ADB TA-9993 THA: โครงการการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภาคเกษตรเพื่อเพิ่มการฟื้นตัวและความยั่งยืนในพื้นที่สูง

การประเมินความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่สูง

คู่มือแนวทางการประเมิน

Japan Fund for Prosperous and Resilient Asia and the Pacific

From the People of Japan

Asian Institute of Technology

TA 9993-THA: โครงการการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภาคเกษตรเพื่อเพิ่มการฟื้นตัวและความยั่งยืนในพื้นที่สูง

สื่อเผยแพร่

การประเมินความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่สูง

คู่มือแนวทางการประเมิน

มิถุนายน 2566

ชื่อโครงการ: โครงการการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภาคเกษตรเพื่อเพิ่มการฟื้นตัวและความยั่งยืนในพื้นที่สูง

รหัสโครงการ: TA 9993-THA

เสนอต่อ: ธนาคารพัฒนาเอเชีย (ADB) และสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (OAE)

ประเภทเอกสาร: สื่อเผยแพร่ (Knowledge Product – KP3)

แก้ไขครั้งที่: 4

วันที่: 13 มิถุนายน 2566

ผู้เขียน: Sangam Shrestha, Sivapuram Venkata Rama Krishna Prabhakar, Mohana Sundaram Shanmugam, Mukand Singh Babel, Suwas Ghimire, Pragya Pradhan

รายงานฉบับนี้ไม่ได้แสดงถึงมุมมองของ ADB หรือหน่วยงานรัฐหน่วยงานใดที่เกี่ยวข้อง โดย ADB และหน่วยงานรัฐไม่มีส่วนรับผิดชอบใด ๆ ต่อเนื้อหาในรายงานฉบับนี้

สารบัญ

สารบัญ ก

สารบัญตาราง ง

สารบัญรูปภาพ ง

รายการตัวย่อ ช

1. บทนำ ๑

1.1 เกี่ยวกับคู่มือแนวทางการประเมิน ๑
1.2 กลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้ใช้คู่มือ ๒
1.3 การนำเสนอคู่มือแนวทางการประเมิน ๒

2. ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ๔

2.1 สภาพอากาศ (weather) และภูมิอากาศ (climate) ๔
2.2 คำศัพท์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ๔

3. ทำความเข้าใจเรื่องความเปราะบาง ๑๒

3.1 พื้นฐานทางทฤษฎีของความเปราะบาง ๑๒
3.2 ความสำคัญของความเปราะบางในการปรับตัว ๑๔
3.3 วิธีการประเมินความเปราะบาง ๑๖
3.4 แนวทางที่ใช้ตัวชี้วัดเป็นฐานเพื่อประเมินความเปราะบาง ๑๗

4. ความเปราะบางของพื้นที่สูง ๑๙

4.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่สูง ๑๙
4.2 เอกลักษณ์ของบริบททางเศรษฐกิจและสังคม ๒๐
4.3 เอกลักษณ์ของบริบททางการเกษตร ๒๐
4.4 ความท้าทายของพื้นที่สูงในประเทศไทย ๒๑
4.5 ความท้าทายของการประเมินความเปราะบาง ๒๑

5. เตรียมความพร้อม ๒๓

5.1 พูดภาษาเดียวกัน ๒๓
5.2 ขอบเขตของการทำงานก็มีความสำคัญ ๒๓
5.3 สร้างความมั่นใจในความเป็นเจ้าของ ๒๓

6. เป้าหมายและสถานการณ์ของกรณีการใช้งาน ๒๕

7. การจัดเตรียมข้อมูล ๒๘

7.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความเปราะบาง (VA) ๒๘
7.2 ประเด็นคุณภาพข้อมูลในการประเมินความเปราะบาง (VA) ๓๑
7.3 ขั้นตอนของการให้เกิดความมั่นใจในคุณภาพข้อมูลเพื่อทำ VA ๓๒

8. ทำความเข้าใจเรื่องความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับ VA ๓๔

8.1 อะไรคือความไม่แน่นอนใน VA? ๓๔
8.2 แหล่งของความไม่แน่นอนใน VA ๓๔
8.3 การแปลผลลัพธ์ VA ที่มีความไม่แน่นอน ๓๔
8.4 ข้อควรระวังในการลดความไม่แน่นอน ๓๕

9. การประเมินความเปราะบาง ๓๖

9.1 ขั้นตอนการคำนวณดัชนีความเปราะบาง (VI) ๓๖

10. ความล่อแหลม ๔๔

10.1 ดัชนีชี้วัดความแห้งแล้ง (SPEI) ๔๕
10.2 ภัยแล้ง ๔๗
10.3 ความรุนแรง ระยะเวลา และระดับความรุนแรงของภัยแล้ง ๔๗
10.4 น้ำท่วม ๔๗
10.5 ความรุนแรง ระยะเวลา และระดับความรุนแรงของภัยน้ำท่วม ๔๘
10.6 อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝน/อุณภูมิรายปี ๔๘
10.7 การถดถอยเชิงเส้นของอุณหภูมิในอำเภอบัวใหญ่ ๔๘

11. ความอ่อนไหว ๕๐

11.1 ความเสี่ยงจากการพังทลายของดิน ๕๑
11.2 อินทรีย์วัตถุในดิน ๕๑
11.3 ความเป็นกรดของดิน ๕๒
11.4 สัดส่วนของพื้นที่ดินเพาะปลูกทั้งหมดต่อพื้นที่เพื่อการเกษตร ๕๒
11.5 ความต้องการน้ำของพืช ๕๒
11.6 ครัวเรือนที่มีรายได้จากภาคการเกษตรเท่านั้น ๕๒
11.7 อัตราการตัดไม้ทำลายป่า ๕๒
11.8 ความหนาแน่นของประชากร ๕๓
11.9 การปลูกพืชหมุนเวียน ๕๓
11.10 ความหลากหลายของชนิดพืชผล ๕๓
11.11 หลักการของแบบจำลอง AquaCrop ๕๓
11.12 การพัฒนาแบบจำลอง AquaCrop ๕๕

12. ความสามารถในการปรับตัว ๗๗

12.1 ขนาดการถือครองที่ดิน ๗๘
12.2 อัตราการจ้างงาน ๗๘
12.3 ความพร้อมของสินเชื่อ ๗๘
12.4 สัดส่วนค่ามัธยฐานของรายได้เฉลี่ยนอกภาคการเกษตรต่อรายได้ทั้งหมด ๗๘
12.5 ระดับการศึกษา ๗๘
12.6 ความหนาแน่นของปศุสัตว์ ๗๘
12.7 ค่าใช้จ่ายในการคมนาคมขนส่ง ๗๙

13. การใช้การประเมินความเปราะบางเพื่อการตัดสินใจ ๘๐

13.1 การใช้ในบริบทของโครงการและนโยบาย ๘๐
13.2 การใช้วางแผนการปรับตัวด้านเกษตรกรรม ๘๑

14. เอกสารอ้างอิง ๘๖

15. ภาคผนวก ๘๘

15.1 ภาคผนวก I: อภิธานศัพท์ที่สำคัญ ๘๘
15.2 ภาคผนวก II: R programming language script for empirical quantile mapping ๙๐
15.3 ภาคผนวก III: R script for SPEI, Temperature and Rainfall slopes and Crop water demand calculation ๙๔

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1: สรุปสถานการณ์ SSP (ที่มา: IPCC AR6) ๖
ตารางที่ 2: สมการที่ใช้สำหรับเทคนิคแผนที่ควอนไทล์เชิงประจักษ์ ๘
ตารางที่ 3: การวิเคราะห์สถานการณ์การปรับตัว ๒๘
ตารางที่ 4: การจัดชั้นของความเปราะบางตามชั้นค่าเปอร์เซ็นไทล์ ๓๙
ตารางที่ 5: การเรียงลำดับความสำคัญของการดำเนินการและการแทรกแซงเชิงนโยบายสำหรับหมู่บ้านทัพม่าน ๔๑
ตารางที่ 6: ค่ามาตรฐานการวัดความพร้อมใช้ของน้ำ (SPEI) ที่สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่มีน้ำมาก น้ำปกติ และน้ำแล้ง ๔๔
ตารางที่ 7: ค่ามาตรฐานการวัดความพร้อมใช้ของน้ำ (SPEI) ที่สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่มีน้ำมาก น้ำปกติ และน้ำแล้ง ๔๗
ตารางที่ 8: ตัวชี้วัดที่ได้มาจากการทบทวนค่าดัชนีของค่าความอ่อนไหวและและความสัมพันธ์เชิงหน้าที่กับความเปราะบางทางการเกษตร ๕๐
ตารางที่ 9: การตั้งค่าเริ่มต้น ๕๗
ตารางที่ 10: ตัวอย่างของแฟ้มข้อมูลที่เป็นข้อความ (text file) ๕๙
ตารางที่ 11: พารามิเตอร์ของแบบจำลอง AquaCrop ๗๕
ตารางที่ 12: ตัวชี้วัดที่ได้มาจากการทบทวนดัชนีความสามารถในการปรับตัวและความสัมพันธ์เชิงหน้าที่กับความเปราะบางทางการเกษตร ๗๗
ตารางที่ 13: เครื่องมือการประเมินชนบทแบบมีส่วนร่วม (Participatory Rural Appraisal) ที่ใช้ในกระบวนการ CBA ๘๓

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1: SSP กับความท้าทายสำหรับพื้นที่การบรรเทาลกระทบและการปรับตัว ๕
รูปที่ 2: ความสัมพันธ์ระหว่างความเปราะบาง, ความสามารถในการปรับตัว, และผลกระทบสุทธิ (ที่มา Marshall, et al. 2010) ๑๓

รูปที่ 3: ความเปราะบาง, ความยืดหยุ่น, และการปรับตัว (ที่มา: Ilori And Prabhakar, 2014) ๑๕

รูปที่ 4: วิถีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจการเกษตรในท้องถิ่นและเชื่อมโยงไปจนถึงเศรษฐกิจระดับมหภาค ๑๘

รูปที่ 5: ลำดับขั้นตอนในการจัดการสถานการณ์ของกรณีการใช้งาน (ที่มา: ผู้เขียน) ๒๕

รูปที่ 6: ขั้นตอนการประเมินความความเปราะบาง ๓๖

รูปที่ 7: การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี (สถานี 48330) ระหว่างปี พ.ศ. 2515-2563 ๔๘

รูปที่ 8: เมนูหลักของ AquaCrop a) แผงหน้าปัดสภาพแวดล้อมและพืชผล และ b) แผงหน้าปัดแสดงการจำลอง ๕๕

รูปที่ 9: เมนูหลักของ AquaCrop a) พร้อมกล่องโต้ตอบการนำเข้าข้อมูลที่เปิดอยู่ ๕๖

รูปที่ 10: (a) แสดงผล/การปรับปรุงคุณลักษณะสำหรับการเลือกแฟ้มข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้อง (b) ตรวจสอบแฟ้มข้อมูลนำเข้าที่ถ่ายโอนข้อมูลสำหรับแบบจำลอง (c) เลือกคำสั่ง Save As สำหรับการบันทึกแฟ้มข้อมูล ๕๘

รูปที่ 11: การสร้างแฟ้มสภาพภูมิอากาศ: a) การปรับปรุงประเภทข้อมูลและเวลา b) การเลือกพารามิเตอร์สภาพภูมิอากาศ c) การคำนวณค่า ETo และ d) การนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศในแฟ้มข้อมูล ๖๐

รูปที่ 12: การนำเข้าแฟ้มข้อมูลพืชผลจากฐานข้อมูล b) สร้างแฟ้มข้อมูลพืชผล ๖๑

รูปที่ 13: ค่าพารามิเตอร์ของพืชผลที่แตกต่างกันในรูปของแผ่นงานแบบตาราง (tabular sheets) ๖๒

รูปที่ 14: (a) การพัฒนาทรงพุ่มปกคลุมเรือนยอด (b) ค่าการปกคลุมเรือนยอดสูงสุด (CCx) (c) ระยะเวลาของการออกดอกและการสร้างผลผลิต และ (d) กำหนดความลึกของรากที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ๖๓

รูปที่ 15: ผลผลิตจากพืช – a) ผลิตภาพการใช้น้ำของพืช และ b) ดัชนีการเก็บเกี่ยวอ้างอิง ๖๔

รูปที่ 16: (a) เริ่มต้นการสอบเทียบความเครียดของความอุดมสมบูรณ์ของดิน (b) การตอบสนองของพืชต่อความเครียดของความอุดมสมบูรณ์ของดิน และ (c) การสอบเทียบค่าพารามีเตอร์พืชผล ๖๕

รูปที่ 17: แผ่นตารางปฏิทินเพื่อตรวจสอบหรือปรับปฏิทินของช่วงการเจริญเติบโต ๖๖

รูปที่ 18: (a) เลือกคำสั่ง Select/Create แฟ้มข้อมูลการจัดการไร่นาเพื่อสร้างแฟ้มการจัดการไร่นา และ b) เลือก Field Management เพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลการจัดการไร่นาที่แตกต่าง ๖๘

รูปที่ 19: a) เลือกคำสั่ง Soil profile b) เลือกคำสั่ง Select/Create soil profile file ในแผงหน้าปัดเมนูหลักของการจัดการแฟ้มข้อมูล c) เลือกคำสั่ง Select Create soil profile file เพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลการจัดการดิน ๖๙

