณ์น้ำท่วม ส่วนใหญ่ในประเทศไทย เกิดขึ้นในเดือนสิงหาคม กันยายน และตุลาคมของแต่ละปี อย่างไรก็ตาม เหตุการณ์น้ำท่วม ยังพบเกิดขึ้นในช่วงต้นฤดูฝน (พฤษภาคม) และช่วงปลายฤดูฝน (พฤศจิกายน) อีกด้วย (รูปที่ 4.3) เมื่อพิจารณาถึงระดับความรุนแรงซึ่งแบ่งตามนิยามของ Dartmouth Flood Observatory (ตารางที่ 4.2) พบว่า น้ำท่วมส่วนใหญ่ ในระหว่างปี ค.ศ. 1985 – 2004 มีความรุนแรงจัดอยู่ใน Class 1 แต่ระดับความรุนแรงของน้ำท่วมใน Class 1.5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างปี ค.ศ. 2004 – 2008 (รูปที่ 4.4)



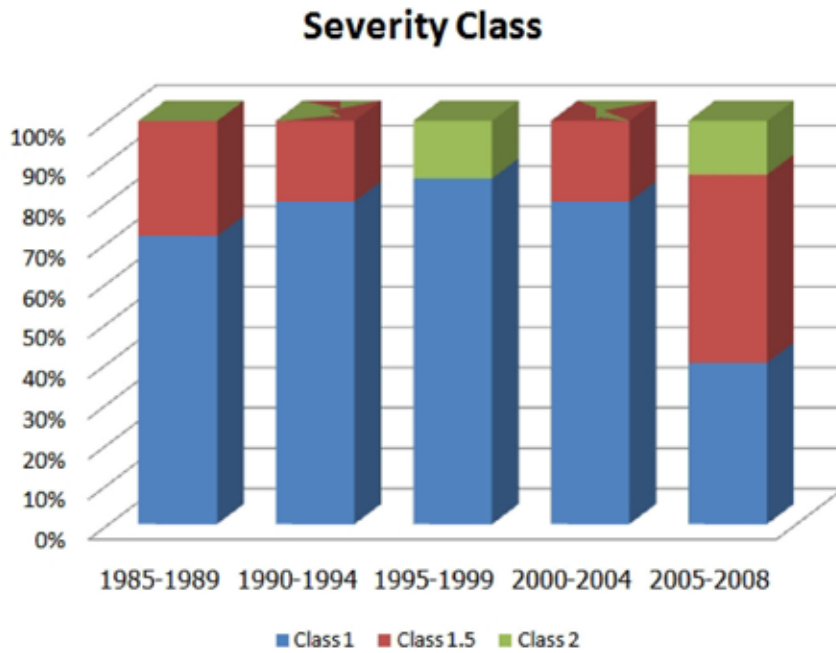
รูปที่ 4.2 แสดงสาเหตุของเหตุการณ์น้ำท่วมในประเทศไทย ในระหว่าง ปี ค.ศ .1985 - 2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory



รูปที่ 4.3 แสดงการเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1985 – 2008 โดยแยกเป็นรายเดือน (Climatologically seasonal occurrence) วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory

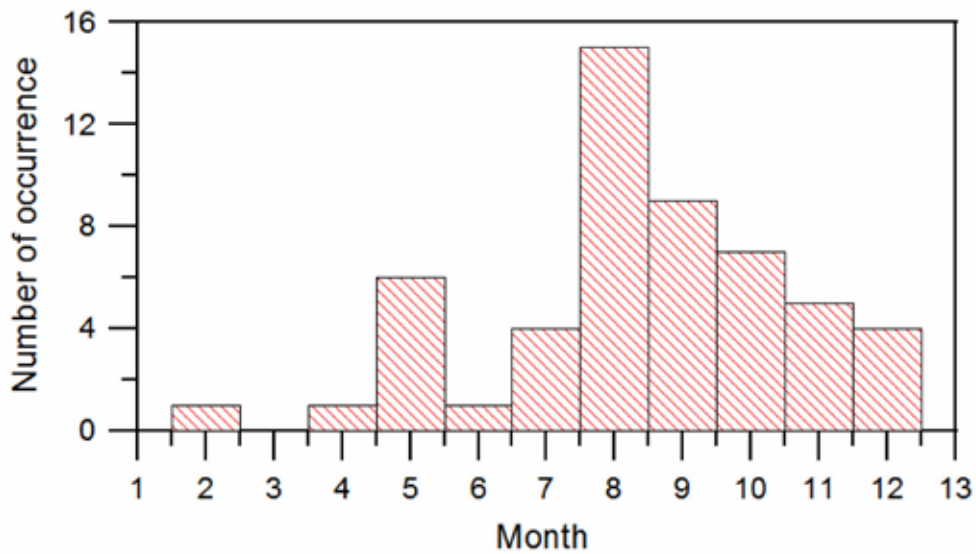
ตารางที่ 4.2 นิยามของระดับความรุนแรงของเหตุการณ์น้ำท่วม

Severity Class*	Definition
Class 1:	Large flood events: significant damage to structures or agriculture; fatalities; and/or 1-2 decades-long reported interval since the last similar event
Class 1.5:	Very large events: greater than 20 yr but less than 100 year recurrence interval, and/or a local recurrence interval of at 10-20 yr.
Class 2:	Extreme events: with an estimated recurrence interval greater than 100 years



**รูปที่ 4.4** แสดงระดับความรุนแรงของเหตุการณ์น้ำท่วมในประเทศไทย ระหว่าง ปี ค.ศ .1985 - 2008  
วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory โดยนิยามระดับความรุนแรง แสดงใน

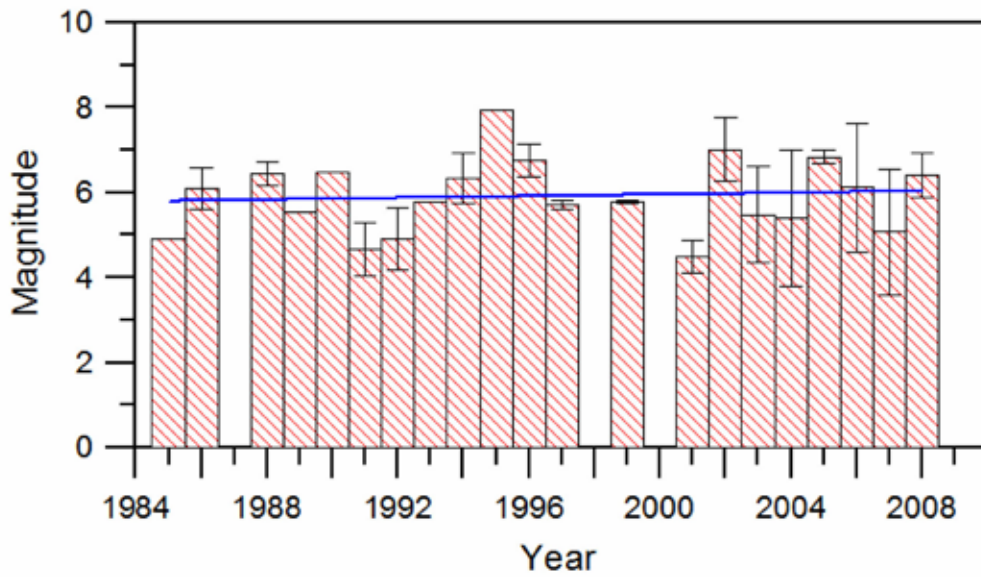
สำหรับ Flood magnitude ซึ่งประมาณจากตัวแปรด้านระยะเวลา ระดับความรุนแรง และพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ ไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงซึ่งมีค่าเฉลี่ยแกว่งอยู่ในช่วง 4.5 – 8.0 โดยเหตุการณ์น้ำท่วมในปี ค.ศ. 1995 มี magnitude สูงสุด (รูปที่ 4.5) อย่างไรก็ตาม พื้นที่รวมที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย กลับมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.6) ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของความถี่การเกิดเหตุการณ์น้ำท่วม หลังปี ค.ศ. 2000 (รูปที่ 4.7) แสดงถึงเหตุการณ์น้ำท่วมในแต่ละครั้ง มีระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น สอดคล้องกับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (รูปที่ 4.6) ทั้งนี้ เหตุการณ์น้ำท่วมในปี ค.ศ. 1995 ไม่เพียงมี magnitude สูงสุดเท่านั้น แต่มีระยะเวลาการเกิดที่ยาวนานที่สุด กล่าวคือ 101 วัน รองลงมา คือ เหตุการณ์น้ำท่วมในปี ค.ศ. 2005 โดยมีระยะเวลา 48 วัน ในแง่ของผู้เสียชีวิตสะสมจากเหตุการณ์น้ำท่วมในประเทศไทยที่ถูกรายงานและบันทึกในฐานข้อมูล Dartmouth Flood Observatory กลับมีแนวโน้มลดลงในช่วง ปี ค.ศ. 1985 – 2008 โดยเหตุการณ์น้ำท่วมในปี ค.ศ. 1988 และ ปี ค.ศ. 1989 มีผู้เสียชีวิตสูงสุด (รูปที่ 4.8) อย่างไรก็ตาม การแปลผลข้อมูลผู้เสียชีวิตจากเหตุการณ์น้ำท่วมในประเทศไทย ที่ถูกรายงานและบันทึกในฐานข้อมูล Dartmouth Flood Observatory ควรระมัดระวังเป็นพิเศษถึงความถูกต้องของข้อมูล ทั้งนี้ สังเกตเห็นว่าเหตุการณ์น้ำท่วมบางปี เช่น 1995, 2001 และ 2006 มีผู้เสียชีวิตสูงผิดปกติ (รูปที่ 4.8)



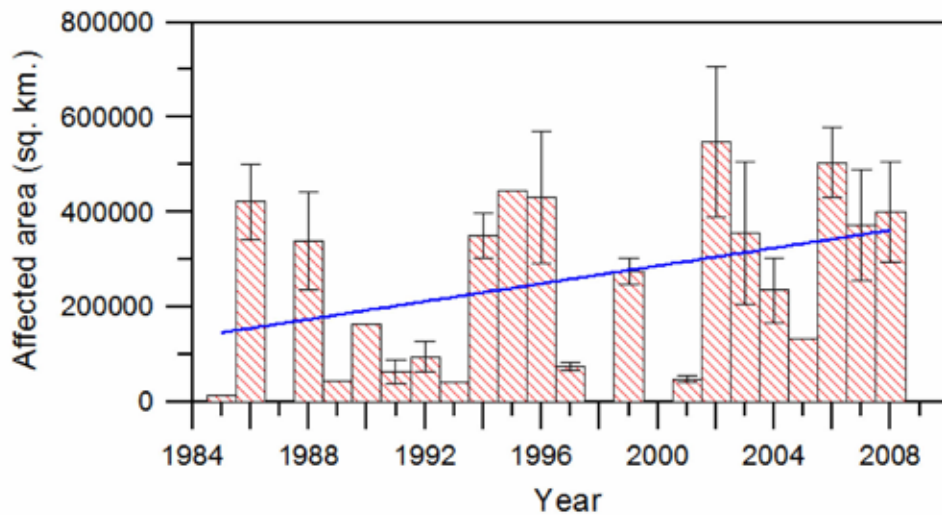
รูปที่ 4.3 แสดงการเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1985 – 2008 โดยแยกเป็นรายเดือน (Climatologically seasonal occurrence) วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory

ตารางที่ 4.2 นิยามของระดับความรุนแรงของเหตุการณ์น้ำท่วม

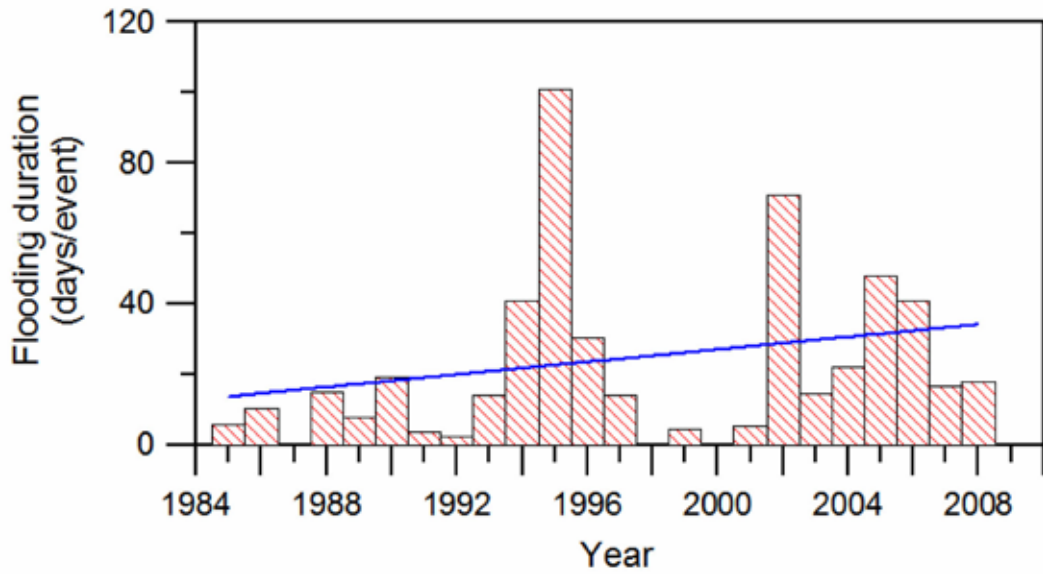
Severity Class*	Definition
Class 1:	Large flood events: significant damage to structures or agriculture; fatalities; and/or 1-2 decades-long reported interval since the last similar event
Class 1.5:	Very large events: greater than 20 yr but less than 100 year recurrence interval, and/or a local recurrence interval of at 10-20 yr.
Class 2:	Extreme events: with an estimated recurrence interval greater than 100 years



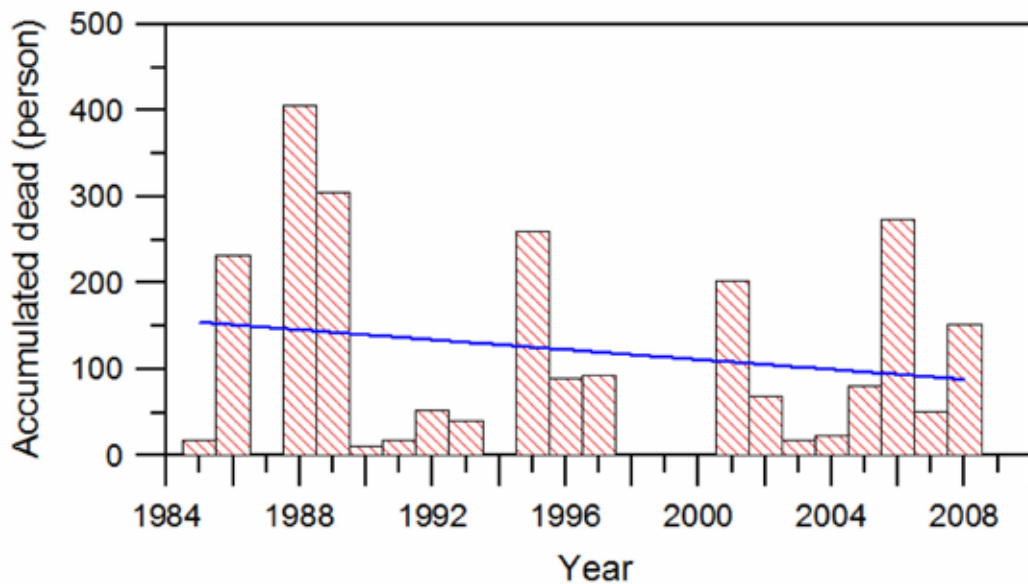
รูปที่ 4.5 แสดง Magnitude ของเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ . 1985 – 2008 โดย Flood magnitude = LOG(Duration x Severity x Affected Area)



รูปที่ 4.6 แสดงขอบเขตพื้นที่รวมที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทยในระหว่าง ปี ค.ศ .1985 - 2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory



รูปที่ 4.7 แสดงจำนวนวันเฉลี่ยต่อเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1985 - 2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory

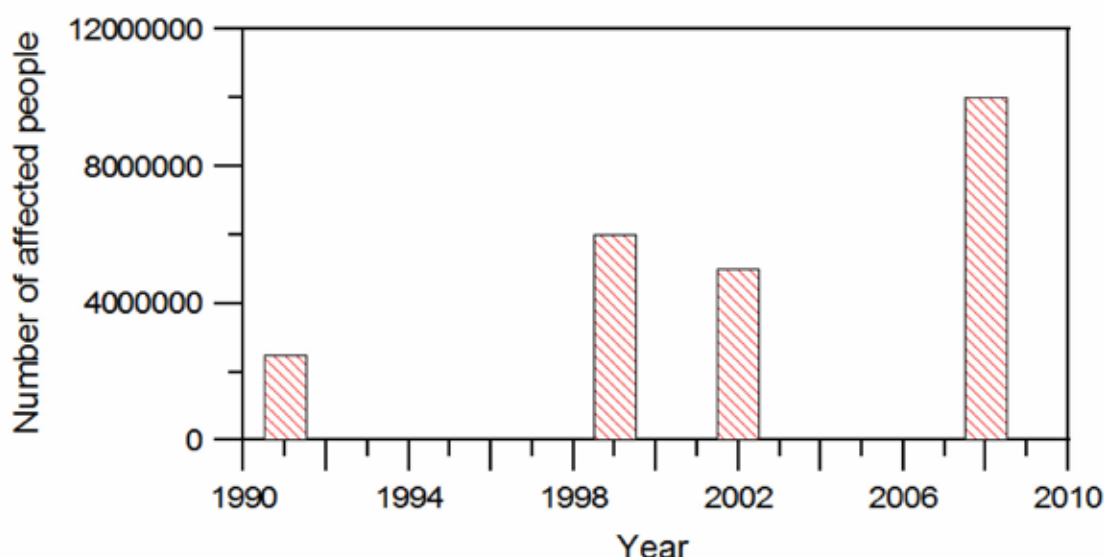


รูปที่ 4.8 แสดงผู้เสียชีวิตสะสมจากเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1985 - 2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของ Dartmouth Flood Observatory

**ตารางที่ 4.3** สรุปรายละเอียดของภัยพิบัติจากเหตุการณ์น้ำท่วมและภัยแล้งครั้งสำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ซึ่งวิเคราะห์จากฐานข้อมูล EM - DAT ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1900 – 2009 จากฐานข้อมูล EM - DAT พบว่า เหตุการณ์น้ำท่วมที่ได้ถูกรายงานและบันทึกในฐานข้อมูล EM - DAT มีจำนวน 59 ครั้ง ซึ่งมีผู้เสียชีวิตสูงถึง 2,675 คน และผู้ได้รับผลกระทบประมาณ 32.2 ล้านคน ตลอดจนก่อให้เกิดความเสียหายประมาณ 4,152 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ในขณะที่ ภัยแล้งครั้งสำคัญในประเทศไทยที่ถูกบันทึกและรายงาน มีจำนวน 6 ครั้ง สร้างความเสียหายประมาณ 424 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และมีผู้ได้รับผลกระทบประมาณ 23.5 ล้านคน โดยในช่วงปี 9 ปีที่ผ่านมา (1990 - 2008) ผู้ที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.9)

**ตารางที่ 4.3** สรุปรายละเอียดของอุทกภัยและภัยแล้งครั้งสำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1900 – 2009 ที่บันทึกและรายงานในฐานข้อมูล EM-DAT

ชนิดของภัยพิบัติ	จำนวนเหตุการณ์	จำนวนผู้เสียชีวิต	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ	ความเสียหาย (000 US\$)
ภัยแล้ง	6	-	23,500,000	424,300
อุทกภัย	59	2,675	32,261,121	4,151,635

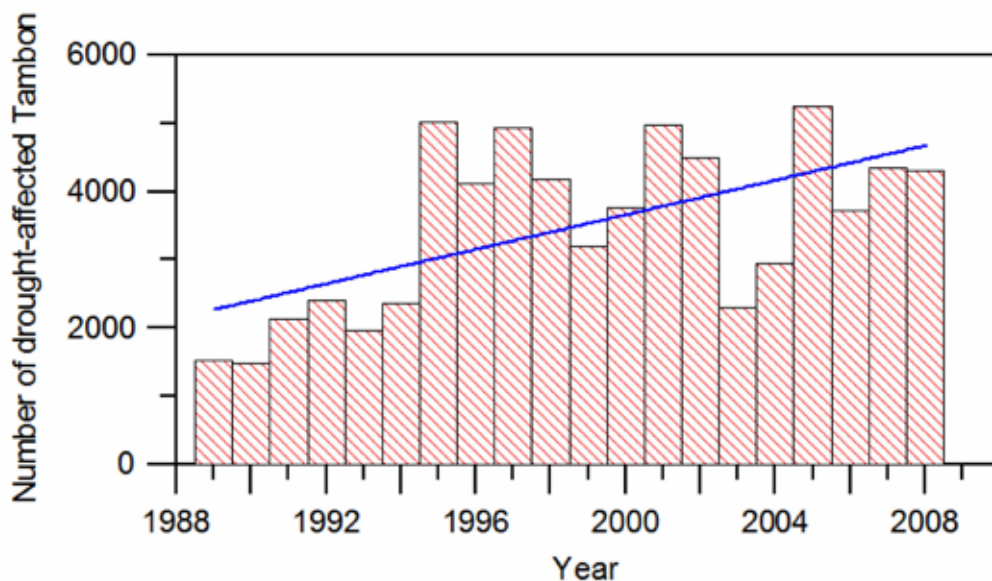


**รูปที่ 4.9** แสดงผู้ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1990 - 2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูล EM - DAT

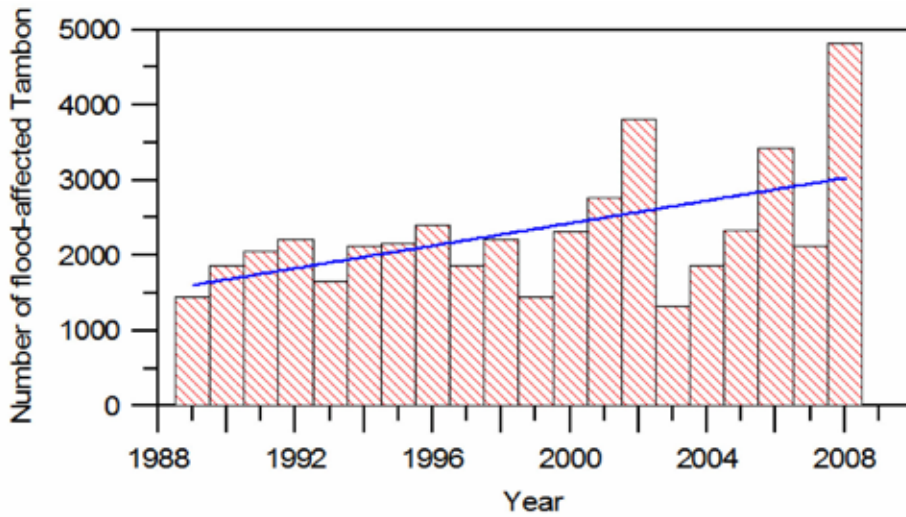


## 4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลความเสียหายจากอุทกภัยและภัยแล้งในภาพรวมของประเทศไทยและระดับจังหวัด/อำเภอ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมจากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย พบว่า จำนวนตำบลที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วมและภัยแล้งในช่วง ปี ค.ศ. 1989 – 2008 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยจำนวนตำบลที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วมสูงสุด เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2002, 2006 และ 2008 ตามลำดับ ในขณะที่ จำนวนตำบลที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งหลังปี ค.ศ. 1995 ขยับสูงขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงก่อนปี ค.ศ. 1995 (รูปที่ 4.10 และ 4.11) ตำบลที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง มีจำนวนมากกว่าตำบลที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วมรวมทั้งการเกิดภัยพิบัติจากภัยแล้ง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภัยพิบัติจากอุทกภัย (รูปที่ 4.10 และ 4.11)

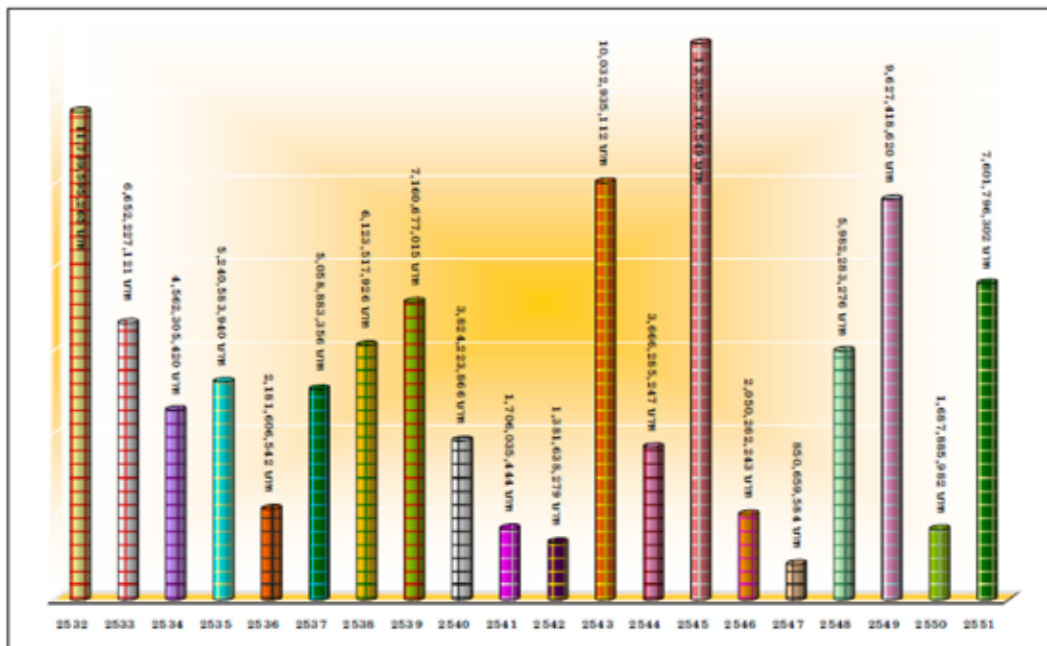


รูปที่ 4.10 แสดงตำบลที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1989 - 2008 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย



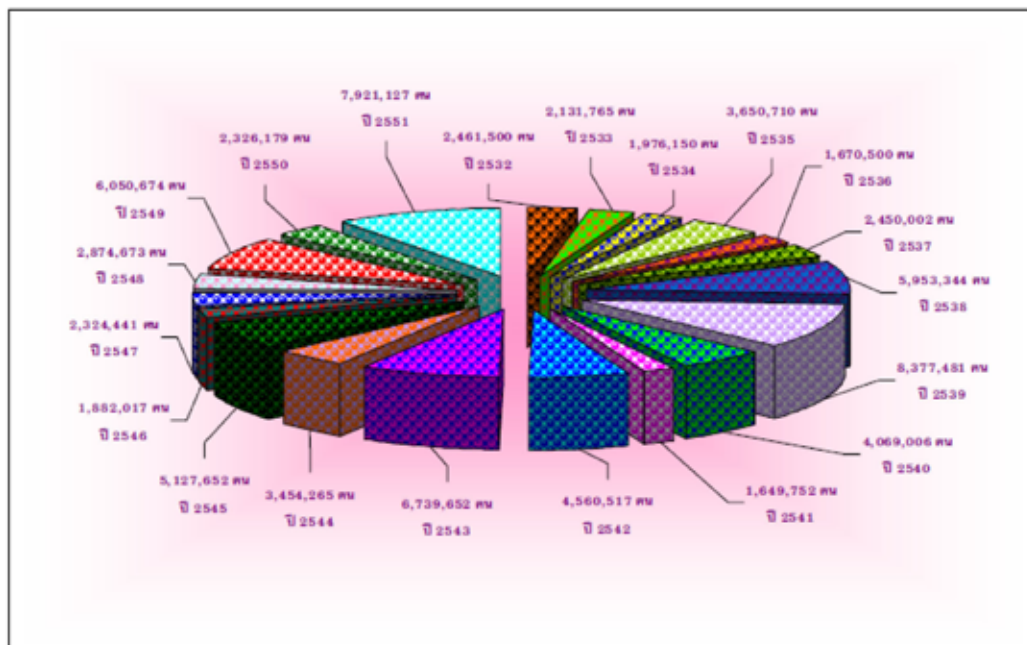
รูปที่ 4.11 แสดงตำบลที่ได้รับผลกระทบจากอุทกภัยในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1989 - 2008  
วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (รูปที่ 4.12) พบว่า ความเสียหายจากสถานการณ์อุทกภัยในประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2532 – 2551 (1989 - 2008) มีมูลค่าสูงถึง 110,514 ล้านบาท ในแต่ละปีมูลค่าความเสียหายจากสถานการณ์อุทกภัยไม่ต่ำกว่า 850 ล้านบาท โดยมูลค่าเสียหายของสถานการณ์อุทกภัยใน ปี ค.ศ. 1989 (2532), 2000 (2543), 2002 (2545) และ 2006 (2549) คิดเป็น 40.5% ของมูลค่าความเสียหายทั้งหมด และมูลค่าเสียหายของสถานการณ์อุทกภัยหลัง ปี ค.ศ. 2000 (2543) มีสัดส่วนถึง 50% ของมูลค่าความเสียหายทั้งหมด (รูปที่ 4.12)



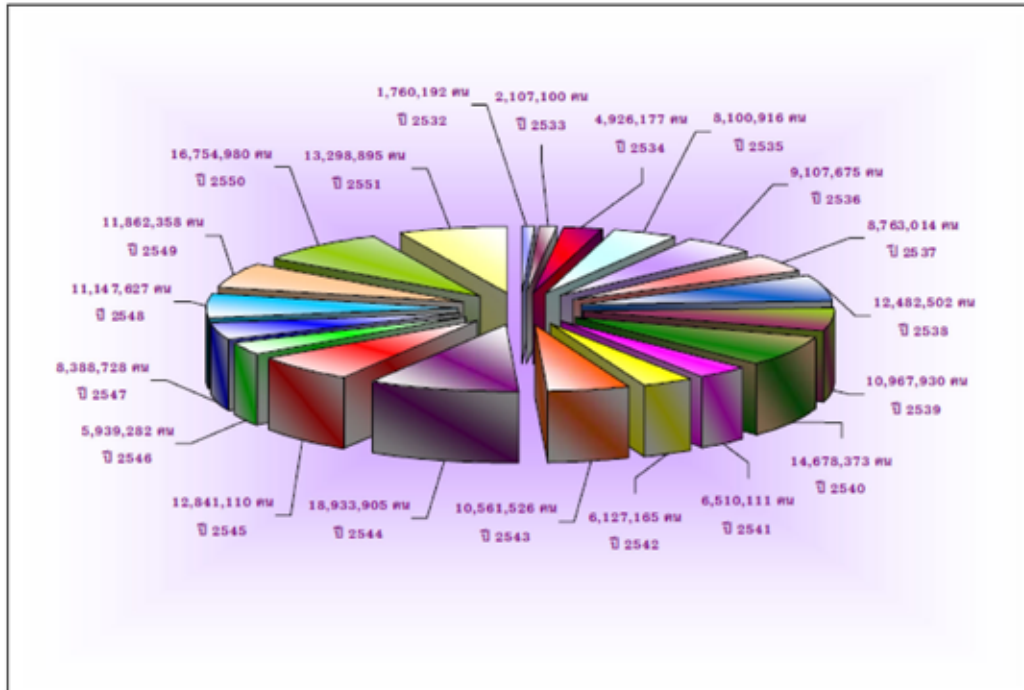
รูปที่ 4.12 แสดงมูลค่าความเสียหายจากสถานการณ์อุทกภัยในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 – 2551  
ที่มา: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

นอกจากนี้ ราษฎรผู้ประสบอุทกภัยในประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2532 – 2551 (1989 - 2008) มีประมาณ 77.6 ล้านคน โดยในแต่ละปีมีราษฎร ไม่ต่ำกว่า 1 ล้านคน ที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วม และปีที่มีราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วมสูงสุด คือ ปี ค.ศ. 1996 (2539) ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 8,377,481 คน (รูปที่ 4.13) จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมพบว่า จำนวนราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วมในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว (รูปที่ 4.15) ยิ่งกว่านั้น จำนวนราษฎรผู้ประสบอุทกภัย ในช่วงปี พ.ศ. 2532 – 2551 (1989 - 2008) มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น ( $r = 0.51, p < 0.03, n = 20$ ) สำหรับภัยแล้ง มีราษฎรที่ได้รับผลกระทบรวมทั้งสิ้น จำนวน 195 ล้านคน ในช่วงปี พ.ศ. 2532 – 2551 (1989 - 2008) ซึ่งสูงกว่าจำนวนราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วมถึง 2.5 เท่า ทั้งนี้ หลังจากปี ค.ศ. 2000 (2543) มีจำนวนราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง คิดเป็น 56% และจำนวนราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งในช่วงปี พ.ศ. 2532 – 2551 (1989 - 2008) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าจำนวนราษฎรผู้ประสบอุทกภัย (รูปที่ 4.14) ซึ่งมีลักษณะที่สอดคล้องกับจำนวนตำบลที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าจำนวนตำบลที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วม (รูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.15)

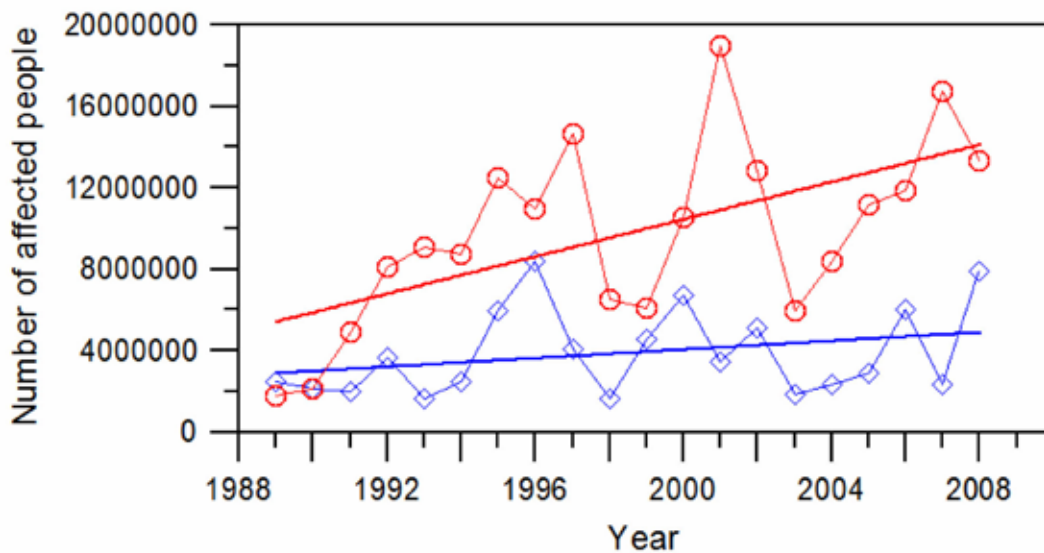


รูปที่ 4.13 แสดงจำนวนราษฎรผู้ประสบอุทกภัยในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 – 2551

ที่มา: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย



รูปที่ 4.14 แสดงจำนวนราษฎรผู้ประสบภัยแล้งในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 – 2551  
ที่มา: กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย



รูปที่ 4.15 แสดงจำนวนราษฎรผู้ประสบภัยแล้งและอุทกภัย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 - 2550 วิเคราะห์จากฐานข้อมูลของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

การวิเคราะห์ในเชิงพื้นที่ของการเกิดภัยแล้งและอุทกภัย รวมทั้งจำนวนราษฎรผู้ประสบภัยในระดับอำเภอ ด้วยเทคนิค GIS โดยรวบรวมข้อมูลจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด ในช่วงปี ค.ศ. 2005 (พ.ศ. 2548), 2006 (พ.ศ. 2549) และ 2007 (พ.ศ. 2550) ซึ่งนำเสนอในแต่ละภูมิภาคและภาพรวมของประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 4.16 – 4.35 วิธีการวิเคราะห์ ประกอบด้วย การวิเคราะห์พื้นที่ที่เกิดภัยและจำนวนราษฎรผู้ประสบภัยในแต่ละปี และทำการซ้อนทับข้อมูลทั้งหมด เพื่อคัดแยกเฉพาะพื้นที่ที่มีการเกิดซ้ำทั้งสามปีหรือเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งสามปี ผลการศึกษา พบว่า ภัยแล้งและอุทกภัย เกิดขึ้นทุกภาคของประเทศไทย โดยจำนวนพื้นที่ที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละปี รวมทั้งพื้นที่การเกิดซ้ำทั้งสามปี มีจำนวนแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค นอกจากนี้ ราษฎรผู้ประสบภัย มีจำนวนที่แตกต่างกันทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา (รูปที่ 4.16 – 4.35) รายละเอียดของแต่ละภาค สรุปได้ดังนี้

#### **-บริเวณภาคกลางและภาคตะวันออก**

มีพื้นที่ประสบภัยแล้งทั้งสิ้น 163, 93 และ 104 อำเภอ ในปี ค.ศ. 2005, 2006 และ 2007 ตามลำดับ (รูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.4) โดยมีพื้นที่ที่เกิดซ้ำทั้งสามปี จำนวน 66 อำเภอ (ตารางที่ 4.6) จังหวัดฉะเชิงเทราและจังหวัดสระแก้ว มีพื้นที่ภัยแล้งเกิดซ้ำทั้งสามปีสูงสุด (รูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.6) ในปี ค.ศ. 2006 (พ.ศ. 2549) ราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปี ค.ศ. 2005 และ 2007 (รูปที่ 4.17) โดยอำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว มีราษฎรผู้ประสบภัยทั้งสิ้น 74,300 คน รองลงมา คือ อำเภอสอยดาว จังหวัดจันทบุรี มีราษฎรผู้ประสบภัยทั้งสิ้น 54,493 คน ในขณะที่ ภาคกลางและภาคตะวันออก มีพื้นที่ประสบอุทกภัยซ้ำทั้งสามปีทั้งสิ้น 46 อำเภอ (ตารางที่ 4.5) ซึ่งปี ค.ศ. 2006 มีพื้นที่ประสบอุทกภัย เกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้าง (รูปที่ 4.18) จังหวัดอุทัย เป็นพื้นที่เกิดอุทกภัยซ้ำทั้งสามปีเป็นบริเวณกว้างในหลายอำเภอ (รูปที่ 4.18 และตารางที่ 4.7) ราษฎรผู้ประสบอุทกภัยในแต่ละอำเภอ มีจำนวนที่แตกต่างกันในแต่ละปี โดยในปี ค.ศ. 2006 มีราษฎรผู้ประสบภัยในหลายพื้นที่สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับปี ค.ศ. 2005 และ 2007 (รูปที่ 4.19) เมื่อพิจารณาถึงราษฎรผู้ประสบซ้ำกันตลอดทั้งสามปี พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา บริเวณจังหวัดอ่างทองและจังหวัดอุทัย (รูปที่ 4.19) นอกจากนี้ พื้นที่ที่ราษฎรประสบอุทกภัยซ้ำทั้งสามปี ยังปรากฏในบางพื้นที่ของภาคตะวันออก โดยอำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี มีจำนวนผู้ประสบอุทกภัย สูงสุด (131,850 คน) ในปี ค.ศ. 2006

#### **-บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**

นับเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อภาวะภัยแล้ง ซึ่งมีพื้นที่ประสบภัยเกิดขึ้นทุกจังหวัด รวมทั้งสิ้น 321, 298 และ 320 อำเภอ ในปี ค.ศ. 2005, 2006 และ 2007 ตามลำดับ (รูปที่ 4.20 และตารางที่ 4.4) ทั้งนี้มีพื้นที่เกิดภัยแล้งซ้ำทั้งสามปีทุกจังหวัดเช่นกัน ซึ่งมีจำนวนสูงถึง 298 อำเภอ โดยจังหวัดอุบลราชธานี จังหวัดอุดรธานี จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดบุรีรัมย์ มีพื้นที่ประสบภัยแล้งสูงสุด 5 ลำดับแรก (รูปที่ 4.20 และตารางที่ 4.8) รูปที่ 4.21 แสดงจำนวนราษฎรผู้ประสบภัยแล้งในแต่ละอำเภอของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง มีจำนวนที่แตกต่างกันในแต่ละอำเภอ โดยพื้นที่ที่ราษฎรได้รับผลกระทบจากภัยแล้งอย่างต่อเนื่องทั้งสามปี และเป็นจำนวนมาก กระจายตัวอยู่เกือบทุกพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 4.21) อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี อำเภอพรเจริญ จังหวัดหนองคาย และอำเภอเมือง จังหวัดนครพนม มีราษฎรผู้ประสบภัยแล้งสูงสุดในปี ค.ศ. 2005 (122,894 คน) 2006 (381,110 คน) และ 2007 (114,771 คน) ตามลำดับ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประสบ

กับสถานการณ์น้ำท่วม ซึ่งพื้นที่ที่เกิดเหตุการณ์ดังกล่าว มีจำนวนที่แตกต่างกันในแต่ละปี ในระหว่างปี ค.ศ. 2006 และ 2007 เกิดเหตุการณ์น้ำท่วม เป็นบริเวณกว้าง (รูปที่ 4.22) โดย 91 อำเภอใน 9 จังหวัดบริเวณตอนเหนือและบางส่วนของตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นพื้นที่ที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมซ้ำทั้งสามปี (ตารางที่ 4.5 และ 4.9 และรูปที่ 4.22) จังหวัดอุดรธานีและกาฬสินธุ์ เป็นพื้นที่ที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมซ้ำทั้งสามปีครอบคลุมบริเวณกว้างในหลายอำเภอ (ตารางที่ 4.9) ในแง่ของราษฎรที่ประสบกับอุทกภัย พบว่า มีลักษณะที่สอดคล้องกับพื้นที่ที่เกิดเหตุการณ์ซ้ำทั้งสามปี (รูปที่ 4.23) ซึ่งผู้ประสบภัยสูงสุดในช่วงปี ค.ศ. 2005 - 2007 อยู่ในจังหวัดอุดรธานีและกาฬสินธุ์