รูปที่ 20: แฟ้มข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน a) เลือกคำสั่ง Groundwater b) เลือกคำสั่ง Select/Create แฟ้มข้อมูลน้ำใต้ดิน c) เลือกระหว่าง Constant depth and water quality; หรือ Varying depth and/or water quality d) คลิกเลือกคำสั่ง Create เพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน ๗๐

รูปที่ 21: การปรับระยะเวลาการจำลองสถานการณ์ตามรอบการปลูกพืช ๗๑

รูปที่ 22: a) เลือกคำสั่งเงื่อนไขเริ่มต้น b) เลือกคำสั่ง Select/Create เพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้น c) สร้างแฟ้มข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้น d) ปรับแก้ความหนาของหน้าตัดดิน ระดับความชื้นของดิน และความเค็มของดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของหน้าดิน ๗๒

รูปที่ 23: (a) เลือกโครงการ (Project) จากแผงหน้าปัดจำลองสถานการณ์ (b)ใช้คำสั่ง Select/Create เพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลโครงการ (c) เลือกการจำลองสถานการณ์ครั้งเดียวหรือหลายครั้ง และ (d) ในกรณีที่เลือกการจำลองสถานการณ์หลายครั้งสามารถปรับแก้จำนวนของปีที่ขึ้นอยู่กับข้อมูลสภาพภูมิอากาศได้ ๗๒

รูปที่ 24: (a) เลือก field data, (b) เลือกคำสั่ง Select/Create field data file, (c) เลือก Create field data file, (d) แฟ้มข้อมูล Field data สามารถกรอกข้อมูลตามวันที่และปี ๗๓

รูปที่ 25: (a) คลิกคำสั่ง Run (b) ปรับแก้เวลาสิ้นสุดของการจำลองสถานการณ์ และ (c) คลิกคำสั่ง Start เพื่อจำลองสถานการณ์จากแบบจำลอง ๗๔

รูปที่ 26: การใช้ความเปราะบางเป็นตัวชี้วัดเพื่อประเมินการแทรกแซงการปรับตัว (ที่มา: ผู้เขียน) ๘๑

รูปที่ 27: วงจรการวางแผนการปรับตัวบนฐานของชุมชน (ที่มา: ผู้เขียน) ๘๒

รูปที่ 28: ลำดับขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวางแผน CBA ๘๔

รายการตัวย่อ

A	Adaptive Capacity ความสามารถในการปรับตัว
ADB	Asian Development Bank ธนาคารพัฒนาเอเชีย
AET	Actual Evapotranspiration ปริมาณการคายระเหยจริง
AI	Artificial Intelligence ปัญญาประดิษฐ์
AIT	Asian Institute of Technology สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
CBA	Community Based Adaptation การปรับตัวบนฐานของชุมชน
CBDRM	Community Based Disaster Risk Management การจัดการความเสี่ยงจากภัยพิบัติบนฐานของชุมชน
CC	Climate Change การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
CDF	Cumulative Distribution Function ฟังก์ชันการกระจายสะสม
CIESIN	Center for International Earth Science Information Network ศูนย์เครือข่ายข้อมูลวิทยาศาสตร์โลกนานาชาติ
E	Exposure ความล่อแหลม
FAO	Food and Agriculture Organization องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ
GAEZ	Global Agroecological Zones เขตนิเวศเกษตรโลก
GCMs	General Circulation Models แบบจำลองการไหลเวียนทั่วไป (ของสภาพภูมิอากาศโลก)
GHGs	Greenhouse Gases ก๊าซเรือนกระจก
HI	Harvest Index ดัชนีการเก็บเกี่ยว
HKH	Hindi Kush Himalaya เทือกเขาฮินดูกูช-หิมาลัย
IAM	Integrated Assessment Modelling แบบจำลองการประเมินแบบบูรณาการ
IIASA	International Institute for Applied Systems Analysis สถาบันระหว่างประเทศเพื่อการวิเคราะห์ระบบประยุกต์
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ
IUCN	International Union for Conservation of Nature องค์การระหว่างประเทศเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ
NASA	National Aeronautics and Space Administration องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ

NGO	Non-Governmental Organization องค์การนอกภาครัฐ องค์กรพัฒนาเอกชน
PET	Potential Evapotranspiration ศักย์การคายระเหย ปริมาณการใช้น้ำสูงสุดของพืช
PRA	Participatory Rural Appraisal การประเมินชุมชนแบบมีส่วนร่วม
PWM	Probability Weighted Moment วิธีโมเมนต์ถ่วงน้ำหนักความน่าจะเป็น
RCMs	Regional Climate Models แบบจำลอง ภูมิอากาศภูมิภาค
RID	Royal Irrigation Department กรมชลประทาน
S	Sensitivity ความอ่อนไหว
SEDAC	Socioeconomic Data and Applications Center ศูนย์ข้อมูลเศรษฐกิจสังคมและการประยุกต์
SPEI	Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index ดัชนีวัดความแห้งแล้ง
SSP	Shared Socioeconomic Pathway วิถีทางเศรษฐกิจและสังคมที่ใช้ร่วมกัน
TMD	Thai Meteorological Department กรมอุตุนิยมวิทยา
UN	United Nations องค์การสหประชาชาติ
UNEP	United Nations Environment Program โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ
VA	Vulnerability Assessment การประเมินความเปราะบาง
VI	Vulnerability Index ดัชนีความเปราะบาง
WCMC	World Conservation Monitoring Centre ศูนย์เฝ้าระวังการอนุรักษ์โลก โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ

1. บทนำ

1.1 เกี่ยวกับคู่มือแนวทางการประเมิน

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นประเด็นปัญหาของมนุษยชาติที่กำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบัน และทุกประเทศมีความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยไม่คำนึงถึงสถานะการพัฒนาของพวกเขาว่าจะอยู่ในระดับใด อาจมีผู้สังเกตเห็นว่าการเติมประโยคแรกของเอกสารส่วนนี้ให้สมบูรณ์เป็นเรื่องยากโดยไม่ต้องใช้คำว่า "ความเปราะบาง (Vulnerability)" นี่แสดงให้เห็นว่าความเปราะบางเป็นหัวใจสำคัญของสาเหตุที่มนุษยชาติและธรรมชาติต้องเผชิญกับผลกระทบด้านลบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้วยเหตุนี้ความเปราะบาง จึงเป็นองค์ประกอบสำคัญในการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแตกต่างกันไปในแต่ละสถานที่นั้นเกิดจากข้อเท็จจริงที่ว่า ปัจจัยที่เน้นย้ำถึงความเปราะบางขององค์ประกอบที่มีความเสี่ยงหรือองค์ประกอบที่มีความล่อแหลมนั้นแตกต่างกันไปในแต่ละสถานที่ อีกปัจจัยหนึ่งคือตัวของภัยอันตรายเอง ซึ่งมีความแปรปรวนอย่างมากในแง่ของระยะเวลาและความรุนแรง

เมื่อพิจารณาถึงความสำคัญของการทำความเข้าใจและจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของสังคมและสิ่งแวดล้อมต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จึงมีการพัฒนาแนวทางหลายประการ แนวทางเหล่านี้มักจะคำนึงถึงบริบทและความต้องการของท้องถิ่น ถือเป็นความสามารถที่สำคัญสำหรับวิธีการประเมินความเปราะบาง (Vulnerability Assessment: VA) ที่จะนำไปใช้กับบริบทเฉพาะสถานที่ได้ เนื่องจากวิธีการที่ออกแบบมาสำหรับบริบทที่แตกต่างกันอาจไม่ช่วยให้เข้าใจบริบทท้องถิ่นได้อย่างครบถ้วนหากใช้ที่อื่น ดังนั้น วัตถุประสงค์ของคู่มือแนวทางการประเมินนี้คือ ได้ดึงเอาวิธีการของ VA ที่ใช้กับพื้นที่สูงออกมา ความสามารถของคู่มือนี้เกิดจากการที่วิธีการที่นำเสนอในคู่มือนี้ ผ่านการทดสอบภายใต้สภาวะบนพื้นที่สูงในประเทศไทยมาแล้ว

ความหมายของคำว่า คู่มือแนวทางการประเมิน แนวทางปฏิบัติ คู่มือทางเทคนิค ฯลฯ มักใช้แทนกันได้โดยมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย โดยไม่ต้องคำนึงถึงการที่จะใช้ความหมายเหล่านี้แทนกันได้ ในที่นี้จะถือว่าคู่มือแนวทางการประเมินเป็นเอกสารที่ช่วยให้ผู้ใช้ สามารถใช้ทำ VA ได้ตั้งแต่เริ่มต้นจนจบการประเมินตามวัตถุประสงค์ของการประเมินในลักษณะที่มีโครงสร้าง ด้วยเหตุนี้เอง คู่มือแนวทางการประเมิน ที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำเข้าใจกับการทำ VA และสามารถดำเนินการได้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้คู่มือนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงต้องใช้คู่มือฉบับนี้ควบคู่กับเอกสารวิเคราะห์เรื่อง “ความเปราะบางของการเกษตรบนพื้นที่สูง: สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันและอนาคต –ข้อมูลเชิงลึกจากจังหวัดน่าน ประเทศไทย” ที่ได้รับการพัฒนาเพื่อให้ข้อมูลเชิงลึกที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้นเกี่ยวกับ ด้านเทคนิคของการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การสร้างแบบจำลองพืชผล และการคำนวณดัชนีความเปราะบาง (Vulnerability Index: VI)

คู่มือฉบับนี้ ให้คำแนะนำแบบโครงสร้างทีละขั้นตอนเป็นอย่างดีเกี่ยวกับวิธีการดำเนินการ VA โดยจะอธิบายสั้น ๆ เกี่ยวกับองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่อยู่เบื้องหลัง VA โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอธิบายในมุมมองของผู้ใช้และการใช้งานสุดท้าย และการอธิบายในมุมมองด้านการใช้เครื่องมือ/ซอฟต์แวร์/อุปกรณ์ คู่มือนี้มีขอบเขตและบริบทที่ชัดเจนในแง่ของผู้ใช้และสิ่งที่ต้องใช้ใน

คู่มือ การใช้ภาษาในคู่มือนี้แตกต่างจากภาษาที่ใช้ในการเขียนเอกสารบทความทางวิทยาศาสตร์ที่ผ่านการตรวจสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิ โดยไม่สูญเสียความหมายและเจตนารมย์ ทำให้ผู้ใช้ในวงกว้างสามารถเข้าถึงคู่มือนี้ได้มากขึ้น คาดว่าคู่มือนี้จะมีการใช้งานแพร่กระจายไปอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะผู้ใช้ที่มีทักษะและมีความรู้ที่ไม่สูงมาก และคาดหวังให้ผู้ใช้ได้รับประโยชน์อย่างมากจากการใช้งาน คู่มือนี้ไม่ได้กำหนดไว้ในลักษณะทั่วไป โดยจะให้คำแนะนำแบบกว้าง ๆ ที่จำเป็นในการดำเนินการ VA เท่านั้น ในขณะที่ยังมีพื้นที่ให้ผู้อ่านได้ใช้นวัตกรรมตามแนวทางของตนเองได้

1.2 กลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้ใช้คู่มือ

ผู้ใช้ทั่วไปของคู่มือนี้ต้องมีความเข้าใจพื้นฐานถึงระดับปานกลางเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความเปราะบาง ความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการปรับตัวจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง ผู้ใช้อาจมีหรือไม่มีประสบการณ์การทำงานโดยตรงเกี่ยวกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรวมถึง VA และตั้งใจที่จะเข้าสู่เรียนรู้ในสาขาที่เกี่ยวกับ VA และพัฒนาทักษะที่จำเป็นในการดำเนินการ VA โครงการคาดหวังว่าผู้ใช้คู่มือนี้อาจทำงานในภาครัฐบาล (เช่น กรมวิชาการเกษตร) องค์กรนอกภาครัฐ/องค์กรพัฒนาเอกชน สถาบันวิจัยหรือองค์กรพัฒนาที่ได้รับมอบหมายให้ดำเนินการเกี่ยวกับ VA โดยมีเป้าหมายสุดท้ายในการพัฒนาการลดความเสี่ยงบางประเภท การเข้าแทรกแซง รวมถึงการวางแผนการปรับตัวของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

เนื่องจากสิ่งสำคัญของคู่มือนี้คาดหวังว่าผู้ใช้คู่มือควรมีความเชี่ยวชาญในขอบเขตเชิงลึกด้านสาขาการเกษตรและสาขาที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้สามารถใช้เครื่องมือสร้างแบบจำลองที่อธิบายไว้ในคู่มือได้ นอกจากนี้ เนื่องจากคู่มืออาศัยวิธีการมีส่วนร่วมเป็นอย่างมาก จึงคาดหวังว่าผู้ใช้สามารถทำงานร่วมกับชุมชนในการเกษตรและการพัฒนาชนบท หน่วยงานที่ทำการประเมินหรือผู้เชี่ยวชาญ ควรจะต้องได้รับมอบหมายให้พัฒนาแผนการเกษตรหรือโปรแกรมที่กำหนดเป้าหมายไปที่เกษตรกร/ภูมิภาค/สังคมที่มีความเปราะบาง โดยมุ่งเน้นไปที่พื้นที่เกษตรกรรมในชนบทและศูนย์การผลิต และท้ายที่สุด คาดว่าผู้อ่านคู่มือนี้จะได้มีโอกาสใช้ผลงานจากการประเมินหรือเป็นผู้ประเมินเอง เนื่องจากเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินการ VA และเกิดผลผลิต VA ที่เป็นประโยชน์

1.3 การนำเสนอคู่มือแนวทางการประเมิน

แนวทางในคู่มือจัดทำขึ้นในลักษณะที่จะนำผู้ใช้ผ่านลำดับขั้นตอนที่จำเป็นต่อการพัฒนาผลลัพธ์ของ VA ในขั้นสุดท้าย ขั้นตอนของเอกสารแนวทาง มีรายละเอียดดังนี้

แนวคิดพื้นฐาน: ขั้นแรก จะมีการหารือเกี่ยวกับแนวคิดที่เป็นรากฐานของ VA เนื่องจากมีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายรายที่เกี่ยวข้องกับ VA และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียแต่ละรายอาจมีความเข้าใจเกี่ยวกับ VA ที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาความเข้าใจร่วมกันก่อนที่จะดำเนินการ VA จริง

การประเมินความเปราะบางในพื้นที่สูง: ต่อจากนั้น แนวปฏิบัติจะนำเสนอสภาพของพื้นที่สูง ข้อจำกัด และโอกาสในการดำเนินการ VA ในสภาพพื้นที่สูง ระบบนิเวศบนที่สูงเป็นหนึ่งในระบบนิเวศที่ไม่ค่อยมีใครเข้าใจ และมี VA น้อยมากที่เหมาะสมกับพื้นที่สูง แนวปฏิบัติเหล่านี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อดึงเอาผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากพื้นที่สูงซึ่งไม่ใช่แค่พื้นที่สูงของประเทศไทยเท่านั้น นอกจากนี้ VA เหล่านี้ยังจะได้รับประโยชน์จากประสบการณ์ที่เกิดจาก VA ที่ดำเนินการในประเทศไทย และมีความพยายามเพื่อให้แน่ใจว่าขั้นตอนที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้กับพื้นที่สูงในที่อื่น ๆ ได้ด้วย

เตรียมการวางแผน: VA เป็นการดำเนินงานที่ต้องใช้ทรัพยากรที่เข้มข้น ทั้งในด้านการเงินและทรัพยากรมนุษย์ และต้องการการมีส่วนร่วมจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายฝ่าย เนื่องจากลักษณะของ VA มีผู้ใช้หลายรายและศาสตร์หลากหลายสาขา แม้ว่า VA จะได้รับการออกแบบสำหรับภาคส่วนย่อยที่เฉพาะเจาะจง แต่ลักษณะพื้นฐานของ VA นี้ยังคงอยู่ ดังนั้นการวางแผนที่ละเอียดจึงเกี่ยวข้องเพื่อการทำ VA ที่มีประสิทธิผล

การกำหนดเป้าหมายและสถานการณ์ของกรณีการใช้งานที่แตกต่าง: เนื่องจาก VA เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายรายและเนื่องจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเหล่านี้อาจมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน ในการประเมิน VA จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ใช้ VA จะบรรลุความเข้าใจร่วมกัน ความเข้าใจร่วมกันเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเป้าหมายของ VA และสถานการณ์จากกรณีการใช้งานต่าง ๆ ที่อาจใช้ผลลัพธ์จาก VA ได้

การเตรียมข้อมูล: VA เกี่ยวข้องกับการใช้ข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบทางเศรษฐกิจและสังคมและชีวกายภาพต่าง ๆ เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้มาจากแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน มีการวัดโดยใช้วิธีการที่แตกต่างกันซึ่งมีความแม่นยำและถูกต้องต่างกัน VA ที่ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลเหล่านี้จึงอาจจะเกิดข้อผิดพลาดได้ ข้อผิดพลาดของข้อมูลมีความสำคัญมากยิ่งขึ้นในสภาพพื้นที่สูงซึ่งมีข้อมูลอยู่อย่างกระจัดกระจาย ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องเข้าใจประเภทข้อมูล แหล่งข้อมูล ประเภทของข้อผิดพลาด แหล่งที่มาของข้อผิดพลาด และวิธีการแก้ไขข้อผิดพลาดเหล่านี้ ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถดำเนินการ VA ที่มีการทำซ้ำได้และความน่าเชื่อถือสูง

ทำความเข้าใจกับความไม่แน่นอนใน VAs: นอกจากข้อผิดพลาดในข้อมูลที่ใช้สำหรับ VA แล้ว VA ยังอาจได้รับผลกระทบจากความไม่แน่นอนอีกด้วย ความไม่แน่นอนเหล่านี้ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากลักษณะพื้นฐานของการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความไม่แน่นอนโดยธรรมชาตินี้เป็นข้อจำกัดการใช้ VA สำหรับการตัดสินใจในอนาคต ผู้ใช้จะต้องตระหนักให้ดีถึงข้อจำกัดเหล่านี้และสามารถตัดสินใจได้อย่างเหมาะสมโดยอิงผลจาก VA

ภัยอันตราย (Hazard) **ความล่อแหลม** (Exposure) **ความอ่อนไหว**(Sensitivity) **และความสามารถในการปรับตัว** (Adaptive Capacity): VA เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบพื้นฐานสามประการ ได้แก่ ภัยอันตราย ความล่อแหลม ความอ่อนไหวและความสามารถในการปรับตัว โดยแต่ละองค์ประกอบเหล่านี้ได้รับการกล่าวถึงโดยละเอียดในส่วนที่เกี่ยวข้องของแนวทางการประเมิน แม้ว่าเครื่องมือที่ใช้สำหรับการประเมินอาจไม่มีขั้นตอนการทำงานแยกต่างหากสำหรับการประเมินองค์ประกอบเหล่านี้ แต่การแยกสิ่งเหล่านี้ออกมาพิจารณาเป็นเรื่องๆ ไป จะทำให้ผู้ใช้งานได้แนวคิดที่ชัดเจน ในขณะเดียวกันก็ถ่ายทอดข้อกำหนดในการปฏิบัติงานสำหรับการดำเนินการ VA ด้วย

การประเมิน ความเปราะบาง: การสร้างผลลัพธ์สุดท้ายของ VA เกี่ยวข้องกับการรวบรวมองค์ประกอบของภัยอันตราย ความล่อแหลม ความอ่อนไหวและความสามารถในการปรับตัว การสร้างผลลัพธ์จาก VA จำเป็นต้องคำนึงถึงสถานการณ์กรณีการใช้งานในมุมมองและวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน ดังนั้นส่วนนี้จึงกล่าวถึงการนำเสนอข้อมูล VA อย่างเหมาะสมตามความต้องการของผู้ใช้ด้วย

การใช้ VA **เพื่อการตัดสินใจ**: เมื่อสร้างผลลัพธ์ของ VA แล้ว การใช้งานสามารถติดตามสถานการณ์กรณีการใช้งานที่ระบุไว้ตอนเริ่มต้นของการทำ VA หนึ่งในสถานการณ์กรณีการใช้งานทั่วไปสำหรับ VA คือการพัฒนาแผนการดำเนินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับชุมชนรวมถึงแผนการปรับเปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในชุมชนสำหรับภาคเกษตรในพื้นที่สูง

2. ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเริ่มต้นด้วยการทำความเข้าใจใน “สภาพภูมิอากาศ” และความแตกต่างจาก “สภาพอากาศ” ที่รู้จักกันโดยทั่วไป

2.1 สภาพอากาศ (weather) และภูมิอากาศ (climate)

สภาพอากาศ คือ สภาวะของบรรยากาศในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ สามารถอธิบายได้โดยใช้ตัวแปรสถานะของชั้นบรรยากาศ เช่น ปริมาณฝน อุณหภูมิ ความดัน ความเร็วลม ความชื้น การแผ่รังสีแสงอาทิตย์ เป็นต้น สภาพอากาศมีการอธิบายในช่วงเวลาที่ค่อนข้างสั้น: ช่วงเวลาของวัน รายวัน ไปจนถึงระยะเวลาสองสามวันหรือเป็นเดือน ดังนั้น จึงสามารถกำหนดสภาพอากาศในแต่ละวันได้ เช่น แดดจัด เมฆมาก ฝนตก ร้อน หนาว หรืออื่น ๆ

ในทางกลับกัน สภาพภูมิอากาศเป็นรูปแบบสภาพอากาศที่เกิดขึ้นในพื้นที่ในระยะยาว กล่าวง่าย ๆ ก็คือ เป็นค่าเฉลี่ยของสภาพอากาศเป็นระยะเวลานาน เช่น ระยะเวลา 30 ปีตามแบบแผนเดิมที่ใช้กัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงสามารถอธิบายได้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบสภาพอากาศในช่วงเวลาที่ยาวนานกว่าในพื้นที่ที่กำหนด เราสามารถเข้าใจการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้โดยการวิเคราะห์ตัวแปรสภาวะบรรยากาศตามที่กล่าวไว้ข้างต้น (หรือที่เรียกว่าตัวแปรภูมิอากาศ) ในระยะยาว สำหรับการวิเคราะห์ในอดีต จะใช้ข้อมูลที่สังเกตได้ที่เก็บได้จริงหรือค่าประมาณตามหลักฐานทางกายภาพ ในขณะที่การฉายภาพสภาพภูมิอากาศในอนาคตจะใช้การจำลองแบบจำลองเชิงตัวเลข

2.2 คำศัพท์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

มีคำศัพท์หลายคำที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่งจะอธิบายต่อจากนี้

2.2.1 แบบจำลองการไหลเวียนทั่วไป (General Circulation Models: GCMs)

แบบจำลองการไหลเวียนทั่วไป (GCM) เป็นแบบจำลองเชิงตัวเลขที่พยายามจำลองพฤติกรรมของชั้นบรรยากาศของโลกและ/หรือมหาสมุทรในช่วงเวลาหนึ่ง แบบจำลองเหล่านี้ถือว่าโลกเป็นทรงกลมซึ่งมีตารางแนวนอนและแนวตั้งที่แสดงถึงชั้นบรรยากาศ มหาสมุทร และพื้นผิวดิน ตาราง 3 มิติแต่ละตารางเป็นจุดคำนวณ เมื่อตั้งค่าพารามิเตอร์แบบจำลองด้วยเงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขตแล้ว สมการเนเวียร์-สโตกส์บนรูปทรงกลมที่หมุนได้จะถูกนำมาใช้เพื่อจำลองกระบวนการในมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศ ดังนั้น GCM จึงสามารถจำลองสภาพภูมิอากาศของโลกได้ สำหรับช่วงเวลาในอดีต เราสามารถจำลองสภาพภูมิอากาศได้อย่างง่ายดายโดยให้เงื่อนไขเริ่มต้นที่สังเกตได้ (เช่น อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ความเร็วและทิศทางลม ปริมาณความชื้น อุณหภูมิพื้นผิวทะเล การปกคลุมของน้ำแข็งในทะเล ลักษณะพื้นผิวพื้นดิน ณ ขั้นตอนเวลาเริ่มต้น) และเงื่อนไขขอบเขต (ตัวอย่าง: อุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเล การปกคลุมของน้ำแข็งในทะเล ลักษณะพื้นผิวพื้นดิน การแผ่รังสีแสงอาทิตย์ ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกที่ขอบเขตแบบจำลอง เช่น มหาสมุทรและพื้นผิวดิน พื้นดินและบรรยากาศ บรรยากาศและอวกาศ) อย่างไรก็ตาม ในอนาคต จำเป็นต้องสร้างสถานการณ์ที่เป็นไปได้ซึ่งสามารถอธิบายวิวัฒนาการของ

สังคมมนุษย์และการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมได้ดีขึ้น สถานการณ์ดังกล่าวสามารถใช้เพื่อปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตให้ทันสมัยขึ้นภายใน GCM ในระหว่างการฉายภาพสภาพภูมิอากาศในอนาคต

2.2.2 วิถีเศรษฐกิจและสังคมที่ใช้ร่วมกัน (Shared Socioeconomic Pathways: SSPs)

SSPs เป็นสถานการณ์ที่พัฒนาขึ้นโดยความร่วมมือกันระหว่างนักวิจัยการสร้างแบบจำลองการประเมินแบบบูรณาการ (IAM) และอิงตามข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย รวมถึงการคาดการณ์ทางประชากรศาสตร์ แบบจำลองทางเศรษฐกิจ และแบบจำลองการประหยัดพลังงาน สถานการณ์เหล่านี้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางและถูกนำมาใช้ในรายงานการประเมินฉบับที่ 6 ของ IPCC (AR6) โดยมีสถานการณ์ที่แตกต่างกันห้าสถานการณ์โดยอิงตามความท้าทายทางเศรษฐกิจและสังคมสำหรับการบรรเทาและการปรับตัวดังที่แสดงในรูปที่ 1.