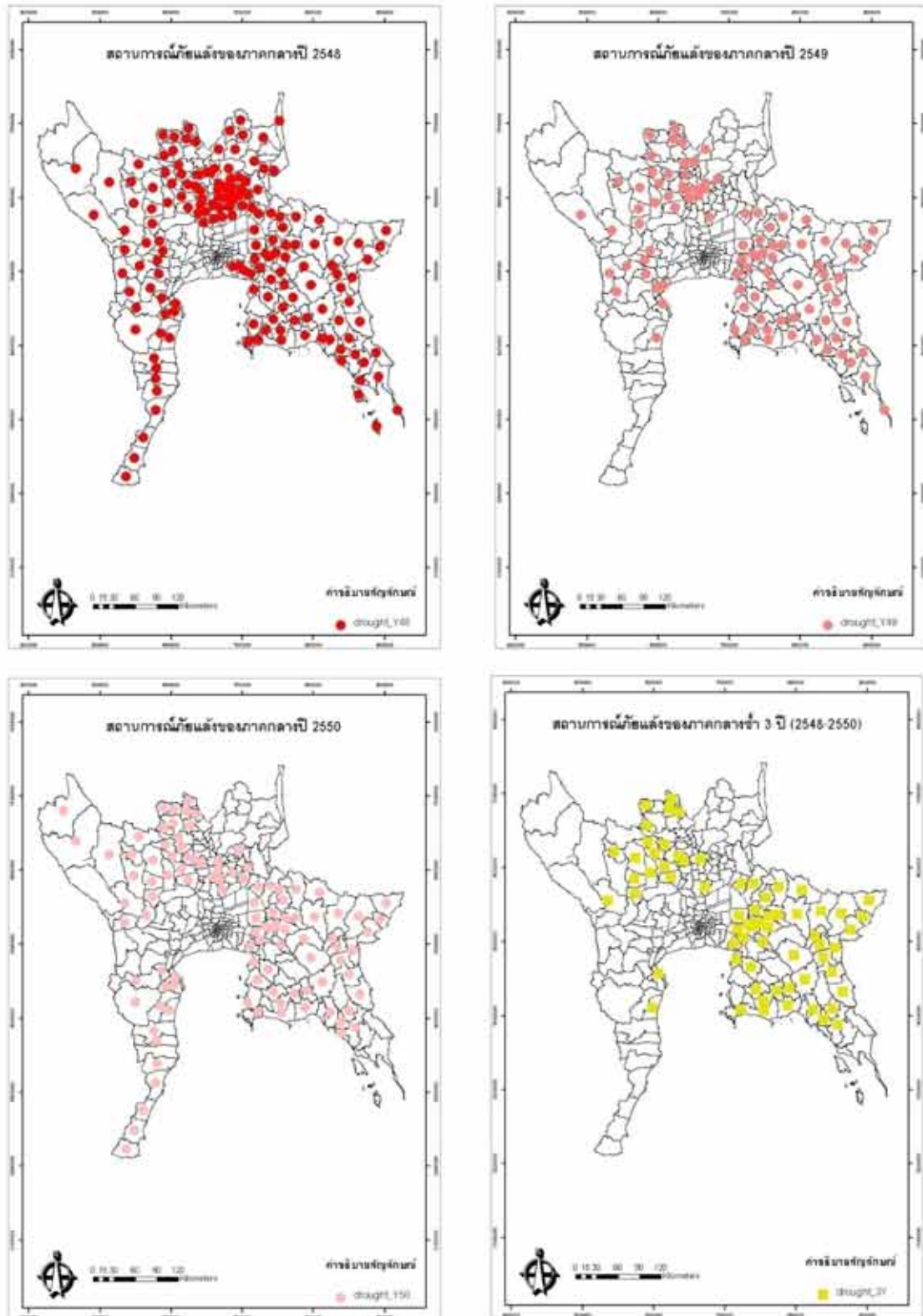
#### -บริเวณภาคเหนือ

จัดเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้งเช่นเดียวกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากรูปที่ 4.24 จะเห็นว่า พื้นที่ประสบภัยแล้งเกิดขึ้นมากกว่า 100 อำเภอในแต่ละปี (รูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.4) และพื้นที่ที่เกิดซ้ำทั้งสามปี มีจำนวน 97 อำเภอใน 12 จังหวัด (ตารางที่ 4.4) จังหวัดเชียงราย เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ประสบภัยเกิดซ้ำมากที่สุด คือ 17 อำเภอ (ตารางที่ 4.10) ในปี ค.ศ. 2006 มีราษฎรผู้ประสบภัยแล้ง สูงสุดและกระจายเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง จังหวัดสุโขทัย เป็นจังหวัดที่มีผู้ประสบภัยสูงสุดทั้งสามปี (รูปที่ 4.25) ในแง่ของอุทกภัย ภาคเหนือ มีพื้นที่ประสบสถานการณ์น้ำท่วมทั้ง 3 ปี โดยการกระจายตัวของพื้นที่ประสบอุทกภัย มีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละปี โดย ปี ค.ศ. 2006 เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมในหลายอำเภอเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง นอกจากนี้ อำเภอที่เกิดสถานการณ์น้ำท่วมซ้ำทั้งสามปี มีจำนวนทั้งสิ้น 57 อำเภอ (รูปที่ 4.26 และตารางที่ 4.5) จังหวัดลำปาง เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ประสบอุทกภัยซ้ำมากที่สุด คือ 13 อำเภอ (ตารางที่ 4.11) จำนวนราษฎรผู้ประสบอุทกภัย มีลักษณะที่สอดคล้องกับจำนวนพื้นที่ประสบอุทกภัย กล่าวคือ ในปี ค.ศ. 2006 มีราษฎรผู้ประสบภัย สูงที่สุดซึ่งกระจายเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง (รูปที่ 4.27) โดยเมืองปาน จังหวัดลำปาง อำเภอเมืองอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ และอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง มีราษฎรผู้ประสบภัยสูงสุดในปี ค.ศ. 2005, 2006 และ 2007

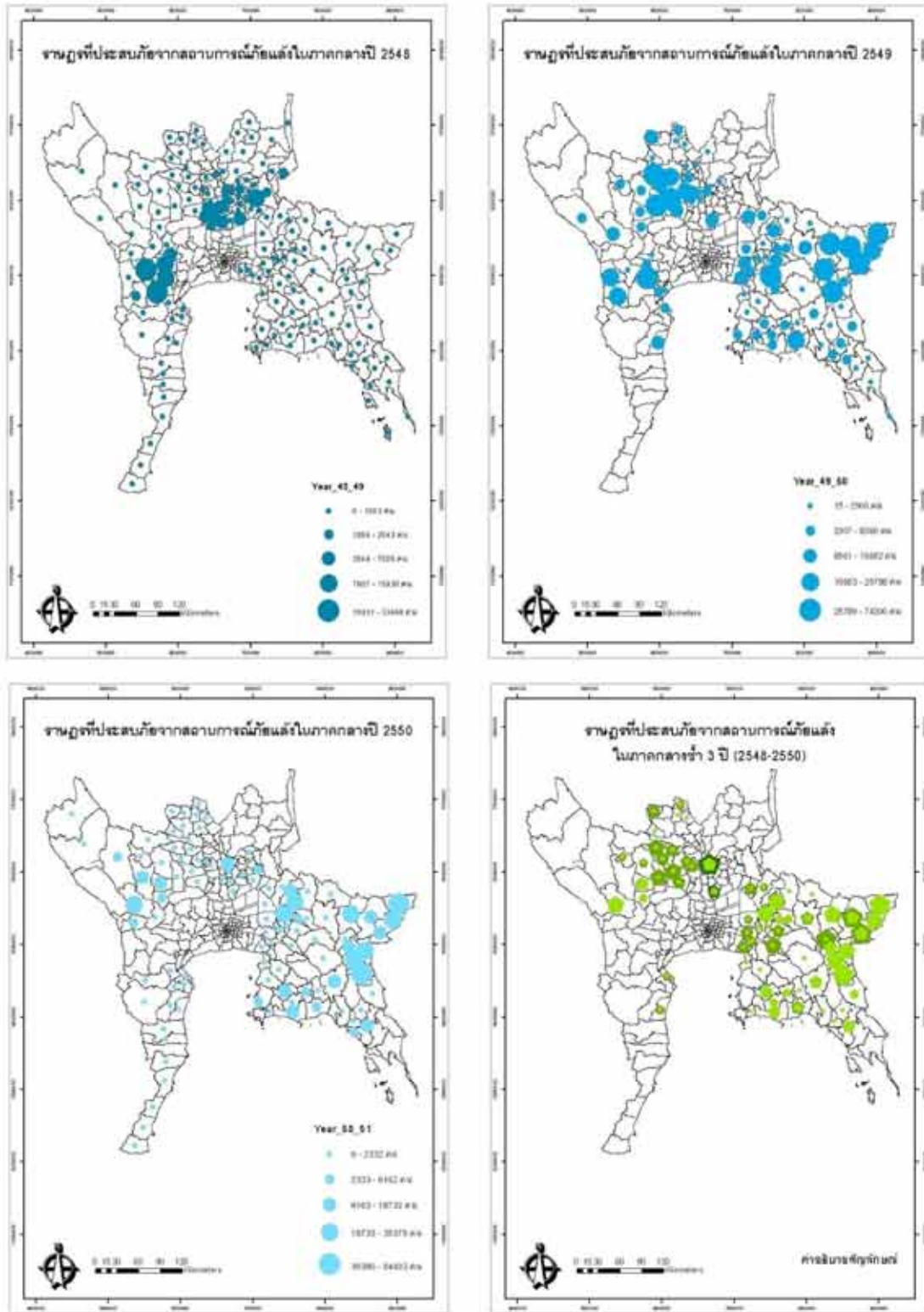
#### -ภาคใต้

นับเป็นพื้นที่ที่รายงานการเกิดภัยแล้งและอุทกภัย น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับภาคอื่น ๆ โดยปี ค.ศ. 2005 เป็นปีที่เกิดภัยแล้งเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง รวมทั้งสิ้น 111 อำเภอ (รูปที่ 4.28 และตารางที่ 4.4) แต่พื้นที่ที่เกิดซ้ำกันทั้งสามปี มีเพียง 19 อำเภอ ซึ่งจังหวัดตรัง เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่เกิดภัยแล้งซ้ำสูงสุด จำนวน 7 อำเภอ (ตารางที่ 4.12) ส่วนราษฎรผู้ประสบภัยแล้ง มีจำนวนไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับภาคอื่น ๆ (รูปที่ 4.29) เช่นเดียวกับภัยแล้ง อุทกภัย เกิดขึ้นในบางพื้นที่ของภาคใต้ในช่วงปี ค.ศ. 2006 - 2007 ซึ่งพื้นที่เกิดซ้ำมีเพียง 5 อำเภอ ได้แก่ อำเภอปะทิว อำเภอเมืองชุมพร อำเภอหลังสวน อำเภอพะโต๊ะ และเมืองตรัง (รูปที่ 4.30 และตารางที่ 4.13) รูปที่ 4.31 แสดงจำนวนราษฎรที่ประสบอุทกภัย ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งจำนวนและพื้นที่ที่ราษฎรผู้ประสบภัยในแต่ละปี

ภาพรวมทั้งประเทศของพื้นที่เกิดภัยแล้งในแต่ละปีและเกิดซ้ำทั้งสามปี แสดงในรูปที่ 4.32 ซึ่งพื้นที่เสี่ยงที่เกิดภัยแล้งซ้ำซาก ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมา ได้แก่ ภาคเหนือและภาคกลาง ทั้งนี้ จำนวนราษฎรผู้ประสบภัยแล้ง เป็นสัดส่วนและสอดคล้องกับจำนวนพื้นที่ประสบภัยแล้ง (รูปที่ 4.33) ในแง่ของอุทกภัย ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนและภาคกลาง จัดเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดเหตุการณ์น้ำท่วม ต่อเนื่องทุกปี (รูปที่ 4.34) ซึ่งส่งผลให้ราษฎรในพื้นที่นั้น ๆ ได้รับผลกระทบเป็นสัดส่วนที่สูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ (รูปที่ 4.35)

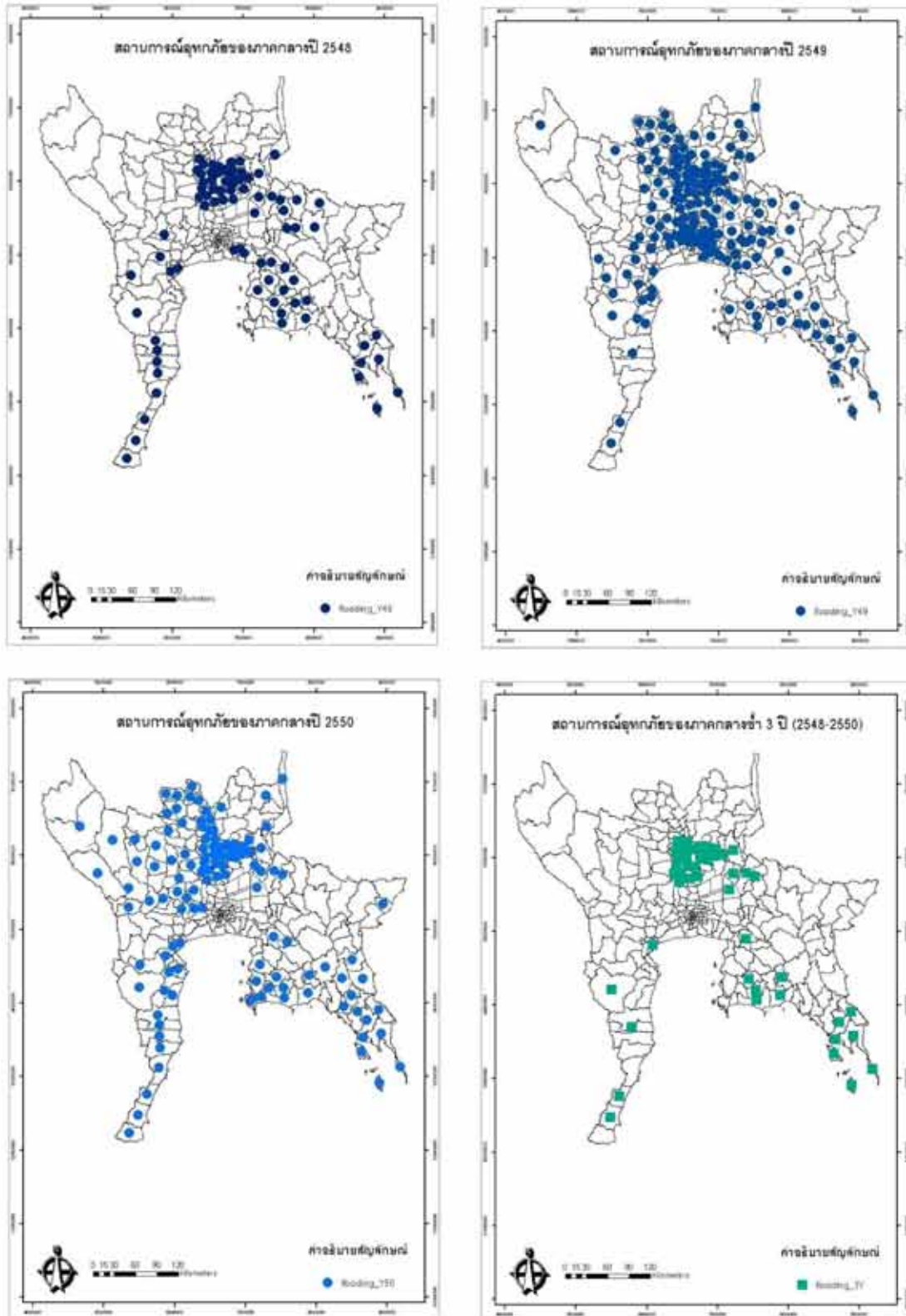


**รูปที่ 4.16** แสดงพื้นที่ในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดภัยแล้งในปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด

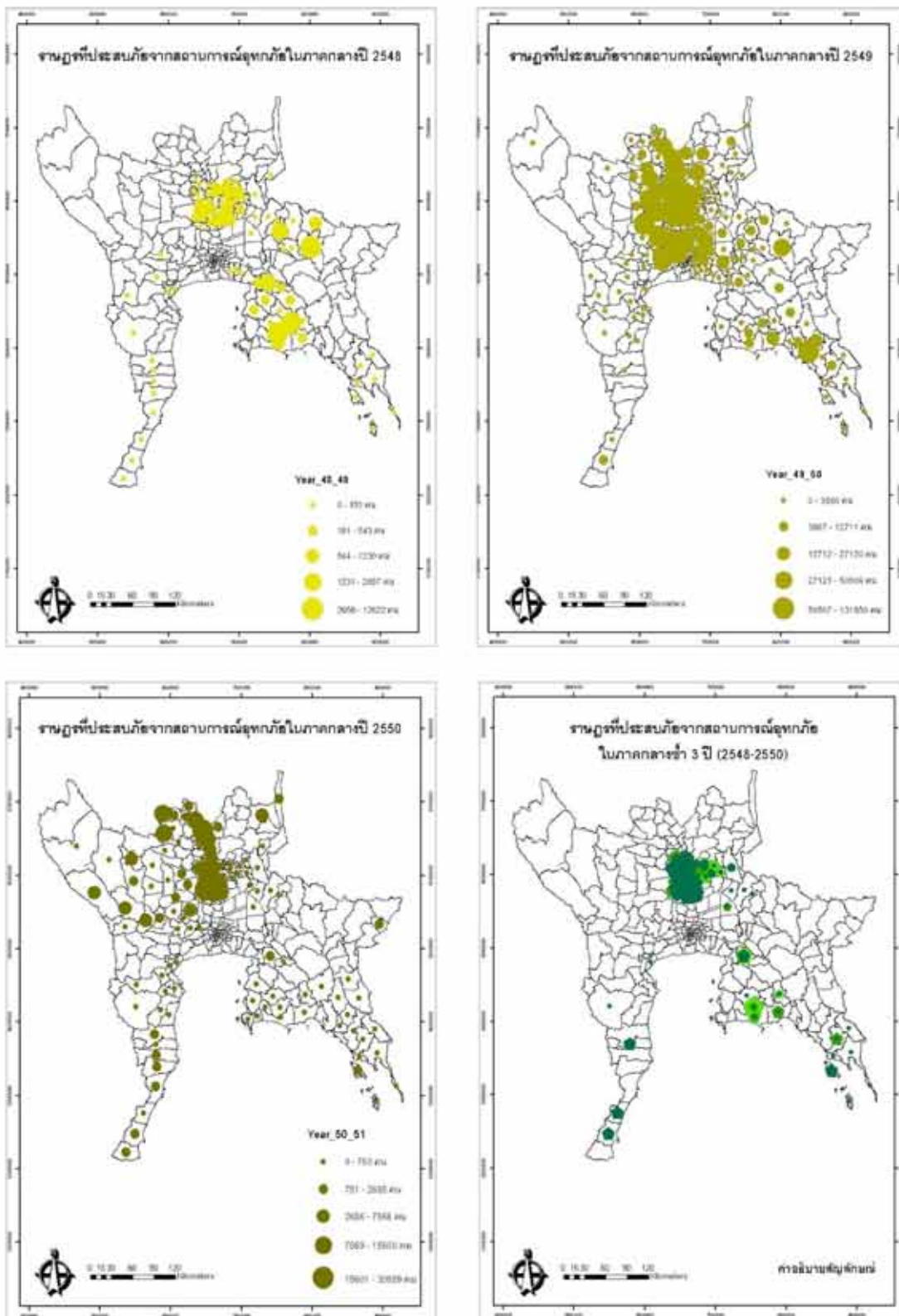


**รูปที่ 4.17** แสดงราษฎรที่ประสบภัยแล้งในภาคกลางและภาคตะวันออก ใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด

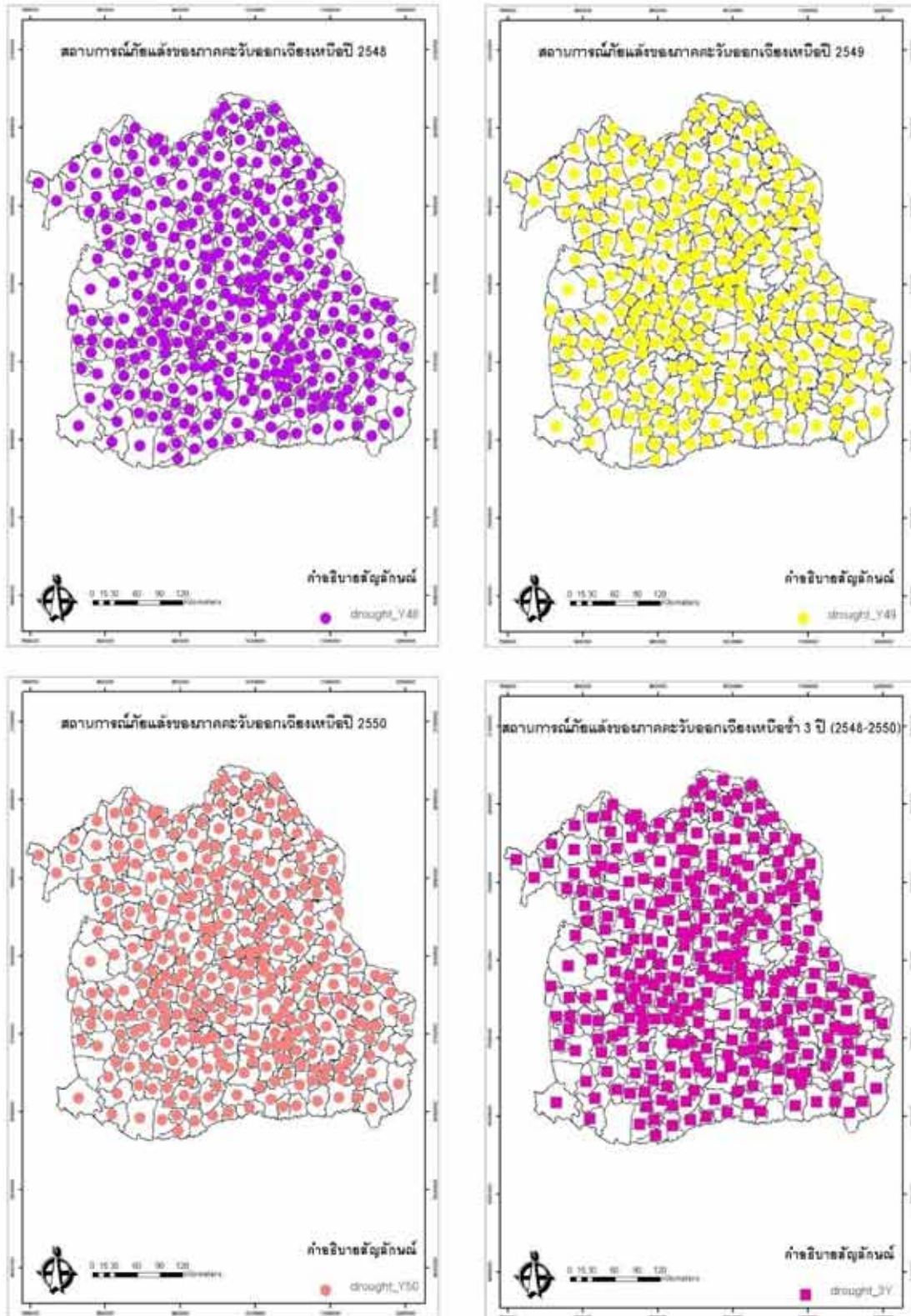




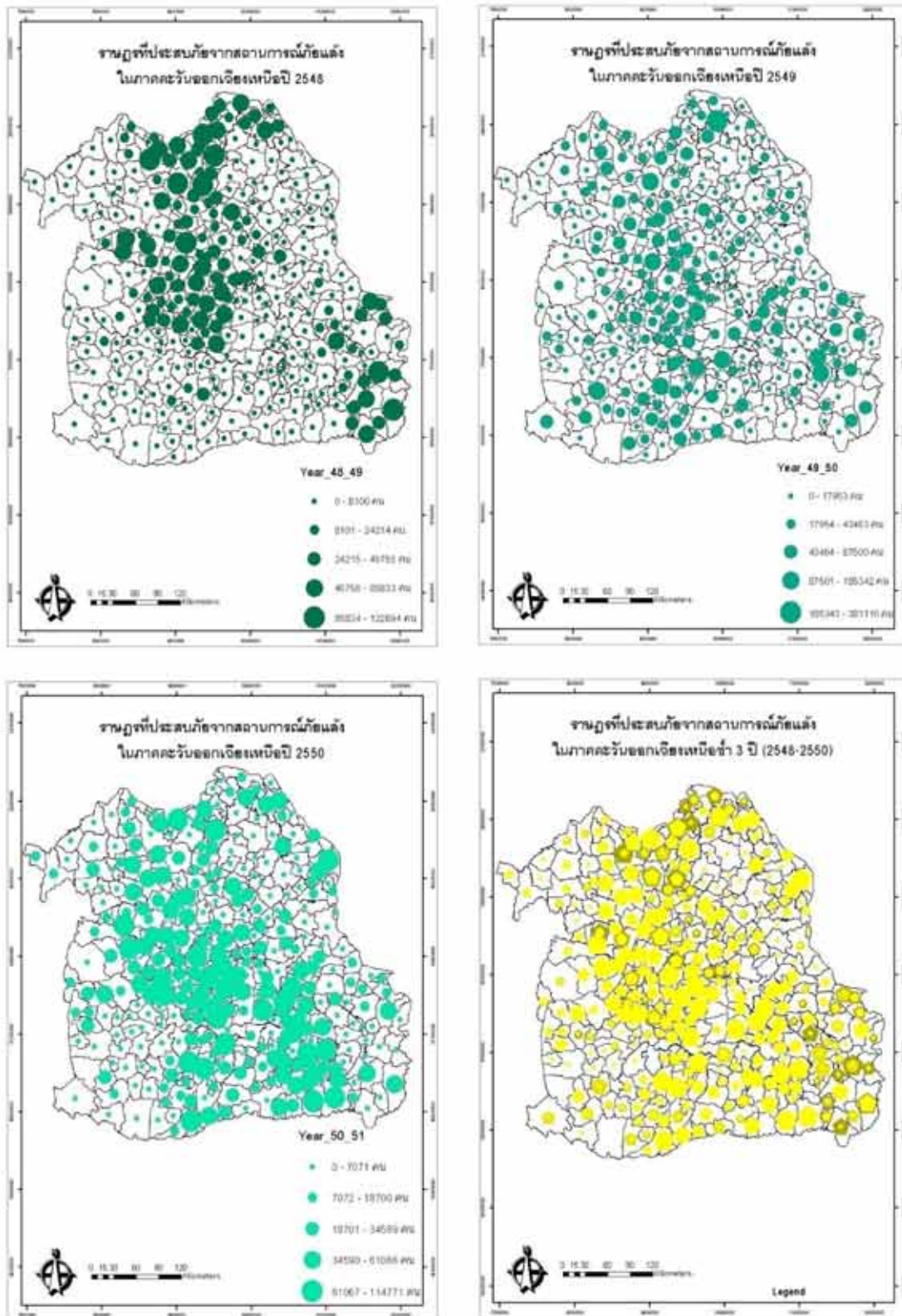
**รูปที่ 4.18** แสดงพื้นที่ในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดอุทกภัยในปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด



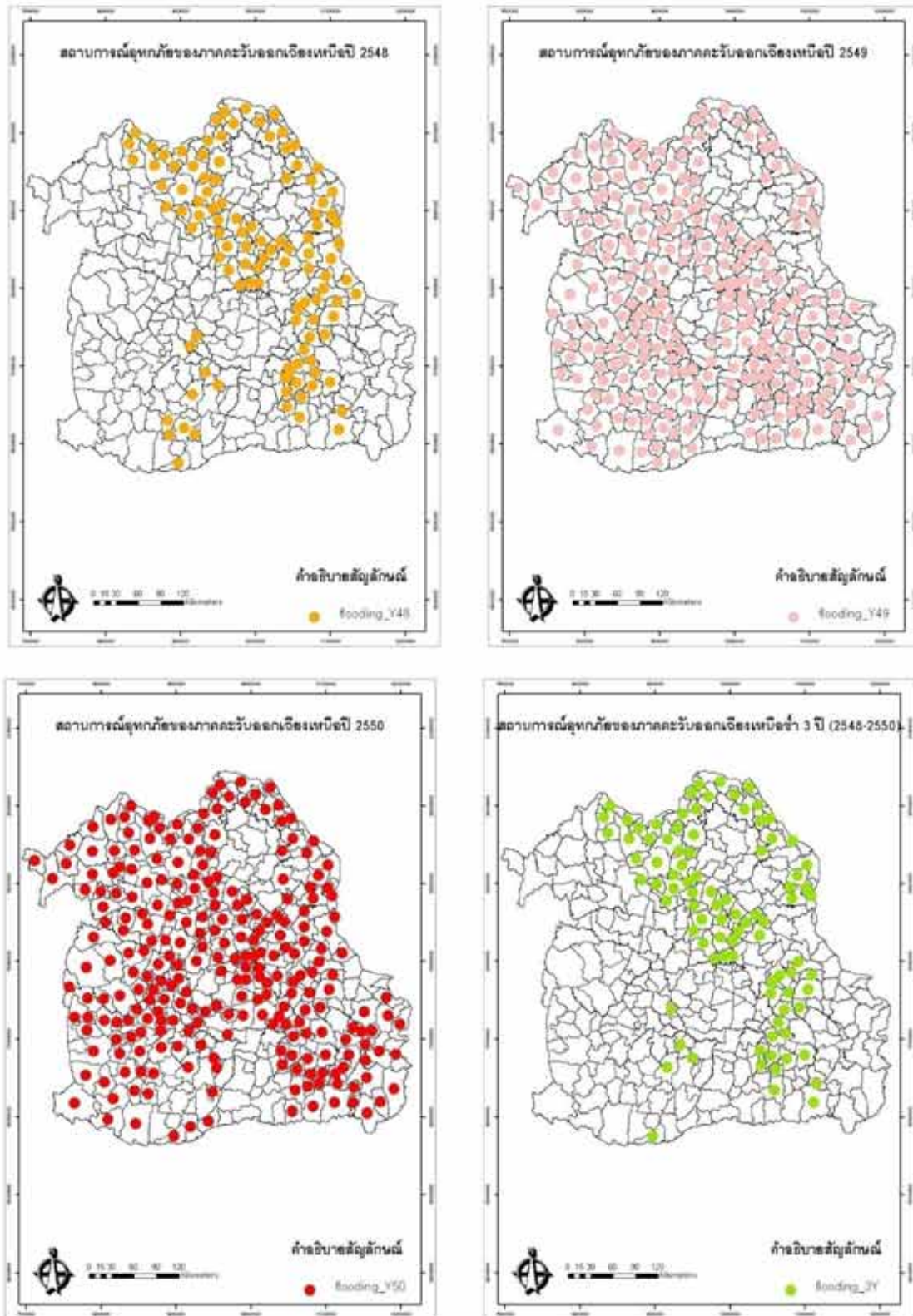
**รูปที่ 4.19** แสดงราษฎรที่ประสบอุทกภัยในภาคกลางและภาคตะวันออก ในปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด



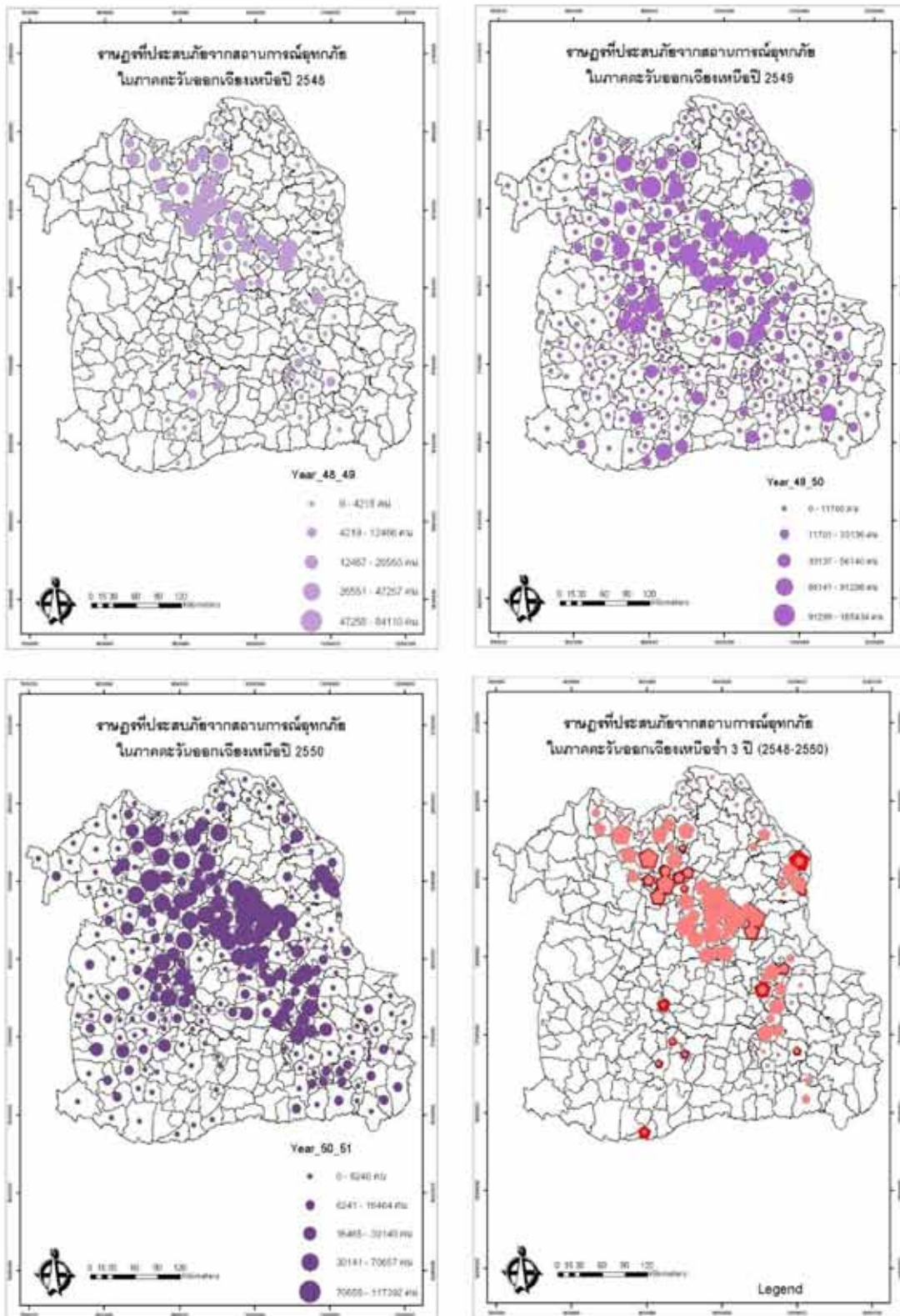
**รูปที่ 4.20** แสดงพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดภัยแล้งใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานปศุและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด



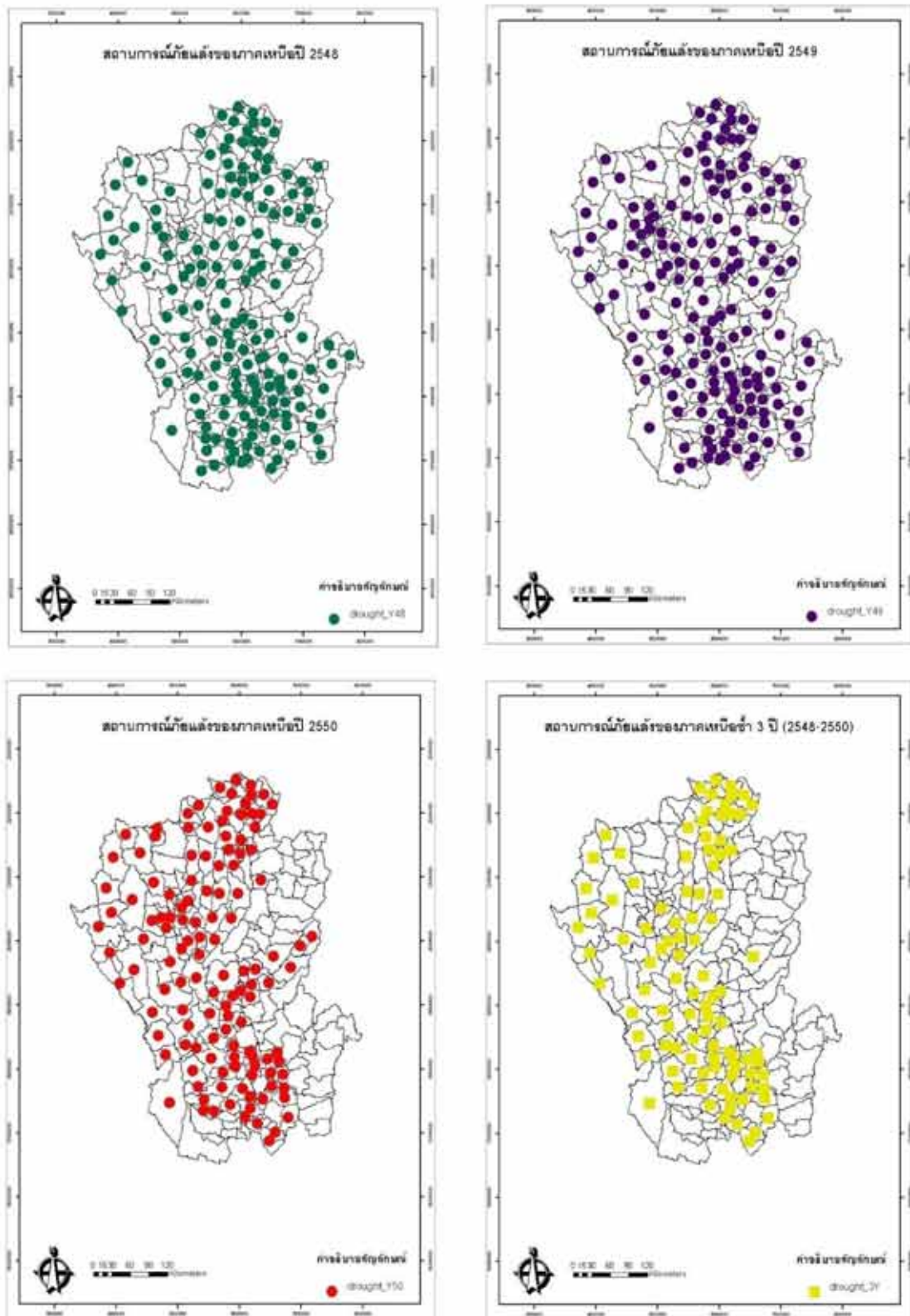
**รูปที่ 4.21** แสดงราษฎรที่ประสบภัยแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้อมและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด



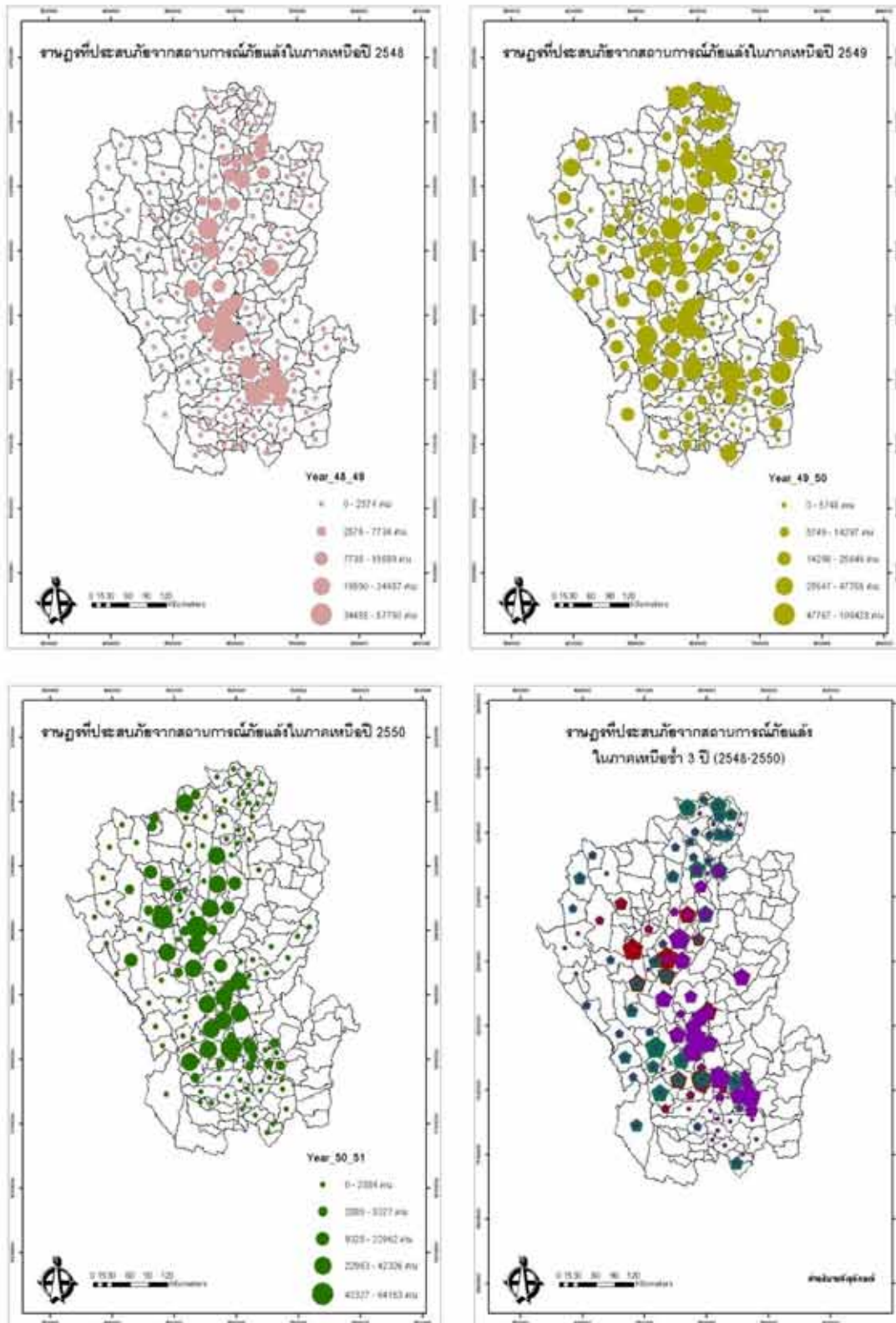
**รูปที่ 4.22** แสดงพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดอุทกภัยใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด



**รูปที่ 4.23** แสดงราษฎรที่ประสบอุทกภัยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด

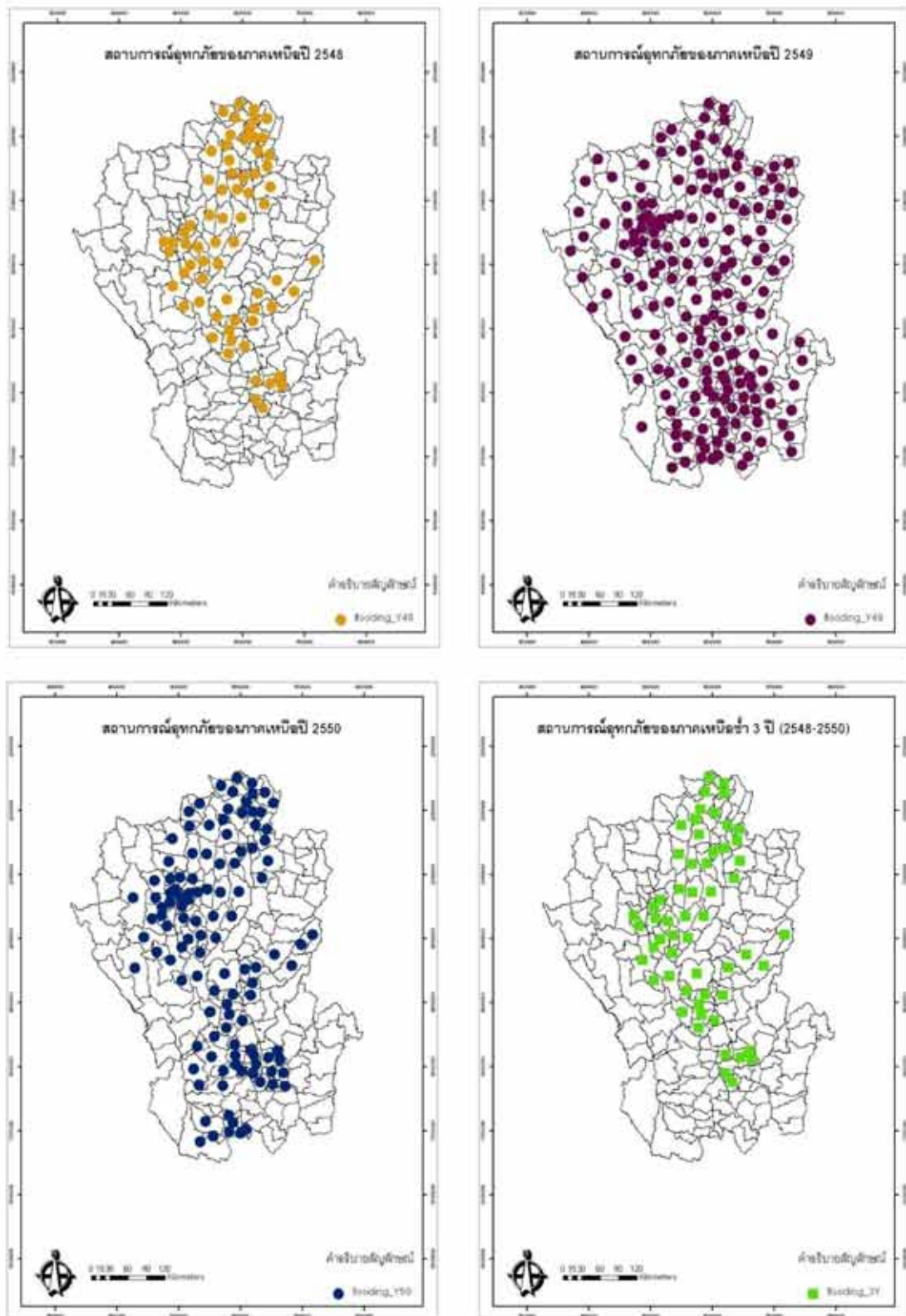


**รูปที่ 4.24** แสดงพื้นที่ในภาคเหนือที่เกิดภัยแล้งใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด

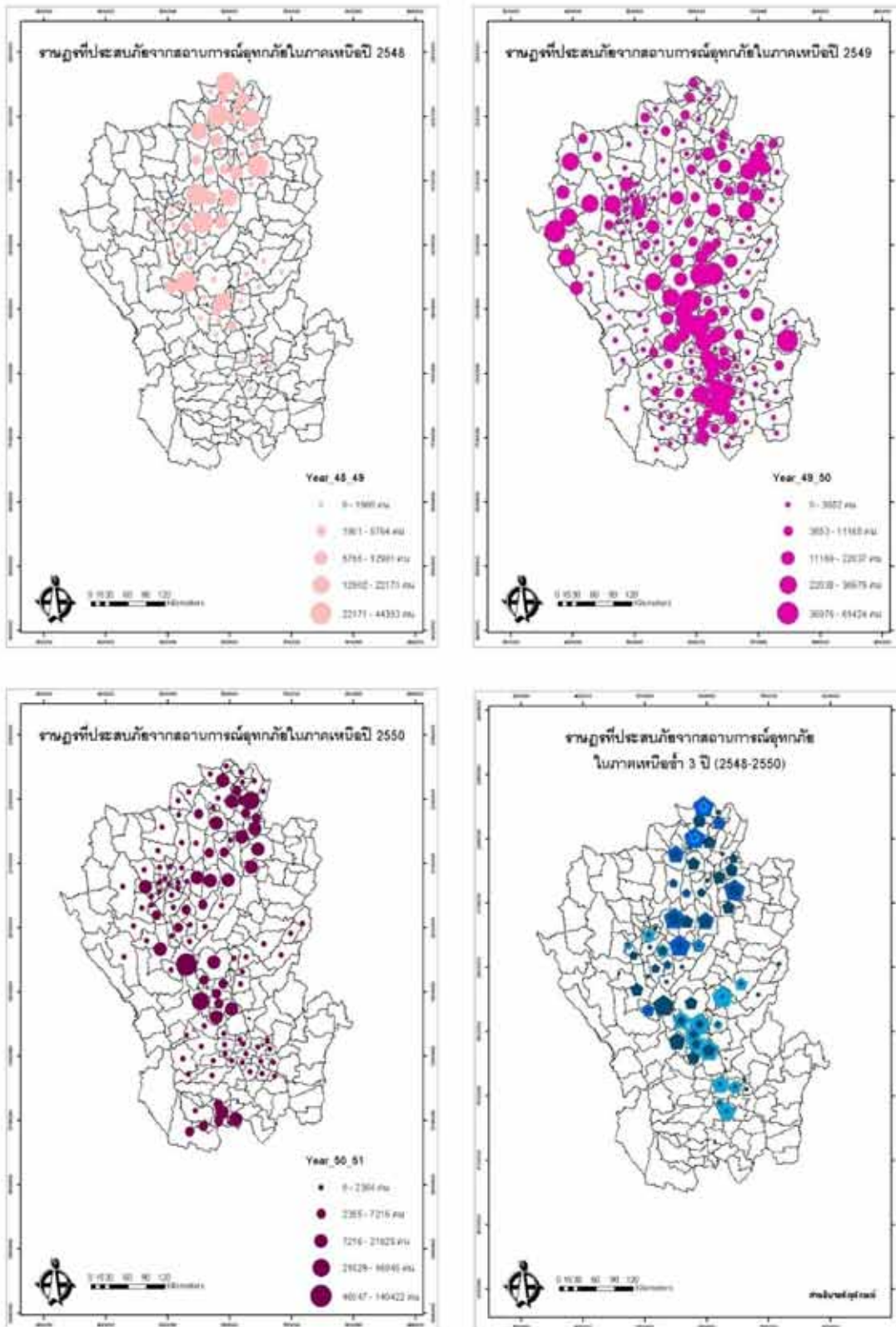


**รูปที่ 4.25** แสดงราษฎรที่ประสบภัยแล้งในภาคเหนือใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานปศุและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด

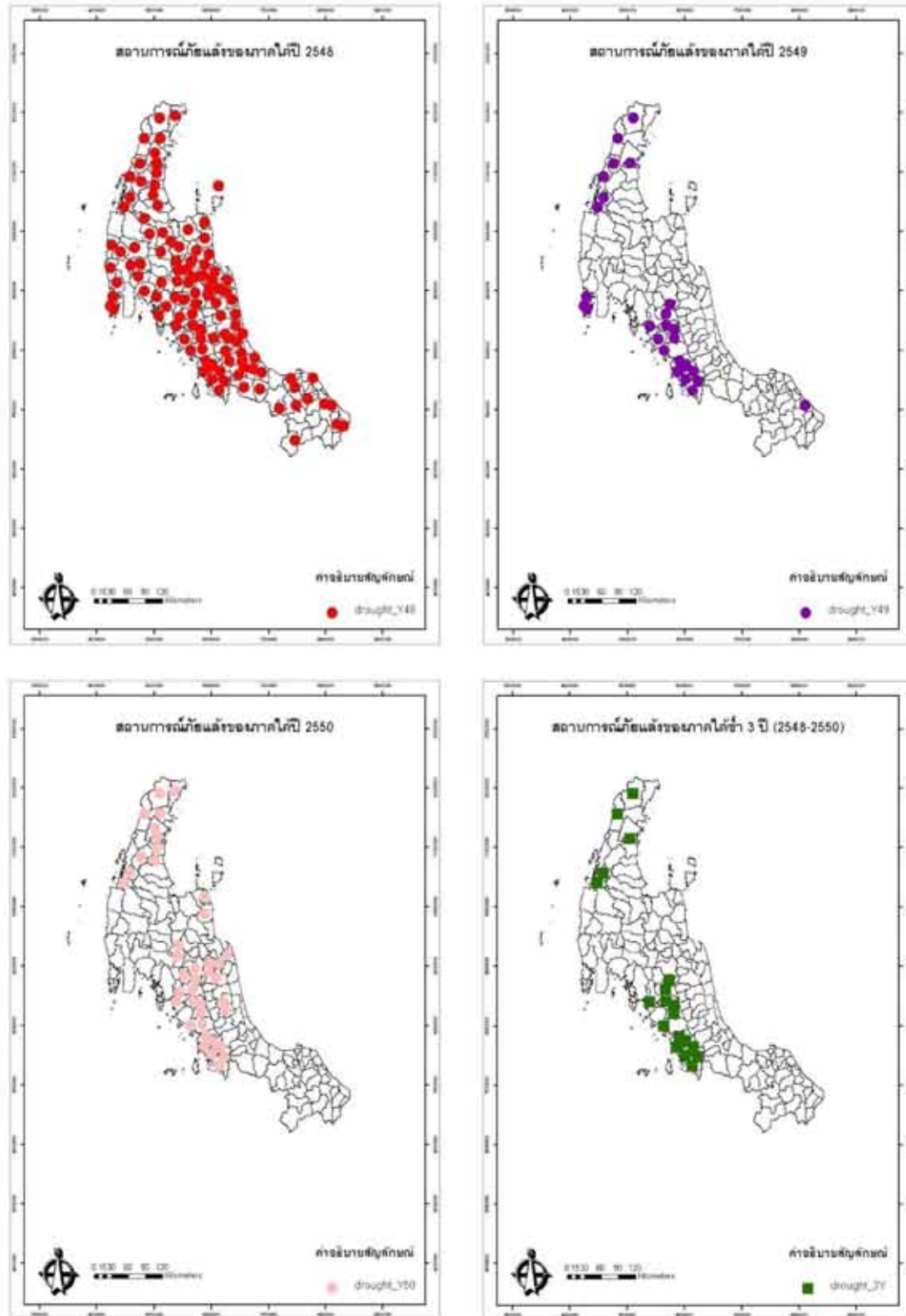




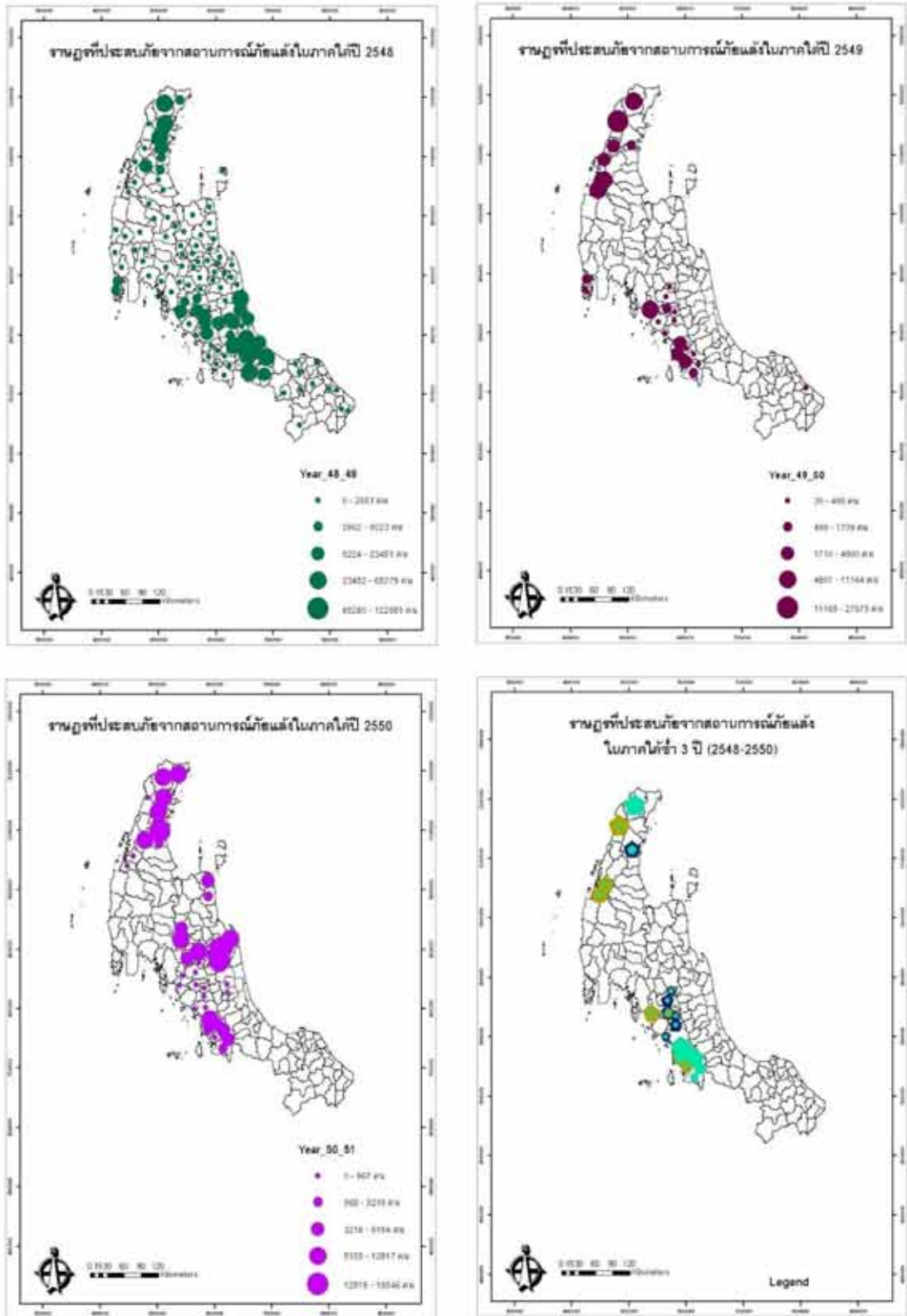
**รูปที่ 4.26** แสดงพื้นที่ในภาคเหนือที่เกิดอุทกภัยใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด



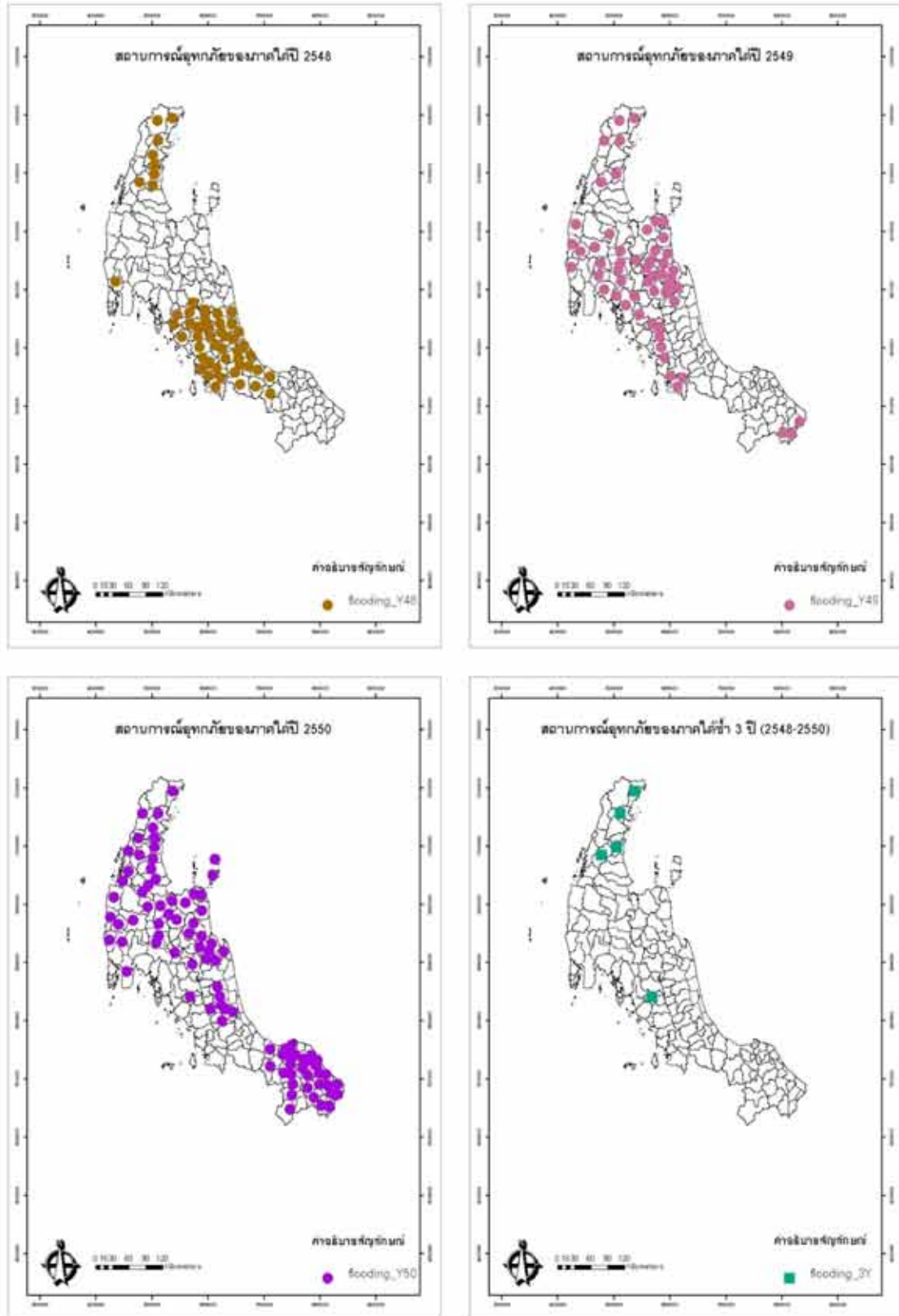
**รูปที่ 4.27** แสดงราษฎรที่ประสบอุทกภัยในภาคเหนือใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด



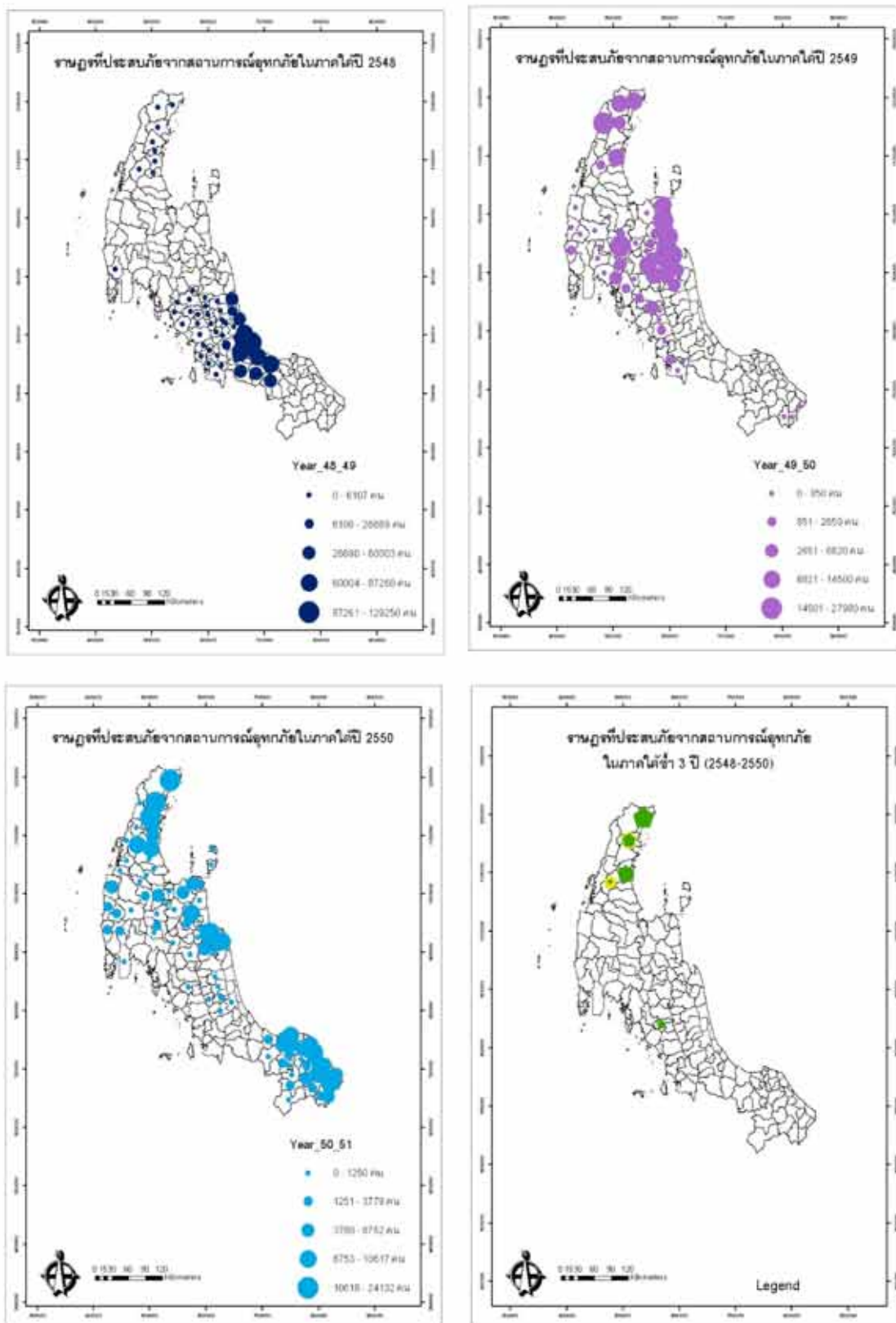
**รูปที่ 4.28** แสดงพื้นที่ในภาคใต้ที่เกิดภัยแล้งใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป่องและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด



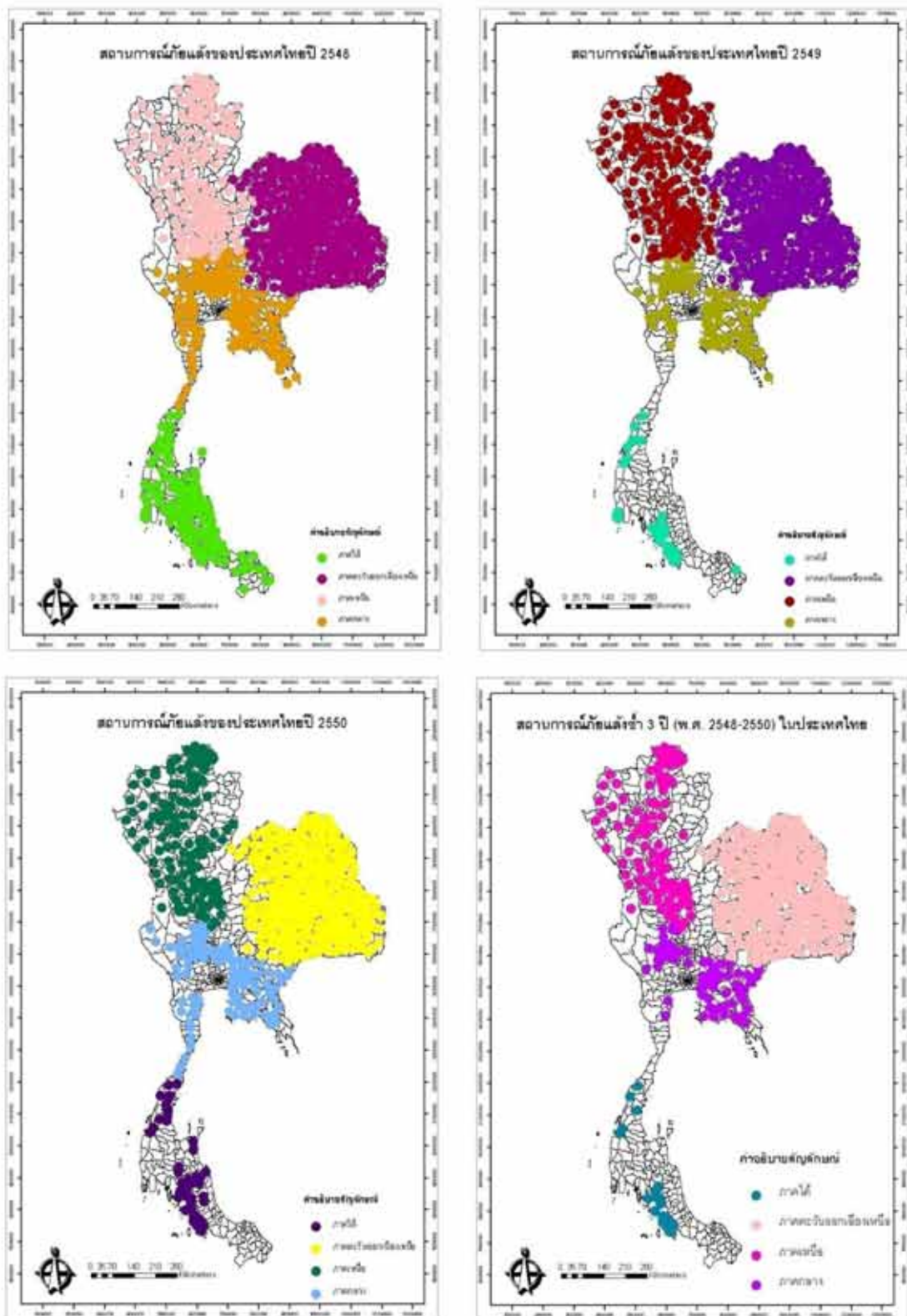
**รูปที่ 4.29** แสดงราษฎรที่ประสบภัยแล้งในภาคใต้ใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด



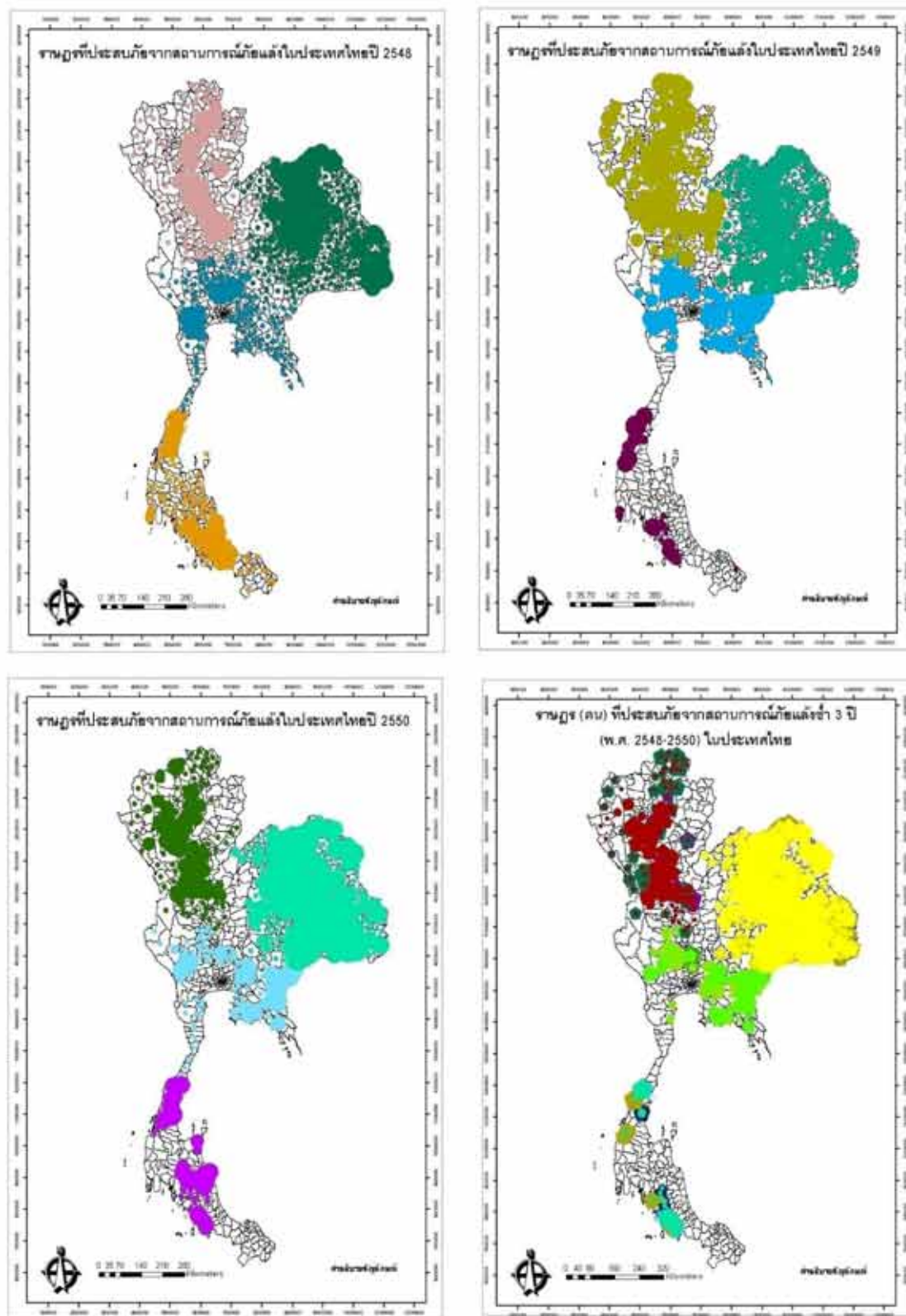
**รูปที่ 4.30** แสดงพื้นที่ในภาคใต้ที่เกิดอุทกภัยในปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด



**รูปที่ 4.31** แสดงราษฎรที่ประสบอุทกภัยในภาคใต้ใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด

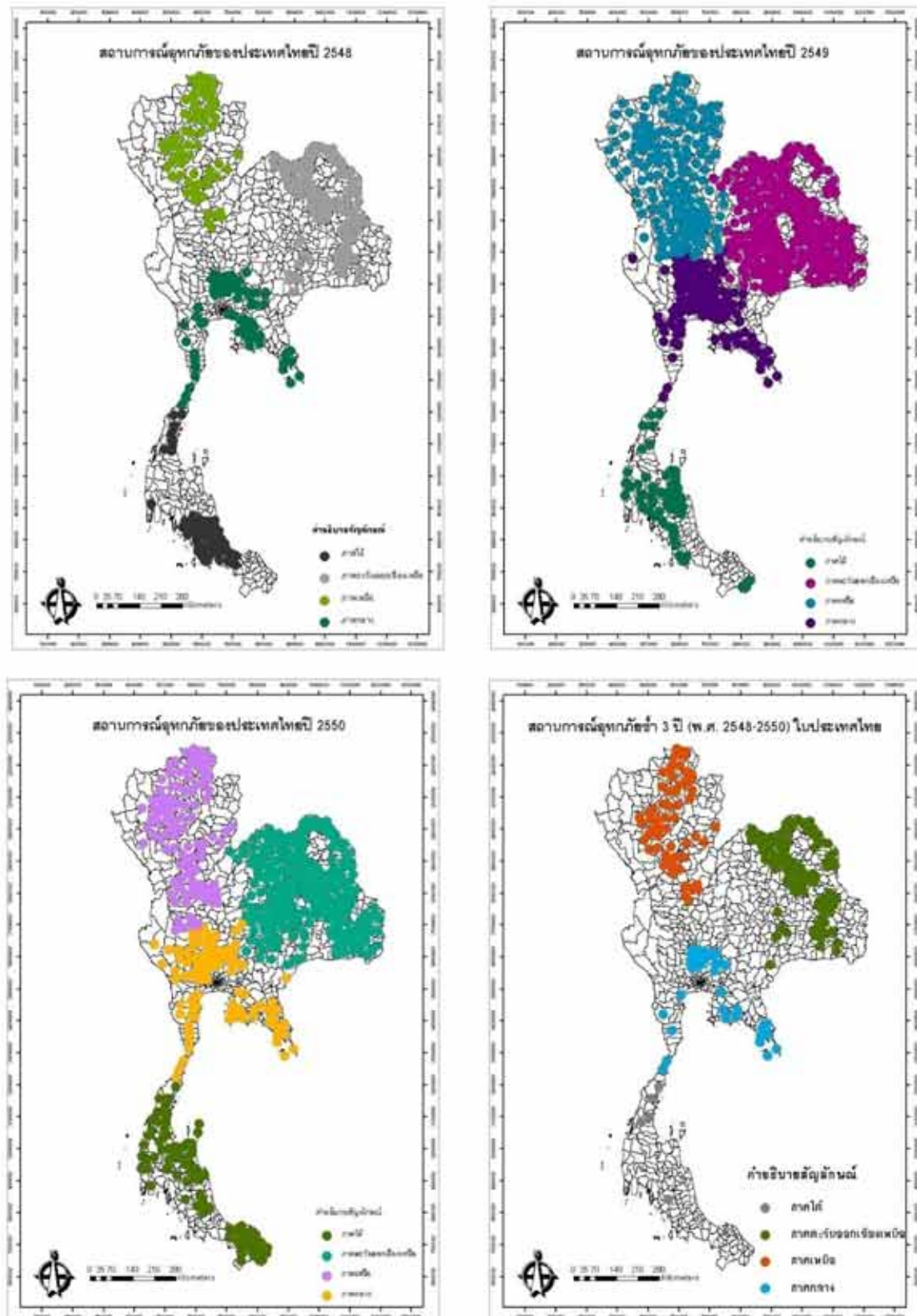


**รูปที่ 4.32** แสดงพื้นที่ในประเทศไทยที่เกิดภัยแล้งใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด

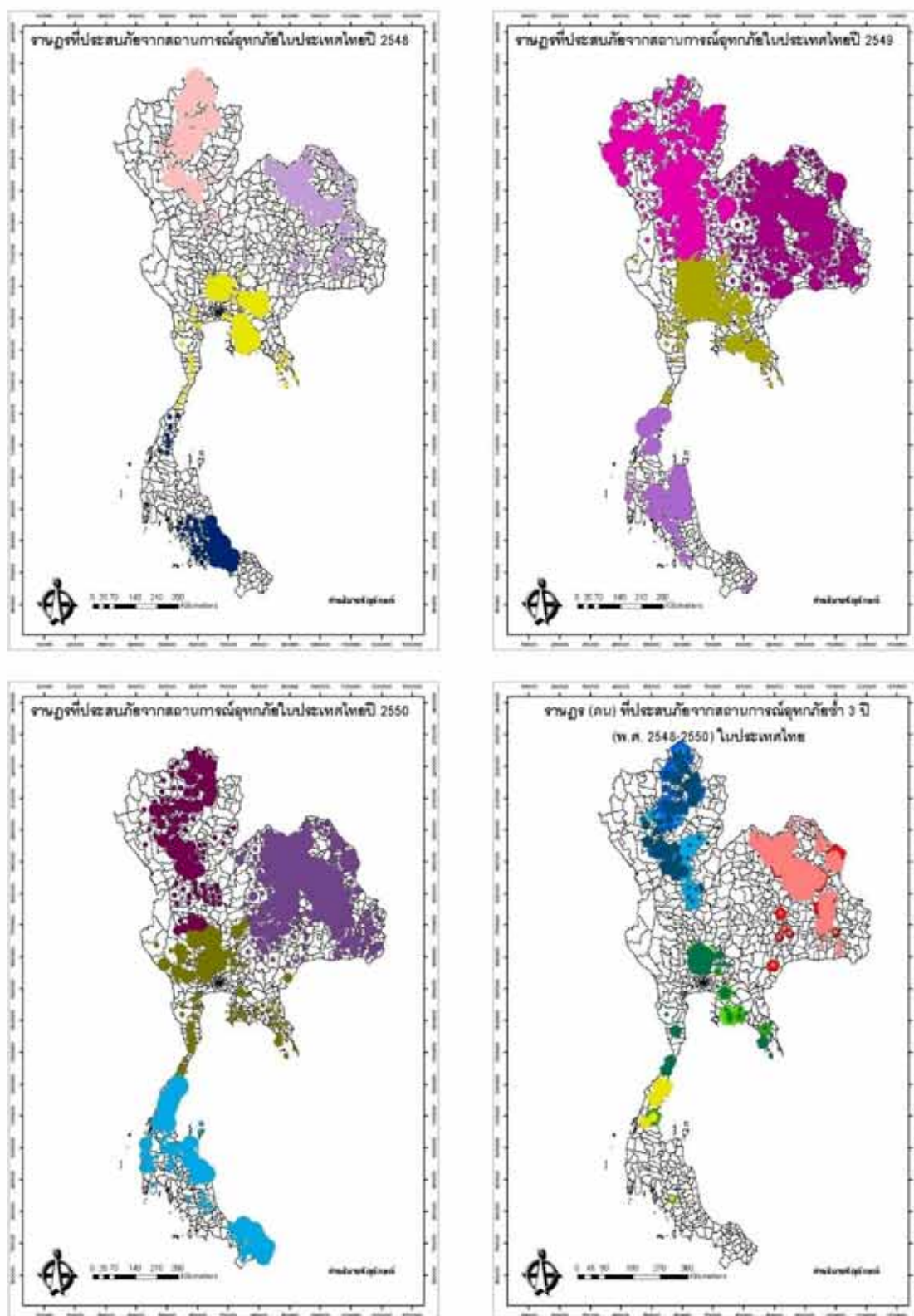


**รูปที่ 4.33** แสดงราษฎรที่ประสบภัยแล้งในประเทศไทยใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และราษฎรที่ประสบภัยแล้งซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานปศุและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด





**รูปที่ 4.34** แสดงพื้นที่ในประเทศไทยที่เกิดอุทกภัยใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่จังหวัด



**รูปที่ 4.35** แสดงรายชื่อพื้นที่ประสบอุทกภัยในประเทศไทยใน ปี พ.ศ. 2548, 2549 และ 2550 และรายชื่อพื้นที่ประสบอุทกภัยซ้ำทั้ง 3 ปี วิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด

ตารางที่ 4.4 แสดงพื้นที่ประสบภัยแล้งในแต่ละภูมิภาคและภาพรวมทั้งประเทศ

ภัยแล้ง	ปี48		ปี49		ปี50		ภัยแล้งซ้ำ 3 ปี	
	อำเภอ	จังหวัด	อำเภอ	จังหวัด	อำเภอ	จังหวัด	อำเภอ	จังหวัด
ภาคกลาง	163	20	93	17	104	15	66	13
ตะวันออกเฉียงเหนือ	321	19	298	19	320	19	298	19
ภาคเหนือ	165	17	162	17	126	12	97	12
ภาคใต้	111	14	26	6	40	6	19	4
ประเทศไทย	760	70	579	59	590	52	480	48

ตารางที่ 4.5 แสดงพื้นที่ประสบอุทกภัยในแต่ละภูมิภาคและภาพรวมทั้งประเทศ

อุทกภัย	ปี48		ปี49		ปี50		อุทกภัยซ้ำ 3 ปี	
	อำเภอ	จังหวัด	อำเภอ	จังหวัด	อำเภอ	จังหวัด	อำเภอ	จังหวัด
ภาคกลาง	80	13	174	25	115	18	46	10
ตะวันออกเฉียงเหนือ	109	9	270	16	252	19	91	8
ภาคเหนือ	67	7	183	17	114	10	57	7
ภาคใต้	52	6	54	9	87	11	5	2
ประเทศไทย	308	35	681	67	568	58	199	27

ตารางที่ 4.6 จังหวัดและอำเภอที่เกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียง

จังหวัด	อำเภอเกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี
กาญจนบุรี (5)	หนองปรือ เลาชวีญ ห้วยกระเจา เมืองกาญจนบุรี และพนมทวน
จันทบุรี (7)	สอยดาว แก่งหางแมว โป่งน้ำร้อน ท่าใหม่ มะขาม ชลุม และเมืองจันทบุรี
ฉะเชิงเทรา (10)	บางน้ำเปรี้ยว บางคล้า ราชสาส์น พนมสารคาม กิ่ง อ.คลองเขื่อน เมืองฉะเชิงเทรา บ้านโพธิ์ แปลงยาว บางปะกง และท่าตะเกียบ
ชลบุรี (2)	เมืองชลบุรี และบ้านบึง
ชัยนาท (5)	มโนรมย์ กิ่ง อ.หนองมะโมง เมืองชัยนาท สรรพยา และ กิ่ง อ. เนินขาม

**ตารางที่ 4.6 (ต่อ)**

จังหวัด	อำเภอเกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี
นครนายก (2)	เมืองนครนายก และบ้านนา
ปราจีนบุรี (7)	ประจันตคาม นาดี เมืองปราจีนบุรี กบินทร์บุรี บ้านสร้าง ศรีมหาโพธิ์ และศรีมโหสถ
พระนครศรีอยุธยา (2)	มหาราช และบางปะอิน
เพชรบุรี (2)	บ้านแหลม และชะอำ
ระยอง (7)	กิ่ง อ.เขาชะเมา วังจันทร์ ปลวกแดง แกลง บ้านค่าย เมืองระยอง และบ้านฉาง
สระแก้ว (9)	เมืองสระแก้ว ตาพระยา วัดมณารม กิ่ง อ.โคกสูง อรัญประเทศ เขาฉกรรจ์ วังน้ำเย็น คลองหาด และกิ่ง อ.วัง
สุพรรณบุรี (6)	หนองหญ้าไซ สามชุก ดอนเจดีย์ อุทุมพร เมืองสุพรรณบุรี และ บางปลาม้า
อ่างทอง (2)	สามโก้ และวิเศษชัยชาญ

**ตารางที่ 4.7** จังหวัดและอำเภอที่เกิดอุทกภัยซ้ำ 3 ปี (2005 - 2007) ในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จังหวัด	อำเภอที่เกิดอุทกภัยซ้ำ 3 ปี
อ่างทอง (5)	โพธิ์ทอง ไชโย วิเศษชัยชาญ เมืองอ่างทอง และป่าโมก
สระบุรี (6)	แก่งคอย บ้านหมอ เสาไห้ ดอนพุด เมืองสระบุรี และหนองแซง
สมุทรสงคราม (1)	เมืองสมุทรสงคราม
ระยอง (5)	กิ่ง อ.เขาชะเมา ปลวกแดง แกลง บ้านค่าย และเมืองระยอง
เพชรบุรี (1)	แก่งกระจาน
พระนครศรีอยุธยา (13)	มหาราช ท่าเรือ นครหลวง ผักไห่ ภาชี บางบาล เมืองพระนครศรีอยุธยา บางซ้าย เสนา บางซ้าย บางไทร บางปะอิน และลาดบัวหลวง
ประจวบคีรีขันธ์ (3)	ปราณบุรี ทับสะแก และบางสะพาน
นครนายก (4)	เมืองนครนายก บ้านนา ปากพลี และองครักษ์
ตราด (7)	บ่อไร่ เขาสมิง เมืองตราด แหลมงอบ กิ่ง อ.เกาะช้าง คลองใหญ่ และเกาะกูด
ชลบุรี (1)	พนัสนิคม

ตารางที่ 4.8 จังหวัดและอำเภอที่เกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จังหวัด	อำเภอเกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี
กาฬสินธุ์ (18)	คำม่วง กิ่ง อ.สามชัย สมเด็จ ท่าคันโท กิ่ง อ.นาคู หนองกุงศรี สหัสขันธ์ ห้วยผึ้ง เขาวง ห้วยเม็ก กุฉินารายณ์ นามน เมืองกาฬสินธุ์ ยางตลาด กิ่ง อ. ดอนจาน กมลาไสย ร่องคำ และ กิ่ง อ.ฆ้องชัยพัฒนา
ขอนแก่น (25)	เขาสวนกวาง อุบลรัตน์ กระนวน สีชมพู กิ่ง อ.หนองนา น้ำพอง ชุมแพ ภูเวียง ภูผาม่าน บ้านฝาง กิ่ง อ.ชำสูง เมืองขอนแก่น หนองเรือ มัญจาคีรี พระยืน กิ่ง อ.บ้านแฮ บ้านไผ่ กิ่ง อ.โคกโพธิ์ ชนบท กิ่ง อ.โนนศิลา แวงใหญ่ เปือยน้อย พล หนองสองห้อง และแวงน้อย
ชัยภูมิ (16)	คอนสาร ภูเขียว บ้านแท่น เกษตรสมบูรณ์ หนองบัวแดง แก้งคร้อ ภักดีชุมพล คอนสวรรค์ เมืองชัยภูมิ หนองบัวระเหว บ้านเขว้า เทพสถิต จัตุรัส เนินสง่า กิ่ง อ.ซับใหญ่ และบำเหน็จณรงค์
นครพนม (12)	บ้านแพง นาทม ท่าอุเทน ศรีสงคราม นาหว้า โพนสวรรค์ เมืองนครพนม ปลาปาก ธาตุพนม เรณูนคร กิ่ง อ. วังยาง และนาแก
นครราชสีมา (25)	แก้งสนามนาง ประทาย บัวใหญ่ กิ่ง อ.บัวลาย กิ่ง อ.สีดา คง โนนแดง พิมาย ขามสะแกแสง กิ่ง อ.พระทองคำ ด่านขุนทด กิ่ง อ.ลำทะเมนชัย โนนสูง กิ่ง อ. เทพารักษ์ โนนไทย ห้วยแถลง เมือง จักราช สูงเนิน โชคชัย ปากช่อง หนองบุญ นาก ปักธงชัย วังน้ำเขียว และเสิงสาง
บุรีรัมย์ (23)	นาโพธิ์ พุทไธสง บ้านใหม่ไชยพจน์ คูเมือง กิ่ง อ.แคนดง สตึก กิ่ง อ. บ้านด่าน ลำปลายมาศ เมืองบุรีรัมย์ กระสัง ห้วยราช หนองหงส์ ขำนิ หนองกี่ ประโคน ชัย พลับพลาชัย นางรอง เฉลิมพระเกียรติ โนนสุวรรณ บ้านกรวด ละหาน ทราย ปะคำ และโนนดินแดง
มหาสารคาม (13)	ชื่นชม เชียงยืน โกสุมพิสัย กันทรวิชัย เมืองมหาสารคาม บรบือ กิ่ง อ.กุฉินท กิ่ง ดำ วาปีปทุม นาเชือก นาดีน ยางสีสุราช และพยัคฆภูมิพิสัย
มุกดาหาร (7)	ดงหลวง วานใหญ่ เมืองมุกดาหาร คำชะอี หนองสูง นิคมคำสร้อย และดอนตาล
ยโสธร (9)	เลิงนกทา กุดชุม ไทยเจริญ ทรายมูล ป่าดิว เมืองยโสธร คำเขื่อนแก้ว มหา ชนะชัย และค้อวัง
ร้อยเอ็ด (13)	โพธิ์ชัย เสดภูมิ จักรหาร ธวัชบุรี กิ่ง อ.เซียงขวัญ เมืองร้อยเอ็ด ศรีสมเด็จ กิ่ง อ. ทุ่งเขาหลวง อาจสามารถ พนมไพร สุวรรณภูมิ เกษตรวิสัย และโพนทราย