รูปที่ 1: SSP กับความท้าทายสำหรับพื้นที่การบรรเทาลกระทบและการปรับตัว

ภายในสถานการณ์ SSP ทั้งห้านี้ มีสถานการณ์การปล่อยก๊าซที่แตกต่างกันเจ็ดสถานการณ์ โดยอิงตามการประมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ตามที่อธิบายไว้ในตารางที่ 1 แม้ว่า IPCC จะไม่ได้อธิบายความน่าจะเป็นของสถานการณ์ไว้ แต่สถานการณ์ SSP2–4.5 ก็ถือว่ามีความเป็นไปได้มากที่สุด และ SSP5–8.5 นั้นไม่น่าเป็นไปได้อย่างมาก GCM ใช้เพื่อจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตในทุกสถานการณ์เพื่อให้มีแนวคิดเกี่ยวกับความเป็นไปได้ที่แตกต่างกันของวิวัฒนาการของสภาพภูมิอากาศในอนาคต

ตารางที่ 1: สรุปสถานการณ์ SSP (ที่มา: IPCC AR6)

SSP	รายละเอียดสถานการณ์ SSP	สถานการณ์การปลดปล่อยก๊าซ	รายละเอียดสถานการณ์การปลดปล่อยก๊าซ	ช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้น (°C) (ปี พ.ศ.2624–2643)
SSP1	ความยั่งยืน (Sustainability): การเติบโตทางเศรษฐกิจต่ำ, การใช้พลังงานต่ำ และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ	SSP1–1.9	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำมาก: การปลดปล่อยก๊าซ CO2 เหลือสุทธิเป็นศูนย์ (net zero) ประมาณปี พ.ศ. 2593	1.0 – 1.8
		SSP1–2.6	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ: การปลดปล่อยก๊าซ CO2 เหลือสุทธิเป็นศูนย์ (net zero) ประมาณปี พ.ศ. 2618	1.3 – 2.4
SSP2	ทางสายกลาง (Middle of the Road): เศรษกิจเติบโตโดยเฉลี่ย, มีการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก, สะท้อนภาพสถานการณ์ "การดำเนินธุรกิจตามปกติ (business-as-usual)"	SSP2-4.5	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับปานกลาง: การปล่อย CO2 ในระดับปัจจุบันจนถึงปี พ.ศ.2593 จากนั้นลดลงแต่ไม่ถึงศูนย์สุทธิภายในปี พ.ศ.2643	2.1 – 3.5
SSP3	การแข่งขันระดับภูมิภาค (Regional Rivalry): เศรษฐกิจเติบโตในระดับสูง, มีการใช้พลังงานสูงและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง, โดยเน้นการแข่งขันและความขัดแย้งระดับภูมิภาค	SSP3–70	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง: การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นสองเท่าในปี พ.ศ.2643	2.8 – 4.6
SSP4	ความไม่เท่าเทียมกัน: การเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว การใช้พลังงานสูง และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง พร้อมรายได้ที่เพิ่มขึ้นและความไม่เท่าเทียมกันด้านความมั่งคั่ง	SSP4–3.5	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง: การจำกัดภาวะโลกร้อนไว้ที่ 3.5°C เหนือระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม	<3.5
		SSP4–6.0	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง: การจำกัดภาวะโลกร้อนไว้ที่ 6.0°C เหนือระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม	<6.0
SSP5	การพัฒนาประเทศด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิล: การเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว การใช้พลังงานที่สูง	SSP5–8.5	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงมาก: การปล่อย CO2 เพิ่มขึ้นสามเท่าภายในปี พ.ศ.2618	3.3 – 5.7

SSP	รายละเอียดสถานการณ์ SSP	สถานการณ์การปลดปล่อยก๊าซ	รายละเอียดสถานการณ์การปลดปล่อยก๊าซ	ช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้น (°C) (ปี พ.ศ.2624–2643)
	มากและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงมาก โดยอิงการพัฒนาประเทศจากระบบพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลจำนวนมาก			

2.2.3 การย่อส่วนแบบจำลองภูมิอากาศโลก (Downscaling)

GCM ที่ใช้เพื่อจำลองสภาพอากาศในอดีตและอนาคตจะมีรายละเอียดที่ต่ำมาก เนื่องจากต้องใช้การประมวลผลการคำนวณที่สูง และจำเป็นต้องมีการแสดงการไหลเวียนของมหาสมุทรและบรรยากาศขนาดใหญ่ ดังนั้น ผลลัพธ์จาก GCM จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงในการศึกษาเฉพาะกรณี การย่อส่วนเพื่อลดขนาดลง เป็นกระบวนการในการสร้างตัวแปรของสภาพภูมิอากาศที่มีความละเอียดสูงจากข้อมูล GCM ที่มีความละเอียดต่ำที่มีอยู่ การย่อส่วนเพื่อลดขนาดตัวแปรสภาพภูมิอากาศในระดับท้องถิ่นจะให้ข้อมูลของสภาพภูมิอากาศในท้องถิ่นในอนาคตเพื่อประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยมีสองวิธีในการย่อส่วนเพื่อลดขนาด

การย่อส่วนด้วยวิธีการพลวัต

การย่อส่วนด้วยวิธีการพลวัต (dynamic downscaling) ทำผ่านการใช้แบบจำลองที่คล้ายกับ GCM แต่ในระดับภูมิภาคที่เรียกว่าแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค (RCM) แบบจำลอง RCM สามารถจินตนาการได้ว่าเป็นเหมือนเลนส์ขยายที่ฝังอยู่ภายใน GCM ด้วยการใช้เงื่อนไขขอบเขตจาก GCM (หรือที่เรียกว่าการขับเคลื่อน GCM) และพิจารณาตัวแปรสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาคที่เซลล์กริดที่ละเอียดกว่ามาก เพื่อจำลองสภาพภูมิอากาศที่ความละเอียดสูงมากขึ้นกว่าข้อมูลระดับโลก แม้ว่า RCM จะใช้ข้อมูล GCM เพื่อจำลองสภาพอากาศ แต่ผลที่ได้จาก RCM จะไม่ถูกป้อนเข้ากลับสู่ GCM เพิ่มเติมเพื่อการจำลองอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากต้องใช้ความสามารถในการคำนวณสูงที่สูง

การย่อส่วนด้วยวิธีทางสถิติ

เนื่องจากการย่อส่วนด้วยวิธีการพลวัตต้องใช้ทรัพยากรค่อนข้างมาก (ทักษะทางเทคนิคและทรัพยากรการคำนวณข้อมูล) จึงไม่สามารถพึ่งพาวิธีการนี้ได้ตลอด ในทางตรงกันข้าม วิธีการย่อส่วนด้วยวิธีทางสถิติได้มาจากความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปรสภาพภูมิอากาศขนาดใหญ่และตัวแปรสภาพภูมิอากาศในระดับท้องถิ่นในช่วงเวลาย้อนหลัง ซึ่งจะนำไปใช้ในช่วงเวลาอนาคตเพื่อจำลองข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่มีความละเอียดสูง วิธีการย่อส่วนด้วยวิธีทางสถิติจะถือว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศขนาดใหญ่และตัวแปรท้องถิ่นจะยังคงมีความสัมพันธ์เหมือนเดิมในช่วงเวลาต่อ ๆ ไป

2.2.4 การแก้ไขความผิดพลาดเฉลี่ย

การจำลองจาก GCM/RCM มักจะมีข้อผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลที่สังเกตได้ในช่วงเวลาที่ผ่านมา ความแตกต่างดังกล่าวเป็นผลมาจากแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์ การแยกส่วน และการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ภายในเซลล์กริดของ GCMs/RCMs (Teutschbein และ Seibert, 2010) ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวในผลลัพธ์ GCM/RCM สามารถลบออกได้โดยใช้เทคนิคการแก้ไขความผิดพลาดได้หลายแบบ เช่น:

(1) วิธีการปรับขนาดเชิงเส้น
(2) การปรับขนาดของความแรงของฝนในท้องถิ่น
(3) วิธีตัวแปรยกกำลัง (Power transformation)
(4) การปรับขนาดความแปรปรวน (VARI) ของอุณหภูมิ
(5) วิธีการทำแผนที่แบบควอนไทล์

ความซับซ้อนของเทคนิคเหล่านี้แตกต่างกันอย่างมาก ในขณะที่ความสามารถในการแก้ไขความผิดพลาด อาจไม่แปรผันตรงกับความซับซ้อน และแต่ละวิธีก็มีแนวโน้มที่จะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน วิธีที่ดีที่สุดคือทราบเทคนิคที่เกี่ยวข้องและเลือกวิธีการที่เหมาะสมตามสถานการณ์ของกรณีการใช้งาน

การทำแผนที่แบบควอนไทล์เชิงประจักษ์ (Empirical Quantile Mapping)

ในคู่มือฉบับนี้ เสนอให้ใช้เทคนิคการทำแผนที่ควอนไทล์เชิงประจักษ์ (เป็นการทำแผนที่ควอนไทล์ประเภทหนึ่ง) เนื่องจากสามารถแก้ไขในค่าความผิดพลาดเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความถี่ของวันที่ฝนตก รวมถึงค่าควอนไทล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ การทำแผนที่เชิงปริมาณเป็นวิธีการที่ค่อนข้างซับซ้อนในการแก้ไขความผิดพลาด นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับชุดข้อมูลที่สังเกตแบบกริดเพื่อลดขนาดข้อมูล GCM/RCM ทางสถิติได้

ตารางที่ 2: สมการที่ใช้สำหรับเทคนิคแผนที่ควอนไทล์เชิงประจักษ์

$$P_{his}(d)^* = F_{obs,m}^{-1}\left[F_{his,m}(P_{his,m})\right] \quad (1)$$

$$P_{fut}(d)^* = F_{sim,m}^{-1}\left[F_{sim,m}(P_{sim,m})\right] \quad (2)$$

$$T_{his}(d)^* = F_{obs,m}^{-1}\left[F_{his,m}(T_{his,m})\right] \quad (3)$$

$$T_{fut}(d)^* = F_{sim,m}^{-1}\left[F_{sim,m}(T_{sim,m})\right] \quad (4)$$

โดยที่, P = ปริมาณน้ำฝน, T = อุณหภูมิ, d = รายวัน, m = รายเดือน * = ค่าความผิดพลาดที่ปรับแก้, his = ข้อมูลดิบ GCM , obs = ข้อมูลจริงจากการสังเกตุ, fut =แถวข้อมูลอนาคตของ GCM , F = ฟังก์ชั่นการกระจายแบบสะสม(CDF), F^(-1) = ค่าผกผันของ CDF.

ฟังก์ชั่นของการกระจายแบบสะสม (CDF)

$$\boldsymbol{F_X(x) = P(X \leq x)} \quad (5)$$

โดยที่, F_X (x) คือ CDF และ P คือความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม X ที่จุด x

โดยสามารถใช้ซอฟต์แวร์หรือการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาที่หลากหลายเพื่อทำแผนที่ควอนไทล์เชิงประจักษ์ ในที่นี่ การศึกษาได้เลือกแพ็คเกจ “qmap” ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา R สำหรับตัวอย่างของรหัสโปรแกรมมีให้ไว้ในภาคผนวก II

2.2.5 ตัวชี้วัดการประเมินผลการแก้ไขข้อผิดพลาด

ประสิทธิภาพของการแก้ไขข้อผิดพลาดและการย่อส่วนเพื่อลดขนาดทางสถิติควรจะต้องตัดสินด้วยตัวชี้วัดการประเมิน การรบกวนข้อมูล (perturbation) หรือการประมาณค่าการวัด เช่น การสอบเทียบและการตรวจสอบแบบจำลองพืชผล (อ้างอิงหัวข้อ: ความล่อแหลม (exposure)) สามารถประเมินได้โดยใช้ตัวชี้วัดดังกล่าว ในที่นี่ การศึกษาได้เลือกตัวชี้วัดการประเมินที่แตกต่างกันสี่รายการตามความสามารถในการวัดความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่สังเกตได้กับค่าประมาณการ หรือรูปแบบระหว่างค่าเหล่านั้น นอกจากนี้ ตัวชี้วัดบางตัว ยังได้รับการปรับให้เป็นมาตรฐาน (standardized) เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประเมินประสิทธิภาพระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ได้

ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE)

ค่า RMSE หากดูตามชื่อ ก็คือ เป็นค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อน หรือเป็นข้อผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย ระหว่างค่าที่สังเกตได้กับค่าประมาณการ (ดูสมการ (6)) เนื่องจากใช้ความคลาดเคลื่อนกำลังสอง จึงค่อนข้างจะอ่อนไหวต่อค่าผิดปกติ ดังนั้น หากมีความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ๆ แม้จะไม่มีมาก ก็อาจส่งผลต่อค่า RMSE อย่างไม่เป็นสัดส่วนต่อจำนวนความคลาดเคลื่อนก็ได้ หน่วยของค่า RMSE นั้นเป็นปริมาณที่วัดได้ และสามารถอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึงอนันต์ โดยศูนย์ คือ ค่าในอุดมคติ และค่าRMSE ไม่สามารถเป็นค่าลบได้

$$\boldsymbol{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(\boldsymbol{O_i} - \boldsymbol{E_i})^2}{\boldsymbol{n}}} \tag{6}$$

โดยที่, $\boldsymbol{O_i}$ และ $\boldsymbol{E_i}$ คือค่าที่ได้จากการสังเกตุและค่าประมาณการตามลำดับ

อัตราส่วนค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (RSR)

แม้ว่าจะเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า ถ้าลด RMSE ลง ประสิทธิภาพของผลการคำนวณก็จะดีขึ้นเท่านั้น Singh et al. (2005) ได้เผยแพร่แนวปฏิบัติเพื่อประเมินสิ่งที่ถือว่าเป็น RMSE ต่ำโดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สังเกตได้ ตามคำแนะนำของ Singh et al., (2005) สถิติการประเมินที่เรียกว่า อัตราส่วนค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (RSR) เป็นการประเมินเชิงสถิติที่ได้รับการพัฒนา (สมการ (7)) RSR จะสร้างค่ามาตรฐาน RMSE โดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สังเกตได้ และจะรวมดัชนีข้อผิดพลาดทั้งสองพร้อมกับข้อมูลเพิ่มเติมตามที่แนะนำโดย Legates และ McCabe Jr. (1999) ค่า RSR. จะมีการแปรผันจากค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ 0 ซึ่งบ่งชี้ถึงค่า RMSE ที่เป็นศูนย์หรือการแปรผันของค่าความคลาดเคลื่อนที่เหลือ (residual variations) ซึ่งมีค่าที่สมบูรณ์แบบที่สุด ไปจนถึงค่าบวกที่มีค่ามาก ยิ่ง RSR ต่ำลง ค่า RMSE ก็จะยิ่งต่ำลง และชี้ให้เห็นค่าของประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

$$\boldsymbol{RSR} = \sqrt{\frac{\sum(\boldsymbol{O_i} - \boldsymbol{E_i})^2}{\sum(\boldsymbol{O_i} - \boldsymbol{E_{mean}})^2}} \tag{7}$$

โดยที่, $\boldsymbol{O_i}$ และ $\boldsymbol{E_i}$ ค่าที่ได้จากการสังเกตและค่าประมาณการตามลำดับ และ $\boldsymbol{E_{mean}}$ คือค่าประมาณการเฉลี่ย

ค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (RSQ)

ค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (Coefficient of determination (R2)) (สมการ (8)) เป็นค่ากำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และมักใช้แทนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เนื่องจากมีความยืดหยุ่น ด้วยมีกำจัดค่าลบและสามารถวัดการกระจายตัวของค่าประมาณการได้ (Krause et al., 2005) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน คือ อัตราส่วนของความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรสองตัวต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Korn and Korn, 2000). ค่าสัมประสิทธิ์กำหนดการวัดไว้ว่า ความแตกต่างในตัวแปรหนึ่งถูกอธิบายโดยความแตกต่างในตัวแปรตัวที่สองอย่างไร ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นความสามารถของตัวทำนาย (จากค่าที่สังเกตได้) ในการประมาณค่าที่ถูกทำนาย (ค่าประมาณการ) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นการวัดการจับคู่ในรูปแบบระหว่างค่าที่สังเกตได้และค่าประมาณการได้ ช่วงของ R2 อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดย 1 คือค่าที่พอดีที่สุด และ 0 หมายถึงไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณกับค่าที่สังเกตได้ ไม่ควรใช้ R2 เพียงอย่างเดียวในกรณีที่ความคลาดเคลื่อนมีความสำคัญ เนื่องจากตัวชี้วัดอาจจะสมบูรณ์เกินไปได้ (เช่น 1) หากตัวแปรที่สังเกตได้และค่าประมาณการถูกแยกออกจากกันด้วยความคลาดเคลื่อนคงที่

$$R^2 = \left(\frac{\sum(O_i - O_{mean})(E_i - E_{mean})}{\sqrt{\sum(O_i - O_{mean})^2 \sum(E_i - E_{mean})^2}}\right)^2 \quad (8)$$

โดยที่, O_i และ E_i ค่าที่ได้จากการสังเกตและค่าประมาณการตามลำดับ. O_{mean} และ E_{mean} ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการสังเกตและค่าประมาณการ.

ค่าเฉลี่ยของผลต่างสัมบูรณ์ (MAE)

ค่าเฉลี่ยของผลต่างสัมบูรณ์ (MAE Mean Absolute Error) คือ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ระหว่างค่าที่สังเกตได้กับค่าประมาณการ (สมการ (9)) เป็นรูปแบบของตัวชีวัดการประเมินที่ง่ายที่สุดและง่ายต่อการเข้าใจ ค่าของ MAE มีตั้งแต่ 0 ถึงอนันต์ โดย 0 คือค่าที่มีความสมบูรณ์ แต่ค่า MAE ไม่สามารถเป็นลบได้เนื่องจากใช้ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เช่นเดียวกับ RMSE ดังนั้น ค่า MAE ก็มีความอ่อนไหวต่อค่าที่มีความผิดปกติเช่นกัน

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|O_i - E_i|}{n} \quad (9)$$

โดยที่, O_i และ E_i ค่าที่ได้จากการสังเกตและค่าประมาณการตามลำดับ และ n คือ จำนวนรวมของค่าที่ได้จากการสังเกตุ

2.2.6 หน่วยการวิเคราะห์เกี่ยวกับเวลา (Temporal Unit/Period of Analysis)

ช่วงเวลาในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจทำให้เกิดความสับสนในบางครั้ง ดังนั้นจะเป็นการดีหากดำเนินการไปตามแบบแผนที่กำหนดไว้เพื่อให้มีความสม่ำเสมอ เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ต่อไปนี้เป็นคำจำกัดความของช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ช่วงเวลาประวัติศาสตร์ (Historical period): เป็นช่วงเวลาที่ผ่านมาที่กำหนดไว้ระหว่างการจำลอง GCM/RCM โดยปกติจะกำหนดเป็นช่วงปี พ.ศ. 2493-2557 (ค.ศ.1950–2014) สำหรับ CMIP6 และ พ.ศ.2493-2548 (ค.ศ.1950–2005) สำหรับ CMIP5

ในขณะที่ CMIP5 และ CMIP6 หมายถึงแบบจำลองสภาพภูมิอากาศจากโครงการเปรียบเทียบแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ (Climate Model Intercomparison Project) ระยะที่ 5 และ 6 ตามลำดับ โดยปัจจุบันแบบจำลองในระยะที่ 6 ถือว่าเป็นแบบจำลองล่าสุด

ช่วงเวลาพื้นฐาน/ช่วงเวลาอ้างอิง (Baseline period/Reference period): เป็นช่วงเวลาที่ผ่านมาที่นักวิจัย/นักวิเคราะห์ข้อมูล/นักวิทยาศาสตร์ภูมิอากาศ/บุคคลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง กำหนดให้เป็นข้อมูล/ข้อมูลอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบกับสภาพอากาศในอนาคต โดยปกติแล้วจะพิจารณาจากความพร้อมของข้อมูล ในที่นี้เราจะพิจารณาระหว่างปี 1985 ถึง 2014

ช่วงเวลาในอนาคต (Future period/s): เป็นกรอบเวลาในอนาคตที่นักวิจัย/นักวิเคราะห์ข้อมูล/นักวิทยาศาสตร์ด้านภูมิอากาศ/บุคคลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง กำหนดว่าเมื่อใดจะมีการประเมินตัวแปรสภาพภูมิอากาศในอนาคตเพื่อการวิเคราะห์ ช่วงเวลาในอนาคตมักจะแบ่งออกเป็นช่วงเกือบ 30 ปีนับจากเวลาที่วิเคราะห์ ในที่นี้ จะพิจารณาขอบเขตของระยะเวลาเป็น 3 ช่วง คือ:

(1) อนาคตระยะใกล้ พ.ศ. 2563-2589 (ค.ศ.2020–2046)
(2) อนาคตระยะกลาง พ.ศ. 2590-2616 (ค.ศ.2047–2073)
(3) อนาคตระยะไกล พ.ศ. 2617-2643 (ค.ศ.2074–2100)

3. ทำความเข้าใจเรื่องความเปราะบาง

การพิจารณาและดำเนินการด้านการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะมีความเกี่ยวข้องกับการทำความเข้าใจแนวคิดของความเปราะบาง (vulnerability), ความเสี่ยง (risk), ความยืดหยุ่น (resilience), และการปรับตัว (adaptation) คำจำกัดความของคำศัพท์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับความเปราะบางและความสามารถในการปรับตัวมีรายละเอียดอยู่ใน ภาคผนก I: อภิธานศัพท์ที่สำคัญ อย่างไรก็ตาม คู่มือพยายามจะอธิบายถึงแนวคิดเหล่านี้ให้มีความเชื่อมโยงสอดคล้องกัน ทั้งนี้เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนแก่ผู้อ่าน

3.1 พื้นฐานทางทฤษฎีของความเปราะบาง

มีความหลากหลายในวิธีการที่เป็นไปได้เกี่ยวกับแนวความคิดของความเปราะบาง (vulnerability) คำจำกัดความที่หลากหลายของความเปราะบางสามารถแบ่งกลุ่มกว้าง ๆ เป็นหมวดหมู่ได้ เช่น คำจำกัดความทางวิศวกรรม และคำจำกัดความทางสังคม ตัวอย่างของคำจำกัดความทางวิศวกรรมที่ให้ไว้โดย Wisner et al. (2005) ซึ่งกล่าวไว้ว่า ความเปราะบาง คือ “... การวัดความเสียหายที่ได้รับจากองค์ประกอบที่มีความเสี่ยงเมื่อได้รับผลกระทบจากกระบวนการที่เป็นภัยอันตราย” ตัวอย่างคำจำกัดความทางสังคมของความเปราะบางที่ให้ไว้โดย Adger (2000) ที่ให้การสนับสนุนในความหมายของความเปราะบางว่าเป็น “การมีหรือขาดความสามารถในการทนต่อแรงกระแทกและความเครียดบีบคั้นในการดำรงชีวิต”

ในคำจำกัดความทางวิศวกรรม ความเปราะบางถือเป็นผลลัพธ์ที่อิงความเสียหาย และเป็นไปตามแนวทางของภัยอันตรายและผลกระทบที่ตามมา บทบาทของระบบในการส่งผลกระทบถือว่าแทบไม่มีนัยสำคัญใด ๆ เลย ในขณะที่ในคำจำกัดความตามสังคม จะสังเกตเห็นว่า ผลกระทบนั้นถือเป็นหน้าที่ของการมีปฏิสัมพันธ์ของสถานะภายในของระบบ (เช่น ความเปราะบาง) ก่อนที่จะพบกับภัยอันตราย และผลกระทบที่ตามมาพร้อมกับภัยอันตราย ในที่นี้ สถานะภายในของระบบจะได้รับความสนใจมากกว่าคำจำกัดความทางวิศวกรรม คำจำกัดความทั้งสองนี้ไม่ใช่แบบองค์รวมและไม่ได้สื่อถึงภาพรวมที่สมบูรณ์ของความเปราะบาง.

สิ่งที่ IPCC ทำคือการรวมความเข้าใจทั้งสองนี้เข้าไว้ในคำจำกัดความที่ใช้งานง่าย ซึ่งสามารถจะให้ข้อมูลข่าวสารสำหรับการดำเนินงานของการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ ด้วยเหตุนี้ IPCC จึงให้คำจำกัดความของความเปราะบางเพิ่มเติมว่าเป็น “ระดับที่ระบบมีความอ่อนแอต่อความเสียหายหรือไม่สามารถรับมือกับผลกระทบด้านลบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมถึงความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศและความรุนแรงสุดขั้ว” ดังนั้น จึงถือว่าความเปราะบางเป็นฟังก์ชั่นของ ลักษณะ ขนาด และอัตราการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งแสดงถึงภัยอันตรายและผลกระทบ และรวมเข้ากับสถานะภายในของระบบที่นักสังคมศาสตร์ใช้กันอยู่

แนวคิดเรื่องความเปราะบางมักถูกนำไปใช้ในสองระดับ ได้แก่ ความเปราะบางทางสังคมและชีวกายภาพ (Adger et al., 2004) ความเปราะบางทางสังคมแสดงถึงสถานะภายในของระบบที่เกี่ยวข้องกับความอ่อนไหวต่อภัยอันตรายภายนอก (Allen, 2003) โดยที่ผลลัพธ์ (ผลกระทบ) ถูกกำหนดโดยการผสมผสานระหว่างความเปราะบางทางสังคมและภัยอันตรายภายนอกที่ระบบเผชิญอยู่ (Brooks and Adger, 2546) ในทางกลับกัน ความเปราะบางทางชีวกายภาพแสดงถึงผลลัพธ์ (ผลกระทบ) ที่เกิดขึ้นจากระบบ และโดยทั่วไปถูกกำหนดให้เป็นของการความล่อแหลม (exposure) และความอ่อนไหว

(sensitivity) จากข้อมูลของ Smit และ Pilifosova (2001) ความเปราะบางเป็นฟังก์ชั่นของความล่อแหลม ความอ่อนไหว และความสามารถในการปรับตัว และคำจำกัดความนี้ยังคงใช้ได้กับผู้ปฏิบัติงานและนักวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่วนใหญ่

$$\boldsymbol{V = f(E_{xt}, S_{xt}, A_{xt})}$$

โดยที่ V= ความเปราะบางในปัจจุบัน (ความเสียหายต่อระบบจะเกิดขึ้นหากเผชิญกับภัยอันตรายจากสภาพอากาศในสถานะปัจจุบัน);