**ตารางที่ 4.8 (ต่อ)**

จังหวัด	อำเภอเกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี
เลย (14)	ปากชม เชียงคาน ท่าลี่ เมืองเลย นาด้วง นาแห้ว ภูเรือ ด่านซ้าย วังสะพุง กิ่ง อ.เอราวัณ ภูหลวง กิ่ง อ.หนองหิน ผาขาว และภูกระดึง
ศรีสะเกษ (13)	กิ่ง อ.ศิลาลาด ยางชุมน้อย กิ่ง อ.โพธิ์ศรีสุวรรณ กันทรารมย์ เมืองศรีสะเกษ ห้วยทับทัน วังหิน น้ำเกลี้ยง พยุห์ ชูชันท์ ศรีรัตนะ กันทรลักษ์ และขุนหาญ
สกลนคร (18)	บ้านม่วง คำตากล้า อากาศอำนวย วานรนิวาส เจริญศิลป์สว่างแดนดิน พังโคน พรรณานิคม กุสุมาลย์ สองดาว เมืองสกลนคร วาริชภูมิ โพนนาแก้ว นิคมน้ำอุ่น กุดบาก โคกศรีสุพรรณ เต่างอย และภูพาน
สุรินทร์ (17)	รัตนบุรี ชุมพลบุรี ท่าตูม สนม กิ่ง อ.โนนนา-rayณ์ จอมพระ สำโรงทาบ เมืองสุรินทร์ ศีขรภูมิ กิ่ง อ.เขวาสินรินทร์ กิ่ง อ.ศรีณรงค์ ลำดวน ปราสาท สังขะ บัวเชด กาบเชิง และกิ่ง อ.พนมดงรัก
หนองคาย (17)	บึงกาฬ ปากคาด บุ่งคล้า โขพิสัย กิ่ง อ.รัตนวาปี ศรีวิไล เซกา พรเจริญ บึงโขงหลง สังคม โพนพิสัย กิ่ง อ.เฝ้าไร่ เมืองหนองคาย ศรีเชียงใหม่ กิ่ง อ.โพธิ์ตาก ท่าบ่อ และกิ่ง อ.สระใคร
หนองบัวลำภู (6)	สุวรรณคูหา นากลาง นาหวัง เมืองหนองบัวลำภู ศรีบุญเรือง และโนนสัง
อำนาจเจริญ (7)	ชานุมาน เสนางคนิคม ปทุมราชวงศา เมืองอำนาจเจริญ ลืออำนาจ พนา และหัวตะพาน
อุดรธานี (20)	นายาง บ้านผือ บ้านดุง เพ็ญ สร้างคอม น้ำโสม พิบูลย์รักษ์ ทุ่งฝน เมืองอุดรธานี กุดจับ หนองหาน หนองวัวซอ ไชยวาน กิ่ง อ.ประจักษ์ กุมภวาปี กิ่ง อ.กุ่งแก้ว หนองแสง วังสามหมอ ศรีธาตุ และโนนสะอาด
อุบลราชธานี (25)	เขมราฐ กิ่ง อ.นาตาล กุดข้าวปุ้น โพธิ์ไทร ตระการพืชผล ศรีเมืองใหม่ ไชยภูมิ ม่วงสามสิบ เขื่อนโน กิ่ง อ.เหล่าเสือโก้ก ดอนมดแดง ตาลชุม เมืองอุบลราชธานี พิบูลมังสาหาร สิรินธร กิ่ง อ.สว่างวีระวงศ์ วารินชำราบ กิ่ง อ.นาเยีย สำโรง เดชอุดม บุณฑริก ทุ่งศรีอุดม นาจะหลวย น้ำยืน และกิ่ง อ.น้ำขุ่น

ตารางที่ 4.9 จังหวัดและอำเภอที่เกิดอุทกภัยซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จังหวัด	อำเภอเกิดอุทกภัยซ้ำ 3 ปี
กาฬสินธุ์ (18)	คำม่วง กิ่ง อ.สามชัย สมเด็จ ท่าคันโท กิ่ง อ.นาคู หนองกุงศรี สหัสขันธ์ ห้วยผึ้ง เขาวง ห้วยเม็ก กุฉินารายณ์ นามน เมืองกาฬสินธุ์ ยางตลาด กิ่ง อ. ดอนจาน กมลาไสย ร่องคำ และกิ่ง อ.ร่องชัยพัฒนา
นครพนม (11)	บ้านแพง นาทม ท่าอุเทน ศรีสงคราม นาหว้า เมืองนครพนม ปลาปาก ธาตุ พนม เรณูนคร กิ่ง อ. วังยาง และนาแก
บุรีรัมย์ (5)	นาโพธิ์ คูเมือง กิ่ง อ.บ้านด่าน ลำปลายมาศ และโนนดินแดง
ยโสธร (9)	เลิงนกทา กุดชุม ไทยเจริญ ทรายมูล ป่าดิว เมืองยโสธร คำเขื่อนแก้ว มหา ชนะชัย และค้อวัง
ศรีสะเกษ (10)	ราษีไศล อุทุมพรพิสัย กันทรารมย์ เมืองศรีสะเกษ เมืองจันทร์ ห้วยทับทัน วังหิน ขุขันธ์ เบญจลักษ์ และกันทรลักษ์
หนองคาย (15)	บึงกาฬ ปากคาด บุ่งคล้า ไซพิสัย กิ่ง อ.รัตนวาปี ศรีวิไล เซกา บึงโขงหลง สังคม โพนพิสัย กิ่ง อ.เฝ้าไร่ เมืองหนองคาย กิ่ง อ.โพธิ์ตาก ท่าบ่อ และกิ่ง อ.สระใคร
อำนาจเจริญ (3)	เสนางคนิคม เมืองอำนาจเจริญ และห้วยตะพาน
อุดรธานี (20)	นาเยื้อง บ้านผือ บ้านดุง เพ็ญ สร้างคอม น้ำโสม พิบูลย์รักษ์ ทุ่งฝน เมือง อุดรธานี กุดจับ หนองหาน หนองวัวซอ ไชยวาน กิ่ง อ.ประจักษ์ กุมภวาปี กิ่ง อ.กุแก้ว หนองแสง วังสามหมอ ศรีธาตุ และโนนสะอาด

**ตารางที่ 4.10** จังหวัดและอำเภอที่เกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคเหนือ

จังหวัด	อำเภอเกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี
กำแพงเพชร (10)	พรานกระต่าย กิ่ง อ.โกสัมพีนคร ลานกระบือ เมืองกำแพงเพชร ไทรงาม คลองลาน ทวายทองวัฒนา คลองขลุง ขาณุวรลักษบุรี และปางศิลาทอง
เชียงราย (17)	แม่สาย เชียงของ เชียงแสน แม่ฟ้าหลวง แม่จัน กิ่ง อ.ดอยหลวง เวียงแก่น เมืองเชียงราย กิ่ง อ.เวียงเชียงรุ้ง พญาเม็งราย ขุนตาล เวียงชัย แม่สรวย แม่ลาว พาน ป่าแดด และเวียงป่าเป้า
เชียงใหม่ (3)	แม่แจ่ม สะเมิง และฮอด
ตาก (9)	ท่าสองยาง สามเงา บ้านตาก แม่ระมาด เมืองตาก แม่สอด กิ่ง อ.วังเจ้า พบพระ และอุ้มผาง
นครสวรรค์ (11)	บรรพตพิสัย หนองบัว ชุมแสง แก้วเลี้ยว ลาดยาว เมืองนครสวรรค์ ไพศาล โกรกพระ พยุหะคีรี ตากฟ้า และตากคลี
พะเยา (4)	จุน แม่ใจ กิ่ง อ.ภูกามยาว และเมืองพะเยา
พิจิตร (11)	สามง่าม วชิรบุรี กิ่ง อ.สากเหล็ก เมืองพิจิตร วังทรายพูน โปธิ์ประทับช้าง ทับคล้อ สะพานหิน กิ่ง อ.บึงนาราง บางมูลนาก และกิ่ง อ.ดงเจริญ
แม่ฮ่องสอน (7)	ปางมะผ้า ปาย เมืองแม่ฮ่องสอน ขุนยวม แม่ลาน้อย แม่สะเรียง และสบเมย
ลำปาง (10)	เมืองปาน งาว แจ้ห่ม แม่เกาะ เมืองลำปาง ห้างฉัตร เสริมงาม เกาะคา แม่ทะ สบปราบ และเถิน
ลำพูน (4)	เมืองลำพูน บ้านโฮ้ง ห้วยหัวช้าง และลี้
กำแพงเพชร (9)	ศรีสังขาลย์ ศรีนคร ห้วยเสลี่ยม สวรรคโลก ศรีสำโรง บ้านด่านลานหอย เมืองสุโขทัย กงไกรลาศ และศรีมาศ



**ตารางที่ 4.11** จังหวัดและอำเภอที่เกิดอุทกภัยซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคเหนือ

จังหวัด	อำเภอเกิดอุทกภัยซ้ำ 3 ปี
เชียงราย (11)	แม่สาย เชียงแสน แม่จัน กิ่ง อ.ดอยหลวง เมืองเชียงราย เวียงชัย แม่สรวย เทิง แม่ลาว พาน และเวียงป่าเป้า
พะเยา (7)	กิ่ง อ.ภูซาง เชียงคำ จุน กิ่ง อ.ภูกามยาว ปง เมืองพะเยา และเชียงม่วน
พิจิตร (6)	สามง่าม กิ่ง อ.สากเหล็ก เมืองพิจิตร วังทรายพูน กิ่ง อ.บึงนาราง และ โพนทะเล
ลำปาง (13)	วังเหนือ เมืองปาน งาว แจ้ห่ม แม่เกาะ เมืองลำปาง ห้างฉัตร เสริมงาม เกาะคา แม่ทะ สบปราบ เกิน และแม่พริก
ลำพูน (7)	บ้านธิ เมืองลำพูน แม่ทา กิ่ง อ.เวียงหนองล่อง บ้านโฮ่ง ห้วยข้าวก่ำ และลี้
สุโขทัย (8)	ศรีสำราญ ห้วยเสี้ยว สวรรคโลก ศรีสำโรง บ้านด่านลานหอย เมืองสุโขทัย กงไกรลาศ และศรีมาศ
อุตรดิตถ์ (5)	บ้านโคก ท่าปลา น้ำปาด เมืองอุตรดิตถ์ และพิชัย

**ตารางที่ 4.12** จังหวัดและอำเภอที่เกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคใต้

จังหวัด	อำเภอเกิดภัยแล้งซ้ำ 3 ปี
ชุมพร	อ.ท่าแซะ อ.ทุ่งตะโก
ตรัง	รัษฎา ห้วยยอด สิเกา เมืองตรัง นาโยง ย่านตาขาว และกิ่ง อ.หาดสำราญ
ระนอง	กระบุรี กะเปอร์ และกิ่ง อ.สุขสำราญ
สตูล	ทุ่งหว้า ควนกาหลง กิ่ง อ.มะนัง ละงู ท่าแพ ควนโดน และเมืองสตูล

**ตารางที่ 4.13** จังหวัดและอำเภอที่เกิดอุทกภัยซ้ำ 3 ปี (2005 -2007) ในพื้นที่ภาคใต้

จังหวัด	อำเภอเกิดอุทกภัยซ้ำ 3 ปี
ชุมพร	ปะทิว เมืองชุมพร หลังสวน และพะโต๊ะ
ตรัง	เมืองตรัง

### 4.3 การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้งและอุทกภัยด้วยดัชนี SPI

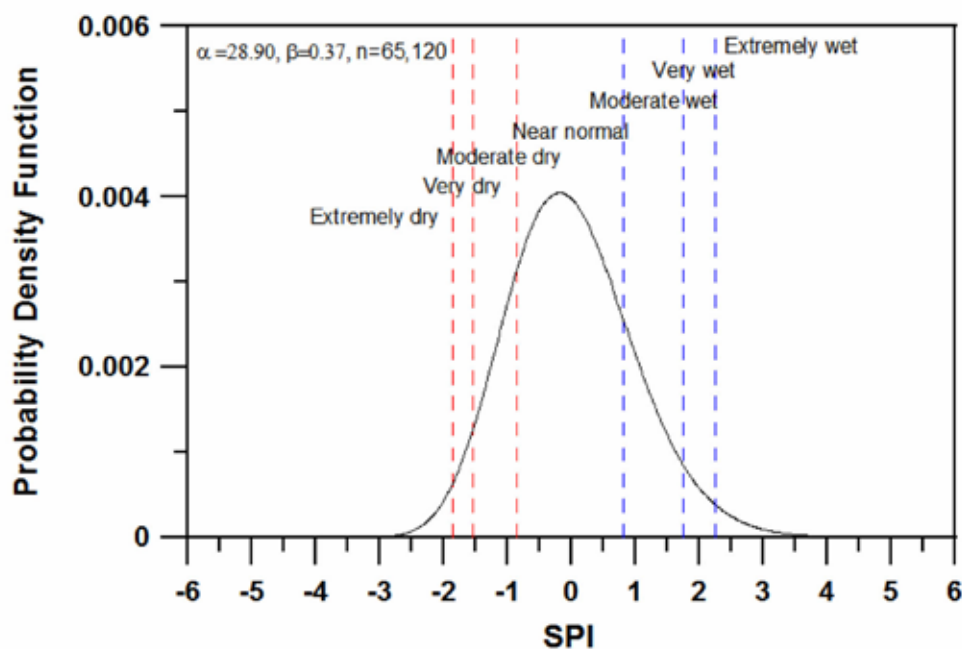
ค่าดัชนี SPI คาบเวลา 6 เดือน ที่แสดงถึงความแห้งแล้งและความเปียกชื้น ซึ่งคำนวณจาก non - exceedance probability  $P(x)$  ถูกจัดแบ่งออกเป็น 7 ระดับ ตามข้อเสนอแนะของ Ntale และ Gan (2003)<sup>92</sup> กล่าวคือ ค่าดัชนี SPI ที่เท่ากับหรือมากกว่า 2.25 ( $P(x) > 0.98$ ) หรือเท่ากับหรือน้อยกว่า - 1.86 ( $P(x) < 0.02$ ) แสดงถึงสภาวะความเปียกชื้นที่รุนแรงหรือความแห้งแล้งอย่างรุนแรงตามลำดับ ในขณะที่ ค่าดัชนี SPI มีค่าอยู่ในระหว่าง -0.85 ถึง 0.82 ( $0.20 \geq P(x) \leq 0.7999$ ) บ่งบอกถึงสภาวะปกติ (ตารางที่ 4.14) Probability Density Function (PDF) ของ regional normalized SPI index คาบเวลา 6 เดือน

สำหรับดัชนี SPI ภาพรวมของประเทศไทยในคาบเวลา 6 เดือน ซึ่งใช้ข้อมูลทุกสถานีในการประมาณค่า  $\alpha$  (28.90) และ  $\beta$  (0.37) (รูปที่ 4.36) จากลักษณะ PDF พบว่ามีรูปร่างการแจกแจงปกติ โดยขอบเขตความแห้งแล้งและเปียกชื้นในแต่ละระดับ ถูกแบ่งด้วยค่า  $P(x)$  ซึ่งรูปแบบ PDF ดังกล่าว มีลักษณะคล้ายคลึงกับผลการศึกษาของ Ntale และ Gan (2003)<sup>92</sup> ที่คำนวณ normalized P3 - SPI สำหรับการติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งในทวีปแอฟริกา

ดัชนี SPI ที่ถูกพัฒนาและคำนวณขึ้นนี้ ได้ทำการ validate โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับดัชนี PSDI ในคาบเวลา 12 เดือน ในแต่ละกริด จำนวน 7 กริดที่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ ในช่วงปี ค.ศ. 1951 – 2003 ผลการวิเคราะห์ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง SPI และ PSDI มีค่าอยู่ในช่วง 0.57 – 0.78 (ค่าเฉลี่ย = 0.64) ซึ่งจัดเป็นระดับความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง (ตารางที่ 4.15) และใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Lloyd - Hughes และ Saunders (2002)<sup>91</sup> ที่พบความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนี SPI คาบเวลา 6 เดือน กับดัชนี PSDI ในช่วงปี ค.ศ. 1901 – 1999 มีค่าเท่ากับ 0.71 ในกรณีที่ทำการ validate ดัชนี SPI ในพื้นที่ของทวีปยุโรป จากผลการ validate อาจกล่าวได้ว่า ดัชนี SPI ที่ถูกพัฒนาและคำนวณนี้ เป็นดัชนีทางเลือก นอกเหนือจากดัชนี PSDI ที่สามารถใช้ในการติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เสี่ยงและความล่อแหลมที่เกิดจากความแห้งแล้งและความเปียกชื้นในประเทศไทยได้

ตารางที่ 4.14 ระดับความแห้งแล้งและความเปียกชื้นซึ่งแสดงในรูปของ non - exceedance probability  $P(x)$  สำหรับ P3-based 6-month SPI

Non - exceedance Probability, $P(x)$	SPI value	Category
>.98	2.25 or more	Extremely wet
0.95 -0.9799	1.75 to 2.24	Very wet
0.80-0.9499	0.83 to 1.74	Moderately wet
0.20-0.7999	-0.85 to 0.82	Near Normal
0.05-0.1999	-1.54 to -0.86	Moderately dry
0.02-0.0499	-1.85 to -1.55	Very dry
<0.02	-1.86 or less	Extremely dry

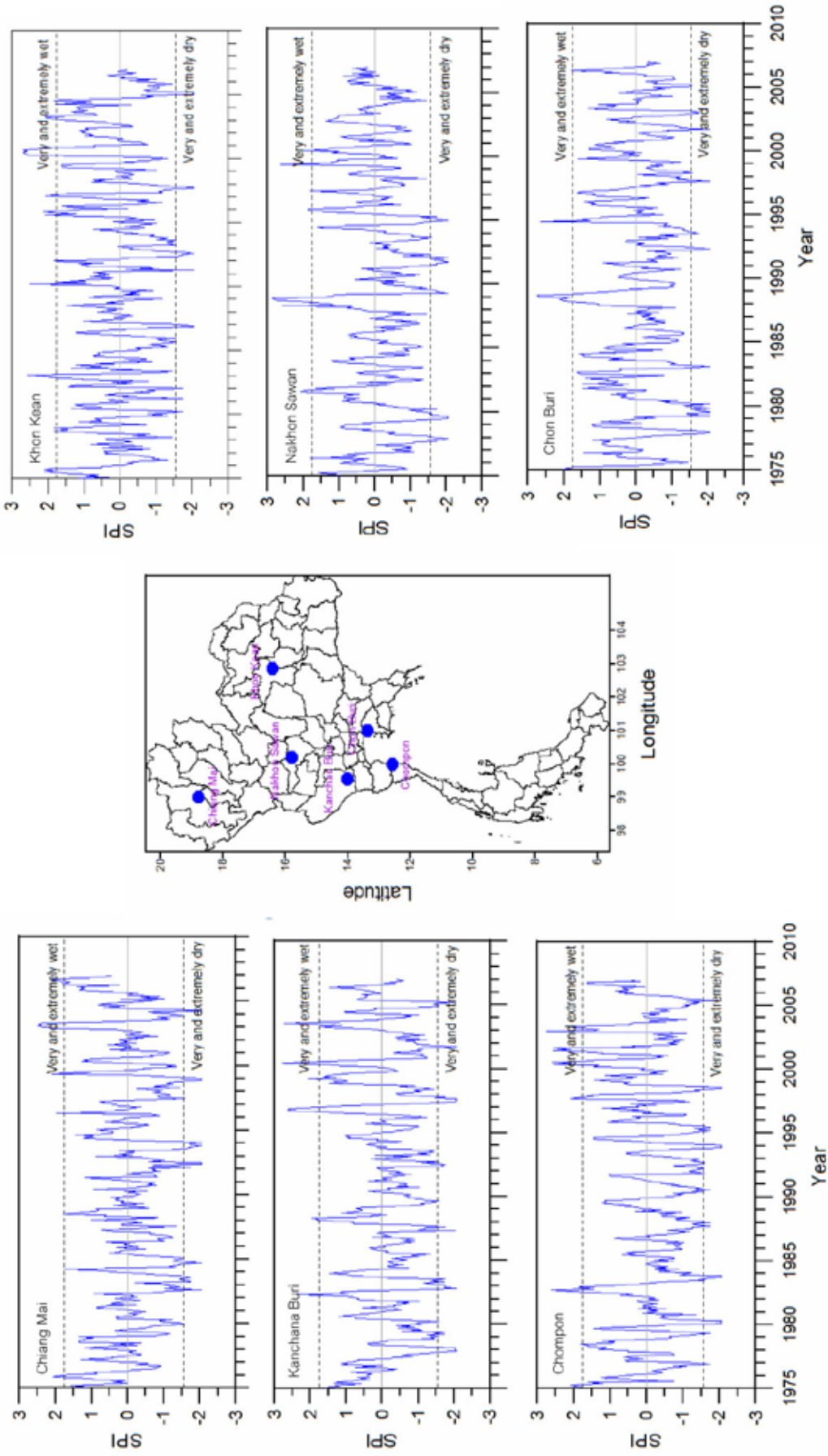


รูปที่ 4.36 Probability Density Function (PDF) ของ regional normalized SPI index คาบเวลา 6 เดือน สำหรับภาพรวมของประเทศไทย ซึ่งคำนวณโดยใช้ข้อมูลทุกสถานีในการประมาณค่า  $\alpha(28.90)$  และ  $\beta(0.37)$

**ตารางที่ 4.15** ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี SPI คาบเวลา 12 เดือน และดัชนี PDSI ในแต่ละ block ที่แสดงในรูปที่ 3.5 ข้อมูลในช่วง ค.ศ. 1951 – 2003 ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

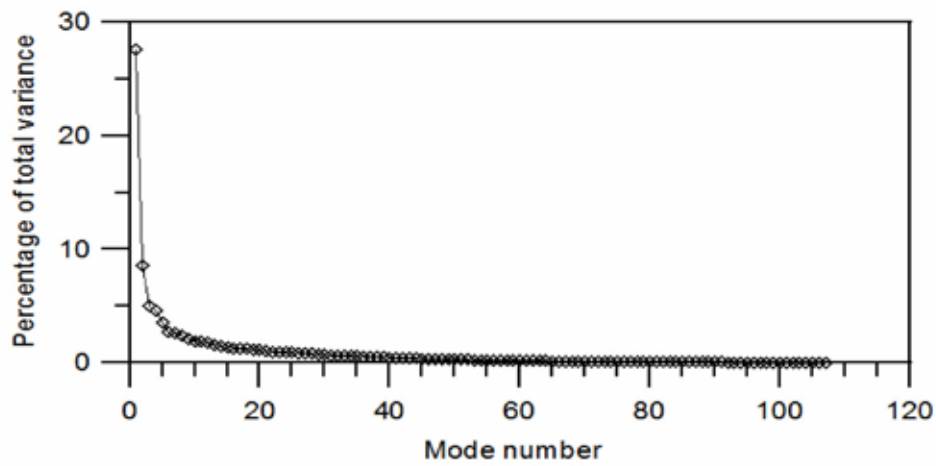
Block	12-month & PDSI
A	0.66
B	0.60
C	0.59
D	0.78
E	0.67
F	0.58
G	0.57

ตัวอย่างอนุกรมดัชนี SPI คาบเวลา 6 เดือน ระหว่าง ปี ค.ศ. 1975 – 2006 ที่คำนวณจากข้อมูลฝนรายเดือนผิวพื้นของ 6 สถานีที่ตั้งอยู่ในแต่ละภาคของประเทศไทย (ชุมพร กาญจนบุรี เชียงใหม่ ขอนแก่น นครสวรรค์และชลบุรี) แสดงในรูปที่ 4.37 อนุกรมดัชนี SPI ในแต่ละสถานีมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันในแง่ของความแปรปรวนที่โดดเด่นในคาบเวลาปีต่อปี ซึ่งแกว่งไปมาระหว่างค่าบวกและค่าลบในช่วงคาบเวลาระยะสั้น ซึ่งมีรูปแบบที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของปริมาณฝน ทั้งนี้ บางช่วงคาบเวลา ดัชนี SPI มีค่าที่แสดงถึงความแห้งแล้งและเปียกชื้นที่ระดับมาก (very) และ รุนแรง (extremely) จากอนุกรมดัชนี SPI ทั้ง 6 สถานี ไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงที่ชัดเจน (รูปที่ 4.37)

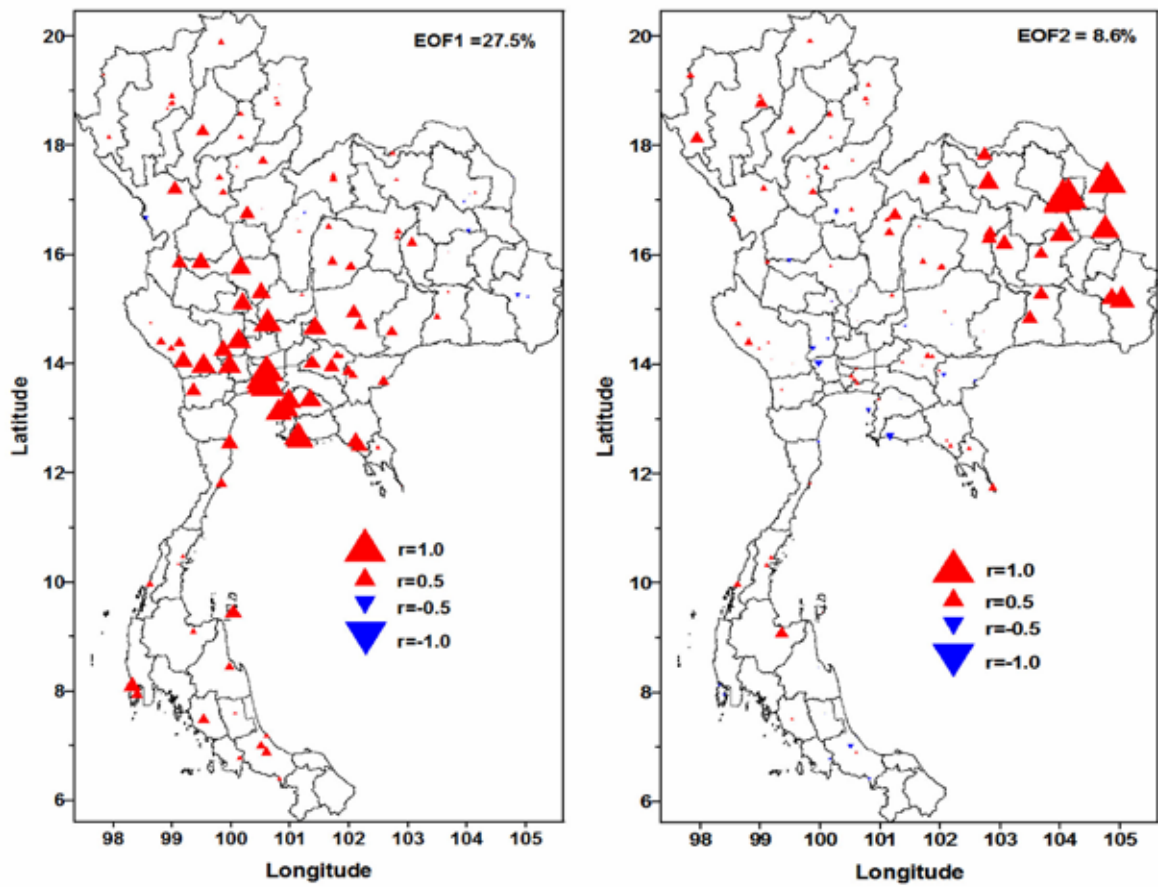


รูปที่ 4.37 แสดงตัวอย่างอนุกรมดัชนี SPI สำหรับ 6 เดือน ระหว่างปี ค.ศ. 1975 – 2006 ของ 6 สถานีที่ตั้งอยู่ในแต่ละภาคของประเทศไทย

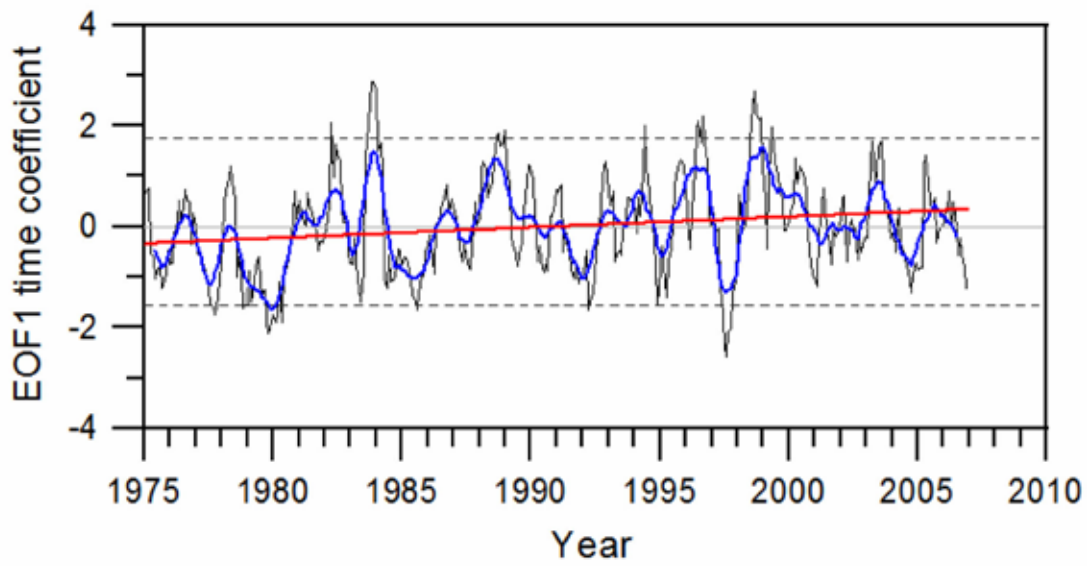
ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในเชิงพื้นที่และเวลาเพื่อแสดงพื้นที่วิกฤติของดัชนี SPI โดยประยุกต์ใช้เทคนิค Principal Component Analysis (PCA) หรือ Empirical Orthogonal Function (EOF) กับข้อมูลดัชนี SPI ในรูปเมตริกซ์ของจำนวนสถานีทั้งหมดและคาบเวลาตั้งแต่ปี ค.ศ. 975-2006 (144 สถานี x 384 เดือน) พบว่า โหมดที่ 1 และ 2 ของ Principal Component (PC) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 27.5 และ 8.6 ของความแปรปรวนทั้งหมดในชุดข้อมูลเดิมของดัชนี SPI ส่วน แต่ละโหมดที่เหลืออธิบายความแปรปรวนได้ในสัดส่วนน้อย (รูปที่ 4.38) โหมดแรกซึ่งแสดงถึงความแปรปรวนที่โดดเด่นของดัชนี SPI ในประเทศไทย มีค่า component loadings ที่บ่งชี้ถึงความแปรปรวนเชิงพื้นที่ส่วนใหญ่ที่อธิบายโดย PC ของโหมดที่ 1 เกิดจากสถานีที่ตั้งอยู่บริเวณภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคเหนือตอนล่างและภาคใต้ (รูปที่ 4.39) เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่าง PC โหมดที่ 1 และแต่ละสถานีในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว มีค่าสูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ ในขณะที่ component loadings ของโหมดที่ 2 แสดงความแปรปรวนส่วนใหญ่เกิดจากสถานีที่ตั้งบริเวณภาคตะวันออกเฉียงตอนบน (รูปที่ 4.39) ค่า score ของ PC ซึ่งแสดงถึงความแปรปรวนเชิงเวลาของโหมดที่ 1 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงหลายคาบเวลาที่รวมกันในรูปแบบที่ซับซ้อน โดยการเปลี่ยนแปลงปีต่อปีเป็นคาบเวลาที่โดดเด่นในอนุกรมเวลาของ PC นอกจากนี้ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง ยังปรากฏในอนุกรมเวลาของ PC อีกด้วย (รูปที่ 4.40) ในช่วงปี ค.ศ. 1997-1998 ค่า score ของ PC โหมดที่ 1 มีค่าต่ำสุด ในขณะที่ ค่าสูงสุดของ score เกิดขึ้นในช่วง ปี ค.ศ. 1983 – 1984 (รูปที่ 4.40) การวิเคราะห์เพิ่มเติม พบว่า อนุกรมเวลารายเดือนของ PC โหมดที่ 1 มีความสัมพันธ์ทางลบอย่างมีนัยสำคัญ ( $-0.3, p < 0.001, n = 384$ ) กับดัชนี Multivariate ENSO Index (MEI) ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงการเกิดปรากฏการณ์ El Nio และ La Nia 136 ความสัมพันธ์ดังกล่าว บ่งชี้ถึงสภาวะความแห้งแล้งกว่าปกติในประเทศไทยในช่วงที่เกิดเหตุการณ์ El Nio ในทางตรงกันข้าม สภาวะความเปียกชื้นกว่าปกติในช่วงที่เกิดเหตุการณ์ La Nia อนุกรมเวลาของ PC โหมดที่ 2 แสดงในรูปที่ 4.41 ซึ่งมีรูปแบบความแปรปรวนที่คล้ายคลึงกับอนุกรมเวลาของ PC โหมดที่ 1 โดยการเปลี่ยนแปลงปีต่อปี เป็นสัดส่วนที่สำคัญในอนุกรมดังกล่าว แต่อนุกรมเวลาของ PC ทั้งโหมดที่ 1 และ 2 เป็นอิสระต่อกัน กล่าวคือทั้งสองอนุกรมไม่มีความสัมพันธ์หรือมีคุณสมบัติ orthogonality สิ่งที่สำคัญปรากฏในอนุกรมเวลาของ PC โหมดที่ 2 คือ ค่า score ที่ต่ำและสูงกว่าปกติ มีจำนวนมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอนุกรมเวลาของ PC โหมดที่ 1



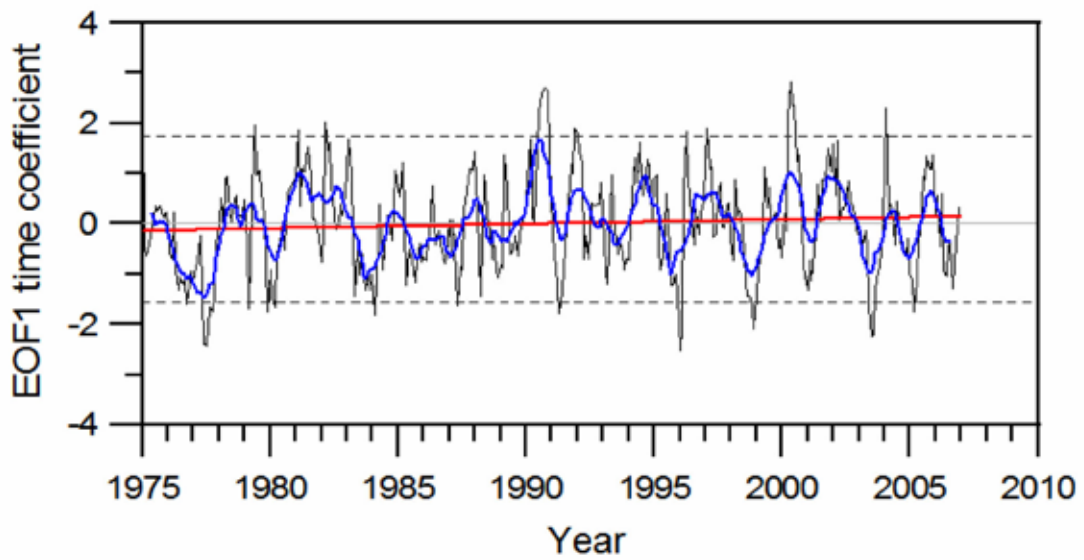
รูปที่ 4.38 Scree plot แสดงสัดส่วนความแปรปรวนของ SPI ทั้งหมดที่อธิบายโดยแต่ละโหมดของ Principal Component Analysis (PCA) หรือ Empirical Orthogonal Function (EOF)



รูปที่ 4.39 ค่า loading ของ EOF โหมดที่ 1 และ 2 ของดัชนี SPI คาบเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.40 อนุกรม time coefficient (score) ของ PC โหมดที่ 1 เส้นสีน้ำเงิน แทน 11 - term smoothed series และเส้นสีแดงแทน linear trend



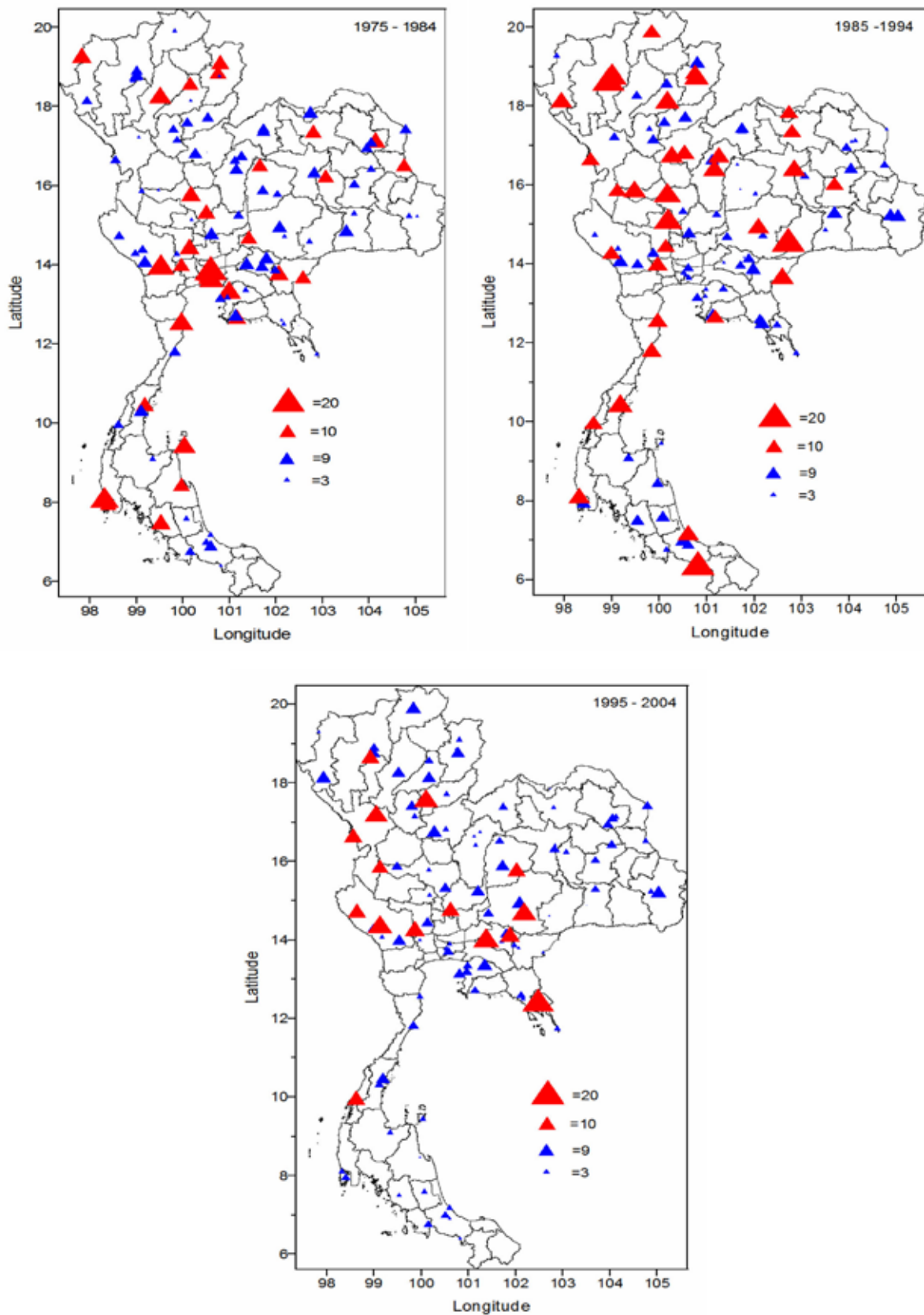
รูปที่ 4.41 อนุกรม time coefficient (score) ของ PC โหมดที่ 2 เส้นสีน้ำเงิน แทน 11 - term smoothed series และเส้นสีแดงแทน linear trend