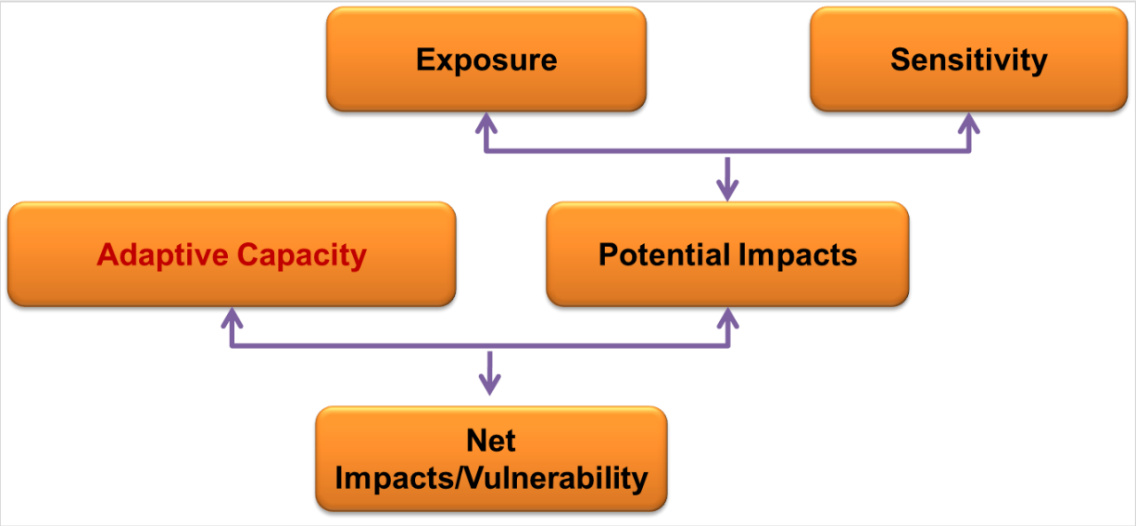
S = ความอ่อนไหวของระบบ x ณ เวลา t;

E = ความล่อแหลมของระบบ x ณ เวลา t, และ

A = ความสามารถในการปรับตัวของระบบ x ณ เวลา t.

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเปราะบาง ความล่อแหลม ความอ่อนไหว และความสามารถในการปรับตัว ข้อความนี้บ่งบอกว่า ผลกระทบที่แท้จริงที่สังคมรับรู้ภายหลังจากภัยอันตรายจากสภาพอากาศนั้นเป็นผลมาจากกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นชั่วขณะ เมื่อภัยอันตรายมีปฏิสัมพันธ์กับองค์ประกอบของความล่อแหลม มันเป็นลักษณะอ่อนไหวที่ทำให้องค์ประกอบนั้นได้รับผลกระทบจากภัยอันตราย อย่างไรก็ตาม ผลกระทบที่แท้จริงที่เกิดขึ้นภายหลังจากภัยอันตรายหรือสิ่งกระตุ้นทางภูมิอากาศนั้น เป็นผลมาจากการกระทำของความสามารถในการปรับตัวที่พยายามบรรเทาผลกระทบในระหว่างที่องค์ประกอบของภัยอันตรายและล่อแหลมกำลังโต้ตอบกันอยู่

รูปที่ 2: ความสัมพันธ์ระหว่างความเปราะบาง, ความสามารถในการปรับตัว, และผลกระทบสุทธิ (ที่มา Marshall, et al. 2010)



องค์ประกอบของความล่อแหลม (exposure) ถูกกำหนดให้แตกต่างกันตามขอบเขตที่แตกต่างกันไปในการบริหารความเสี่ยงของแต่ละกลุ่ม ภายในกลุ่มด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความล่อแหลมถือเป็นความรุนแรงของภัยอันตรายที่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบต่าง ๆ เป็นขอบเขตที่องค์ประกอบเหล่านี้ประสบกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC 2007) ในทางตรงกันข้าม กลุ่มที่ทำด้านการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติให้คำจำกัดความของคำว่าความล่อแหลมว่าเป็นองค์ประกอบทั้งหมดที่อยู่ในวิถีของภัยอันตราย ดังนั้น องค์ประกอบทั้งหมดในวิถีของภัยอันตรายจึงถือว่าได้รับความเสียหายจากภัยอันตรายอย่าง

เท่าเทียมกัน ความล่อแหลมมักจะไม่เปลี่ยนแปลงโดยการแทรกแซงส่วนใหญ่ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม และด้วยเหตุนี้จึงไม่ถือเป็นเป้าหมายของการแทรกแซงภายใต้สถานการณ์ส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามก็เป็นลักษณะของความล่อแหลมที่จะมีความอ่อนไหวและสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการแทรกแซงจากภายนอก

อ่อนไหว (sensitivity) เป็นปัจจัยพื้นฐานขององค์ประกอบของความล่อแหลม ซึ่งจะทำให้องค์ประกอบของความล่อแหลมได้รับความเสียหาย/ได้รับผลกระทบ จากสิ่งกระตุ้นทางภูมิอากาศ ความอ่อนไหวเป็นลักษณะที่แท้จริงขององค์ประกอบความล่อแหลม และถูกกำหนดโดยสภาพพื้นฐานขององค์ประกอบภายในวิถีของภัยอันตรายที่จะเกิดขึ้น เงื่อนไขพื้นฐานเหล่านี้อาจรวมถึงเงื่อนไขทางสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม เงื่อนไขทางสังคม ได้แก่ ความไม่เท่าเทียมกัน เพศ อายุ สุขภาพ การเข้าถึงบริการ ธรรมาภิบาล นโยบาย สถาบัน และเครือข่าย สภาพเศรษฐกิจอาจรวมถึงความยากจน ความเป็นอยู่ และการเข้าถึงตลาด สภาพแวดล้อมอาจครอบคลุมถึงลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ของที่ดิน น้ำ ป่าไม้ ความหลากหลายทางชีวภาพ และการบริการของระบบนิเวศ

ในทางตรงกันข้าม ความสามารถในการปรับตัว (adaptive capacity) จะเป็นการรวมเอาจุดแข็งและทรัพยากรทั้งหมดที่มีอยู่ในชุมชน สังคม หรือองค์กร ที่สามารถจะนำมาใช้ลดระดับความเสี่ยงหรือผลกระทบของเหตุการณ์ทางสภาพภูมิอากาศได้ ขีดความสามารถ (capacity) .,มีความสัมพันธ์ทางอ้อมกับเรื่องอื่น ๆ ตัวอย่างของขีดความสามารถอาจรวมถึงทักษะ การบริการทางการเงิน สถาบัน การบรรเทาทุกข์ แผนเผชิญเหตุ และการฟื้นฟู

ความเปราะบาง (vulnerability) มักจะถูกกำหนดโดยปัจจัยหลายประการ และด้วยเหตุนี้ปัจจัยที่มีส่วนทำให้เกิดความเปราะบางในที่หนึ่งอาจแตกต่างจากที่อื่น ด้วยเหตุผลนี้การประเมินความเปราะบาง (VA) จึงต้องพิจารณาสถานที่และปัจจัยเฉพาะบริบท และ VA ที่ดำเนินการในสถานที่หนึ่งอาจไม่สามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจสำหรับสถานที่อื่นได้

3.2 ความสำคัญของความเปราะบางในการปรับตัว

จากที่กล่าวมาข้างต้น ก็อาจถึงที่มาของเรื่องราวที่ชัดเจนขึ้น คือ ความเปราะบางเป็นศูนย์กลางของการปรับตัว คำจำกัดความง่าย ๆ ของการปรับตัวอาจรวมถึงการตอบสนองใด ๆ ทั้งแบบอัตโนมัติหรือแบบมีการวางแผนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันหรืออนาคต การตอบสนองเหล่านี้อาจแสดงออกมาโดยสังคมมนุษย์หรือโดยธรรมชาติเอง สำหรับแนวปฏิบัติเหล่านี้ จะพิจารณาเฉพาะการตอบสนองของสังคมมนุษย์ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในขณะเดียวกันก็จำเป็นต้องทำความเข้าใจและเป็นแนวทางในการตอบสนองตามธรรมชาติต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการตอบสนองของมนุษย์ซึ่งถือเป็นประเด็นที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาอีกประการหนึ่ง

การปรับตัวอาจเป็นการปรับตัวแบบอัตโนมัติหรือแบบวางแผน การปรับตัวโดยอัตโนมัติ บ่งชี้ว่าการตอบสนองทางสังคมของมนุษย์เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเมื่อได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นการปรับตัวแบบอัตโนมัติอาจหมายถึงการประสบกับความสูญเสียก่อนที่จะมีการตอบสนองและการปรับเปลี่ยนด้วยซ้ำ สังคมวิวัฒนาการผ่านชุดของการปรับตัวแบบอัตโนมัติ และด้วยเหตุนี้วิวัฒนาการของมนุษย์จึงถูกสร้างขึ้นอันเป็นผลลัพธ์ของการปรับตัวแบบอัตโนมัติ ผลจากการปรับตัวแบบอัตโนมัตินี้ แนวปฏิบัติจึงเกิดขึ้นและนำมาใช้ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การทำความเข้าใจการปรับตัวแบบอัตโนมัติเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่จะได้เห็นว่าสังคมตอบสนองอย่างไร ความสามารถใดที่ช่วยในการตอบสนองเหล่านั้น อะไรบ้างที่ได้ผลและทำไม และอะไรเป็นข้อจำกัดการตอบสนองของพวกเขา แนวทางต่าง ๆ เช่น ความรู้ในท้องถิ่นเกี่ยวข้องกับการทำความเข้าใจการปรับตัวในอดีตในวงกว้าง ข้อมูลเชิงลึกเหล่านี้มีคุณค่าสำหรับการออกแบบการปรับตัวที่มีการวางแผนให้ดีขึ้นเช่นกัน

ในการปรับตัวตามแผน การตอบสนองจะได้รับการออกแบบตามมุมมองที่เกี่ยวกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันและอนาคต เหตุผลที่การดำเนินงานปรับตัวตามแผนมีความสำคัญ คือ การช่วยให้สังคมเตรียมพร้อมล่วงหน้าสำหรับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การทำเช่นนี้จะทำให้สังคมหลีกเลี่ยงความสูญเสียจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ ดังนั้น การพิจารณาและการดำเนินการด้านการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปที่การปรับตัวตามแผนเป็นส่วนใหญ่ การปรับตัวในแนวปฏิบัตินี้ หมายถึงการปรับตัวตามแผนสำหรับผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันและอนาคต เว้นแต่จะระบุไว้เป็นอย่างอื่น

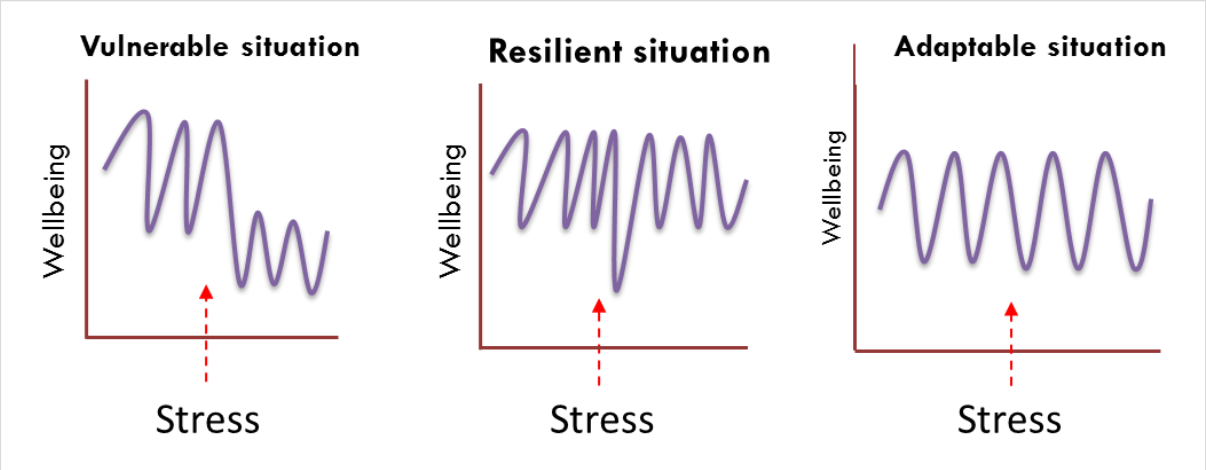
การปรับตัวสามารถใช้แนวทางกว้าง ๆ ได้ 2 แนวทาง แนวทางหนึ่งโดยการทำความเข้าใจและจัดการกับจุดที่มีความเปราะบาง (เป็นแนวทางที่อิงตามฐานความเปราะบาง หรือ vulnerable-based approach) และอีกแนวทางหนึ่งผ่านการทำความเข้าใจและบริหารจัดการกับความเสี่ยง (เป็นแนวทางที่อิงตามฐานความเสี่ยง หรือ risk-based approach) ทั้งสองแนวทางนี้มีความแตกต่างกันบางประการ ในกรณีของแนวทางที่อิงตามฐานความเสี่ยง ความกดดันจะอยู่ที่การลดความเสี่ยง ตัวอย่างทั่วไปของแนวทางที่อิงตามฐานความเสี่ยงอาจรวมถึงการสร้างเขื่อนกั้นน้ำสำหรับระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นหรือกระแสน้ำขึ้น ซึ่งเขื่อนกั้นน้ำจะบรรเทาผลกระทบของภัยอันตรายโดยทำหน้าที่เป็นเกราะกั้นทางกายภาพระหว่างภัยอันตรายจากกระแสน้ำกับองค์ประกอบของความล่อแหลมซึ่งไม่อาจปรับเปลี่ยนลักษณะขององค์ประกอบของความล่อแหลมได้โดยตรง เช่น ลักษณะของบ้านที่สร้าง หรือลักษณะทางเศรษฐกิจและสังคมของประชากรที่อาศัยอยู่ใกล้เขื่อนกั้นน้ำ ด้วยเหตุนี้ จึงมีความเป็นไปได้ที่องค์ประกอบของความล่อแหลมจะทำให้ความเปราะบางที่ซ่อนอยู่ปรากฏขึ้นมาอีก อันเป็นผลพวงที่จะตามมาหลังเหตุการณ์ภัยพิบัติ เช่น พายุไต้ฝุ่น แต่ในทางตรงกันข้าม แนวทางที่อิงจากฐานความเปราะบาง จะส่งเสริมการกระทำที่สามารถแก้ไขความเปราะบางที่ซ่อนอยู่ของสังคมและสิ่งแวดล้อมได้ก่อนที่องค์ประกอบต่าง ๆ ของความล่อแหลมจะโต้ตอบกับสิ่งกระตุ้นทางสภาพภูมิอากาศด้วยซ้ำ วิธีการดังกล่าวอาจเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการรับมือกับเหตุการณ์สุดโต่งที่ไม่เคยพบเห็นมาก่อน ดังนั้น การทำความเข้าใจและระบุความเปราะบางได้ เป็นสิ่งสำคัญในการวางแผนการปรับตัว