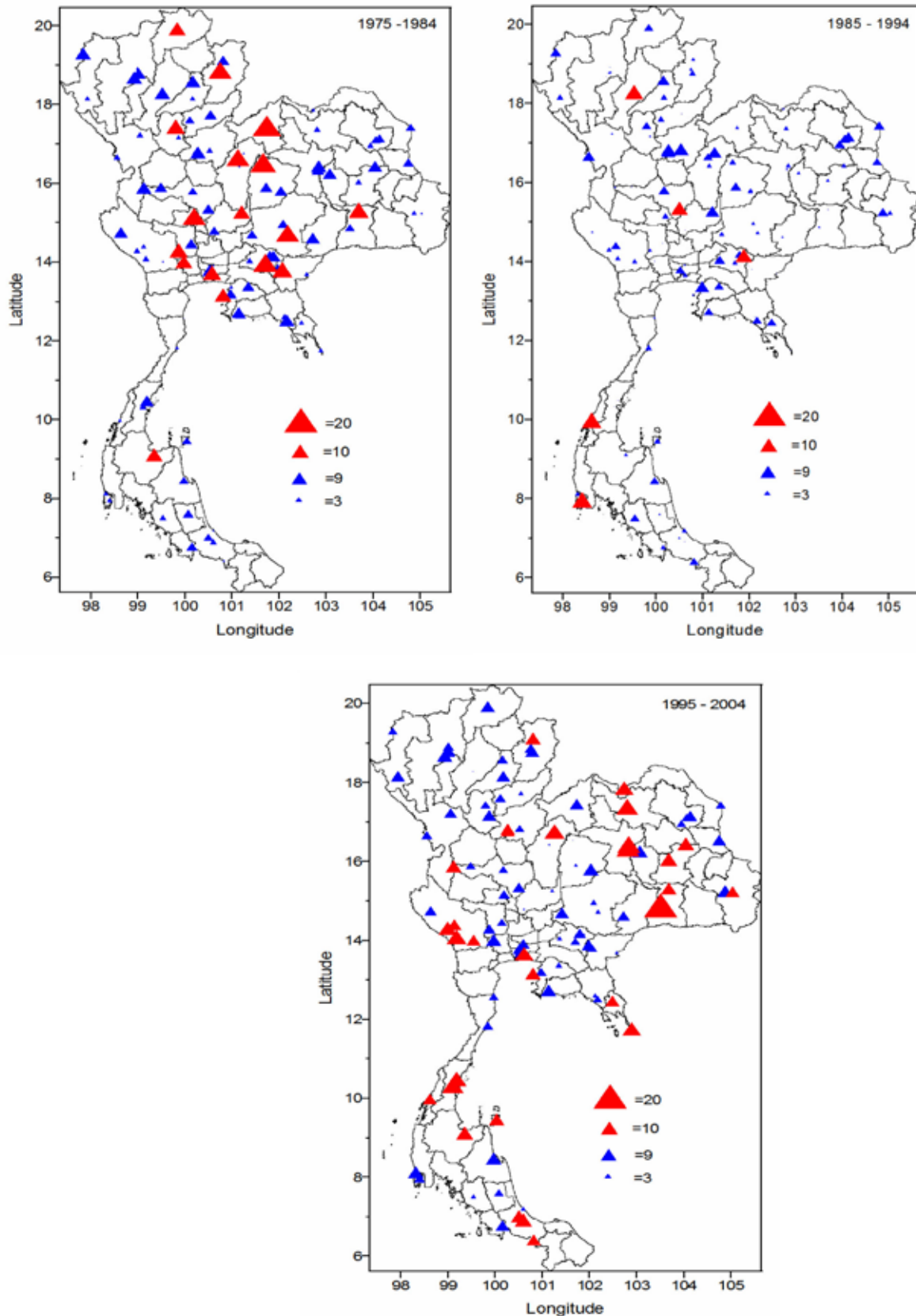
จากรูปที่ 4.42 และ 4.43 แสดงความถี่รวมของความแห้งแล้งหรือความเปียกชื้นระดับมาก (very) และรุนแรง (extremely) ในช่วงปี ค.ศ. 1975 -1984, 1985 -1994 และ 1995 - 2004 ของแต่ละสถานีซึ่งวิเคราะห์โดยจำแนกจากค่าดัชนี SPI ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -1.55 หรือมากกว่าหรือเท่ากับ 1.75 สัญลักษณ์สีแดง หมายถึง ความถี่รวมของความแห้งแล้งหรือความเปียกชื้นระดับมาก (very) และรุนแรง (extremely) ณ สถานีใดสถานีหนึ่ง ที่เกิดขึ้นมากกว่า 10 ครั้งในรอบ 10 ปี จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ในช่วงปี ค.ศ. 1975 - 1984 และ 1985 - 1994 ดัชนี SPI ของหลายสถานีในทุกภูมิภาค แสดงสภาวะความแห้งแล้งในระดับมากและรุนแรง เกิดขึ้นมากกว่า 10 ครั้ง อย่างไรก็ตาม ความแห้งแล้งในระดับมากและรุนแรงในช่วงปี ค.ศ. 1995 - 2004 ส่วนใหญ่เกิดขึ้นมากกว่า 10 ครั้ง ในสถานีที่ตั้งอยู่บริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 4.42) สำหรับความเปียกชื้นในระดับมากและรุนแรง ความถี่ของเกิดมากกว่า 10 ครั้ง ในช่วงปี ค.ศ. 1975 - 1984 และ 1995-2004 ปรากฏหลายสถานีที่ตั้งอยู่ในภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ ในขณะที่ ความถี่ของเกิดมากกว่า 10 ครั้ง ในช่วง 1985 -1994 ปรากฏเฉพาะ 5 สถานีที่ตั้งอยู่ภาคกลาง ภาคเหนือตอนล่างและชายฝั่งทะเลอันดามัน (รูปที่ 4.43)

เมื่อพิจารณารวมทั้งประเทศ สถานีที่แสดงเหตุการณ์ความแห้งแล้งและความเปียกชื้นในระดับมากและรุนแรง มีจำนวนที่แตกต่างกันในแต่ละปี (รูปที่ 4.44) ในปี ค.ศ. 1999 และ 2000 จำนวนสถานีที่แสดงความแห้งแล้งในระดับมากและรุนแรง เกิดขึ้นสูงสุด ในขณะที่ ความเปียกชื้นในระดับมากและรุนแรง ปรากฏสูงสุดในปี ค.ศ. 1993 และ 2005 (รูปที่ 4.44)

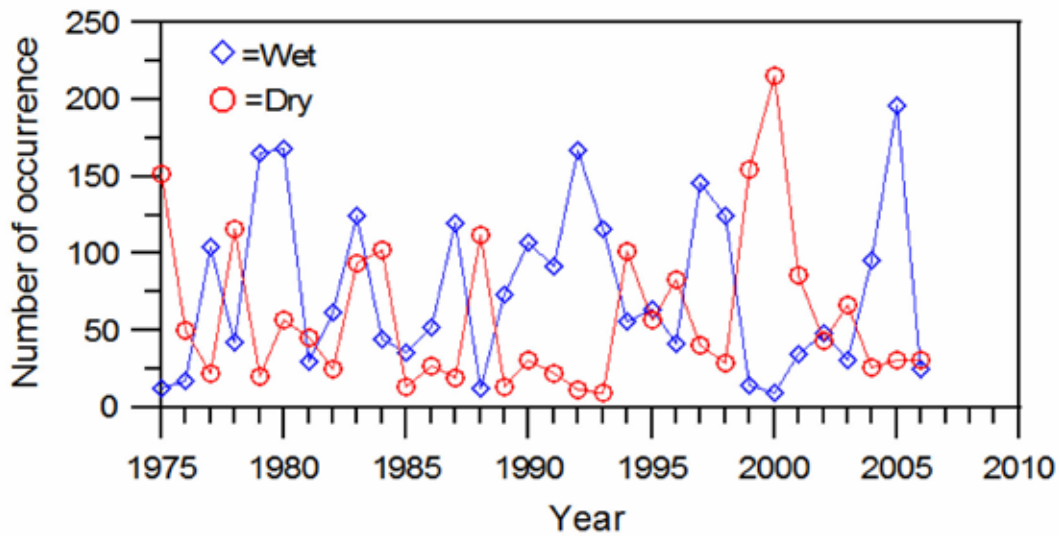
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพิ่มเติม พบว่า ความถี่ของการเกิดความแห้งแล้งและความเปียกชื้นในระดับมากและรุนแรง มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปรากฏการณ์ ENSO (ตารางที่ 4.16) โดยพื้นที่ที่เกิดความแห้งแล้งในระดับมากและรุนแรง มีจำนวนเพิ่มขึ้นในปีที่เกิดเหตุการณ์ El Nio ในขณะที่ พื้นที่ที่เกิดความเปียกชื้นในระดับมากและความรุนแรง มีจำนวนเพิ่มขึ้นในปีที่เกิดเหตุการณ์ La Nia



รูปที่ 4.42 ความถี่รวมของความแห้งแล้งระดับมาก (very) และรุนแรง (extremely) ในช่วง 1975-1984, 1985-1994 และ 1995-2004 จำแนกโดยค่าดัชนี SPI ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -1.55



รูปที่ 4.43 ความถี่รวมของความเปียกชื้นระดับมาก (very) และรุนแรง (extremely) ในช่วง 1975-1984, 1985-1994 และ 1995 -2004 จำแนกโดยค่าดัชนี SPI ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 1.75



รูปที่ 4.44 ความถี่ของความแห้งแล้งและความเปียกชื้นระดับมาก (very) และรุนแรง (extremely) รวมทั้งประเทศ จำแนกโดยค่าดัชนี SPI ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -1.55 หรือมากกว่าหรือเท่ากับ 1.75

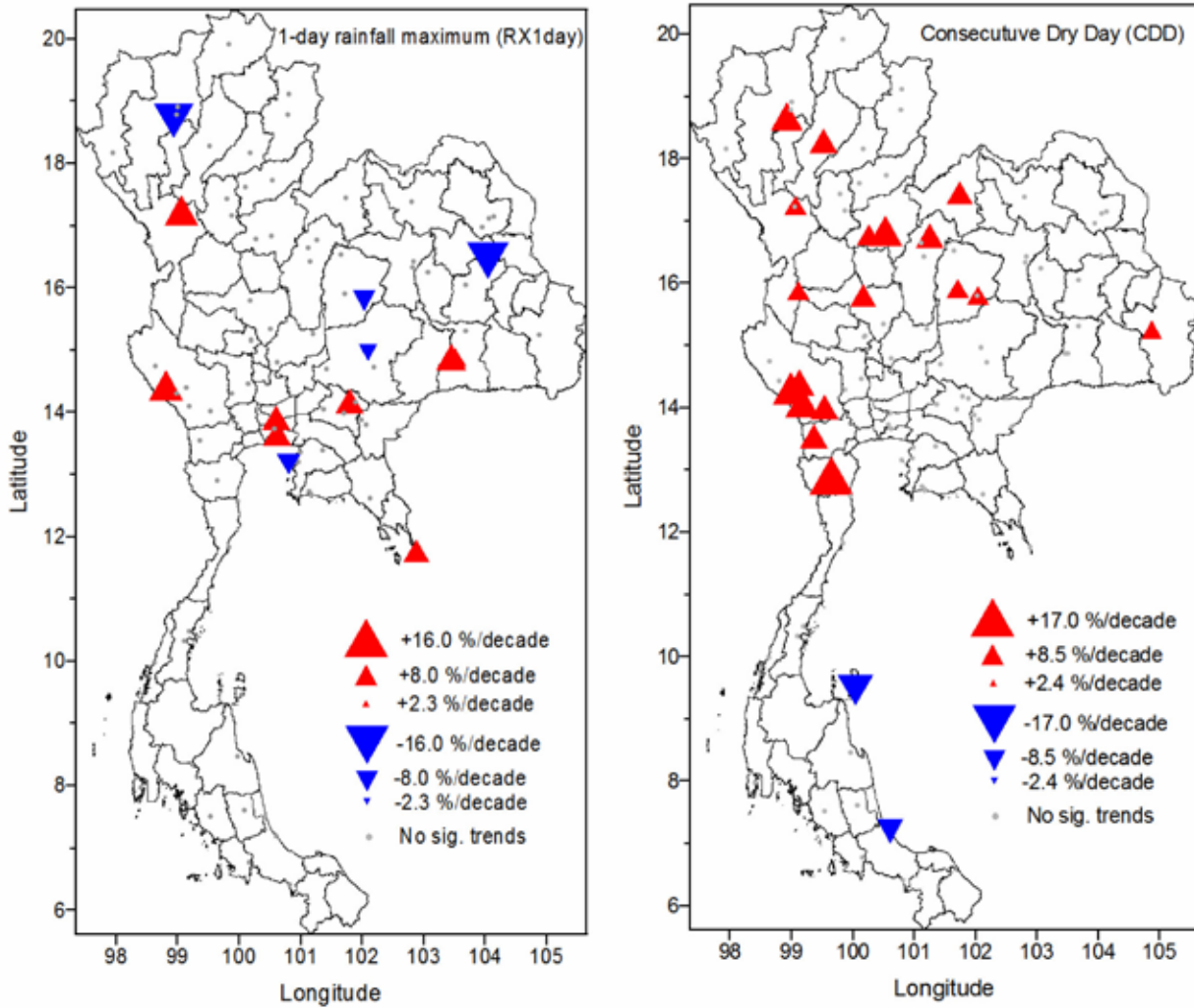
ตารางที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของความแห้งแล้งหรือความเปียกชื้นระดับมากและรุนแรง (SPI < -1.55) หรือ (SPI > 1.75) และดัชนี MEI ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ข้อมูลรายปี ในช่วง ปี ค.ศ. 1975 - 2006

ตัวแปร	r	p	n
จำนวนความแห้งแล้งระดับมากและรุนแรง (SPI < -1.55) & MEI	0.64	<0.001	32
จำนวนความเปียกชื้นระดับมากและรุนแรง (SPI > 1.75) & MEI	-0.57	<0.001	32

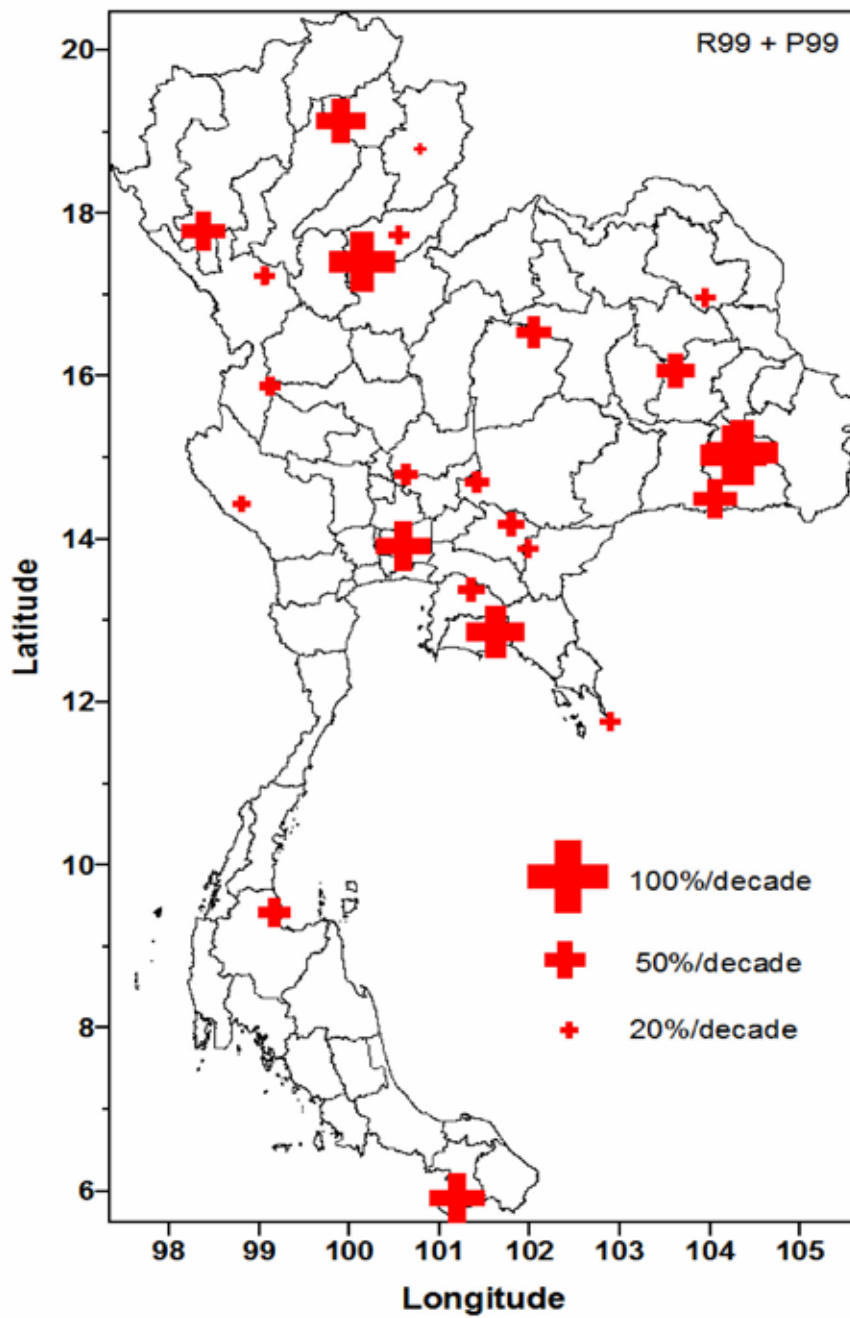
#### 4.4 การวิเคราะห์ความเสี่ยงของน้ำท่วมฉับพลันและระยะเวลาความแห้งแล้งจากดัชนีสภาวะความรุนแรงของภูมิอากาศ

ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง (linear trend) ของดัชนีปริมาณฝนสูงสุดในรอบ 1 วัน (RX1day) และดัชนีจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง (CDD) สำหรับแต่ละสถานี แสดงในรูปที่ 4.45 ผลการศึกษาพบว่า ดัชนี RX1day ณ 7 สถานีที่ตั้งอยู่ในภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคเหนือตอนล่าง มีแนวโน้มเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ ในช่วง 7.7 – 12.1%/10 ปี (เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยระยะยาวของแต่ละสถานี) (รูปที่ 4.45) สิ่งที่น่าสนใจประการหนึ่งของผลการวิเคราะห์ คือ ดัชนี RX1day ทั้งสองสถานีที่ตั้งอยู่บริเวณกรุงเทพมหานคร แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งบ่งชี้ถึงความเสี่ยงของการน้ำท่วมฉับพลันในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว จากเหตุการณ์ฝนตกหนัก (รูปที่ 4.45) สำหรับดัชนี CDD แนวโน้มการเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ พบในหลายสถานีบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตก โดยอัตราการเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 7.7 – 16.9%/10 ปี (เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยระยะยาวของแต่ละสถานี) จากแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญนี้ อาจกล่าวได้ว่า พื้นที่บริเวณนั้น ๆ มีโอกาสเสี่ยงต่อความแห้งแล้งสูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ ทั้งในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงจากภาวะน้ำท่วมฉับพลันในรูปของทั้งปริมาณและความถี่ของเหตุการณ์ฝนตกหนักมาก พบว่า 25 สถานีซึ่งส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในบริเวณภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งดัชนีปริมาณของเหตุการณ์ฝนตกหนักมาก (R99) และดัชนีความถี่ของเหตุการณ์ฝนตกหนักมาก (P99) โดยอัตราเฉลี่ยของทั้งสองดัชนี อยู่ในช่วง 14.8 - 90%/10 ปี (เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยระยะยาวของแต่ละสถานี) (รูปที่ 4.46) สถานีที่ตั้งอยู่ในจังหวัดศรีสะเกษ จังหวัดอุดรดิตถ์ จังหวัดระยอง กรุงเทพมหานคร จังหวัดพะเยา จังหวัดยะลา จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดร้อยเอ็ด เป็นสถานีที่มีการเพิ่มขึ้นของ R99 และ P99 สูงสุด ใน 10 อันดับแรก ซึ่งนับว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมจากเหตุการณ์ของฝนตกมาก ยิ่งกว่านั้น กรุงเทพมหานคร เป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของทั้ง 3 ดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝน (RX1day, R99 และ P99) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของสภาวะน้ำท่วมฉับพลัน



รูปที่ 4.45 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (trend) ของดัชนีปริมาณฝนสูงสุดในรอบ 1 วัน (*RX1day*) และดัชนีจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง (*CDD*) ซึ่งแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในระยะยาวของแต่ละสถานี โดยสัญลักษณ์สีแดงและสีน้ำเงิน แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%



รูปที่ 4.46 แสดงสถานที่ที่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนที่มากผิดปกติ (R99) และดัชนีความถี่ของปริมาณฝนที่มากผิดปกติ (P99) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

## 4.5 ทบทวนแนวคิด เทคนิควิธีการคำนวณและวิเคราะห์ความล่อแหลมทาง ชีวกายภาพและทางสังคม

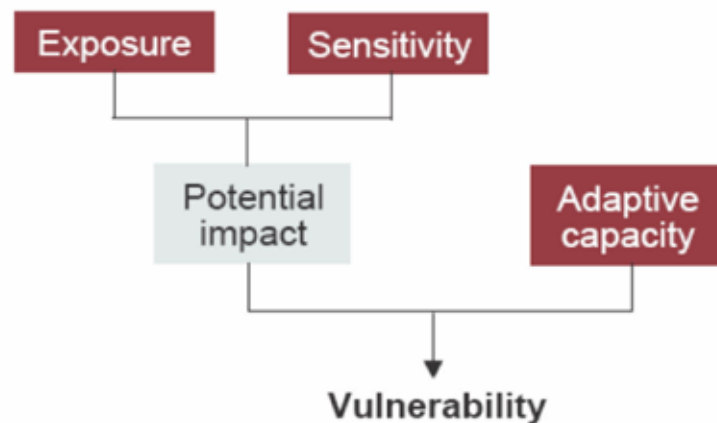
### 4.5.1 นิยามและกรอบแนวคิด

ความล่อแหลม (Vulnerability) หมายถึง สภาวะและกระบวนการที่เกิดจากปัจจัยทางกายภาพ สังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งแสดงถึงระดับความเปราะบางของระบบต่อผลกระทบจากภัยคุกคาม (Hazard) ประเภทใดประเภทหนึ่งหรือภัยคุกคามหลายประเภทรวมกัน 80,103,104,105,108,137,138,139,140 นอกจากนี้ ความล่อแหลม ยังครอบคลุมถึงการตอบสนองและความสามารถตั้งรับและปรับตัว เนื่องจากเป็นปัจจัยที่กำหนดศักยภาพของระบบในการแสดงปฏิกิริยาโต้ตอบและทนทานต่อภัยคุกคาม 108,137,140 ทั้งนี้ การวิเคราะห์ความล่อแหลม จึงเป็นกรอบแนวคิดที่ถูกนำมาใช้ในงานศึกษาวิจัยสาขาต่าง ๆ ซึ่งนับเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการอธิบายระดับความอ่อนไหวต่อภัยคุกคามและอันตราย ศักยภาพความเสียหายและความสูญเสีย รวมทั้งความสามารถในการตอบสนองและปรับตัวของระบบสิ่งแวดล้อมกายภาพ ระบบนิเวศน์และสังคมมนุษย์ รวมทั้งช่วยชี้แนะวิธีการวิเคราะห์มาตรการเร่งด่วน ในการเสริมสร้างความสามารถในการตั้งรับและปรับตัวของระบบ โดยลดความเสี่ยงจากภัยคุกคามนั้น ๆ 80,108,103,104,105,137,138,139,140 โดยกรอบแนวคิดดังกล่าว ได้ถูกนำมาประยุกต์อย่างแพร่หลายในการศึกษาวิจัยระบบสังคม ระบบนิเวศน์ ระบบธรรมชาติและระบบชีวกายภาพ รวมถึงระบบ Socio - ecological ซึ่งเป็นระบบรวมที่มีการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และชีวกายภาพ 138,140

คำนิยามของความล่อแหลม มีหลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับสาขางานวิจัยที่นำไปประยุกต์ใช้ 137,140 ความหมายโดยทั่วไป ความล่อแหลม แสดงถึงสภาวะความเปราะบางที่ก่อให้เกิดอันตรายและเสียหาย ซึ่งเกิดจากการเผชิญหรือสัมผัสกับภัยคุกคามหรือแรงกดดัน ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมและสังคม 108,137,141 ในขณะที่ คำจำกัดความของ IPCC ซึ่งมีการอ้างอิงบ่อยครั้งในการศึกษาวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พิจารณาความล่อแหลม ในแง่ระดับความอ่อนไหวของระบบ ที่ไม่สามารถรับมือและจัดการกับผลกระทบเชิงลบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมถึงความแปรปรวนของภูมิอากาศและสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ 105 ในแต่ละนิยาม ความล่อแหลม ถูกอธิบายด้วยฟังก์ชันของตัวแปรที่สำคัญ 3 องค์ประกอบ (รูปที่ 4.47) คือ การเผชิญ/สัมผัสกับปัจจัยคุกคาม/แรงกดดัน (Exposure; who or what is at risk) ความอ่อนไหว (Sensitivity; the degree to which people or places can be harmed) และความสามารถในการตั้งรับและปรับตัวของระบบ (Adaptive capacity) 105,108,137,138,139,140 การเผชิญกับปัจจัยคุกคาม/แรงกดดัน คือ ลักษณะทางธรรมชาติและระดับที่ระบบประสบหรือสัมผัสกับแรงกดดันและภัยคุกคาม ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ ระยะเวลา ขอบเขต ความรุนแรงและพฤติกรรมของปัจจัยคุกคาม หรือปรากฏการณ์ที่ระบบกำลังสัมผัสหรือได้รับผลกระทบ 105,108,137,138 ในบริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภัยคุกคามหมายถึง ปรากฏการณ์ทางกายภาพที่เกิดจากความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อย่างเช่น ภัยแล้ง น้ำท่วม พายุ การเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางภูมิอากาศ ดังนั้น ภัยพิบัติที่เกิดกับมนุษย์และทรัพย์สิน ในรูปของการสูญเสียชีวิต ผู้ได้รับผลกระทบ และการสูญเสียทางเศรษฐกิจ เป็นผลลัพธ์ (Outcome) ของภัยคุกคาม ที่คุณลักษณะของระบบสังคมที่สัมผัสเป็นสื่อกลางช่วยส่งเสริมหรือบรรเทาผลกระทบจากภัยคุกคามนั้น สำหรับความอ่อนไหว เป็นการอธิบายถึงระดับผลกระทบทั้งในเชิงบวกและลบที่ระบบได้รับจากการเผชิญหรือสัมผัสกับปัจจัยคุกคาม 105,137,140 ความอ่อนไหวของระบบต่อปัจจัยคุกคาม ถูกกำหนดด้วยคุณสมบัติและสถานภาพของระบบเป็นหลัก ความสามารถในการตั้งรับและปรับตัวหรือความสามารถในการตอบสนองของระบบ หมายถึง สามารถของระบบในการตอบสนอง/ปรับตัวต่อการเผชิญหรือสัมผัสกับปัจจัยคุกคาม ทั้งนี้เพื่อลดความเสียหายและแสวงหาผลประโยชน์จากผลกระทบดังกล่าว รวมทั้งการตั้งรับกับผลกระทบที่เกิดขึ้นภายหลัง 105,137,138,139,140



ตั้งรับและปรับตัวของระบบ (Adaptive capacity)<sup>105,108,137,138,139,140</sup> การเผชิญกับปัจจัยคุกคาม/แรงกดดัน คือ ลักษณะทางธรรมชาติและระดับที่ระบบประสบหรือสัมผัสกับแรงกดดันและภัยคุกคาม ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ ระยะเวลา ขอบเขต ความรุนแรงและพฤติกรรมของปัจจัยคุกคาม หรือปรากฏการณ์ที่ระบบกำลังสัมผัสหรือได้รับผลกระทบ<sup>105,108,137,138</sup> ในบริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภัยคุกคามหมายถึง ปรากฏการณ์ทางกายภาพที่เกิดจากความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อย่างเช่น ภัยแล้ง น้ำท่วม พายุ การเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางภูมิอากาศ ดังนั้น ภัยพิบัติที่เกิดกับมนุษย์และทรัพย์สิน ในรูปของการสูญเสียชีวิต ผู้ได้รับผลกระทบ และการสูญเสียทางเศรษฐกิจ เป็นผลลัพธ์ (Outcome) ของภัยคุกคาม ที่คุณลักษณะของระบบสังคมที่สัมผัส เป็นสื่อกลางช่วยส่งเสริมหรือบรรเทาผลกระทบจากภัยคุกคามนั้น สำหรับความอ่อนไหว เป็นการอธิบายถึงระดับผลกระทบทั้งในเชิงบวกและลบที่ระบบได้รับจากการเผชิญหรือสัมผัสกับปัจจัยคุกคาม<sup>105,137,140</sup> ความอ่อนไหวของระบบต่อปัจจัยคุกคาม ถูกกำหนดด้วยคุณสมบัติและสถานภาพของระบบเป็นหลัก ความสามารถในการตั้งรับและปรับตัวหรือความสามารถในการตอบสนองของระบบ หมายถึง สามารถของระบบในการตอบสนอง/ปรับตัวต่อการเผชิญหรือสัมผัสกับปัจจัยคุกคาม ทั้งนี้เพื่อลดความเสียหายและแสวงหาผลประโยชน์จากผลกระทบดังกล่าว รวมทั้งการตั้งรับกับผลกระทบที่เกิดขึ้นภายหลัง<sup>105,137,138,139,140</sup>

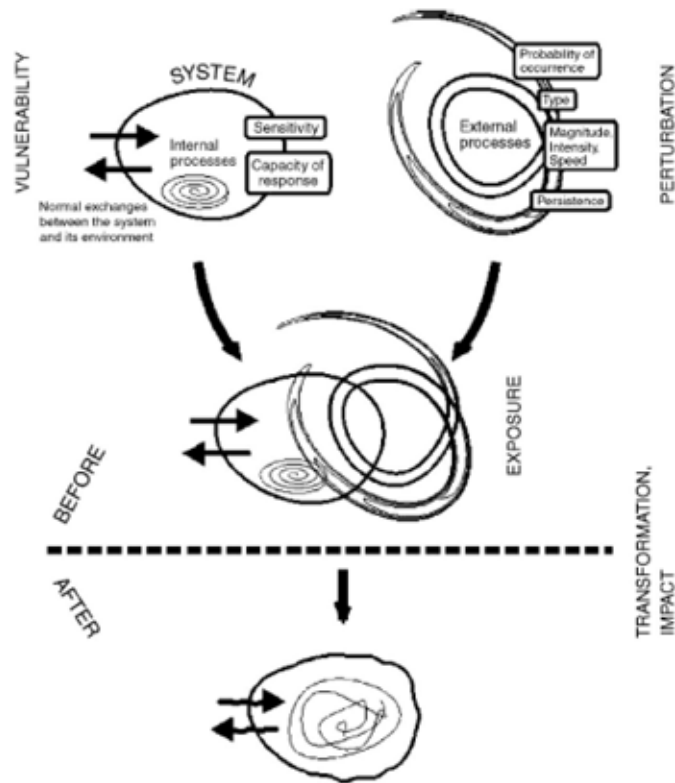


รูปที่ 4.47 องค์ประกอบหรือฟังก์ชันที่กำหนดระดับความอ่อนไหวของระบบ

Gallopin (2003) ได้แสดงความสัมพันธ์เชิงมโนทัศน์ระหว่างความอ่อนไหว ภัยคุกคาม การเผชิญ/สัมผัส และผลกระทบของระบบ ซึ่งผลกระทบที่ส่งผลให้ระบบเปลี่ยนแปลงสู่สถานะใหม่ ขึ้นอยู่กับความอ่อนไหวของระบบ คุณสมบัติของสิ่งรบกวน (Disturbance) และการสัมผัสกับภัยคุกคาม<sup>143</sup> (รูปที่ 4.48)

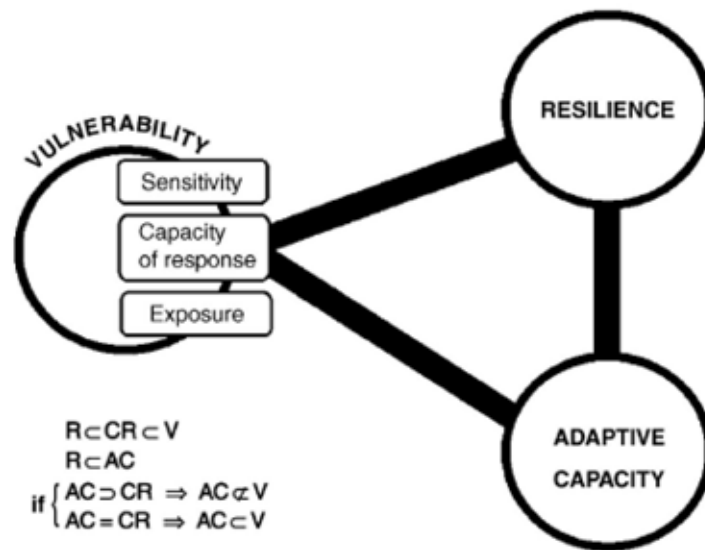
**Gallopin (2006)** ยังได้วิเคราะห์เชิงระบบถึงกรอบแนวคิดความล่อแหลม ความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม (Resilience) และความสามารถในการตั้งรับและปรับตัว ภายใต้บริบทการศึกษาวิจัยพลวัตของระบบ Socio - ecological ในระดับโลก ผลการวิเคราะห์ ได้แสดงให้เห็นว่า ความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม สัมพันธ์และเชื่อมโยงกับความสามารถในการตอบสนองของระบบ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสามารถในการตั้งรับและปรับตัวของทั้งระบบ Socio - ecological (รูปที่ 4.49)<sup>140</sup> ในมุมมองของนักวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาวิจัยด้านระบบ Socio - ecological ความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม หมายถึง ขนาดและระดับของสิ่งรบกวนที่ระบบสามารถดูดซับและทนทานก่อนที่จะเปลี่ยนไปสู่สภาวะใหม่ รวมทั้งความสามารถในการฟื้นกลับคืนสภาพเดิมหรือปรับตัวในสถานการณ์ที่เกิดขึ้นใหม่<sup>137,140,142</sup>

Adger (2006) ได้สรุปว่า การวิเคราะห์ความล่อแหลม มีตัวแปรที่สนใจ เหมือนกับการประเมินความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม ซึ่งประกอบด้วย 1) การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันหรือแรงกดดันที่ระบบ Socio - ecological ได้รับและประสบ 2) การตอบสนองของระบบ และ 3) ความสามารถในการตั้งรับและปรับตัว<sup>137</sup>



**รูปที่ 4.48** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความล่อแหลม ภัยคุกคาม การเผชิญ/สัมผัส และผลกระทบของระบบ social - ecological เชิงมโนทัศน์

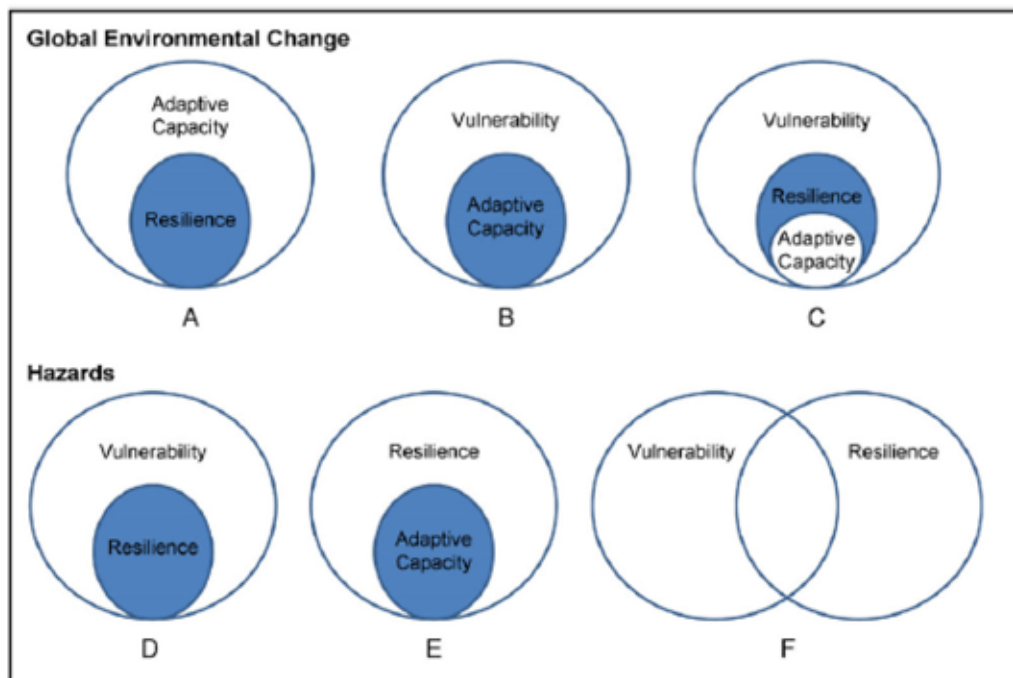
ที่มา: Gallopin, 2003.



**รูปที่ 4.49** แสดงความสัมพันธ์ในเชิงกรอบแนวคิดระหว่างความล่อแหลม ความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม และความสามารถในการตั้งรับและปรับตัว สัญลักษณ์ที่ใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ประกอบด้วย  $\subset$  = 'subset of' และ  $\not\subset$  = 'not a subset of' R, V, AC และ CR หมายถึง resilience, vulnerability, adaptive capacity และ capacity of response ตามลำดับ ที่มา: Gallopin, 2006.

อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์เชิงกรอบแนวคิดระหว่างความล่อแหลม ความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม และความสามารถในการตั้งรับและปรับตัว ยังมีหลายลักษณะซึ่งมิติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับมุมมองของการศึกษาวิจัยในสาขาต่าง ๆ (รูปที่ 4.50) นักวิจัยบางท่าน พิจารณาความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม เป็นองค์ประกอบเชิงบูรณาการของความสามารถในการตั้งรับและปรับตัว (รูปที่ 4.50A)<sup>137,142</sup> ในขณะที่ทัศนคติของนักวิจัยท่านอื่น จัดความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของความล่อแหลม (รูปที่ 4.50B)<sup>144,145</sup> มุมมองอีกด้านหนึ่ง มองเห็นทั้งความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิมและความสามารถในการตั้งรับและปรับตัว เป็นองค์ประกอบที่เชื่อมโยงภายในโครงสร้างทั้งหมดของความล่อแหลม<sup>140,146</sup> (รูปที่ 4.50C) ในมุมมองของการศึกษาวิจัยด้านภัยพิบัติ ความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม ถูกพิจารณาในแง่ผลลัพธ์ของความสามารถในการฟื้นกลับคืนสภาพเดิมจากความเสียหาย หรือความสามารถรับมือกับภัยพิบัติซึ่งผูกติดกับความล่อแหลม (รูปที่ 4.50D)<sup>147</sup> เมื่อเปรียบเทียบกับมุมมองของการศึกษาด้านการ

เปลี่ยนแปลงของโลก งานวิจัยด้านภัยพิบัติ มักผนวกความสามารถในการตั้งรับและปรับตัว รวมทั้งการลดผลกระทบ ภายในบริบทของความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม (รูปที่ 4.50E)<sup>148,149</sup> บนพื้นฐานกรอบแนวคิดของแบบจำลองความล่อแหลมเชิงสถานที่ (Hazard – of – place model of vulnerability) Cutter et al. (2008) ได้พิจารณาความล่อแหลมและความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม เป็นคุณสมบัติของระบบที่แยกแต่มีความเชื่อมโยงกันเสมอ (รูปที่ 4.50E)<sup>138</sup> ถึงแม้ว่า กรอบแนวคิดของความล่อแหลมและความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม ยังมีมุมมองที่หลากหลาย แต่อาจกล่าวในภาพรวมได้ว่า สองปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อนความล่อแหลมของระบบและเกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิม คือ ลักษณะและเงื่อนไขทางสังคมและความเสี่ยงในการสัมผัสกับภัยคุกคาม



รูปที่ 4.50 ความเชื่อมโยงเชิงกรอบแนวคิดระหว่างความล่อแหลม ความยืดหยุ่น/การฟื้นกลับคืนสภาพเดิมและความสามารถในการตั้งรับและปรับตัว

ที่มา: Susan et al., 2008.

#### 4.5.2 ความล่อแหลมทางชีวกายภาพและทางสังคม

ในบริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความล่อแหลม จำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ i) จำนวนหรือศักยภาพความเสียหายต่อระบบ ที่เกิดจากเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยคุกคามทางภูมิอากาศหรือภัยพิบัติทางด้านภูมิอากาศ<sup>77,108</sup> และ ii) สภาวะที่ปรากฏอยู่ในระบบก่อนที่จะสัมผัสกับภัยคุกคาม<sup>150</sup> ตามความหมายแรกเกิดจากแนวคิดพื้นฐานการประเมินภัยคุกคามและผลกระทบ ซึ่งไม่ได้รวมบทบาทของระบบมนุษย์ที่เป็นสื่อกลางช่วยส่งเสริมหรือบรรเทาผลลัพธ์ของเหตุการณ์ภัยคุกคาม โดยทั่วไป แนวคิดการประเมินภัยคุกคามและผลกระทบ เช่น การศึกษาวิจัยทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พิจารณาความล่อแหลมของระบบมนุษย์ที่ถูกกำหนดโดยลักษณะทางธรรมชาติของภัยคุกคามที่ระบบกำลังเผชิญ/สัมผัส โอกาสและความถี่ของการเกิดภัยคุกคาม ขอบเขตที่มนุษย์หรือระบบกำลังเผชิญ/สัมผัสกับภัยคุกคาม รวมทั้งความอ่อนไหวของระบบต่อผลกระทบที่เกิดขึ้น ในภาพรวมแล้ว เป็นหลักการที่สอดคล้องกับนิยามของ IPCC ที่ความล่อแหลม เป็นฟังก์ชันของภัยคุกคาม การเผชิญ/สัมผัสและความอ่อนไหว<sup>105</sup> ซึ่งอาจรวมเรียกว่า ความล่อแหลมทางกายภาพหรือทางชีวกายภาพ (Physical or biophysical vulnerability) โดยความล่อแหลมทางชีวกายภาพ หมายรวมถึง พฤติกรรมของปัจจัยคุกคามทางกายภาพ ผลกระทบทางกายภาพในระดับแรก (rst - order) และองค์ประกอบทางด้านชีวภาพและสังคมซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของระบบที่ได้รับผลกระทบ ที่เป็นสื่อกลางช่วยส่งเสริมหรือบรรเทาความเสียหายที่เกิดจากผลกระทบทางกายภาพในระดับแรก (rst - order)<sup>77,108</sup> ดังนั้น ความล่อแหลมทางชีวกายภาพ จะเกี่ยวข้องกับผลกระทบรวมของระบบที่เกิดจากภัยคุกคาม และถูกพิจารณาในแง่จำนวนความเสียหายของระบบที่เกิดจากการเผชิญและสัมผัสกับภัยคุกคาม Jones และ Boer (2003) ใช้ความเสียหายในรูปตัวเงินจำนวนผู้เสียชีวิต และความเสียหายทางเศรษฐกิจ เป็นดัชนีในการตรวจวัดความล่อแหลมทางชีวกายภาพ<sup>151</sup> โดยดัชนีดังกล่าว เป็นผลลัพธ์มากกว่าสภาวะที่ปรากฏอยู่ในระบบก่อนที่จะสัมผัสกับภัยคุกคาม ในทางกลับกัน ความล่อแหลมในความหมายของปัจจัยหรือตัวแปรที่อธิบายสภาวะภายในของระบบก่อนที่จะเผชิญ/สัมผัสกับภัยคุกคาม เกิดจากการศึกษาด้านปัจจัยทางโครงสร้างที่ทำให้มนุษย์และสังคม อ่อนไหวต่อความเสียหายจากภัยคุกคามภายนอก<sup>150</sup> ภายใต้แนวคิดนี้ ความล่อแหลม คือ สิ่งที่ปรากฏอยู่ภายในระบบและเป็นอิสระต่อภัยคุกคามภายนอก สำหรับระบบมนุษย์ ความล่อแหลมนี้ หมายถึง ลักษณะตามธรรมชาติที่เกิดจากคุณสมบัติภายในของระบบ ซึ่งอาจรวมเรียกว่า ความล่อแหลมโดยธรรมชาติหรือทางสังคม (Inherent or social vulnerability) โดยความล่อแหลมทางสังคมเป็นความล่อแหลมในเชิงตัวแปรและปัจจัยทางโครงสร้างของกระบวนการภายในของสังคมหรือระบบ ที่ส่งผลต่อระดับความอ่อนไหวและความสามารถในการปรับตัว<sup>77,105,108,150</sup> ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวและคงอยู่ในแต่ละระบบที่มีลักษณะหลากหลาย ความล่อแหลมทางสังคม ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับสถานภาพขององค์ประกอบด้านต่าง ๆ ของระบบที่กำลังเผชิญ/สัมผัสกับปัจจัยคุกคามทางภูมิอากาศ สำหรับระบบสังคมมนุษย์ ความล่อแหลมมักถูกกำหนดจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพเศรษฐกิจ ความยากจน ความไม่เสมอภาค สุขภาพและโอกาสการเข้าถึงแหล่งทรัพยากร ซึ่งผลลัพธ์ของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุกคามและความล่อแหลมทางสังคม มักปรากฏในรูปของความเสียหายทางเศรษฐกิจและทรัพย์สิน ชีวิตมนุษย์ รวมทั้งโรคภัยไข้เจ็บ<sup>108</sup> ดังนั้น ความล่อแหลมทางสังคม มีความหมายครอบคลุมถึงความอ่อนไหวของระบบ<sup>105</sup> ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดถึงความล่อแหลมทางชีวกายภาพ โดยมีส่วนสำคัญต่อระดับความเสียหายที่เกิดขึ้นจากปัจจัยคุกคาม ความสัมพันธ์ของความล่อแหลมทั้งสองส่วน สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Biophysical vulnerability} = f(\text{Hazard} \times \text{Social vulnerability})^{108}$$

ความสัมพันธ์ดังกล่าว มีประโยชน์ต่อการออกแบบและวิธีการประเมินความล่อแหลมและความสามารถในการตั้งรับและปรับตัว Biophysical vulnerability ในสมการนี้ หมายความว่ารวมถึง ผลลัพธ์ทั้งในแง่ของความเสียหายและความเสียหาย ภัยคุกคาม อาจอธิบายในรูปของความเสียหายและโอกาสการเกิดของเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง ซึ่งความเสียหายจากภัยคุกคามและความล่อแหลม อาจแทนด้วยดัชนี

### 4.5.3 ความล่อแหลมและความเสี่ยง

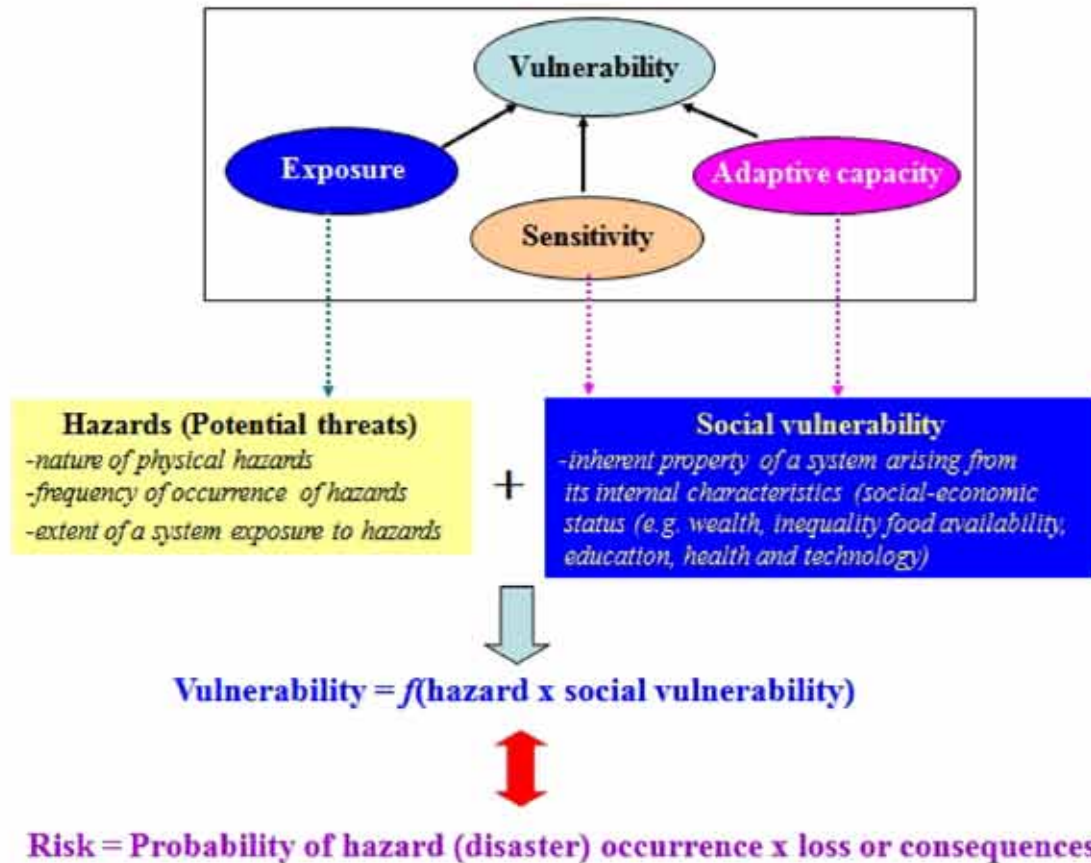
ความล่อแหลมทางชีวกายภาพ ตามนิยามของ IPCC<sup>105</sup> มีลักษณะคล้ายคลึงกับแนวคิดของความเสี่ยง (Risk) ที่ได้อธิบายในการศึกษาภัยพิบัติทางธรรมชาติ ซึ่งความหมายของความเสี่ยงที่ได้ถูกนิยามจากหลายแหล่ง (ตารางที่ 4.17) ส่วนใหญ่หมายถึงโอกาสทั้งในแง่ของ i) โอกาสของภัยคุกคามที่จะส่งผลให้เกิดภัยพิบัติหรือเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ หรือ ii) โอกาสการเกิด (Probability) ของภัยพิบัติและผลลัพธ์ของเหตุการณ์ดังกล่าว ความเสี่ยง ถูกนิยามในแง่ฟังก์ชันของภัยคุกคามและความล่อแหลมทางสังคม และโอกาสเกิดและผลที่ตามมา (Consequence) ดังแสดงได้ดังนี้

$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Social vulnerability} = \text{Probability of hazard occurrence} \times \text{consequences}$$

ความเสี่ยง อาจนิยามในรูปของผลลัพธ์ ซึ่งโอกาสการเกิดผลลัพธ์ดังกล่าว ขึ้นอยู่กับโอกาสการเกิดของภัยคุกคาม และความล่อแหลมทางสังคมของระบบที่เผชิญ/สัมผัสกับภัยคุกคาม ซึ่งเป็นตัวกำหนดผลที่ตามมาของภัยคุกคามนั้น ๆ ทั้งนี้ ความเสี่ยงของผลลัพธ์ (Outcome Risk) คือ ความเสี่ยงของผลลัพธ์ใดผลลัพธ์หนึ่งซึ่งบูรณาการทั้งลักษณะของระบบ และโอกาสการเกิดของเหตุการณ์ที่ส่งผลรวมกันต่อความสูญเสีย ความเสี่ยงของผลลัพธ์ เป็นฟังก์ชันของความเสี่ยงของเหตุการณ์และความล่อแหลมทางสังคมซึ่งมีความหมายเหมือนกับความเสี่ยงทางชีวกายภาพ อาจกล่าวได้ว่า ความล่อแหลมทางชีวกายภาพและความเสี่ยง มีปัจจัยที่กำหนด คือ ภัยคุกคามและความล่อแหลมทางสังคม ซึ่งความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงระหว่างความล่อแหลมทางชีวกายภาพและความเสี่ยง (รูปที่ 4.51 และ 4.52)

ตารางที่ 4.17 นิยามของความเสี่ยง

Author(s)	Risk definition
Smith, 1996 (p5)	Probability x loss (probability of a specific hazard occurrence) <i>Hazard = potential threat</i>
IPCC, 2001 (p21)	Function of probability and magnitude of different impacts
Morgan and Henrion, 1990 (p1)/Random House, 1966	"Risk involves an 'exposure to a chance injury or loss'"
Adams, 1995 (p8)	"a compound measure combining the probability and magnitude of an adverse affect"
Jones and Boer, 2003; (also Helm, 1996)	Probability x consequence <i>Hazard: an event with the potential to cause harm, e.g. tropical cyclones, droughts, floods, or conditions leading to an outbreak of disease-causing organisms.</i>
Downing et al., 2001	Expected losses (of lives, persons injured, property damaged, and economic activity disrupted) due to a particular hazard for a given area and reference period <i>Hazard: a threatening event, or the probability of occurrence of a potentially damaging phenomenon within a given time period and area.</i>
Downing et al., 2001	Probability of hazard occurrence <i>Hazard = potential threat to humans and their welfare</i>
Crichton, 1999	"Risk" is the probability of a loss, and depends on three elements, hazard, vulnerability and exposure."
Stenchion, 1997	"Risk might be defined simply as the probability of occurrence of an undesired event [but might] be better described as the probability of a hazard contributing to a potential disaster...importantly, it involves consideration of vulnerability to the hazard."
UNDHA, 1992	"Expected losses (of lives, persons injured, property damaged, and economic activity disrupted) due to a particular hazard for a given area and reference period. Based on mathematical calculations, risk is the product of hazard and vulnerability."



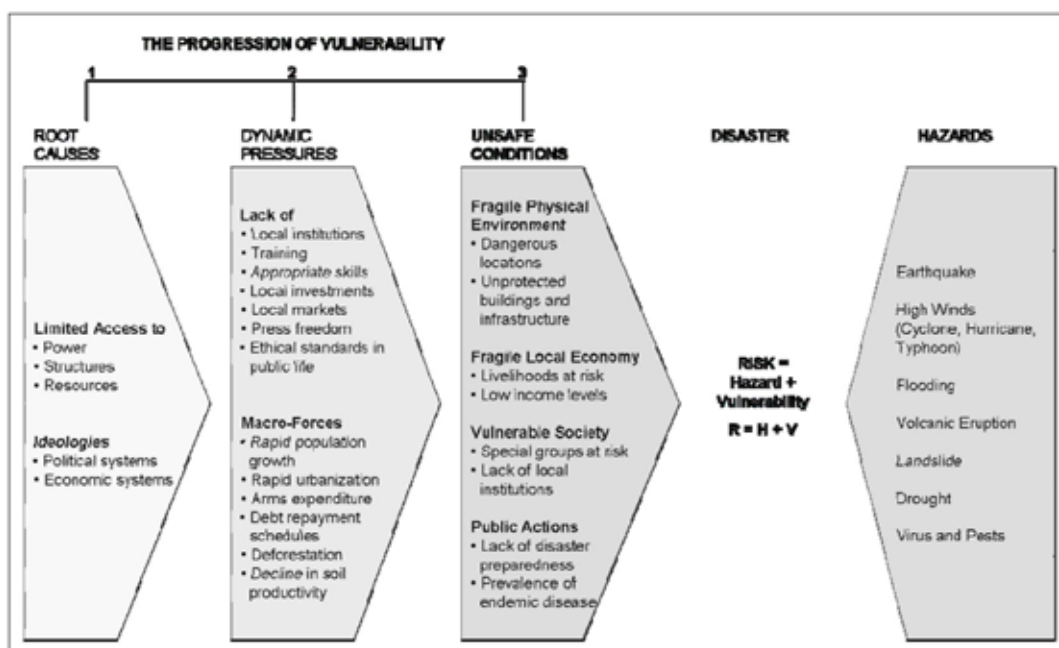
รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างความล่อแหลมทางชีวกายภาพและความเสี่ยง

<b>Hazard</b>	:	<b>potential threat to humans and their welfare</b>
<b>+ vulnerability</b>	:	<b>exposure and susceptibility to losses</b>
<b>= risk</b>	:	<b>probability of hazard occurrence</b>
<b>disaster</b>	:	<b>realisation of a risk</b>

รูปที่ 4.52 ความเชื่อมโยงระหว่างความล่อแหลมทางชีวกายภาพและความเสี่ยง

#### 4.5.4 เทคนิค/วิธีการวิเคราะห์ความล่อแหลม

การศึกษาความล่อแหลมในระยะแรก อาศัยโมเดลที่มุ่งเน้นการตอบสนองของมนุษย์ต่อภัยคุกคามมากกว่าสภาวะทางสังคมก่อนที่จะเกิดเหตุการณ์ ซึ่งถูกขับเคลื่อนเข้มแข็งโดยลักษณะทางกายภาพของเหตุการณ์ เช่น ระดับความรุนแรงและความถี่<sup>152,153</sup> ในระยะหลังของการศึกษาวิจัยด้านความล่อแหลม สภาวะสังคม ได้มีบทบาทสำคัญเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นลักษณะ 'multilayered' และ 'multidimensional' ในมิติของสังคมที่กำหนดความสามารถด้านการเมือง เศรษฐกิจและสถาบัน/องค์การของประชาชนในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง<sup>154</sup> การศึกษาของ **Watts และ Bohle (1993)** ในระยะแรก ได้ระบุว่า ความล่อแหลมทางสังคม เกี่ยวข้องกับ 3 กระบวนการ คือ 1) สิทธิ (Entitlement) 2) การให้อำนาจ (Empowerment) และ 3) เศรษฐกิจ-การเมือง (Political economy)<sup>155</sup> ในขณะเดียวกัน **Blaikie et al. (1994)** ได้เสนอ Pressure and Release (PAR) Model<sup>156</sup> (**รูปที่ 4.53**) กรอบแนวคิดโมเดล PAR แสดงถึงสภาวะที่ไม่ปลอดภัย (ความล่อแหลม) ที่เกิดจากพลวัตของแรงกดดัน (เช่น globalization การขยายของชุมชนเมือง) แทนที่เงื่อนไขก่อนเกิดเหตุการณ์ของระบบ (สาเหตุพื้นฐาน เช่น ข้อจำกัดในเข้าถึงทรัพยากร) รวมกับผลพวงของภัยคุกคามทางธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดศักยภาพต่อผลลัพธ์ของความเสียหาย ปัจจุบัน โมเดล PAR เป็นกรอบแนวคิดที่สำคัญในเรื่องการพัฒนาและการดำรงชีวิตของชุมชนอย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตาม กรอบแนวคิดนี้ มีข้อเสียในแง่ที่ไม่ได้พิจารณาศักยภาพความเชื่อมโยงภายในและ Feedback ระหว่างองค์ประกอบด้านต่าง ๆ รวมทั้งประเด็นความแปรปรวนเชิงภูมิศาสตร์และสเกล

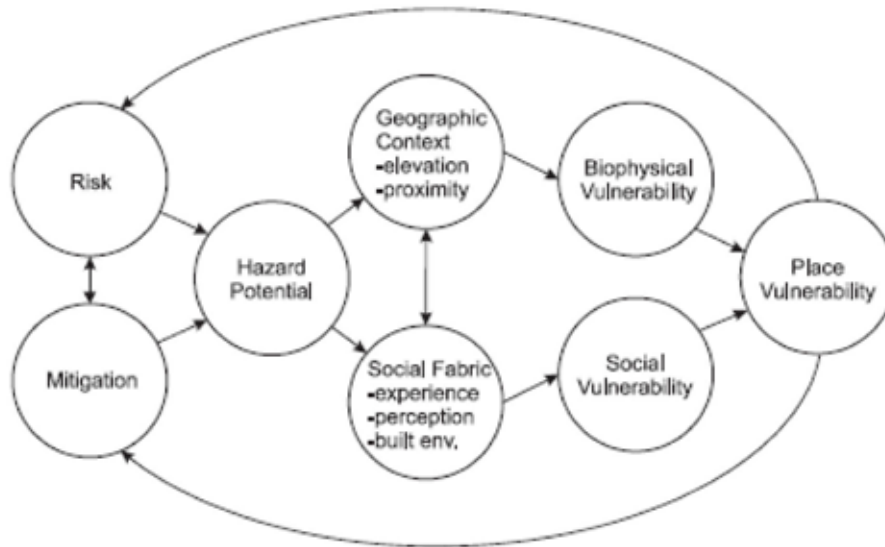


Adapted from Blaikie et al. (1994: 23).

**รูปที่ 4.53** Pressure and Release Model โดย Blaikie et al. (1994)

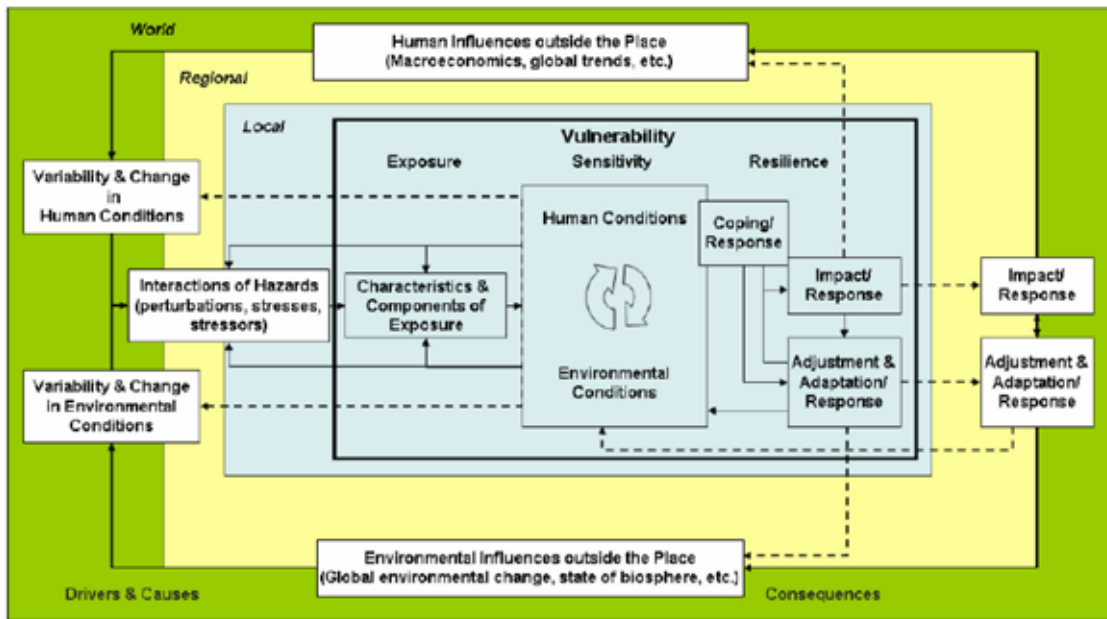


Cutter (1996) และ Cutter et al. (2003) ได้แนะนำแบบจำลองเชิงมโนภาพของความเสี่ยงต่อภัยพิบัติ (Hazard – of – place model of vulnerability) (รูปที่ 4.54) ภายใต้กรอบแนวคิดนี้ ความเสี่ยงรวมของพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง เกิดจากผลรวมของความเสี่ยงทางชีวภาพและความเสี่ยงทางสังคม ที่เป็นผลลัพธ์เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงและแนวทาง/วิธีการลดความเสี่ยงในรูป Hazard potential ซึ่งถูกส่งผ่านและปรับแต่งระดับความรุนแรงด้วยปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่และบริบทของสังคมในพื้นที่นั้น

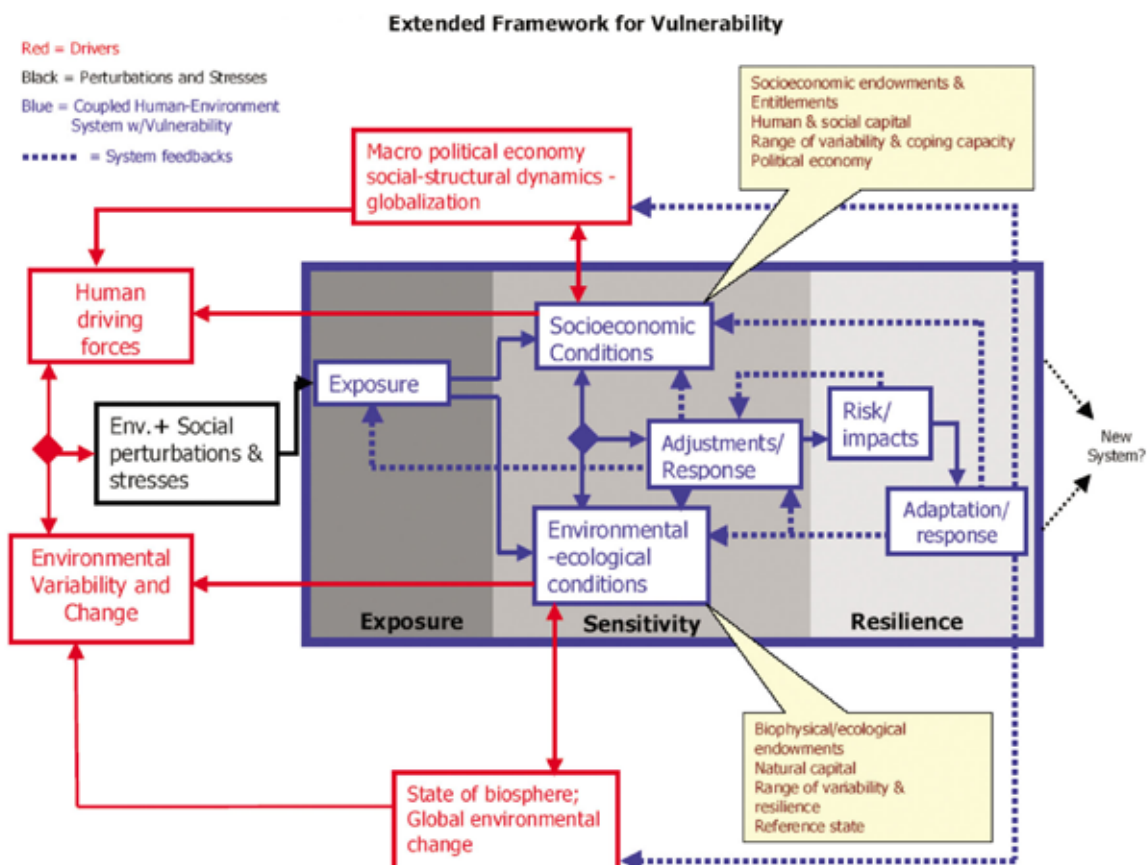


รูปที่ 4.54 The Hazards - of - Place model of vulnerability

Turner et al. (2003) ได้พัฒนาโมเดลบนพื้นฐานของ PAR และ Hazard – of – place model (รูปที่ 4.55)<sup>157</sup> กรอบแนวคิดนี้ เน้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ณ สเกลที่โยงใยกัน ซึ่งความเสี่ยงข้ามสเกลดังกล่าว เป็นสิ่งที่นักวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสนใจเป็นพิเศษ มหาวิทยาลัย Clark, Stockholm Environmental Institute และมหาวิทยาลัย Stanford ได้พัฒนากลอบแนวคิดการศึกษาความเสี่ยงเพิ่มเติม ซึ่งเป็นกรอบแนวคิดมุ่งเน้นการศึกษาความเสี่ยงของระบบสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ ที่มีปฏิสัมพันธ์กับปัจจัยคุกคามหลายตัวแปรทั้งที่เกิดขึ้นในและนอกระบบ<sup>158</sup> กรอบแนวคิดนี้ ยังได้แสดงลักษณะพลวัตของระบบ การเชื่อมโยงของปัจจัยภายนอกและภายใน รวมถึง Feedback (รูปที่ 4.56) โดยกรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นนี้ได้มีการประยุกต์ใช้ในการศึกษาความเสี่ยงของเมืองขนาดใหญ่ (Mega city) ของโลกที่เกิดจากปัจจัยคุกคามทางภูมิอากาศ<sup>158</sup>



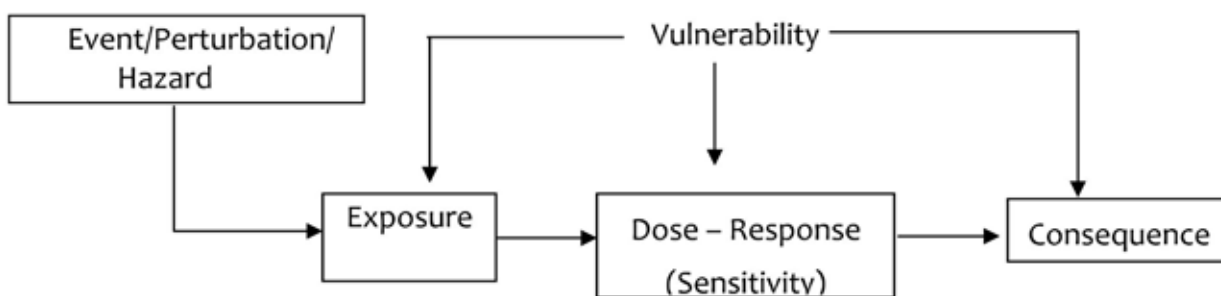
รูปที่ 4.55 Vulnerability framework of nested scales and coupled system by Turner et al. (2003)



รูปที่ 4.56 องค์ประกอบพื้นฐาน พลวัตของระบบ การเชื่อมโยงกับปัจจัยภายในและภายนอก รวมทั้ง feedbacks ของกรอบแนวคิดการศึกษาความล่อแหลมที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น

UNFCCC (2004) และ (2008) ได้สรุปเทคนิคและวิธีการหลักในการประเมินผลกระทบและความล่อแหลมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งประกอบด้วย 2 วิธี คือ 1) Top – down หรือ Impact - based approach และ 2) Bottom – up หรือ Vulnerability – based approach<sup>159,160</sup> Top - down approach เป็นวิธีการประเมินที่ใช้ Scenario จากแบบจำลองภูมิอากาศ (General Circulation Model; GCM) ซึ่งย่อยส่วนจากระดับภูมิภาคลงสู่ระดับประเทศและระดับพื้นที่ขนาดเล็ก ทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภายใต้ Scenario ที่แตกต่างกันในอนาคต<sup>159,160</sup> ภาพฉาย (Projection) ที่ได้จากแบบจำลอง มักจะนำมาประกอบกับการวิเคราะห์ด้านชีวภาพและ Socio - economic scenario เพื่อประเมินผลกระทบในภาคส่วนใดภาคส่วนหนึ่งเป็นการเฉพาะ โดยทั่วไป ความแตกต่างเชิงพื้นที่และเวลาและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง มักถูกเฉลี่ยและทำให้เรียบ ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น ระดับผลกระทบ (Threshold effect) และค่าเสียหายระดับท้องถิ่น ไม่สามารถจำแนกได้ โดยสรุป Top - down approach ใช้ลักษณะทางชีวภาพของผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและข้อมูลสรุปด้านเศรษฐกิจ - สังคม ซึ่งมีข้อดีในแง่การกำหนดกรอบประเด็นและปัญหา แต่ไม่สามารถอธิบายปฏิสัมพันธ์ของมนุษย์และความสามารถของท้องถิ่นในการปรับตัวได้ ในขณะที่ Bottom - up approach ถูกพัฒนาในสาขาภัยพิบัติทางธรรมชาติ การวิเคราะห์ความยากจน ความมั่นคงทางด้านอาหารและการดำรงชีวิตของประชาชนอย่างยั่งยืน ซึ่งมุ่งเน้นในระดับชุมชนและท้องถิ่น รวมทั้งผลกระทบในระยะสั้น ทั้งนี้ แนวคิดดังกล่าว สามารถดำเนินการ โดยไม่ต้องอาศัยรายละเอียดข้อมูลเกี่ยวกับภูมิอากาศมีความแปรปรวนเชิงเวลาอย่างไร ซึ่งไม่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ที่ต้องคาดการณ์ด้วยแบบจำลองภูมิอากาศ แต่ใช้ข้อมูลเศรษฐกิจและสังคม รวมทั้งกระบวนการมีส่วนร่วม (Participatory approach) วิเคราะห์ถึงปัจจัยของระบบสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ ซึ่งรวมถึงพลวัตด้านเศรษฐกิจ สังคม องค์กร กฎระเบียบ นโยบายและประเพณี เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงการเผชิญ/สัมผัสกับภัยคุกคาม ความล่อแหลมและทางเลือกของชุมชน กลยุทธ์และความสามารถในการปรับตัว<sup>159,160</sup> อย่างเช่น ข้อมูลเศรษฐกิจ - สังคม ที่ถูกนำไปวิเคราะห์การจัดการความเสี่ยงของภัยพิบัติ (Disaster Risk Management; DRM) ในการศึกษาภัยคุกคามจากภูมิอากาศ สามารถเป็นข้อมูลนำเข้าที่มีคุณค่าในการประเมินความล่อแหลม National Adaptation Programmes of Action (NAPA) ภายใต้อนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้นำ Vulnerability - based approach มาจำแนกและวิเคราะห์ ความจำเป็นและลำดับความสำคัญเร่งด่วนด้านการปรับตัวของประเทศด้อยพัฒนา<sup>159,160</sup> โดยข้อมูลระดับชุมชน เป็นแหล่งสำคัญในการนำเข้า เนื่องจากระดับรากหญ้า คือ ผู้มีส่วนได้ส่วนหลัก

นอกจากนี้ Bottom - up approach ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ศึกษาในหลายภูมิภาคของโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้โครงการ Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change (AIACC)<sup>161</sup> ผลการศึกษาดังกล่าว นับเป็นส่วนสำคัญในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ด้านความล่อแหลมและความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งได้ถูกนำมาสังเคราะห์และรวบรวมในรายงานการประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ครั้งที่ 4 ของ IPCC<sup>105</sup> และเป็นส่วนสำคัญใน National Communication<sup>160</sup> โดยกรอบแนวคิดพื้นฐานของ Vulnerability-led approach ที่ใช้ในการศึกษาความล่อแหลมจากปัจจัยคุกคามทางภูมิอากาศ (รูปที่ 4.57)

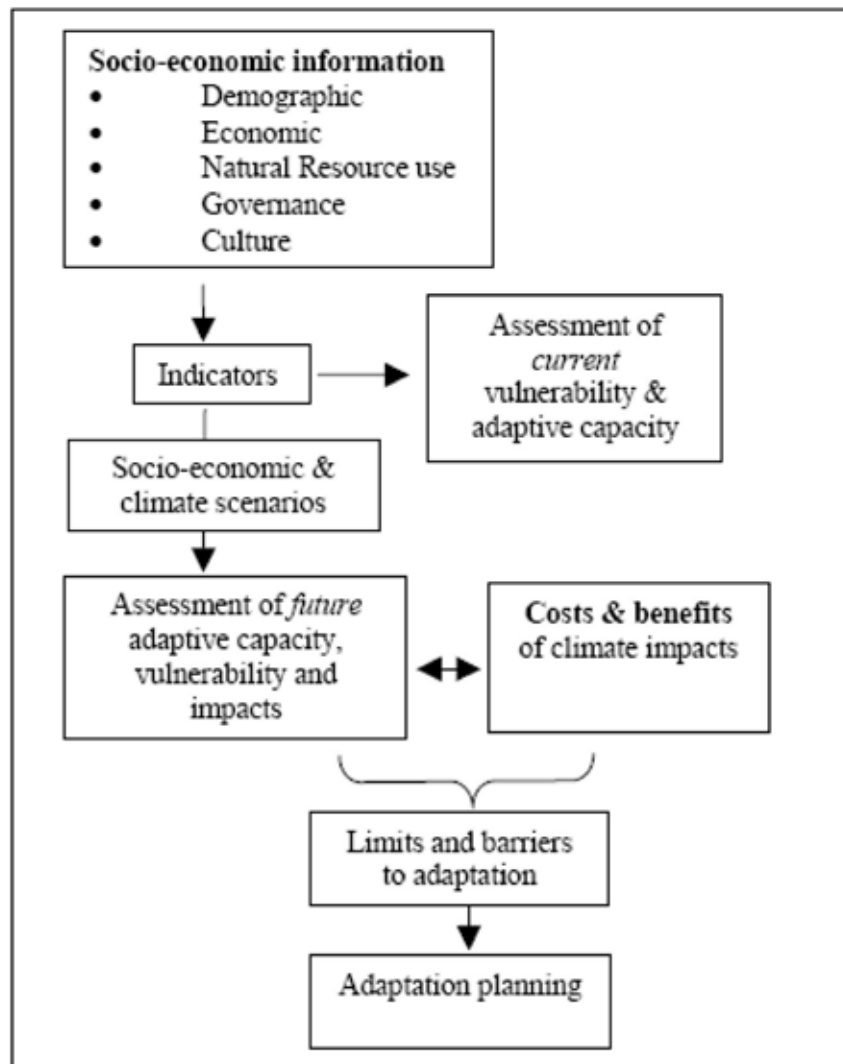


รูปที่ 4.57 องค์ประกอบพื้นฐานของ Vulnerability - led approach (Risk-Hazard) Framework

ความรุนแรงของผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ไม่เพียงขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรรมชาติของภัยคุกคามทางภูมิอากาศและความยืดหยุ่นของระบบนิเวศน์ทางธรรมชาติเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น ระดับการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคม ความไม่เท่าเทียมกันทางสังคม ความสามารถของมนุษย์ในการปรับตัว สุขภาพและการบริการทางสุขภาพ ลักษณะทางภูมิศาสตร์ ทางเลือกด้านเศรษฐกิจสำหรับการดำรงชีวิตของประชาชน และปัจจัยอื่น ๆ อีกด้วย

ดังนั้น ข้อมูลเศรษฐกิจ - สังคม เป็นส่วนสำคัญในการประเมินผลกระทบและความล่อแหลมจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมทั้งการวางแผนทางด้านการปรับตัว (รูปที่ 4.58) แสดงชนิดและประเภทข้อมูลหลักด้านเศรษฐกิจ - สังคมที่ใช้ในการประเมินผลกระทบ ความล่อแหลมและการปรับตัว ข้อมูลด้านเศรษฐกิจและสังคม ส่วนใหญ่ถูกนำมาประเมินผลกระทบและความล่อแหลม โดยการพัฒนาและจัดทำดัชนี (Indicator) เพื่ออธิบายสภาพทางเศรษฐกิจ - สังคม ในกรณีการประเมินผลกระทบ และแสดงถึงปัจจัยขับเคลื่อน (Driver) และตัวกำหนดความล่อแหลม ตลอดจนความสามารถในการปรับตัว Downing et al. (2001) กล่าวว่า ดัชนีความ

ล่อแหลม สามารถช่วยจำแนกและวิเคราะห์พื้นที่ที่ความล่อแหลม ภาคส่วนหรือกลุ่มประชาชน การปลูกจิตสำนึก ตลอดจนเป็นส่วนหนึ่งของกลยุทธ์การติดตามตรวจสอบ<sup>162</sup> โดยทั่วไป ดัชนีความล่อแหลม ประกอบด้วย ดัชนีความล่อแหลมทั่วไป (Generic vulnerability indicator) และดัชนีความล่อแหลมเฉพาะเจาะจง (Specific vulnerability indicator)



**รูปที่ 4.58** ชนิดและประเภทข้อมูลด้านเศรษฐกิจ - สังคมหลักที่ใช้ในการประเมินผลกระทบ ความล่อแหลมและการปรับตัว

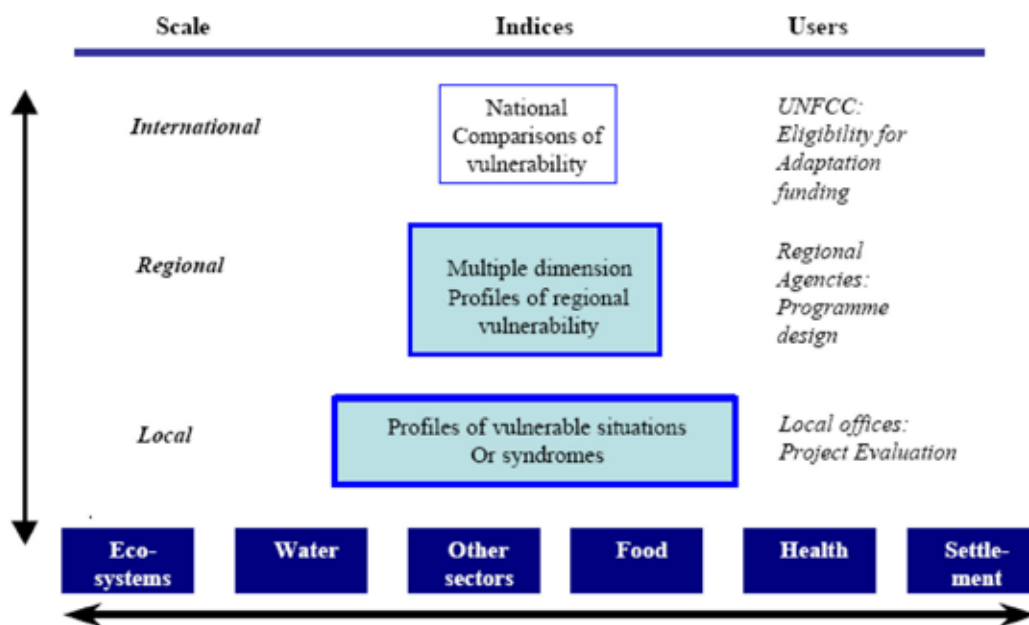
#### 4.5.5 ดัชนีความล่อแหลม

ดัชนี (Index) คือ เครื่องมือเชิงปริมาณที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อแสดงลักษณะหรือปัจจัยของระบบที่สนใจ ซึ่งอาจประกอบด้วยตัวแปรเพียงตัวแปรเดียวหรือหลายตัวแปรรวมกัน ดัชนีหลายตัวแปร ถูกนำมารวมกันในลักษณะดัชนีรวมหรือ Indices เพื่อสกัดความซับซ้อนของระบบให้เป็นเมตริกซ์เชิงเดียวซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเปรียบเทียบและประเมินสภาพทางสังคม ที่ก่อให้เกิดความล่อแหลมต่อภัยธรรมชาติ ตลอดจนการติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง การจำแนกและจัดลำดับความสำคัญของปัญหา<sup>162,163,164</sup> ดัชนี อาจวัดตัวแปรที่สนใจโดยตรงหรือตัวแปรอื่นที่เป็นตัวแทนของตัวแปรที่สนใจ<sup>165,166</sup> ซึ่งบ่อยครั้งถูกปรับแก้เพื่อวัตถุประสงค์ทางสถิติและการเปรียบเทียบ และมักถูกเปลี่ยนอยู่ในรูปของอัตราร้อยละ และในรูปอื่น ๆ<sup>166</sup>

ดังนั้น ข้อแตกต่างระหว่างดัชนีและตัวแปร คือ ตัวแปร ไม่มีการปรับแก้ลักษณะที่สังเกตได้ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกัน ดัชนี ถูกนำมาใช้ตั้งแต่ทศวรรษ 1960 เพื่อทดสอบความไม่เท่าเทียมกันของสุขภาพและสังคมภายในเมือง ในทศวรรษที่ 1970s ดัชนี ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการติดตามตรวจสอบความก้าวหน้าเพื่อบรรลุผลการลดมลพิษในชุมชนเมือง ในขณะที่หลังทศวรรษ 1990 งานวิจัย มุ่งเน้นดัชนีความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงของโลกและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ<sup>163</sup> Indices ความล่อแหลมทางสังคมในปัจจุบัน มีลักษณะแตกต่างกันในแง่ของการคัดเลือกดัชนี สถิติที่ใช้ การผนวกสเกลและเวลา<sup>167</sup>

การศึกษาที่ผ่านมา ใช้ทั้งดัชนีเพียงดัชนีเดียว เช่น เพศ รายได้ และดัชนีที่มีหลายมิติ เช่น การขยายชุมชนเมือง ความยากจน เป็นต้น รูปที่ 4.59 แสดงผู้ใช้และการใช้ดัชนีเชิงปริมาณของความล่อแหลมที่หลากหลาย ในระดับท้องถิ่น ดัชนีภาคส่วน (Sectoral index) สามารถเป็นเครื่องมือในการออกแบบและกำหนดโครงการ ระดับภูมิภาค ดัชนีความล่อแหลม สามารถช่วยวางแผนยุทธศาสตร์การปรับตัว ออกแบบโครงการเพื่อติดตามตรวจสอบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และส่งเสริมความสามารถในการปรับตัว ส่วนระดับโลก ดัชนีถูกใช้บ่อยครั้งในการเปรียบเทียบระหว่างประเทศ<sup>162</sup> Gall (2007) ได้สรุปมิติที่สนับสนุนความล่อแหลมทางสังคมต่อภัยคุกคามทางธรรมชาติและ ความไม่เสมอภาคด้านสุขภาพ (ตารางที่ 4.18) ดัชนีเพื่อจัดทำ Indices ถูกคัดเลือกบนพื้นฐานของกรอบทฤษฎีและความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชัน หรือทั้งสองอย่างรวมกัน<sup>168</sup> เช่น Vincent (2004) จัดทำดัชนีความล่อแหลมทางสังคมต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยคัดเลือกจากเอกสารวิจัยที่ผ่านมาและเพิ่มเติมบางดัชนี เช่น ความแข็งแรงของโครงสร้างของสาธารณ การทุจริต ตัวอย่างที่ตรงกันข้าม คือ ดัชนีความเสี่ยงจากภัยพิบัติที่พัฒนาโดย UNDP (2004) ซึ่งพัฒนาจากความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยดัชนี ถูกคัดเลือกจากสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ตัวอย่างที่สามซึ่งเป็นแนวทางผสมผสาน ได้แก่ ดัชนีความล่อแหลมทางสังคมที่ถูกพัฒนาโดย Cutter et al. (2003)<sup>104</sup> ดัชนีเริ่มต้น จำนวน 250 ดัชนี ถูกรวบรวมจากเอกสารวิจัยที่ผ่านมา แต่เพียง 42 ดัชนี ถูกคัดเลือกหลังจาก Normalizing และทดสอบ Multi-collinearity การศึกษาส่วนใหญ่ ใช้ข้อมูลผู้เสียชีวิตจากภัยคุกคามซึ่งเป็นผลรวมของความล่อแหลมทาง ชีวกายภาพ และทางสังคม ในการสอบเทียบดัชนีความล่อแหลมทางสังคม เช่น Adger et al. (2004) อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างผู้เสียชีวิตจากภัยคุกคามและดัชนีเศรษฐกิจ-สังคม เป็นวิธีคัดเลือกดัชนีเบื้องต้น หลักการชี้แนะในการคัดเลือกดัชนี ควรพิจารณาอย่างน้อย 3 เงื่อนไข คือ 1) รวบรวม เชิงปริมาณและง่ายตรงประเด็น 2) แสดงถึงปรากฏการณ์ที่สนใจ และ 3) สามารถสื่อสารได้ตรงประเด็น

ถูกพัฒนาโดย Cutter et al. (2003)<sup>104</sup> ดัชนีเริ่มต้น จำนวน 250 ดัชนี ถูกรวบรวมจากเอกสารวิจัยที่ผ่านมา แต่เพียง 42 ดัชนี ถูกคัดเลือกหลังจาก Normalizing และทดสอบ Multicollinearity การศึกษาส่วนใหญ่ ใช้ข้อมูลผู้เสียชีวิตจากภัยคุกคามซึ่งเป็นผลรวมของความล่อแหลมทางชีวภาพและทางสังคม ในการสอบเทียบดัชนีความล่อแหลมทางสังคม เช่น Adger et al. (2004) อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างผู้เสียชีวิตจากภัยคุกคามและดัชนีเศรษฐกิจ-สังคม เป็นวิธีคัดเลือกดัชนีเบื้องต้น หลักการชี้แนะในการคัดเลือกดัชนี ควรพิจารณาอย่างน้อย 3 เงื่อนไข คือ 1) รวบรวมเชิงปริมาณและง่ายตรงประเด็น 2) แสดงถึงปรากฏการณ์ที่สนใจ และ 3) สามารถสื่อสารได้ตรงประเด็น



รูปที่ 4.59 ลำดับชั้นของความล่อแหลมและดัชนีความล่อแหลม

**ตารางที่ 4.18** มิติที่สนับสนุนความล่อแหลมทางสังคมต่อภัยคุกคามทางธรรมชาติ และความไม่เสมอภาคด้านสุขภาพ

<i>Social Vulnerability Dimensions</i>	<i>Health Disparities</i>
Income <sup>1, 2, 3, 7</sup>	Income <sup>10, 11, 12, 13, 14</sup>
Gender <sup>1, 5</sup>	Gender <sup>10, 15, 19, 20</sup>
Race, ethnicity <sup>1, 6, 8</sup>	Race, ethnicity <sup>10, 16, 17, 18</sup>
Age <sup>1, 7</sup>	Age <sup>10, 19, 20</sup>
Unemployment, dependence on social services <sup>1, 2, 4</sup>	Unemployment, dependence on social services <sup>10, 14, 21, 22</sup>
Residential property – renters, housing conditions <sup>1, 4, 7</sup>	Housing conditions <sup>10, 14</sup>
Infrastructure (e.g. medical services), lifelines <sup>1, 2, 4, 27</sup>	Infrastructure (mainly access to medical care) <sup>10, 14, 22</sup>
Occupation/working conditions <sup>1, 4</sup>	Working conditions <sup>10, 22</sup>
Family structure, social networks <sup>1, 4</sup>	Social networks <sup>3, 13, 22</sup>
Education <sup>1, 2, 4</sup>	Education <sup>10, 14, 23</sup>
Culture <sup>1</sup>	Culture <sup>10, 23</sup>
Place (incl. rural/urban dichotomy) <sup>1, 2, 7</sup>	Place <sup>10, 13, 24, 25, 28</sup>
Population growth <sup>1, 2, 4, 7, 9</sup>	
Special needs populations (e.g. marginalized, disabled) <sup>1, 2, 9</sup>	
Commercial and industrial development <sup>1, 4</sup>	
Built environment <sup>1</sup>	
Institutions and governance (social capital) <sup>2, 9</sup>	
	Physical environment <sup>10, 14</sup>
	Genetic endowment <sup>10, 14, 26</sup>
	Psychological environment <sup>10, 22</sup>
	Risk behavior, personal health practices <sup>10, 22</sup>

<sup>1</sup>Cutter et al. (2003), <sup>2</sup>Adger et al. (2004), <sup>3</sup>Burton et al. (1993), <sup>4</sup>Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2000), <sup>5</sup>Fothergill (1996), <sup>6</sup>Pulido (2000), <sup>7</sup>Cutter et al. (2000), <sup>8</sup>Fothergill et al. (1999), <sup>9</sup>Blaikie et al. (1994), <sup>10</sup>Federal/Provincial and Territorial Advisory Committee on Population Health (1999), <sup>11</sup>Eschenroeder and Norris (2003/2004), <sup>12</sup>Kaplan et al. (1996), <sup>13</sup>Kawachi and Kennedy (1997), <sup>14</sup>Millar and Hull (Millar and Hull 1997), <sup>15</sup>Cameron and Bernardes (1998), <sup>16</sup>Marmot et al. (1991), <sup>17</sup>Murray et al. (1998), <sup>18</sup>Shaw et al. (1999), <sup>19</sup>Newbold (2002), <sup>20</sup>Weeks (2004), <sup>21</sup>Bartley et al. (1999), <sup>22</sup>Wilkinson and Marmot (1998), <sup>23</sup>Caldwell (1990), <sup>24</sup>Brunner and Marmot (1999), <sup>25</sup>Curtis and Jones (1998), <sup>26</sup>Brunner (2000), <sup>27</sup>Platt (1991), <sup>28</sup>Montgomery et al. (2003).