สิ่งที่ชุมชนต้องเผชิญหลังจากเหตุการณ์ทางภูมิอากาศ เช่น น้ำท่วมหรือภัยแล้ง เป็นผลมาจากการผสมผสานระหว่างความเปราะบางและความสามารถในการปรับตัว และด้วยเหตุนี้เองที่ความสามารถในการปรับตัวจึงมีบทบาทสำคัญในการรับแรงกระแทก การออกแบบการแทรกแซงด้านการปรับตัวไม่ควรอยู่บนพื้นฐานของการประเมินความอ่อนไหวเท่านั้น แต่ยังต้องขึ้นอยู่กับการประเมินความสามารถที่มีอยู่ในชุมชนและความสามารถที่สามารถระดมความพร้อมภายในระยะเวลาอันสั้นด้วย

ถือได้ว่าความเปราะบางนี้สามารถเกิดขึ้นได้จากการสูญเสียความยืดหยุ่น(resilience) ในระบบ ความยืดหยุ่นเป็นเรื่องเกี่ยวกับความสามารถของผู้คนที่สามารถจะรับมือกับภัยอันตรายต่าง ๆ ในระดับที่เกินกว่าความสามารถในการรับมือขั้นต่ำ ชุมชนที่มีความยืดหยุ่นจะสามารถฟื้นตัวหรือกลับมาจากภาวะช็อกได้และจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลงสภาพ แนวคิดเรื่องความยืดหยุ่นช่วยให้เกิดความเข้าใจที่สมบูรณ์เกี่ยวกับความเปราะบาง ความเข้าใจที่ดีเกี่ยวกับความเปราะบางและความยืดหยุ่นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนากลยุทธ์การปรับตัวที่ยั่งยืน

จากการที่ได้กล่าวมาข้างต้น เห็นได้ชัดว่าผลกระทบที่แท้จริงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสามารถลดลงได้โดย: (1) ส่งเสริมความยืดหยุ่นเพื่อลดความอ่อนไหวของระบบ; (2) การเพิ่มขีดความสามารถในการปรับตัวและประสิทธิผลของการตอบสนองต่อการปรับตัว และ (3) การปรับปรุงกระบวนการวางแผนการปรับตัว (Grafton, 2009). รูปที่ 3 ด้านล่างนี้แสดงให้เห็นถึงความเปราะบาง ความยืดหยุ่น และการปรับตัวในบริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพื่อให้เข้าใจแนวคิดเหล่านี้ได้ดียิ่งขึ้น

รูปที่ 3: ความเปราะบาง, ความยืดหยุ่น, และการปรับตัว (ที่มา: Ilori And Prabhakar, 2014)



ตัวอย่างเช่น ความแห้งแล้งอาจทำให้ความเป็นอยู่ที่ดีของครอบครัวหรือชุมชนที่ยากจนลดลง ในบางกรณี ก็ไม่ทำให้เกิดความแตกต่าง (เช่น รูปที่ 3 รูปย่อยที่ 3) และในบางกรณี อาจทำให้ความเป็นอยู่ที่ดีลดลงในระยะยาว (รูปที่ 3 รูปย่อยที่ 1) ชุมชนที่ฟื้นตัวได้จะสามารถฟื้นตัวจากภัยพิบัติทางสภาพอากาศที่ไม่คาดคิดได้ (รูปที่ 3 รูปย่อยที่ 2)

รูปย่อยที่ 1 แสดงให้เห็นครัวเรือนหรือชุมชนที่มีความเปราะบางซึ่งมีแนวโน้มที่จะเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การก่อกวนใด ๆ ในระบบภูมิอากาศจะนำไปสู่การลดลงของความเป็นอยู่โดยรวมในลักษณะที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ สิ่งนี้แสดงถึงสถานการณ์ที่เปราะบาง ซึ่งชุมชนที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะไม่สามารถกลับไปสู่สภาวะเดิมได้หากปราศจากการแทรกแซงจากภายนอก

รูปย่อยที่ 2 แสดงให้เห็นพฤติกรรมของครัวเรือนหรือชุมชนที่มีความยืดหยุ่น ครัวเรือนหรือชุมชนสามารถกลับคืนสู่ระดับความเป็นอยู่เดิมได้เร็วยิ่งขึ้น ความยืดหยุ่นนี้เป็นทรัพย์สินที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเกิดภัยแล้งเพียงแต่นำไปสู่การลดลงชั่วคราวเท่านั้น ระบบสามารถปรับตัวได้หลังจากผ่านไประยะหนึ่งและกลับสู่สภาวะปกติ

รูปย่อยที่ 3 เป็นปกติของครัวเรือนหรือชุมชนทั่วไปที่สามารถก้าวข้ามความยืดหยุ่น เกิดการฟื้นตัว สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศใหม่ได้อย่างเต็มที่ ความเป็นอยู่ที่ดี ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงฤดูแล้ง ชุมชนสามารถปรับตัวเข้ากับความแห้งแล้งได้อย่างเต็มที่โดยอาจใช้พืชที่ทนความแห้งแล้งในการเกษตรกรรม หรือผ่านระบบเตือนภัยล่วงหน้าที่จะแจ้งเตือนว่าภัยแล้งกำลังมา เพื่อที่พวกจะได้เตรียมตัวรับมือได้ สถานการณ์นี้ยังเป็นแบบฉบับของการปรับตัวที่มีการคาดการณ์/วางแผนไว้ด้วย

3.3 วิธีการประเมินความเปราะบาง

แนวคิดเรื่องความเปราะบางที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ ในส่วนนี้จะถูกนำไปใช้ในบริบทที่แตกต่างกัน ซึ่งจะนำไปสู่รูปแบบที่ประยุกต์ใช้หลายรูปแบบของวิธีการประเมิน ข้อสรุปต่อไปนี้ได้มาจากการพิจารณาวิธีการต่าง ๆ ดังนี้ :

(1) วิธีการประเมินทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นในเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณ ก็ได้ใช้ความล่อแหลม ความอ่อนไหว และความสามารถในการปรับตัว สำหรับการประเมินความเปราะบาง

(2) วิธีการประเมินส่วนใหญ่ใช้แนวทางการมีส่วนร่วมที่เกี่ยวข้องกับชุมชนในระดับท้องถิ่น (participatory approaches)

(3) มีการใช้เครื่องมือการมีส่วนร่วมที่หลากหลายในแนวทางการมีส่วนร่วม

(4) การประเมินความเปราะบาง ส่วนใหญ่เป็นการประเมินเชิงคุณภาพ และด้วยเหตุนี้จึงเป็นเรื่องยากที่จะเข้าใจว่าการประเมินความเปราะบางในสถานที่หนึ่งเทียบกับอีกสถานที่หนึ่งเป็นอย่างไร การพัฒนาวิธีการประเมินความเปราะบางเชิงปริมาณมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้มีอำนาจตัดสินใจ

(5) การขาดวิธีการประเมินเชิงปริมาณที่เรียบง่ายทำให้ยากต่อการจัดลำดับความสำคัญของลักษณะและความรุนแรงของความเปราะบาง

(6) วิธีการประเมินส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะระบุความเปราะบางผ่านตัวชี้วัด แม้ว่าจะจบลงด้วยการระบุตัวชี้วัดและบ่อยครั้งที่ไม่ได้ทำการวัดค่าเชิงปริมาณ

(7) แม้ว่าวิธีการส่วนใหญ่จะพยายามระบุตัวชี้วัดความเปราะบางทั้งทางชีวกายภาพและเศรษฐกิจสังคม แต่ความแตกต่างและลักษณะของการใช้ของตัวชี้วัดความเปราะบางทั้งสองรูปแบบนี้ยังไม่ชัดเจน

(8) วิธีการประเมินความเปราะบางส่วนใหญ่จะต้องอดทนกับความยุ่งยากในการเชื่อมโยงระหว่างการระบุความเปราะบาง การทำข้อมูลให้เป็นเชิงปริมาณและการใช้ข้อมูลนี้เพื่อระบุทางเลือกในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้น ทางเลือกในการปรับตัวจึงมักจะถูกแยกออกจากวิธีการและผลลัพธ์ของการประเมินความเปราะบาง

(9) ตัวชี้วัดที่ใช้สำหรับความล่อแหลม ส่วนใหญ่จำกัดอยู่เพียงพารามิเตอร์สำหรับภูมิอากาศทั่วไป เช่น อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน ในขณะที่วิธีการบางอย่างไม่ได้ระบุการเปลี่ยนแปลง (change) เป็นตัวชี้วัด

(10) ตัวชี้วัดที่แสดงถึงความอ่อนไหวและขีดความสามารถมีหลากหลาย ตัวชี้วัดส่วนใหญ่ที่ใช้เรื่องความอ่อนไหวและขีดความสามารถก็มีจำกัดอยู่เพียงตัวชี้วัดอย่างกว้าง ๆ อย่าง ปัจจัยด้านประชากรศาสตร์และเศรษฐกิจสังคม เช่น ระดับรายได้และการศึกษา ซึ่งสามารถหาได้จากระดับหมู่บ้านและข้อมูลการสำรวจสำมะโนอื่นๆ

วิธีการประเมินความเปราะบาง (VA) จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ส่วนใหญ่ ในการดำเนินการ VA จะเน้นย้ำถึงความจำเป็นในการพิจารณาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่คาดการณ์ไว้ในอนาคต อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องระมัดระวังเกี่ยวกับการเน้นมากเกินไปใน VA ที่อิงตามการคาดการณ์ในอนาคต เนื่องจากการเน้นหรือให้ความสำคัญมากเกินไป (overemphasis) เกี่ยวกับการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตอาจทำให้เกิดการแทรกแซงในวงแคบและแนวทางที่มุ่งเน้นที่แคบดังกล่าวอาจมีโอกาสที่จะล้มเหลวสูงกว่าเนื่องจากมีความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์สภาพอากาศในอนาคต ในทางกลับกัน แนะนำให้มุ่งเน้นไปที่กระบวนการปรับตัวและตระหนักถึงขีดความสามารถที่ชุมชนต้องสร้างขึ้นในท้ายที่สุดจากขีดความสามารถเหล่านี้ ด้วยการเริ่มต้นจากจุดนี้ การรวมการคาดการณ์ในอนาคตอาจเกิดขึ้นได้เมื่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียมีความเข้าใจในภาษาของการพยากรณ์สภาพภูมิอากาศและความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้อง

3.4 แนวทางที่ใช้ตัวชี้วัดเป็นฐานเพื่อประเมินความเปราะบาง

ตามที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ การระบุและการหาปริมาณของตัวชี้วัดในการประเมินความเปราะบาง ถือเป็นแนวทางที่สำคัญระหว่างวิธีการประเมินต่าง ๆ ด้วยเหตุนี้ ตัวชี้วัดจึงให้วิธีง่าย ๆ ในการเข้าใจองค์ประกอบต่าง ๆ ของความเปราะบาง สามารถนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างกันได้ดีขึ้น และช่วยในการสื่อสารผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ หน่วยงานด้านการพัฒนาในลักษณะที่เป็นพหุภาคีส่วนใหญ่ เช่น ธนาคารโลก ธนาคารพัฒนาเอเชีย และหน่วยงานของสหประชาชาติ และรวมทั้งการประเมินในระดับโลกส่วนใหญ่ เช่น ดัชนีการพัฒนามนุษย์ และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ล้วนแต่ใช้ตัวชี้วัดเพื่อติดตามความคืบหน้าในการพัฒนา และความเข้าใจในแนวทางและแหล่งข้อมูลก็มีบทบาทสำคัญในการดำเนินการและสื่อสาร VAs ตัวชี้วัดยังช่วยแยกแยะความเปราะบางในลักษณะที่ดึงดูดผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกลุ่มต่าง ๆ ที่เป็นตัวแทนของอาชีพ ภาคส่วน และภูมิหลังทาง