#### 4.5.6 โครงสร้างและองค์ประกอบของดัชนีความล่อแหลมบางดัชนี

Gall (2007) ได้ทดสอบและเปรียบเทียบ 7 ดัชนีความล่อแหลมซึ่งแต่ละดัชนี ใช้ประเมินและติดตามตรวจสอบความล่อแหลมในระดับโลกและภูมิภาค<sup>164</sup> โดย 4 ดัชนี เป็นดัชนีความล่อแหลมทางสังคม (Prevalent Vulnerability Index; PVI, Social Vulnerability to Climate Change for Africa; SVA, Disaster Risk Index; DRI, Predictive Indicators of Vulnerability; PIV) ในขณะที่ อีก 3 ดัชนี ใช้ประเมินคุณภาพชีวิตและการพัฒนาที่ยั่งยืน (Human Development Index; HDI, Human Well-being Index; HWI และ Environmental Sustainability Index; ESI) (ตารางที่ 4.19) ทุกดัชนี สามารถแสดงและอธิบายสภาพสังคม - เศรษฐกิจเชิงปริมาณ ซึ่งบ่งบอกถึงศักยภาพของสังคมที่ประสบภัยอันตรายจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ

**ตารางที่ 4.19** ดัชนีความล่อแหลมที่ใช้ประเมินและติดตามตรวจสอบความล่อแหลมในระดับโลกและภูมิภาค

<i>Index</i>	<i>Author &amp; Data Source</i>	<i>Concept</i>	<i>Sub-indices #</i>	<i>Variables #</i>	<i>Vulnerability Ranking</i>	<i>Input Data Sources</i>
HDI	UNDP (1990; 2005)	Quality of life	1	4	Low to high vulnerability	UN data
HWI	Prescott-Allen (2001)	Quality of life	5	33	Low to high vulnerability	Mostly UN data
ESI*	Esty et al. (2005)	Sustainable Development	21 (7*)	76 (31*)	Low to high vulnerability	Mostly World Bank, UN data, etc.
PVI	IADB (2005)	Social Vulnerability	3	24	High to low vulnerability	UN data, national census data
SVA	Vincent (2004)	Social Vulnerability	4	8	High to low vulnerability	World Bank, UN data
DRI*	UNDP (2004)	Social Vulnerability	3 (4)	10 (6*)	High to low vulnerability	UN data, EM-DAT
PIV	Adger et al. (2004)	Social Vulnerability	none	46	High to low vulnerability	EM-DAT, HDI, UNEP/GRID, Freedom House Index, and more

\*For comparative purposes, biophysical elements have been eliminated from the original index design to ensure analysis of socioeconomic characteristics only. The reduced number of indicators and/or sub-indices is provided in parenthesis.

HDI = Human Development Index

HWI = Human Wellbeing Index

ESI\* = Human Vulnerability Component of the 2005 Environmental Sustainability Index

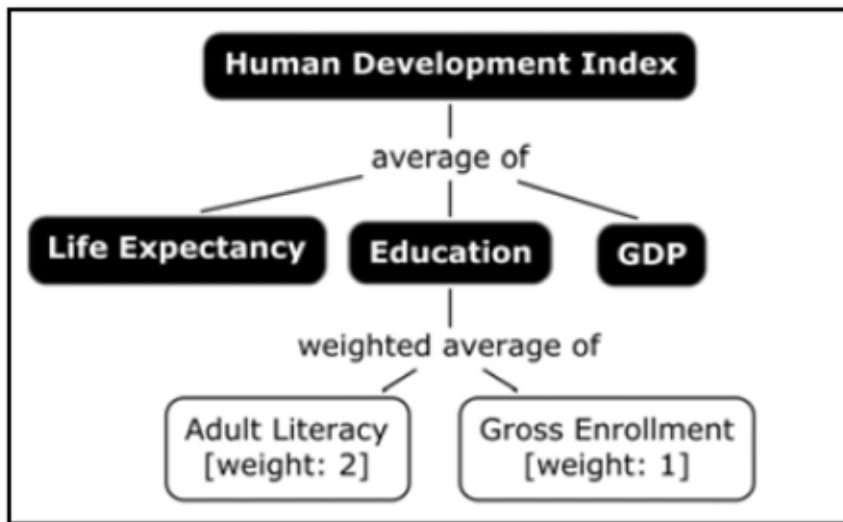
PVI = Prevalent Vulnerability Index

SVA = Index of Social Vulnerability to Climate Change for Africa

DRI = Disaster Risk Index

PIV = Predictive Indicator of Vulnerability

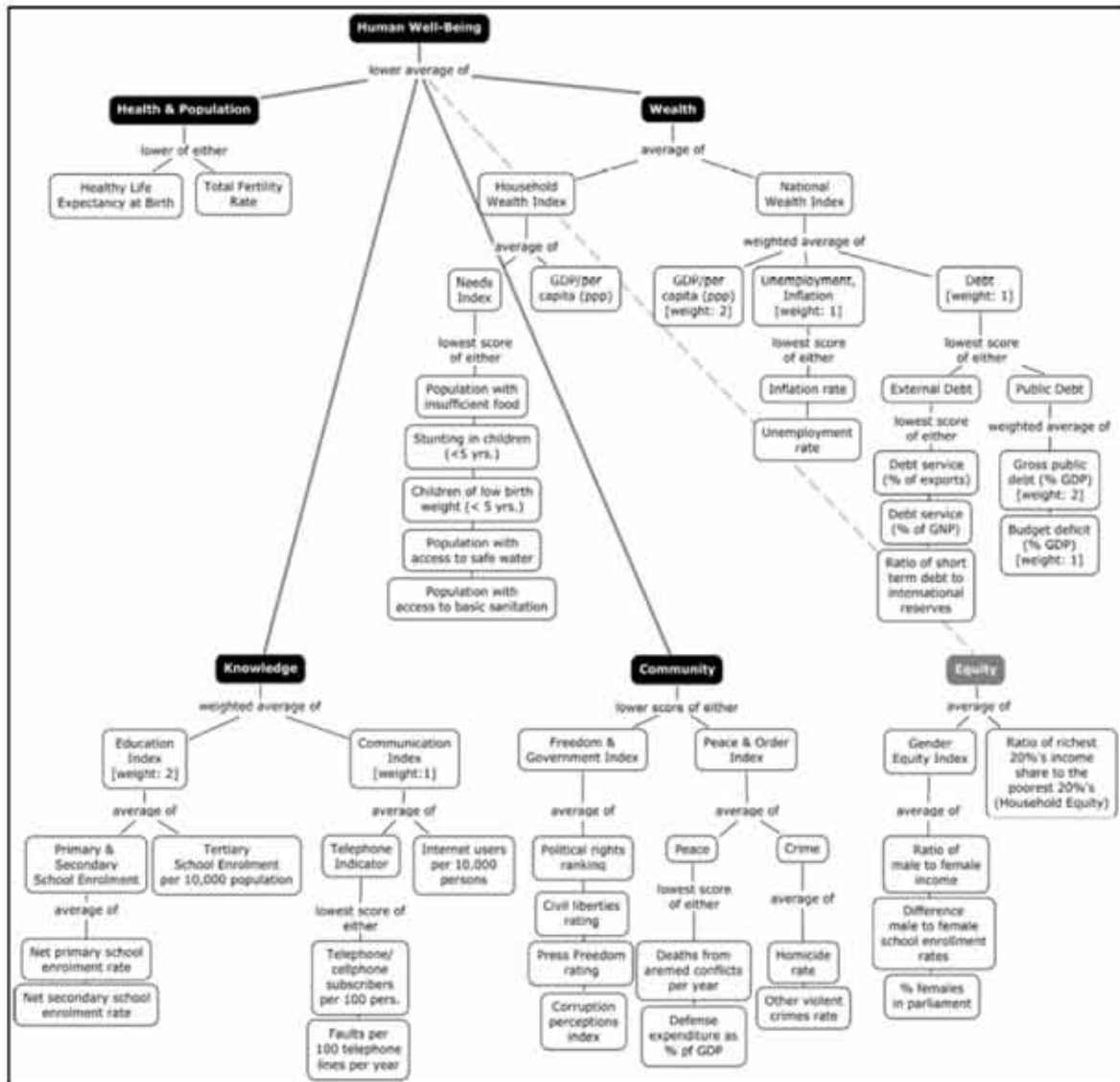
Human Development Index (HDI) เป็นดัชนีแรก ๆ ที่พยายามอธิบายมิติทางสังคมเชิงปริมาณ<sup>169</sup> ซึ่ง HDI พิจารณามิติพื้นฐาน 3 ด้าน คือ longevity, education และ economic productivity เพื่อให้ครอบคลุมทั้ง 3 ด้านดังกล่าว HDI ประกอบด้วย 4 ดัชนี คือ life expectancy at birth, adult literacy rate, combined gross enrolment for primary, secondary and tertiary education และGDP per capita (รูปที่ 4.60) เป้าหมายของ HDI เพื่อใช้เปรียบเทียบและติดตามตรวจสอบสถานะการพัฒนามาของแต่ละประเทศ ทุกดัชนีของ HDI ถูก standardize ด้วยวิธี min-max normalization เทคนิคนี้ ช่วยให้ดัชนีสามารถแสดงในรูปของระยะห่างจากจุด 'goalpost หรือ point of reference' ซึ่งเป็นการวัดระยะทางที่ห่างจากเป้าหมายที่คาดหวัง UNDP ได้ปรับปรุงและจัดทำ HDI ทุกปี ในปัจจุบัน HDI ได้กลายเป็นดัชนีพื้นฐานที่ถูกผนวกเข้ากับดัชนีอื่น ๆ



**รูปที่ 4.60** โครงสร้างของ Human Development Index โดยดัชนี แสดงด้วยกล่องสีขาว ในขณะที่ Sub-indices และ HDI แสดงด้วยกล่องสีดำ

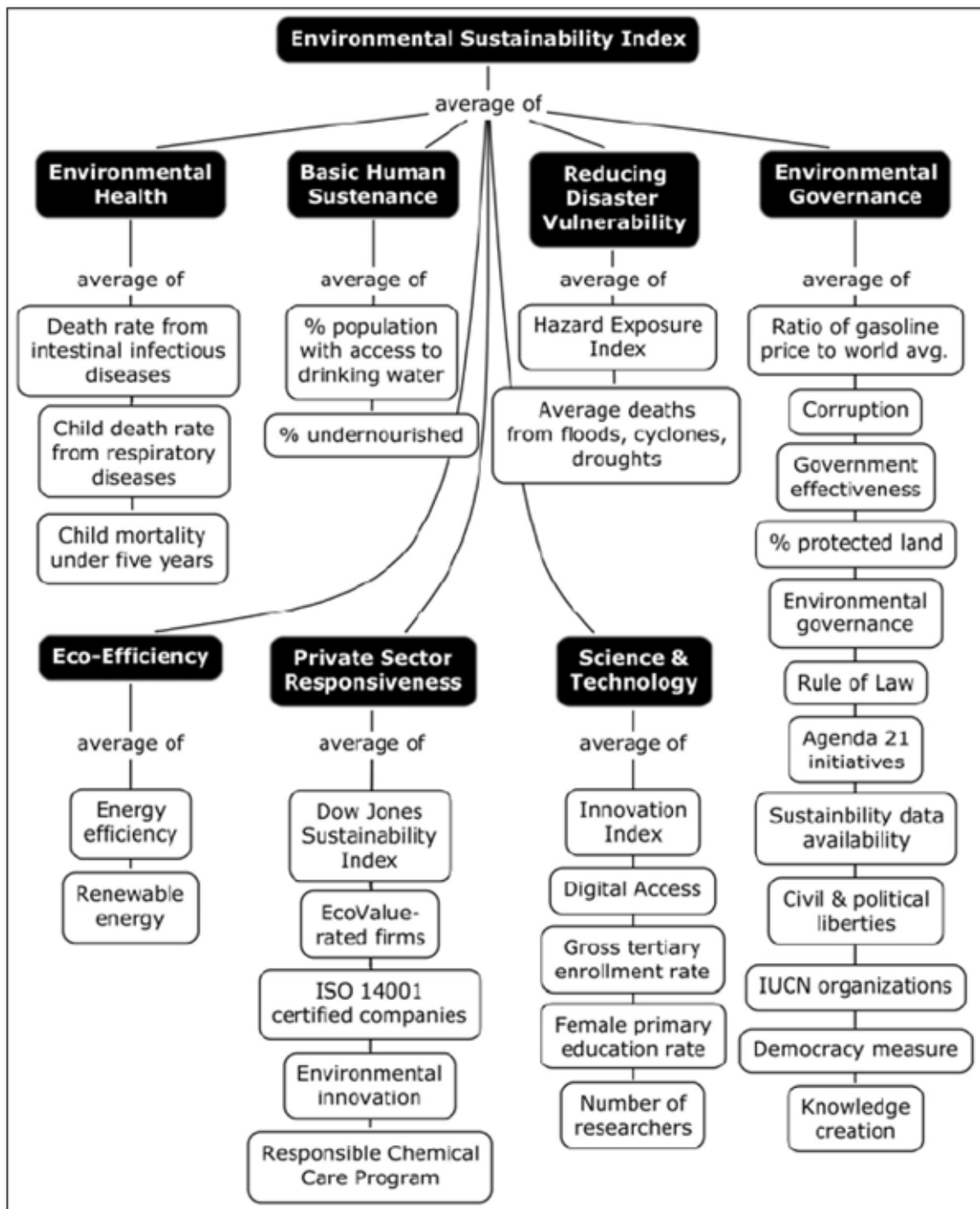
Human Well - being Index (HWI) มีลักษณะคล้ายกับ HDI แต่มีขอบเขตทางด้านสังคมที่กว้างกว่าและได้นำสถานะทางด้านสิ่งแวดล้อมรวมเป็นส่วนหนึ่งด้วย<sup>164</sup> HWI ประกอบด้วย 33 ดัชนี ซึ่งรวมเป็นกลุ่มย่อย 5 กลุ่ม (Health, Population, Wealth, Knowledge, Community และ Equity) (รูปที่ 4.61) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับกลุ่มย่อยของดัชนี HWI มีวิธีการรวบรวมและคำนวณ 2 ถึง 5 ลำดับชั้น โดยภาพรวมแล้ว วิธีการคัดเลือกดัชนีสำหรับ HWI ขึ้นอยู่กับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเป็นหลัก ดังนั้น การแปลค่าตัวเลขสู่คะแนนเชิงคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระบวนการคำนวณและรวบรวมดัชนีในแต่ละลำดับชั้น ยังเป็นแหล่งกำเนิดของความไม่แน่นอน ถึงแม้ว่า HWI มีข้อจำกัด

บางประการ แต่ถูกนำมาใช้แทน HDI ทั้งนี้เนื่องจาก HWI มีความละเอียดในแง่ของมิติและขอบเขตทางสังคม ตลอดจนการผนวกเป้าหมายหลายเป้าหมายเข้าด้วยกัน ซึ่งมีความสามารถในการติดตามตรวจสอบกระบวนการ และสอดคล้องกับแนวคิด Bellagio Principal of Sustainability ในกระบวนการคัดเลือกดัชนี



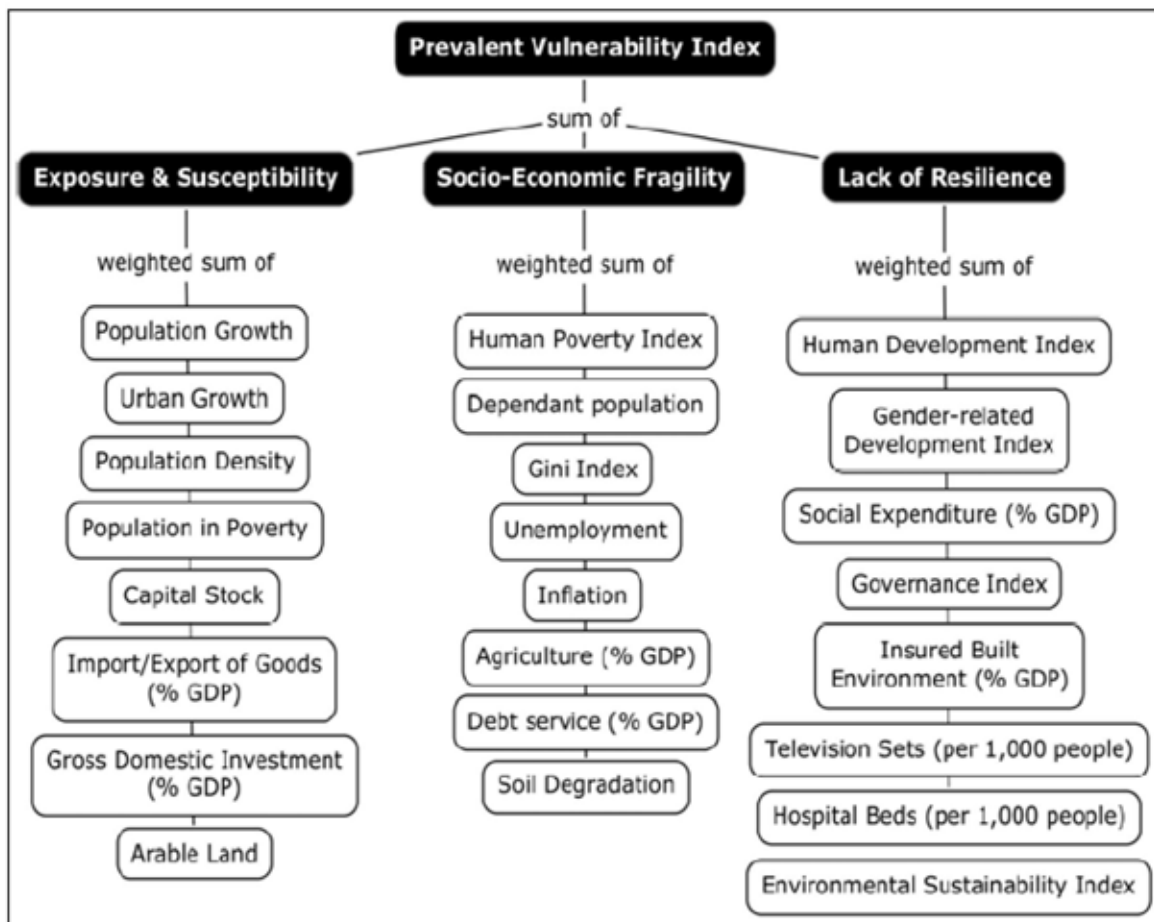
**รูปที่ 4.61** โครงสร้างรวมของ Human Well-being Index โดยดัชนีนี้แสดงด้วยกล่องสีขาว ในขณะที่ Sub - indices และ HWI แสดงด้วยกล่องสีดำ

Environmental Sustainability Index (ESI) เป็นดัชนีตัวอย่างลำดับที่สองของการพัฒนาที่ยั่งยืน ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจาก HWI เนื่องจาก ESI พิจารณาครอบคลุมถึงภัยคุกคามที่เกิดจากภัยพิบัติทางธรรมชาติและความเสี่ยงโทรรมของสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม โดยได้นำดัชนีที่เกี่ยวกับภัยคุกคาม รวมเข้าเป็นส่วนหนึ่ง<sup>170</sup> ESI ถูกใช้ประเมินความยั่งยืนของ 146 ประเทศ ใน 5 ประเด็นหลัก คือ 1) Environmental system, 2) Environmental stress, 3) Human vulnerability to environmental stress, 4) Human capacity to respond to environmental change และ 5) Global stewardship ทั้งนี้ ESI ถูกพัฒนามาบนพื้นฐานของกรอบแนวคิดเชิงนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมของ Driving Force – Pressure – State – Impact – Response (DPSRI) ผู้พัฒนา ESI ได้ตระหนักว่าความยั่งยืน สามารถบรรลุผลได้ในกรณีที่ประชาชนและสิ่งแวดล้อม ไม่มีความล่อแหลมต่อสิ่งรบกวนด้านสิ่งแวดล้อม ที่ส่งผลกระทบต่อดำรงชีวิต ESI มีวัตถุประสงค์เหมือนกับ WHI เพื่อ 1) เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจนและละเอียดมากขึ้น 2) เป็นดัชนีทางเลือกสำหรับ GDP และ HDI ในการประเมินความก้าวหน้าด้านการพัฒนา และ 3) เป็นกลไกที่มีประโยชน์ที่แสดงถึงระดับและประสิทธิภาพการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม ดัชนีของ ESI ถูกคัดเลือกจากการทบทวนเอกสาร ข้อมูลที่ใช้ประโยชน์ได้และข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งประกอบด้วย 76 ดัชนี องค์ประกอบหลักของ ESI เกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับแนวคิดของความล่อแหลมทางสังคม โดยองค์ประกอบแรก สอดคล้องกับแนวคิดความล่อแหลมและผลลัพธ์ของความล่อแหลม ส่วนองค์ประกอบที่เหลือ แสดงถึงความยืดหยุ่นและความสามารถในการปรับตัวตามลำดับ (รูปที่ 4.62) ค่า ESI ที่สูง บ่งบอกถึง ความยั่งยืนของประเทศนั้น ๆ ในขณะที่ ค่าต่ำ ๆ แสดงถึงสภาวะที่ยังล่าช้าของประเทศหรือมีความล่อแหลมสูงต่อภัยคุกคามและสิ่งรบกวนต่าง ๆ ESI ลดและบีบอัดดัชนีเป็น Index โดยผ่าน 2 ระดับของการรวบรวมและคำนวณ ในขั้นตอนแรก 31 ดัชนี ถูกลดลงเหลือ 7 Sub – indices ซึ่งถูกรวมกันให้เป็นดัชนีสุดท้าย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ESI คือ ค่าเฉลี่ยของ Sub – indices ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละดัชนี ทั้งนี้ ก่อนที่ทำการรวบรวมและคำนวณ ดัชนี ถูกผ่านกระบวนการและขั้นตอนเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลกันได้ ซึ่งประกอบด้วย 1) Standardization, 2) Imputation of missing variables, 3) Scale transformation, 4) Winsorization, 5) Directional adjustment และ 6) Z – score transformation



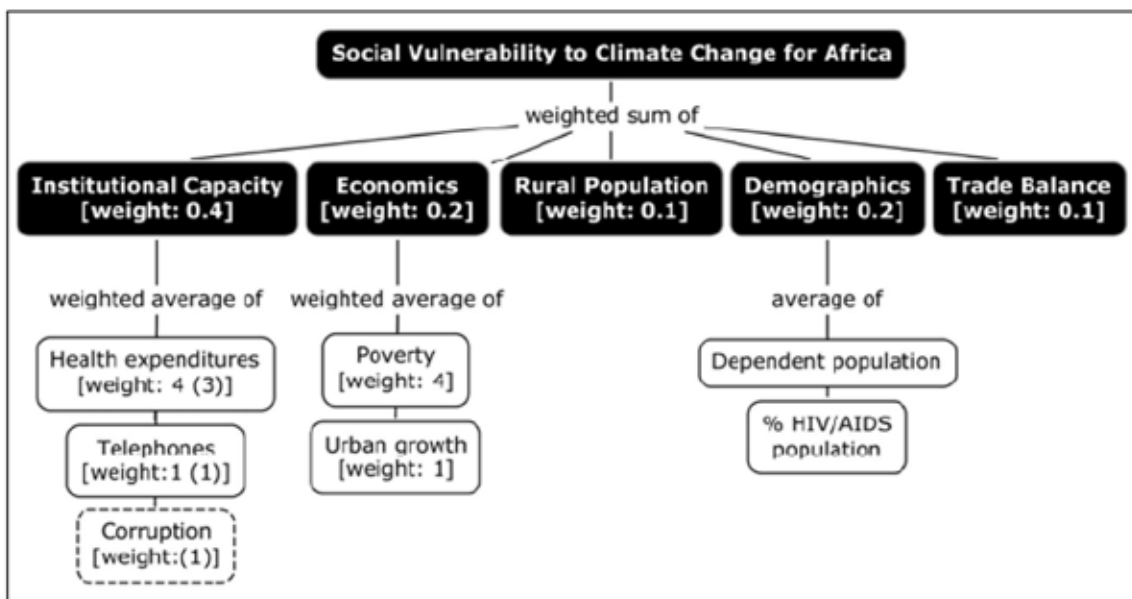
รูปที่ 4.62 โครงสร้างรวมของ Environmental Sustainability Index (ESI) โดยดัชนีนี้แสดงด้วยกล่องสีขาว ในขณะที่ Sub - indices และ ESI แสดงด้วยกล่องสีดำ

Prevalent Vulnerability Index (PVI) เป็นดัชนีความล่อแหลมทางสังคมอย่างแท้จริง ที่มุ่งเน้นพิจารณาทางด้านสังคม เศรษฐกิจ องค์กรและโครงสร้าง ที่สามารถฟื้นคืนสภาพเดิมจาก ภัยคุกคามทางธรรมชาติ<sup>171</sup> PVI ถูกพัฒนาภายใต้เทคนิคด้านภัยพิบัติทุกประเภท และถูกนำไป ประเมินความล่อแหลมจากภัยพิบัติทางธรรมชาติในแต่ละประเทศ ข้อเท็จจริงแล้ว PVI เป็นส่วน หนึ่งของการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบในภาพกว้างเกี่ยวกับการจัดการความเสี่ยงในลาตินอเมริกา ซึ่งสนับสนุนโดย Inter – American Development Bank เพื่อวิเคราะห์ถึงประชาชน ความสูญเสีย ที่เป็นตัวเงิน ศักยภาพการสูญเสียในอนาคตและด้านองค์กรในการจัดการความเสี่ยงและการ บรรเทา โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจำแนกและจัดลำดับความสำคัญของการลงทุน ความสามารถในการ จัดการความเสี่ยง ติดตามตรวจสอบองค์ประกอบหลักของความล่อแหลมทางสังคม ตลอดจนส่งเสริมการถ่ายทอดความรู้ระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย<sup>171</sup> PVI ประกอบด้วย 24 ดัชนี โดยใช้วิธี min – max normalization เพื่อแปลค่าดัชนีให้อยู่ในช่วงของ 0 – 1 (รูปที่ 4.63) PVI ถูกรวมกันใน 3 Sub – indices ผ่านวิธีการ Weighted aggregation เพื่อจัดทำเป็นดัชนีสุดท้าย



**รูปที่ 4.63** โครงสร้างรวมของ Prevalent Vulnerability Index (PVI) โดยดัชนีนี้แสดงด้วยกล่องสีขาว ในขณะที่ Sub – indices และ PVI แสดงด้วยกล่องสีดำ

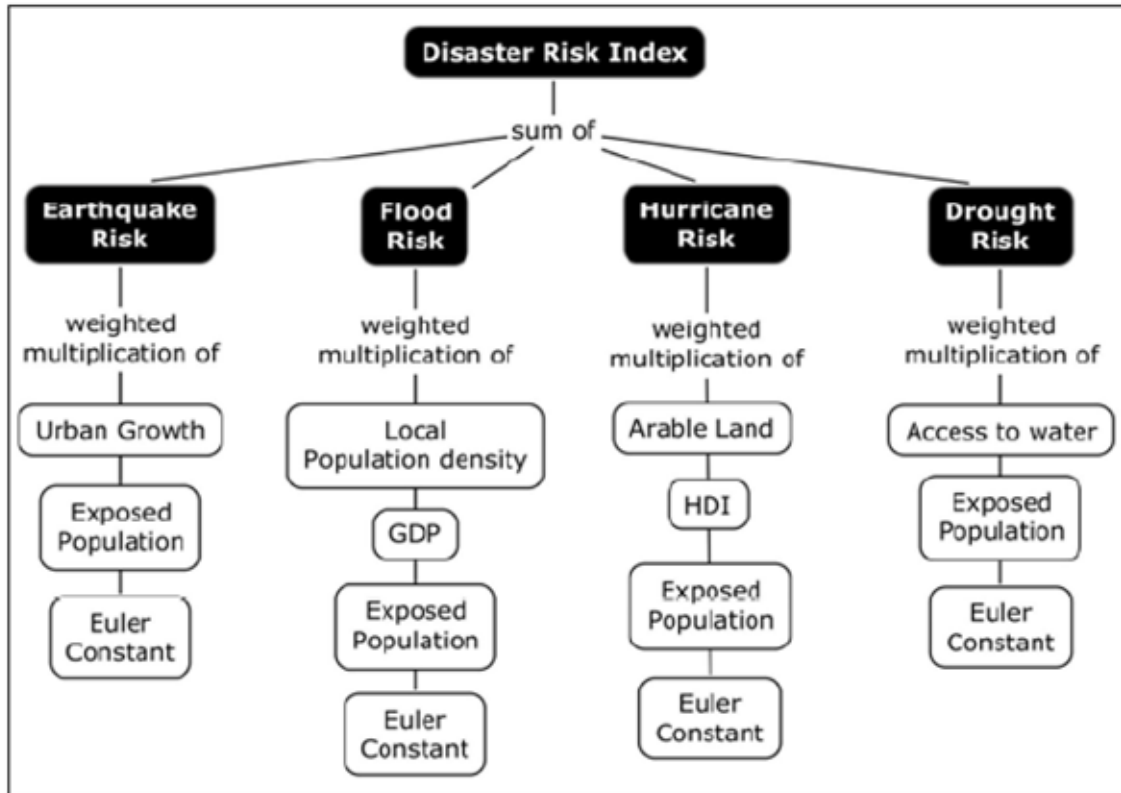
Index of Social Vulnerability to Climate Change (SVA) เป็นดัชนีชี้ความล่อแหลมทางสังคมเช่นกัน SVA แตกต่างจาก PVI ในแง่ของกรอบแนวคิดการจัดทำ SVA เกิดจากกลุ่มนักวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่นำความล่อแหลมทางด้านสังคมรวมเข้ากับความสามารถในการปรับตัว<sup>137,140</sup> โดย SVA มุ่งเน้นความล่อแหลมทางด้านสังคมต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ทรัพยากรน้ำและปริมาณน้ำที่ใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้น ดัชนี จึงมีคลาดเคลื่อนและโน้มเอียงสู่เหตุการณ์ อย่างเช่น ภัยแล้ง ซึ่งไม่สามารถบรรลุผลเพื่อแสดงถึงภัยพิบัติทุกประเภทได้ เป้าหมายของ SVA เพื่อจัดทำข้อมูลบรรทัดฐาน การจัดลำดับความสำคัญของการปรับตัว และพัฒนาเครื่องมือด้านนโยบาย ในขณะที่ SVA มีข้อจำกัดที่นำไปใช้เฉพาะประเทศในทวีปแอฟริกาเท่านั้น ซึ่งประกอบด้วย 8 หรือ 9 ดัชนี (รูปที่ 4.64) ดัชนีสุดท้ายของ SVA ถูกคำนวณจากวิธี Weighted และ Unweighted averaging ในการ Aggregation ระดับแรก โดยดัชนีสุดท้าย คือ ค่า Weighted ผลรวมของ 5 Sub – indices



รูปที่ 4.64 โครงสร้างรวมของ Index of Social Vulnerability to Climate Change โดยดัชนีแสดงด้วยกล่องสีขาวในขณะที่ Sub – indices และ SVA แสดงด้วยกล่องสีดำ

Disaster Risk Index (DRI) เป็นหนึ่งในสามดัชนีขององค์การสหประชาชาติที่ใช้สำหรับสร้างจิตสำนึกในการบรรเทาภัยพิบัติเชิงบูรณาการ ซึ่ง DRI ถูกพัฒนาโดย UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery (UNDP/BCRP) 164 DRI อธิบายภัยพิบัติ 4 ประเภท คือ แผ่นดินไหว อุทกภัย ภัยแล้งและพายุเฮอริเคน เป้าหมายของ DRI เพื่อ 1) สร้างความรู้ความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนาและความเสี่ยงจากภัยพิบัติ 2) ตรวจสอบและเปรียบเทียบเชิงสัมพัทธ์ของระดับการเผชิญ/สัมผัสภัยคุกคามทางกายภาพ ความล่อแหลมและความเสี่ยง 3) จำแนกดัชนีความล่อแหลม และ 4) สร้างแผนที่ความเสี่ยงระหว่างประเทศ DRI มีลักษณะที่ตรงกันข้ามกับดัชนีอื่น ๆ ที่กล่าวข้างต้น คือ DRI เป็นดัชนีผลลัพธ์ ซึ่งแสดงว่า การคัดเลือกดัชนี ถูกเสนอแนะโดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแทนที่ได้จากการตรวจวัด โดยไม่ได้เกิดจากการรอบแนวคิดเชิงทฤษฎีหรือข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ วิธีการคำนวณ DRI อยู่บนพื้นฐานความสัมพันธ์ของความเสียหาย (Risk) = Hazard \* Population \* Vulnerability ซึ่งความเสี่ยง แสดงอยู่ในรูปของการสูญเสียชีวิตที่เกิดจากภัยพิบัติ และ Hazard \* Population หมายถึง ความล่อแหลมทางชีวภาพ ในขณะที่ Vulnerability แสดงถึงสภาวะทางด้านเศรษฐกิจ – สังคม ดังนั้น DRI ถูกคำนวณโดยการรวมผลลัพธ์ของทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน และประกอบด้วย 4 Sub – indices (ความล่อแหลมสำหรับภัยคุกคามจำเพาะ 4 ประเภท) (รูปที่ 4.65) ในภาพรวมแล้ว DRI ประกอบด้วย 4 ดัชนีความล่อแหลมทางชีวภาพและ 6 ดัชนีความล่อแหลมทางสังคม ดัชนีความล่อแหลมทางสังคมทั้ง 6 ดัชนี ถูกสกัดและดึงมาจาก 26 ตัวแปรด้านสังคม เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี Stepwise linear regression ส่วนการเสียชีวิตจากภัยคุกคามในอดีต เป็นข้อมูลตัวแปรตาม ในแง่ความเสี่ยงที่ถูกโมเดลด้วยประชากรที่เผชิญ/สัมผัสกับเหตุการณ์ภัยคุกคามในอดีต (ความล่อแหลมทางชีวภาพ) และ 26 ดัชนีเศรษฐกิจ – สังคม โดยสรุปแล้ว DRI ดูเหมือนมีลักษณะ Backward – looking ซึ่งเฉพาะเจาะจงต่อการเสียชีวิตในอดีต มากกว่า Forward – looking โมเดลหรือความล่อแหลมทางด้านสังคม

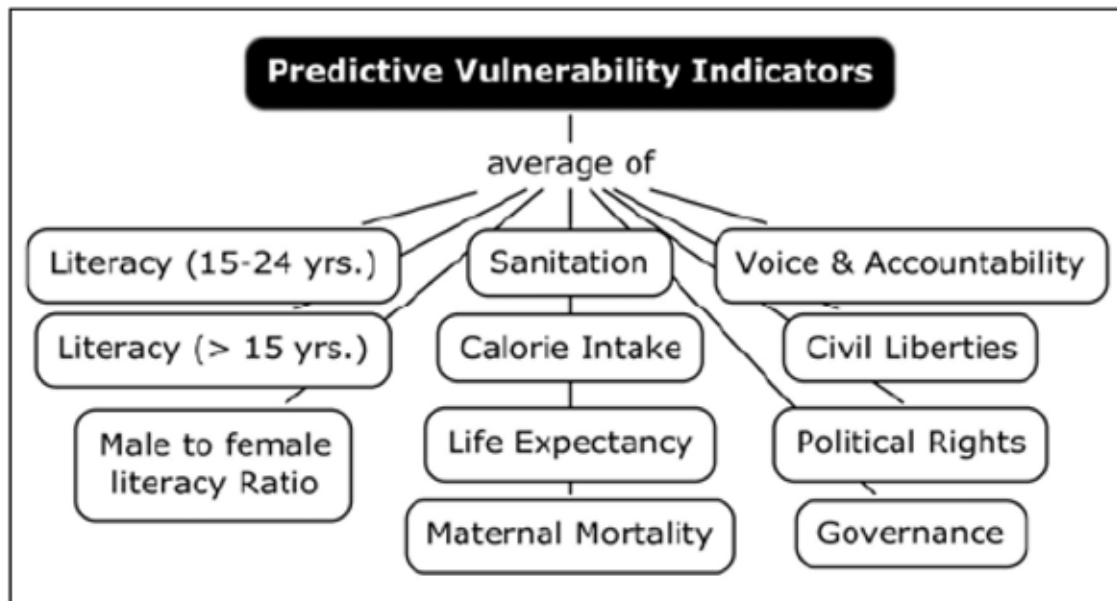




**รูปที่ 4.65** โครงสร้างรวมของ Disaster Risk Index (DRI) โดยดัชนีแสดงด้วยกล่องสีขาว ในขณะที่ Sub-indices และ DRI แสดงด้วยกล่องสีดำ Euler constant คือ ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ (base of the natural logarithm)

Predictive Indicators of Vulnerability (PIV) ใช้ข้อมูลการเสียชีวิตในอดีต เป็นแนวทางสำหรับการคัดเลือกดัชนีความล่อแหลมทางสังคม<sup>108,139</sup> ดังนั้น PIV มีลักษณะที่เหมือนกับ SVA ในแง่ความพยายามเชื่อมโยงความล่อแหลมทางด้านสังคม และการปรับตัวจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ PIV เฉพาะเจาะจงความล่อแหลมต่อความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งไม่รวมถึงเหตุการณ์ทางธรณีฟิสิกส์ PIV อาศัยหลักการบนพื้นฐานที่ว่า ความเสี่ยงหรือผลลัพธ์ คือ ฟังก์ชันของความล่อแหลมทางด้านชีวภาพและทางด้านสังคม ซึ่งมีลักษณะที่คล้ายกับ DRI<sup>139</sup> เป้าหมายของ PIV เพื่อจำแนกปัจจัยที่ขับเคลื่อนความล่อแหลมทางสังคมและความสามารถในการปรับตัว<sup>108</sup> สิ่งที่แตกต่างกันระหว่าง SVA และ PIV คือ SVA แสดง Framework – driven approach ในขณะที่ PIV คือ Outcome – driven PIV รวบรวมข้อมูลการเสียชีวิตจากเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศจาก EM – DAT ในช่วงระหว่างปี ค.ศ.

1971 – 2000 และทำการ Standardize ด้วยขนาดของประชากร ดังนั้น PIV ลดตัวแปรความ  
 ล้อแหลมทางด้านสังคมเริ่มต้นจากจำนวน 45 ตัวแปร เหลือลง 11 ตัวนี้ โดยตัวนี้สุดท้าย  
 ถูกคำนวณจากการเฉลี่ยดัชนีทั้ง 11 ดัชนี (รูปที่ 4.66) ดูเหมือนว่า PVI จะเป็นดัชนีง่ายที่สุดของ  
 ดัชนีความล้อแหลมทางด้านสังคม ตารางที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบเชิงกรอบแนวคิดของ 7  
 ดัชนีความล้อแหลม



**รูปที่ 4.66** โครงสร้างรวมของ Predictive Vulnerability Indicators โดยดัชนีแสดงด้วยกล่องสีขาว  
 ในขณะที่ Sub – indices และ PIV แสดงด้วยกล่องสีดำ

ตารางที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบเชิงกรอบแนวคิดของ 7 ด้านที่ความล้นแหลม<sup>164</sup>

Criteria	HDI	HWI	ESI	PVI	SVA	DRI	PIV
Conceptual Framework	None	Combination of framework (Bellagio principal) and data availability	Combination of framework (Driving Force-Pressure-State-Impact-Response) and data availability	Combination of political-ecological vulnerability tradition and data availability	Combination of adaptive capacity framework and data availability	Combination of general relationship (Risk=Hazard*Population*Vulnerability) and data availability	Combination of general relationship (Risk=Hazard*Vulnerability) and data availability
Purpose	-Facilitate cross-country comparison -Provide an alternative to economic measures -Monitor progress	-Monitor progress towards goals -Develop baselines -Provide analytical tool for prioritization and policy-making -Provide alternative and -Comprehensive measures to HDI and economic measures	-Track environmental performance -Benchmark environmental performance -Provide analytical basis for environmental decision-making -Benchmark nation's ability to protect the environment in the future -Provide an alternative to tradition measures (GDP, HDI)	-Provide holistic and comparative analysis of risk management -Identify investment priorities -Measure and monitor key elements of vulnerability -Identify risk management capacities -Promote knowledge transfer from science to policy	-Generate baseline -Prioritize adaptation efforts -Operationalize conceptual framework -Develop policy-informing tool	-Inform development policies and local decision marker -Compare countries in their exposure and vulnerability -Identify vulnerability indicators -Identify trends -Map international patterns of risk	-Identify factors that influence vulnerability -Operationalize database

ตารางที่ 4.20 (ต่อ)

Criteria	HDI	HWI	ESI	PVI	SVA	DRI	PIV
Representative (Concept)	Development: unrelated hazards	Human well-being: unrelated to hazards	Sustainability: consider human vulnerability from environmental threats(diseases, floods, cyclones, droughts landslides) and resilience (social, institutional capacities)	Social vulnerability, lack of resilience, resilience; all hazards approach	Social vulnerability to water scarcity	Vulnerability; hazard-dependent physical and social vulnerability (floods, droughts, hurricanes, earthquakes)	Social vulnerability, lack of resilience; climate variability, climate change
Indicators	4	33	31	24	8	5	11
Thematic dimensions	Longevity, Education, GDP	Life expectancy, population growth, personal/national wealth, education, communication, governance, equity	Environmental health, human sustenance, exposure to natural hazards, environmental governance, eco-efficiency, private sector responsiveness, science and technology	Population growth, national economy, poverty, development, governance, sustainability	Poverty, urban growth, demographic structure, health, governance, communication	Physical exposure, urban growth, agricultural land use, human development, population density, access to water	Mortality, governance, education, health, democracy
Sub-indices	3	5	7	3	4	3	0
Levels of aggregation	2	2 to 5		2	2	2	1

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ฐานข้อมูล Dartmouth Flood Observatory และ EM-DAT ยังได้แสดงถึง เหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1985–2008 ได้ถูกรายงานและบันทึกในฐานข้อมูล จำนวน 52 ครั้ง โดยแผนที่แสดงขอบเขตและพื้นที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมในประเทศไทย พบว่า ประเทศไทยเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่เกือบทุกปี ในรอบ 24 ปีที่ผ่านมา (ปี ค.ศ. 1985 – 2008) โดยระดับความรุนแรง ขอบเขตและพื้นที่ที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย มีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละปี จากการสังเกต พบว่า เหตุการณ์น้ำท่วมส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นหลังจากปี ค.ศ. 1995 มีแนวโน้มความถี่ของการเกิดและระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้น รวมทั้งแผ่ขยายเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณภาคกลางในลุ่มน้ำสายหลัก ทั้งนี้ ในปี ค.ศ. 2007 มีรายงานการเกิดน้ำท่วมสูงสุดจำนวน 7 ครั้ง ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา พบว่า เหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ส่วนใหญ่เกิดจาก Heavy rain และ Monsoonal rain โดยเหตุการณ์น้ำท่วมส่วนใหญ่ในประเทศไทย เกิดขึ้นในเดือนสิงหาคม กันยายน และตุลาคมของแต่ละปี ผลการวิเคราะห์ ยังระบุว่า พื้นที่รวมที่ได้รับผลกระทบ ความถี่และระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทยหลังปี ค.ศ. 2000 มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ข้อมูลของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกันระหว่างฐานข้อมูลของประเทศไทยและฐานข้อมูลระหว่างประเทศ ที่บ่งชี้ถึงความถี่และความรุนแรงของการเกิดภัยแล้งและอุทกภัย ความเสียหายต่อเศรษฐกิจในภาพรวมของประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจสรุปได้ว่า ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นจากทั้งสองเหตุการณ์ มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม รวมทั้งการดำรงชีวิตของประชาชนไทย ซึ่งอาจส่งผลกระทบรุนแรงตามลำดับในอนาคตอันใกล้ เนื่องจาก Enhanced hydrological cycle ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากกิจกรรมมนุษย์ (Anthropogenic-induced climate change)

ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของภัยแล้งและอุทกภัย จากฐานข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยทุกจังหวัดในประเทศไทย พบว่า พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ ความเสียหายทางเศรษฐกิจและราษฎรผู้ประสบภัยจากสถานการณ์น้ำท่วมและภัยแล้งในช่วงปี ค.ศ. 1989–2008 (พ.ศ. 2532–2551) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วมสูงสุด 3 ลำดับแรก เกิดขึ้นหลังจาก ปี ค.ศ. 2000 ซึ่งสอดคล้องกับมูลค่าเสียหายของสถานการณ์อุทกภัยหลัง ปี ค.ศ. 2000 (2543) มีสัดส่วนถึง 50% ของมูลค่าความเสียหายทั้งหมด สำหรับภัยแล้งมีราษฎรที่ได้รับผลกระทบสูงกว่าจำนวนราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วมถึง 2.5 เท่า โดยหลังจากปี ค.ศ. 2000 (2543) มีจำนวนราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง คิดเป็น 56% และจำนวนราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งในช่วงปี ค.ศ. 1989–2008 (พ.ศ. 2532–2551) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าจำนวนราษฎรผู้ประสบอุทกภัย ซึ่งมีลักษณะที่สอดคล้องกับจำนวนตำบลที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าจำนวนตำบลที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วม

ผลการวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติของภัยแล้งและอุทกภัย รวมทั้งจำนวนราษฎรผู้ประสบภัยในระดับอำเภอ โดยนำข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด ในช่วงปี ค.ศ. 2005–2007 (พ.ศ. 2548–2550) มาซ้อนทับด้วยเทคนิค GIS พบว่า ภัยแล้งและอุทกภัย เกิดขึ้นทุกภาคของประเทศไทย โดยจำนวนพื้นที่ที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละปี รวมทั้งพื้นที่การเกิดซ้ำทั้งสามปี มีจำนวนแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค นอกจากนี้ ราษฎรผู้ประสบภัย

มีจำนวนที่แตกต่างกันทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา โดยสรุปแล้วพบว่า บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นพื้นที่เสี่ยงต่อภาวะภัยแล้ง ซึ่งมีพื้นที่เกิดภัยแล้งซ้ำทั้งสามปีทุกจังหวัดมีจำนวนสูงถึง 298 อำเภอ โดยจังหวัดอุบลราชธานี จังหวัดอุดรธานี จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดขอนแก่นและจังหวัดบุรีรัมย์ มีพื้นที่ประสบภัยแล้งสูงสุด 5 ลำดับแรก ในขณะที่พื้นที่ประสบอุทกภัยซ้ำทั้งสามปี เกิดขึ้นในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ โดย ปี ค.ศ. 2006 มีพื้นที่และราษฎรประสบอุทกภัย เกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้างในบริเวณภาคกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จังหวัดอยุธยาและจังหวัดอ่างทอง นอกจากนี้แล้ว พื้นที่และราษฎรที่ประสบกับอุทกภัยซ้ำทั้งสามปี ยังปรากฏในจังหวัด จันทบุรี อุดรธานี กาฬสินธุ์ ลำปางและอุดรดิตถ์ อย่างไรก็ตาม เทคนิคการวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติที่ได้พัฒนาในการศึกษานี้ ควรนำไปต่อยอดและดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยนำข้อมูลรวบรวมในแต่ละปี จากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของแต่ละจังหวัด มาซ้อนทับเพิ่มเติม เพื่อให้การประเมินพื้นที่วิกฤติมีความชัดเจนมากขึ้นและมีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ อีกทั้งเป็นการติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของภัยพิบัติจากภัยแล้งและอุทกภัย ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา นอกจากนี้หากเป็นไปได้ อาจมีการวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติของภัยแล้งและอุทกภัยในระดับตำบลและหมู่บ้าน ซึ่งเป็นสเกลที่มีความละเอียดที่เหมาะสมกับการเตรียมพร้อมป้องกันและปรับตัวเพื่อหลีกเลี่ยงบรรเทาและตั้งรับภัยพิบัติของชุมชน

พื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้งและอุทกภัยในประเทศไทย ยังสามารถติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์ได้ด้วยดัชนี SPI และดัชนีสภาวะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศ ดัชนี SPI จัดเป็นเครื่องมือและแนวทางที่ง่าย สะดวกและรวดเร็วในการประเมินสถานการณ์และพื้นที่เสี่ยงเบื้องต้น โดยดัชนีดังกล่าว ถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เนื่องจากเป็นดัชนีที่สามารถคำนวณจากข้อมูลฝนอย่างเดียว รวมทั้งสามารถวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาของความแห้งแล้งประเภทต่างๆ ได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีอื่นๆ ที่ใช้กันในอดีต อย่างไรก็ตาม ควรทำการ validate กับข้อมูลปริมาณน้ำท่าเพิ่มเติม เพื่อให้การติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เสี่ยงและความล่อแหลมที่เกิดจากความเปียกชื้นในประเทศไทย มีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ ส่วนดัชนีสภาวะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศ เป็นดัชนีที่พัฒนาเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงในแง่ความถี่ ความรุนแรงของเหตุการณ์ ความรุนแรงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมและความแห้งแล้ง ดังนั้น ดัชนีสภาวะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศ จึงเป็นอีกดัชนีทางเลือกที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้งและอุทกภัย ข้อดีของการนำดัชนีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ คือ ทำให้สามารถวิเคราะห์ความเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้งและอุทกภัย และการเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของภูมิอากาศ ซึ่งเป็นเหตุการณ์สำคัญที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การวิเคราะห์ดัชนี SPI และดัชนีสภาวะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศ ด้วยสถิติเชิงพหุ พบลักษณะการเปลี่ยนแปลงร่วมในเชิงพื้นที่และเวลาของพื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้งและอุทกภัย โดยมีในรูปแบบที่ซับซ้อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปีต่อปี เป็นคาบเวลาที่โดดเด่น ปรากฏการณ์ ENSO มีความสำคัญต่อการเกิดความแห้งแล้งและความเปียกชื้นกว่าปกติในประเทศไทย ในช่วงที่เกิดเหตุการณ์ El Nio ประเทศไทย เกิดสภาวะความแห้งแล้งกว่าปกติ ในทางตรงกันข้าม สภาวะความเปียกชื้นกว่าปกติในช่วงที่เกิดเหตุการณ์ La Nia ในแง่ของความถี่รวมของความแห้งแล้งหรือความเปียกชื้นระดับมาก (very) และรุนแรง (extremely) พบว่าความแห้งแล้งในระดับมากและรุนแรงในช่วงปี ค.ศ. 1995–2004 ส่วนใหญ่เกิดขึ้นมากกว่า 10 ครั้ง ในสถานที่ตั้งอยู่บริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับความเปียกชื้นในระดับมากและรุนแรง ความถี่ของเกิดมากกว่า 10 ครั้ง ในช่วงปี ค.ศ. 1975–1984 และ 1995–2004 ปรากฏหลายสถานที่ที่ตั้งอยู่ในภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ เมื่อพิจารณารวมทั้งประเทศสถานที่ที่แสดงเหตุการณ์ความแห้งแล้งและความเปียกชื้นในระดับมากและรุนแรง มีจำนวนที่แตกต่างกันในแต่ละปี โดยในปี ค.ศ. 1999 และ 2000 จำนวนสถานที่ที่แสดงความแห้งแล้งในระดับมากและรุนแรงเกิดขึ้นสูงสุดในขณะที่ความเปียกชื้นในระดับมากและรุนแรง ปรากฏสูงสุดในปี ค.ศ. 1993 และ 2005 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพิ่มเติม ยังพบว่า ความถี่ของการเกิดความแห้งแล้งและความเปียกชื้นในระดับมากและรุนแรง

มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปรากฏการณ์ ENSO โดยพื้นที่ที่เกิดความแห้งแล้งในระดับมากและรุนแรง มีจำนวนเพิ่มขึ้นในปีที่เกิดเหตุการณ์ El Nio ในขณะที่ พื้นที่ที่เกิดความเปียกชื้นในระดับมากและความรุนแรง มีจำนวนเพิ่มขึ้นในปีที่เกิดเหตุการณ์ La Nia นอกจากนี้ 7 สถานที่ที่ตั้งอยู่ในภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคเหนือตอนล่าง รวมถึงสถานที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร มีแนวโน้มเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญของดัชนีปริมาณฝนสูงสุดในรอบ 1 วัน (RX1day) ซึ่งบ่งชี้ถึงความเสี่ยงของน้ำท่วมฉับพลัน ผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงจากภาวะน้ำท่วมฉับพลันในรูปของทั้งปริมาณและความถี่ของเหตุการณ์ฝนตกหนักมาก พบว่า 25 สถานที่ซึ่งส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในบริเวณภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งดัชนีปริมาณของเหตุการณ์ฝนตกหนักมาก (R99) และดัชนีความถี่ของเหตุการณ์ฝนตกหนักมาก (P99) สถานที่ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดศรีสะเกษ จังหวัดอุดรดิตต์ จังหวัดระยอง กรุงเทพมหานคร จังหวัดพะเยา จังหวัดยะลา จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดร้อยเอ็ด เป็นสถานที่ที่มีการเพิ่มขึ้นของ R99 และ P99 สูงสุด ใน 10 อันดับแรก ซึ่งจัดเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมจากเหตุการณ์ของฝนตกมาก ยิ่งกว่านั้น กรุงเทพมหานคร เป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของทั้ง 3 ดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝน (RX1day, R99 และ P99) ที่เป็นสาเหตุสำคัญต่อการเกิดสภาวะน้ำท่วมฉับพลัน

ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของภัยแล้งและอุทกภัยทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา นับเป็นข้อมูลนำเข้าสู่ที่สำคัญในการประเมินความล่าช้าและความเสี่ยง เพื่ออธิบายระดับความอ่อนไหวต่อภัยคุกคามและอันตราย ศักยภาพ ความเสียหายและความสูญเสีย รวมทั้งความสามารถในการตอบสนองและปรับตัวของระบบสิ่งแวดล้อมกายภาพ ระบบนิเวศน์และสังคมมนุษย์ ซึ่งเป็นกรอบแนวคิดที่มีประโยชน์ที่ช่วยชี้แนะวิธีการและแนวทางตั้งรับและเสริมสร้างความสามารถในการปรับตัว โดยลดความเสี่ยงจากภัยแล้งและอุทกภัย การศึกษานี้ ได้ทบทวนเอกสารจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับกรอบแนวคิด เทคนิคและวิธีการวิเคราะห์ความล่าช้าจากภัยพิบัติและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทั้งนี้ วิธี Vulnerability – based approach ที่แนะนำโดย UNFCCC และ IPCC เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับผลกระทบในระยะสั้นในระดับชุมชนและท้องถิ่น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตที่ต้องคาดการณ์ด้วยแบบจำลองภูมิอากาศ แต่ใช้ข้อมูลด้านเศรษฐกิจ-สังคม และประชากร รวมทั้งกระบวนการมีส่วนร่วม เพื่อวิเคราะห์ถึงสององค์ประกอบหลักของความล่าช้า คือ ความล่าช้าทางสังคมและความล่าช้าทางชีวกายภาพ โดยแสดงรายละเอียดถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ในอดีตและปัจจุบัน ซึ่งรวมถึงพลวัตด้านเศรษฐกิจ สังคม องค์กร กฎระเบียบ นโยบายและประเพณี ซึ่งช่วยสะท้อนให้เห็นถึงการเผชิญ/สัมผัสกับภัยคุกคาม ระดับความล่าช้าและทางเลือกของชุมชนกลยุทธ์และความสามารถในการปรับตัว โดยส่วนใหญ่ข้อมูลด้านเศรษฐกิจและสังคม ที่ถูกนำมาประเมินผลกระทบและความล่าช้าภายใต้กรอบแนวคิด Vulnerability – base approach มักผ่านกระบวนการพัฒนาและจัดทำดัชนี (Indicator) เพื่ออธิบายสภาพทางเศรษฐกิจ-สังคมในกรณีการประเมินผลกระทบและแสดงถึงปัจจัยขับเคลื่อน (Driver) และตัวกำหนดความล่าช้า ตลอดจนความสามารถในการปรับตัว ในปัจจุบัน ดัชนีความล่าช้าได้ถูกพัฒนาและนำมาประยุกต์อย่างกว้างขวางในหลายประเทศ ซึ่งแต่ละดัชนีความล่าช้ามีลักษณะองค์ประกอบและสเกลที่แตกต่างกันไป ดัชนีความล่าช้าโดยส่วนใหญ่ถูกพัฒนาในสเกลระดับประเทศ ซึ่งใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งต่างๆ เพื่อจัดทำและคำนวณดัชนีสุดท้าย ดังนั้น ดัชนีความล่าช้าที่ได้ทบทวนนี้ นับว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการพัฒนาต่อยอด เพื่อจัดทำชุดดัชนีความล่าช้าที่เหมาะสมกับบริบทของชุมชนและท้องถิ่นในประเทศไทย โดยทำการคัดเลือกเฉพาะดัชนีที่สามารถแสดงลักษณะต่างๆ ของสภาพเศรษฐกิจ-สังคมในชุมชนและสามารถคำนวณเชิงปริมาณด้วยฐานข้อมูลทุติยภูมิที่มีในระดับตำบลและหมู่บ้าน ทั้งนี้รายละเอียดและการจัดทำชุดดัชนีความล่าช้าต่อภัยแล้งและอุทกภัย รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นงานศึกษาวิจัยในระยะต่อไป ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ดำเนินการ ควบคู่กับการศึกษารูปแบบและแนวการปรับตัวของชุมชนในลักษณะ Community – based adaption ต่อภัยแล้งและอุทกภัย ในพื้นที่นำร่อง

## บรรณานุกรม

- 1 Rodriguez, J., F. Vos, R. Below and D.G. Sapir, 2009. Annual disaster statistical review 2008 -The numbers and trends. Center for Research on the Epidemiology of Disasters. Jacoffset Printers, Melin (Belguim), 25 pp.
- 2 Easterling, D.R., G.A. Meehl, C. Parmesan, S.A. Changnon, T.R. Karl, L.O. Means, 2000. Climate extremes : Observations, modeling, and impacts. *Science*, 289, 2068-2074.
- 3 Dai, A., K.E. Trenberth and T. Qian, 2004. A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002 : Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, 5, 1117-1130.
- 4 IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and USA, 996 pp.
- 5 Barlow, M., S. Nigam and E.H. Berbery, 2001. ENSO, Pacic Decadal Variability, and U.S. summertime precipitation, drought and stream ow. *Journal of Climate*, 14, 2105-2128.
- 6 Schoennagel, T., T.T. Veblen, W.H. Romme, J.S. Sibold and E.R. Cook, 2005. ENSO and PDO variability affect drought-induced re occurrence in Rocky Mountain Subalpine forests. *Ecological Applications*, 15, 2000-2014.
- 7 Shankman, D., B.D. Kelm and J. Song, 2006. Flood frequency in China's Poyang lake region : Trends and teleconnections. *International Journal of Climatology*, 26, 1255-1266.
- 8 Tong, J., Z. Qiang, Z. Deming and W. Yijin, 2006. Yangtze oods and droughts (China) and teleconnections with ENSO activities (1470-2003). *Quaternary International*, 144, 29-37.
- 9 Saji, N.H., B.N. Goswami, P.N. Vinayachandran and T. Yamagata, 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401, 360 -363.
- 10 Goswami, B.N., 2005. South Asian Summer Monsoon : An overview. The Global monsoon system : Research and forecast, C.-P. Chang, B. Wang and N.-C. G. Lau, Eds. WMO/TD No. 266, World Meteorological Organization, Switzerland. 47-71.
- 11 Wang, B., R. Wu and K.-M. Lau, 2001. Interannual variability of the Asian summer monsoon : Contrasts between the Indian and the Western North Pacic-East Asian Monsoons. *Journal of climate*, 14, 4073-4090.
- 12 Dai, A. and K.E. Trenberth, 1998. Global variations in droughts and wet spells : 1900-1995. *Geophysical Research Letters*, 25, 3367-3370.



- 13 renberth, K.E., J.T. Overpeck and S. Solomon, 2004. Exploring drought and its implications for the future. EOS Transactions American Geophysical Union, 85, doi: 10.1029/2004EO030004.
- 14 Trigo, R.M., D. P.-V. Zquez, T.J. Osborn and Y. Castro-Diez, 2004. North Atlantic Oscillation influence on precipitation, river flow and water resources in the Iberian Peninsula. International Journal of Climatology, 24, 925-944.
- 15 Hoerling, M. and A. Kumai, 2003. The perfect ocean for drought. Science, 299, 691-694.
- 16 Leathers, D.J., B.M. Yarnal and M.A. Palecki, 1991. The Pacific/North American teleconnection pattern and United States climate. Part I Regional temperature and precipitation associations. Journal of Climate, 4, 517-528.
- 17 Hurrell, J.W., 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillations regional temperatures and precipitation. Science, 269, 676-679.
- 18 Milly, P.C.D., R.T. Wetherald, K.A. Dunne and T.L. Delworth, 2002. Increasing risk of great floods in a changing climate. Nature, 415, 514-517.
- 19 Gupha-Sapir, D., D. Hargitt and P. Hoyois, 2004. Thirty years of natural disasters 1974-2003 : The numbers. Center for Research on the Epidemiology of Disasters, UCL Presses, Universitaires, De Louvain, 188 pp.
- 20 IGES (Institute for Global Environmental Strategies). 2006. Asian aspirations for climate regime beyond 2012. IGES, Japan. 115 pp.
- 21 World Bank, 2008: Climate resilient cities. Washington, USA, 150 pp.
- 22 สมบัติ อยู่เมือง. 2005. การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลเพื่อการบริหารจัดการพิบัติภัยที่เกิดจากน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิง วัง ยมและน่าน. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์, 4/1,1-19.
- 3 สุขประโชค เอื้อกฤดาธิการ. 2006. ภัยธรรมชาติกับภาวะโลกร้อน. วารสารสิ่งแวดล้อม, 10/2, 32-40.
- 24 กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. <http://www.disaster.go.th>.
- 25 ADRC (Asian Disaster Reduction Center). 2005. ADRC-Natural Disasters Data Book. <http://www.adrc.or.jp>. 88 pp.
- 26 Gregory, J.M., F.B. Mitchell and A.J. Brady, 1997. Summer drought in northern mid-latitudes in a time-dependent CO<sub>2</sub> climate experiment. Journal of Climate, 10, 662-686.
- 27 Juneng, L. and F.T. Tangang, 2005. Evolution of ENSO-related rainfall anomalies in Southeast Asia region and its relationship with atmosphere-ocean variations. Climate Dynamic, 25, 337-350.
- 28 Lau, N.C. and M.J. Nath, 2003. Atmosphere-Ocean variation in the Indo-Pacific sector during ENSO episode. Journal of Climate, 16, 3-20.
- 29 Timmermann, A., J. Oberhuber, A. Bacher, M. Esch, M. Latif and E. Roeckner, 1999. Increased El Nio frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. Nature, 398, 694-697.
- 30 Limsakul, A., L. Sangchan and S. Boonchon, 2007. Spatio-temporal changes in total annual

- rainfall and the annual number of rainy days in Thailand. *Journal of Environmental Research*, 29, 1-21.
- 31 Limsakul, A. and J.I. Goes, 2007. Empirical evidence of interannual and longer period variability in Thailand surface air temperature. Submitted to *Journal of Atmospheric Research*.
- 32 Limjirakan, S., A. Limsakul and T. Sriburi, 2009. Change in rainfall extremes in Thailand. Extended abstract for poster presentation in the World Climate Conference -3, Geneva, Switzerland, 31 August – 4 September.
- 33 Limsakul, A., S. Limjirakan and T. Sriburi, 2009. Trends in daily temperature extremes in Thailand. Extended abstract for poster presentation in the World Climate Conference -3, Geneva, Switzerland, 31 August – 4 September.
- 34 United Nations, . Guidelines for reducing food losses. 80 pp.
- 35 Few, R., M. Aherm, F. Matthies and S. Kovats, 2004. Flood, health and climate change: A strategic review. Tyndall Centre Working Paper No. 63. 129 pp.
- 36 Dilley, M. et al., 2005. Natural disaster hotspots: A global risk analysis –Synthesis report. The World Bank, 29 pp.
- 37 Arnold, M., et al. (eds.), 2006. Natural disaster hotspots : Case studies. The World Bank, 184.
- 38 International Strategy for Disaster Reduction, United Nations, 2007. Drought risk reduction framework and practices : Contributing to the implementation of the Hyogo Framework for Action. 97 pp.
- 39 Heim, R.R., 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*.
- 40 Keyantash, J. and Dracup, J.A., 2002. The quantification of drought: An evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*.
- 41 EM-DAT: Emergency Events Database. <http://www.emdat.be/>
- 42 IFRC, 2003. World disasters report 2003: Focus on ethics in aid International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva.
- 43 Waple, A.M. and J.H. Lawrimore, 2003. State of the climate in 2002. *Bulletin of American Meteorological Society*, 84, S1-S68.
- 44 Levinson, D.H. and A.M. Waple (eds.), 2004. State of the climate in 2003. *Bulletin of American Meteorological Society*, 85, S1-S72.
- 45 Watkins, A., 2002. 2002 Australian climate summary : Dry and warm conditions dominate. *Bulletin of Australian Meteorological Oceanographic Society*, 15, 109-114.
- 46 Lawrimore, J., et al., 2002. Beginning a new era of drought monitoring across North America. *Bulletin of American Meteorological Society*, 83, 1191-1192.
- 47 Ulbrich, U., et al., 2003. The central European floods of August 2002: Part 1- Rainfall periods and food development. *Weather*, 58, 371-377.
- 48 Rodriguez, J., F. Vos, R. Below and D. Guha-Sapir, 2009. Annual disaster statistical review 2008: The numbers and trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 25 pp.

- 49 Trenberth, K.E. et al., 2003. The changing character of precipitation. *Bulletin of American Meteorological Society*, 84, 1205-1217.
- 50 Barlow, M., H. Cullen and B. Lyon, 2002. Drought in central and southwest Asia: La Nina, the warm pool and Indian Ocean Precipitation. *Journal of Climate*, 15, 697-700.
- 51 Trenberth, K.E. and J.W. Hurrell, 1994. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Climate Dynamics*, 9, 303-319.
- 52 Yu, R., B. Wang and T. Zhou, 2004. Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia. *Geophysical Research Letters*, 31, L22212, doi:10.1029/2004GL021270.
- 53 Buckley, B.M., K. Palakit, K. Dungsathaporn, P. Sanguantham and P. Prasomsin, 2007. Decadal scale droughts over northwestern Thailand over the past 448 years: links to the tropical Pacific and Indian Ocean sectors. *Climate Dynamics*, 29, 63-71.
- 54 Trenberth, K.E. 1999. Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. *Climatic Change*, 42, 327-339.
- 55 Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays, 1980. *Applied hydrology*. McGraw-Hill, New York, 572 pp.
- 56 ประเสริฐ มลิทรานกุล. 2533. อุทกภัย, น.25-29. ในเอกสารประชุมวิชาการประจำปี 2533.
- 57 Strahler, A.N. and A.H. Strahler, 1983. *Modern physical geography*. John Wiley and Sons, New York, 532 pp.
- 58 Welcomme, R.L., 1985. River series. *FAO Fisheries Technical Paper*, 262, 330 pp.
- 59 เล็ก จินดาสงวน. 2538. วิฤตการณ์น้ำท่วมและภัยแล้งในประเทศไทย. *วารสารอุทกวิทยา* 38 (1): 133-160.
- 60 Brook, K.N., P.E. Ffolliott, H.M. Gregersen and J.L. Thames, 1991. *Hydrology and the management of Watershed*. Iowa State University Press, Iowa. 392 pp.
- 61 Satterland, D.R. and P.W. Adams, 1992. *Wildland Watershed Management*. John Wiley and Sons, United States. 436 pp.
- 62 สมิต ธรรมสโรช. 2533. ภัยธรรมชาติในประเทศไทย. เอกสารการประชุมวิชาการประจำปี 2533. สมาคมภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ. หน้า 7-11.
- 63 วิชา นิยม. 2535. อุทกวิทยาป่าไม้. *ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, กรุงเทพฯ. 294 น.
- 64 Parker, D.J., ed. (2000). *Floods*. Routledge, London.
- 65 Dolcemascolo, G., 2004. Environmental degradation and disaster risk, Issue paper, Asian Disaster Preparedness Center, Klong Luang, Thailand.
- 66 Few, R., 2003. Flooding, vulnerability and coping strategies: Local responses to a global threat. *Progress in Development Studies*, 3, 43-58.
- 67 Malilay, J., 1997. Floods. In the *Public Health Consequences of Disasters* (E. Noji, ed.) pp.

287-301. Oxford University Press, New York.

68 Handmer, J. E.C. Penning-Rowsell and S.M. Tapsell, 1999. Flooding in a warmer world: The view from Europe. In climate change and risk (Downing T.E., A.A. Olsthoorn and R.S.J. Tol, eds..) Routledge, London.

69 Nishat, A., M. Reazuddin, R. Amin and A.R. Khan, 2000. The 1998 flood : Impact on the environment of Dhaka City. Department of Environment and IUCN Bangladesh, Dhaka.

70 Wisner, B., P. Blaikie, T. Cannon and I. Davis, 2004. At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters. Second edition, Routledge, London.

71 ISDR, 2002. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives. Inter-agency secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR), Geneva.

72 Dartmouth Flood Observatory. <http://www.dartmouth.edu/~oods/index.html>.

73 Kovats, R.S., M.J. Bouma, H. Shakoor, E. Worrall and A. Haines, 2003. El Nio and health. The Lancet, 362, 1481-1489.

74 Robson, A.J., 2002. Evidence for trends in UK flooding. Philosophical Transactions-Royal Society, Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 360, 1327-1343.

75 Frei, C., 2003. Camouflage, bluff, or real? Statistical uncertainty of trends in catastrophic extremes, STARDEX Information Sheet 1. Fachhochschule Hochschule Fr Stuttgart Technik, Stuttgart. Philosophical Transactions- Royal Society. Mathematical, Physical and Engineering Sciences.

76 Bronstert, A., 2003. Floods and climate change: Interactions and impacts. Risk Analysis, 23, 545-557.

77 Brooks, N., 2003. Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Working Paper, 38, Tyndall Centre for Climate Change, Norwich.

78 Hihorst, D. and G. Bankoff, 2004. Introduction : Mapping vulnerability. In mapping vulnerability: Disasters, development and people (Bankoff, G., G. Frerks and D. Hihorst, eds..) pp. 1-9. Earthscan, Sterling, VA.

79 Wisner, B., P. Blaikie, T. Canon and I. Davis, 2004. At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters. Second edition, Routledge, London.

80 Cutter, S.L., 1996. Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography, 20, 529-539.

81 Twigg, J., 2004. Disaster risk reduction: Mitigation and preparedness in development and emergency programming. Oversea Development Institute, London.

82 Adger, N.W., S. Hug, K. Brown, D. Conway and M. Hulme, 2003. Adaptation to climate change in the developing world. Progress in Development Studies, 3, 179-195.

83 Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University; International Food Policy Research Institute (IFPRI); and World Resources Institute (WRI), 2000. Grid-ded Population of the World (GPW), Version 2. Palisades, NY: CIESIN, Columbia University. Available

at <http://sedac.ciesin.columbia.edu/plue/gpw>.

84 Arnold, M., R.S. Chen, U. Deichmann, M. Dilley, A.L. Lerner-Lams, R.E. Pullen and Z. Trohanis, eds., 2006. Natural disaster hotspots: Case studies. The World Bank, 204 pp.

85 Kannami, Y. and K. Takeuchi, 2008. Establishment of country-based ood risk index. Master thesis of International Center for Water Hazard and Risk Management (ICHARM), Public Works Research Institute (PWRI), Japan.

86 Connor, R.F. and K. Hiroki, 2005. Development of a method for assessing ood vulnerability. *Water Science & Technology*, 51, 61-67.

87 NOAA Drought Information Center, 2006. Drought. 3 pp.

88 Below, R., E. Grover-Kopec and M. Dilley, 2007. Documenting drought-related disasters: A global reassessment. *The Journal of Environment & Development*, 16, 328-344.

89 Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought. Ofce of Climatology Research Paper 45. Weather Bureau, Washington, D.C., 58 pp.

90 Mckee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kliest, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In proceedings of the 84th Conference on applied climatology, 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society: boston, MA; 179-184.

91 Lloyd-Hughes, B. and M.A. Saunders, 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22, 1571-1592.

92 Ntale, H.K. and T.Y. Gan, 2003. Drought indices and their application to East Africa. *International journal of climatology*, 23, 1335-1357.

93 Edwards, C.D. and T.B. McKee, 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Atmospheric Science Paper no. 634, climatology Report, No. 9702, Department of Atmospheric Sciences, Colorado State University.

94 Bussay, A.M., C. Szinell, M. Hayes and M. Svoboda, 1998. Monitoring drought in Hungary using the standardized precipitation index. *Annales Geophysicae*, supplement 11 to Vol. 16, the abstract book of 23rd EGS General Assembly, C450. April 1998, Nice; France.

95 Szalai, S. and C. Szinell, 2000. Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary –a case study. In *Drought and Drought Mitigation in Europe*, Vogt J.V. and F. Somma (eds.), Kluwer: Dordrecht; 161-166.

96 Lana X., C. Serra and A. Burgueno, 2001. Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the standardized precipitation index. *International Journal of Climatology*, 21, 1669–1691.

97 Hayes, M.J., M.D. Svoboda, D.A. Wilhite and O.V. Vanyarkho, 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80, 429-438.

98 Peduzzi, P., H. Dao, C. Herold and F. Mouton, 2003. Global risk and vulnerability index trend per year (GRAVITY) - Phase III: Drought analysis. United Nations Environment Programme,

Technical paper, 25 pp.

99 Peduzzi, P., H. Dao, C. Herold, D. Rochette and H. Sanahuja, 2001. Feasibility study report on global risk and vulnerability index –Trends per year (GRAVITY). United Nations Environment Programme, Technical paper, 77 pp.

100 Peduzzi, P., et al., 2002. Global risk and vulnerability index trends per year (GRAVITY) -Phase II: Development, analysis and results. United Nations Environment Programme, Technical paper, 56 pp.

101 Dao, H. and P. Peduzzi, 2003. Global risk and vulnerability index trends per year (GRAVITY) –Phase IV: Annex to WVR and multi risk integration. United Nations Environment Programme, Technical paper, 31 pp.

102 Kasperson, J.X. et al., 2002. Vulnerability to global environmental change. In Diekmann, A., T. Dietz, C. Jaeger and E. Rosa (Eds.), The human dimension of global environmental change. MIT Press, Cambridge, MA. US.

103 Cutter, S.L., 1996. Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography, 20, 529-539.

104 Cutter, S.L., B.J. Boruff, and W.L. Shirley, 2003. Social vulnerability to environmental hazards. Social Science Quarterly, 84, 242-261.

105 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001. IPCC third assessment report – Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Published by UNEP/GRID Arenda, 1032 pp.

106 Jones, R. and R. Boer, 2003. Assessing current climate risk: adaptation policy framework. A guide for policies to facilitate adaptation to climate change, UNDP, in review, see <http://www.undp.org>.

107 O'Brien, K.L. and R.M. Leichenko, 2000. Double exposure: Assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. Global Environmental Change, 10, 221-232.

108 Adger, W.N., N. Brooks, G. Bentham and M. Agnew, 2004. New indicators of Vulnerability and adaptive capacity. Tyndall Center for Climate Change Research, Technical Report 7. 122 pp.

109 Downing, T.E. et al. 2001. Vulnerability indices: climate change impacts and adaptation. UNEP Policy Series, UNEP, Nairobi.

110 Jones, R. and R. Boer, 2003. Assessing current climate risk: adaptation policy framework. A guide for policies to facilitate adaptation to climate change, UNDP, in review, see <http://www.undp.org>.

111 FIVIMS, 2000. Report on the Geneva meeting on vulnerability. Fifth meeting of the subgroup on indicators, assessment and mapping, Geneva from 10-11 July 2000. Food insecurity and vulnerability information and mapping systems (FIVIMS), Rome. <http://www.vims.net>.

112 Peterson, T.C. and R.S. Vose, 1997. An overview of the global historical climatology

network temperature database. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2837-2849.

113 Vincent, L.A. and D.W. Gullett, 1999. Canadian historical and homogeneous temperature datasets for climate change analyses. *International Journal of Climatology*, 19, 1375-1388.

114 Aguilar, E., I. Auer, M. Brunet, T.C. Peterson and J. Wieringa, 2003. Guideline on climate metadata and homogenization. World Climate Programme Data and Monitoring WCDMP-No. 53. WMO-TD No. 1186, WMO, Geneva.

115 Wijngaard, J.B., A.M.G. Klein, and G.P. Knnen, 2003. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 23, 679-692.

116 Peterson, T.C. 1994. Report of the International Workshop on quality control of monthly climate data. NCDC Global Climate Laboratory Monograph, 28 pp.

117 Feng, S., Q. Hu, and W. Qian, 2004. Quality control of daily metrological data in China, 1951-2000: A new dataset. *International Journal of Climatology*, 24, 853-870.

118 Maidment, D.R. (ed.), 1993. *Hydrology Handbook*. McGraw-Hill: 18.20-18.21.

119 Cunnane, C., 1978. Unbiased plotting position – a review. *Journal of Hydrology*, 37, 205-220.

120 Vogel, W.R. and E.D. McMartin, 1991. Probability plot, goodness-of-t and skewness estimation procedures for the Pearson type 3 distribution. *Water Resource Research*, 27, 3149-3158.

121 Hovey, P. and T. DeFiore, 2003. Using modern computing tools to t the pearson type III distribution to aviation loads data. Ofce of Aviation Research Washington, 60 pp.

122 Bobee, B, and R. Robitaille, 1975. Correction of bias in the estimation of the coefcient of skewness. *Water Resource Research*, 11, 851-854.

123 Hosking, J.R.M. and J.R. Wallis, 1997. *Regional ood frequency analysis: An approach based on L-moments*. Cambridge University Press, Cambridge, New York.

124 Climate Analysis Section, National Center for Atmospheric Research, <http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/pdsi.html>.

125 Griffiths, M.L. and R.S. Bradley, 2007. Variation of twentieth-century temperature and precipitation extreme indicators in the Northeast United States. *Journal of Climate*, 20, 5401-5417.

126 Gong, D. and C.H. Ho, 2004. Intra-seasonal variability of wintertime temperature over East Asia. *International Journal of Climatology*, 24, 131-144.

127 Bhutiyani, M.R., V.S. Kale, and N.J. Pawar, 2007. Long-term trends in maximum, minimum and mean annual air temperatures across the Northwestern Himalaya during the twentieth century. *Climatic Change*, 85, 159-177.

128 Vincent, L.A., W.A. van Wijngaarden, and R. Hopkinson, 2007. Surface temperature and humidity trends in Canada for 1953-2005. *Journal of Climate*, 20, 5100-5113.

129 Suppiah, R. and K. Hennessy, 1998. Trends in total rainfall, heavy rainfall events and number of dry days in Australia, 1910-1990. *International Journal of Climatology*, 10, 1141-1164.

130 Gaffen, D.J. and R.J. Ross, 1999. *Climatology and trends of U.S. surface humidity and*

temperature. *Journal of Climate*, 12, 811-828.

131 Preisendorfer, R.W. 1988. *Principal component analysis in meteorology and oceanography*. Elsevier, New York, USA. 419 pp.

132 Emery, W.J. and R.E. Thomson, 1997. *Data analysis methods in physical oceanography*. Pergamon Press, New York, USA. 634 pp.

133 Jolliffe, I.T., 2002. *Principal component analysis*, 2nd edition. Springer-Verlag New York, Inc., USA. 478 pp.

134 The joint World Meteorological Organization (WMO) Commission for Climatology (CCI)/ World Climate Research Program (WCRP) Climate Variability and Predictability (CLIVAR) Project's Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI). <http://www.clivar.org/organization/etccd>.

135 Zhang, X. and F. Yang, 2004. *RClimDex (1.0): User manual*. Climate Research Branch, Ontario, Canada, 23 pp.

136 Wolter, K. and M.S. Timlin, 1998. Measuring the strength of ENSO –how does 1997/98 rank. *Weather*, 53, 315-324.

137 Adger, W.N., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, 268-281.

138 Cutter, et al., 2008. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 18, 598-606.

139 Brooks, N., W.N. Adger and P.M. Kelly, 2005. The determinations of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 15, 151-163.

140 Gallopin, G.C., 2006. Linkages between vulnerability, resilience and adaptive capacity. *Global environmental Change*, 16, 293-303.

141 Smit, B.,J. Wandel, 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, 282 – 292.

142 Folke, C., 2006. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological system analyzes. *Global Environmental Change*, 16, 253-267.

143 Gallopin, G.C., 2003. A systemic synthesis of the relations between vulnerability, hazard, exposure and impact, aimed at policy identification. In: Economic Commission for Latin American and the Caribbean (ECLAC). *Handbook for estimating the socio-economic and environmental effects of disasters*. ECLAC, LC/MEX/G.S., Mexico, D.F., pp.2-5.

144 Burton, et al., 2002. From impacts assessment to adaptation priorities : the shaping of adaptation policy. *Climate Policy*, 2, 145-159.

145 O'Brien, et al., 2004. Mapping vulnerability to multiple stressors: Climate change and globalization in India. *Global Environmental Change*, 14, 303-313.

146 Turner, I.I. et al., 2003. Framework for vulnerability analysis in sustainability science. In: proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, vol. 100, pp.



8074-8079.

147 Manyena, S.B., 2006. The concept of resilience revisited. *Disasters*, 30, 433-450.

148 Paton, D., D. Johnston, 2006. *Disaster resilience. An integrated approach*. Charles C. Thomas, Springfield, IL.

149 Tierney, K. and M. Bruneau, 2007. Conceptualizing and measuring resilience: A key to disaster loss reduction. *TR News* May-June, 14-17.

150 Allen, K., 2003. Vulnerability reduction and the community-based approach, In Pelling (ed.), *Natural Disasters and Development in a Globalising World*, 170-184.

151 Jone, R., R. Boer, 2003. *Assessing current climate risks, Adaptation Policy Framework: A guide for policies to facilitate adaptation to climate change*, UNDP, <http://www.undp.org/cc/apf-outline.html>.

152 Burton, I., R.W. Kates and G.F. White, 1993. *The environment as hazard*. 2nd ed. New York: Guilford Press.

153 Kates, R.W., 1971. Natural hazard in human ecological perspectives: Hypotheses and models. Cutter, S.L. (ed.), *Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall*. 78-93 (1994). *Economic Geography*, 47, 438-451.

154 Bohle, H.G., T.E. Downing and M.J. Watts, 1994. Climate change and social vulnerability : The sociology and geography of food insecurity. *Global Environment Change*, 4, 37-48.

155 Watts, M.J. and H.G. Bohle, 1993. The space of vulnerability : The causal structure of hunger and famine. *Progress in Human Geography*, 17, 43-67.

156 Blaikie, P., T. Cannon, I. Davis and B. Wisner, 1994. *At risk: Natural hazards, people's vulnerability, and disasters*. London: Routledge.

157 Turner B.L. et al., 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)*, 100, 8074-8079.

158 De Sherbinin, A., A. Schiller, and A. Pulsipher, 2007. The vulnerability of global cities to climate hazards. *Environmental and Urbanization*, 19, 39-64.

159 United Nations Framework on Climate Change Convention (UNFCCC), 2004. *Application of methods and tools for assessing impacts and vulnerability, and developing adaptation responses*. Background paper, 24 pp. [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int).

160 United Nations Framework on Climate Change Convention (UNFCCC), 2008. *Integrating socio-economic information in assessment of impact, vulnerability and adaptation to climate change*. Background paper, 12 pp. [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int).

161 Leary, N., C. Conde, J. Kulkarni, A. Nyong, and J. Pulhin, (eds.). 2008. *Climate change and vulnerability*. The International START Secretariat. 428 pp.

162 Downing, T.L. et al., 2001. *Vulnerability indices: Climate change impacts and adaptation*.

Policy series, 3, Nairobi, UNEP.

163 Cutter, et al., 2008. Community and regional resilience: Perspectives from hazards, disasters and emergency management. CARRI Research Report 1, Community & Regional Resilience Initiative, 19 pp.

164 Gall, M., 2007. Indices of social vulnerability to natural hazards: A comparative evaluation. Doctoral Thesis, Department of Geography, University of South Carolina, 231.

165 Babbie, E.R. and J. Mouton, 2001. The practice of social research. Cape Town: Oxford University Press Southern Africa.

166 Rossi, R.J. and K.J. Gilmartin, 1980. The handbook of social indicator. New York: Garland STPM Press.

167 Hill, A.A. and S.L. Cutter, 2002. Methods for determining disaster proneness. In America Hazardscapes: the regionalization of hazards and disasters, edited by S.L. cutter. Washington D.C.: Joseph Henry Press, 13-36.

168 Diener, E. and E. Suh, 1997. Measuring quality of life: Economic, social and subjective indicators. Social Indicators Research, 40, 189-216.

169 UNDP, 2005. Human Development Report 2005. New York: United Nations Development Programme (UNDP).

170 Esty, D.C., M. Levy, T. Srebotnjak and A. de Sherbinin, 2005. 2005 Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. Available from <http://www.ciesin.columbia.edu/indicator/ESI>.

171 Cardona, O.D., 2005. Indicators of disaster risk and risk management. Summary Report, July 2005. Washington D.C.: Inter-American Development.