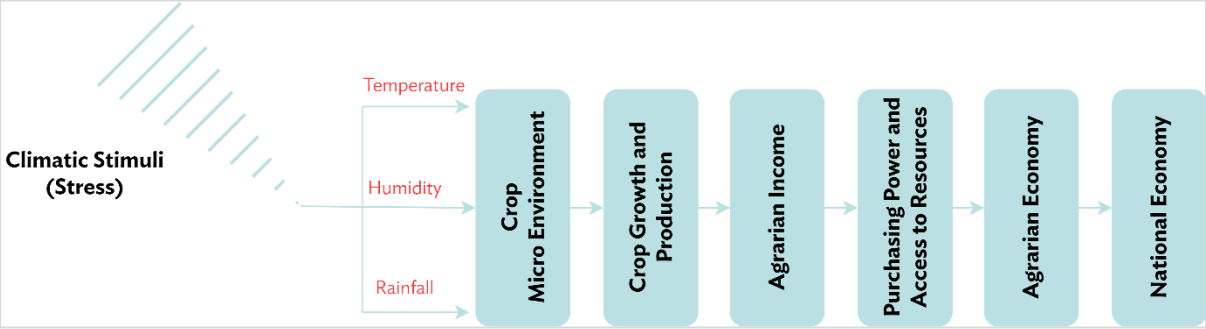
เทคนิคที่แตกต่างกัน วิธีการนี้ยังให้ความยืดหยุ่นบางประการในการเก็บค่าตัวชี้วัดบางประเภทที่ไม่มีข้อมูล ผ่านการวัด การประมาณค่า หรือโดยการใช้ตัวชี้วัดแบบ ตัวบ่งชี้แทน (proxy indicator) ในกรณีที่ไม่มีข้อมูล

ความจำเป็นในการใช้ตัวชี้วัดในการประเมินความเปราะบาง ได้รับการสนับสนุนจากนักวิชาการ เช่น Vincent และ Cull (2014) ที่ระบุว่า “ในสังคมหรือบริบทความเปราะบางนั้น ความเปราะบางเป็นสถานะที่มีศักยภาพที่จะกำหนดว่า ภัยอันตรายความล่อแหลม จะแปรเปลี่ยนเป็นผลกระทบด้านลบหรือไม่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพึ่งพาตัวชี้วัดที่แสดงถึงกระบวนการพื้นฐานที่ซับซ้อนได้ดีที่สุด”

VA ที่ใช้ตัวชี้วัดได้ระบุตัวชี้วัดเหล่านี้ทั้งผ่านวิธีอุปนัย (inductive) หรือ นิรนัย (deductive) โดยในแนวทางอุปนัยนั้น ตัวชี้วัดจะถูกเลือกจากตัวชี้วัดที่หลากหลาย ในขณะที่แนวทางนิรนัยมักเลือกตัวชี้วัดตามกรอบทางทฤษฎีที่สร้างขึ้นเพื่ออธิบายความเปราะบางที่ซ่อนอยู่ วิธีการอุปนัยมักจะเข้มข้นและขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (data-driven)

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นวิถีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจการเกษตรในท้องถิ่นและไปจนถึงกระทบต่อเศรษฐกิจที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจให้พื้นฐานที่มีคุณค่าในการระบุตัวชี้วัดความเปราะบาง ตัวเลขดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความเปราะบางตลอดวิถีผลกระทบจะทำให้ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรุนแรงขึ้นได้อย่างไร

รูปที่ 4: วิถีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจการเกษตรในท้องถิ่นและเชื่อมโยงไปจนถึงเศรษฐกิจระดับมหภาค



แนวคิดเรื่องวิถีผลกระทบ (impact pathway) ทำให้เกิดความเข้าใจต่อไปนี้ ซึ่งช่วยในการระบุตัวชี้วัดที่เหมาะสม:

(1) การกล่าวถึงความเปราะบางทุกประเภทเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากความเปราะบางด้านสิ่งแวดล้อมอาจนำไปสู่ความเปราะบางส่วนบุคคลของผู้ที่ต้องพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติ;

(2) ความเปราะบางส่วนบุคคล จะนำไปสู่ความเปราะบางของสังคม;

(3) การประเมินความเปราะบางควรจะพิจารณาถึงขอบเขตอิทธิพลของโครงการปรับตัวที่กำลังพิจารณา เนื่องจากวิถีผลกระทบถูกรวมไว้ภายในขอบเขตนั้นด้วยแล้ว;

(4) ธรรมชาติของความเปราะบางจะเป็นตัวกำหนดว่าแนวทางที่ใช้ชุมชนเป็นฐานจะมีความสำคัญเหนือกว่าในการแทรกแซงเพื่อลดความเปราะบาง; และ

(5) ความเปราะบางมีลักษณะเฉพาะพื้นที่ในระดับสูง และความพยายามในการประเมินความเปราะบาง ควรมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ข้อมูลเฉพาะพื้นที่ (location-specific information) ซึ่งจำเป็นต้องมีการดำเนินการแทรกแซงด้านการปรับตัว

4. ความเปราะบางของพื้นที่สูง

ระบบนิเวศบนที่สูงมีลักษณะเป็นพื้นที่สูง มักมีแนวเทือกเขาระดับต่ำร่วมด้วย ระบบนิเวศเหล่านี้เป็นระบบนิเวศที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว มีสภาพอากาศและรูปแบบภูมิอากาศที่แตกต่างกันซึ่งต้องทำความเข้าใจเป็นพิเศษและแยกความแตกต่างออกจากภูมิภาคทางภูมิศาสตร์อื่น ๆ พื้นที่สูงมักถูกเรียกว่าที่ดอน (upland) อย่างไรก็ตาม คำว่า ดอน ยังใช้สลับกันได้กับการปลูกพืชประเภทหนึ่งในแบบระบบชลประทานแบบน้ำไม่ขัง เช่น ในกรณีของ “ข้าวไร่” (ข้าวนาดอน) พื้นที่สูงมีลักษณะที่ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ในระดับที่สูง (การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์สูง) อุณหภูมิต่ำ และปริมาณน้ำฝนสูง ความผันผวนของอุณหภูมิในแต่ละวันมีแนวโน้มที่จะสูงกว่าในที่ราบลุ่มซึ่งมีอากาศเย็นในตอนกลางคืนและกลางวันที่อากาศอบอุ่นกว่ามาก ในพื้นที่ที่สูง สภาพภูมิอากาศได้รับอิทธิพลอย่างมากจากระดับความสูง ดังนั้น การทำความเข้าใจระดับความสูงในแนวดิ่งของพื้นที่สูงจึงเป็นสิ่งสำคัญในการทำความเข้าใจพื้นที่สูง

ในทวีปเอเชีย พื้นที่สูงคิดเป็น 36% ของพื้นที่สูงทั่วโลก (FAO 2015) และคิดเป็นเกือบครึ่งหนึ่งของประชากรที่อาศัยในเขตภูเขาทั่วโลก พื้นที่สูงส่วนใหญ่ของเอเชียจัดอยู่ในประเภท 6 (class 6) ตามการจัดระดับชั้นความสูงของ UNEP-WCMC ซึ่งบ่งชี้ว่าที่ราบสูงเหล่านี้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงระดับความสูง 300–1,000 เมตร พื้นที่สูงในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีประชากรกลุ่มเปราะบางมากเป็นอันดับสามของโลก เกือบ 41% ของประชากรบนพื้นที่สูงในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ถูกประเมินว่ามีความเสี่ยงสูงต่อความไม่มั่นคงทางอาหาร สิ่งนี้บ่งบอกถึงความจำเป็นที่จะต้องมุ่งเน้นไปที่พื้นที่สูงในเอเชียในฐานะที่เป็นจุดสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศดังกล่าว

4.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่สูง

สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในพื้นที่สูงก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ความเปราะบางของพื้นที่สูงรุนแรงขึ้น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่ออุทกวิทยา ความหลากหลายทางชีวภาพ และการบริการของระบบนิเวศในพื้นที่สูง พื้นที่สูงทั่วโลกมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิอากาศอย่างรวดเร็วมากกว่าพื้นที่ราบลุ่ม การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วยังพบเห็นได้ในภูมิภาคฮินดูกูชหิมาลัย (HKH) ซึ่งมีรายงานว่าร้อนขึ้นเร็วกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกถึง 3 เท่า โดยส่งผลกระทบต่อธารน้ำแข็งของภูมิภาค แม่น้ำที่หล่อเลี้ยงด้วยธารน้ำแข็ง และเศรษฐกิจของประเทศและภูมิภาคที่ต้องการพึ่งพา การขาดแคลนน้ำที่เพิ่มขึ้นเป็นภัยคุกคามที่แท้จริงต่อพื้นที่สูงส่วนใหญ่ การลดลงของน้ำจืดในพื้นที่สูงจะส่งผลกระทบร้ายแรงต่อผลผลิตทางการเกษตรในพื้นที่สูง ผลผลิตทางการเกษตรที่ลดลงจะส่งผลต่อความมั่นคงทางอาหารบริเวณท้ายน้ำในลุ่มน้ำที่พื้นที่สูงเหล่านี้เป็นเป็นแหล่งาลิตอาหาร

ภายในปี พ.ศ.2593 อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีสำหรับที่ราบสูงเอเชีย (เฉลี่ยทั่วที่ราบสูงตอนบนทั้งหมด) คาดว่าจะเพิ่มขึ้นจาก 2.5°C เป็น 3.1°C โดยเฉพาะบริเวณที่ราบสูงอาจต้องเผชิญกับภาวะโลกร้อนที่สูงกว่าที่ราบสูงอื่นๆ (เช่นในกรณีของ HKH และที่ราบสูงทิเบต) มีการพยากรณ์ปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยถึงอย่างมากในพื้นที่สูงหลัก ๆ ในเอเชียโดยเฉลี่ย 39-48 มม. ภายในปี พ.ศ. 2593 ในเวลาเดียวกัน ค่าเฉลี่ยของการคายระเหยสูงสุด (potential evapotranspiration: PET) และการระเหยที่เกิดขึ้นจริง (actual evapotranspiration: AET) จะเพิ่มขึ้นมากถึง 11% ภายในปี พ.ศ. 2593 บ่งชี้ถึงความต้องการน้ำที่สูงขึ้นในพื้นที่สูง ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนจึงได้รับการชดเชยด้วย PET ที่เพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นในดินอาจได้รับ

ผลกระทบอย่างมาก โดยลดลงโดยเฉลี่ย 5% เนื่องจาก PET และ AET ที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของเขตภูมิอากาศทางชีวภาพ (bioclimatic zones) ก็เกิดขึ้นทั่วพื้นที่สูงในเอเชียเช่นกัน การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อระบบเกษตรกรรมแบบดั้งเดิมที่ตามมาในพื้นที่สูงและมีผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหารอย่างรุนแรง

4.2 เอกลักษณ์ของบริบททางเศรษฐกิจและสังคม

พื้นที่สูงในเอเชียมีความเปราะบางสูงเนื่องจากลักษณะทางเศรษฐกิจและสังคมที่เป็นเอกลักษณ์ของประชากรในพื้นที่สูง พื้นที่สูงมีลักษณะการพัฒนาโดยรวมที่ย่ำแย่ เนื่องจากการแยกตัวทางกายภาพของพื้นที่ การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่ไม่ดี และโอกาสในการจ้างงาน เป็นผลให้พื้นที่สูงมีการขยายตัวของเมืองต่ำที่สุดแห่งหนึ่งของโลก ความไม่มั่นคงทางอาหารในพื้นที่สูงกำลังเพิ่มสูงขึ้น ผู้คนที่ไม่มั่นคงทางอาหารในพื้นที่ภูเขาเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ในช่วง 12 ปีเป็นเกือบ 330 ล้านคน (FAO, 2015) ตัวเลขนี้อาจเพิ่มขึ้นได้ในอนาคตเนื่องจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่สูง สิ่งนี้ทำให้ประชากรจากพื้นที่สูงอพยพไปยังที่ราบเพื่อแสวงหาโอกาสการจ้างงาน

นอกจากนี้ยังมีความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมอย่างรวดเร็วในหลายพื้นที่ของพื้นที่สูงในเอเชีย ความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมอย่างรวดเร็วเกี่ยวข้องกับการตัดไม้ทำลายป่า และการใช้ทรัพยากรในรูปแบบอื่น ๆ ที่ชุมชนท้องถิ่นจำนวนมากอาจไม่ได้รับประโยชน์ การใช้ทรัพยากร ธรรมชาติจากพื้นที่สูงเป็นปัญหาที่น่าตกใจ ซึ่งไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตในระยะยาวของชุมชนบนพื้นที่สูงเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและบริการของระบบนิเวศที่จำเป็นต่อประชากรที่อยู่นอกพื้นที่สูงเหล่านี้ด้วย ผลกระทบสะสมในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา ทรัพยากรมนุษย์ในพื้นที่สูงค่อย ๆ ถูกทำลาย ทิ้งประชากรสูงอายุและกลุ่มเปราะบางไว้ข้างหลัง สิ่งนี้มีผลกระทบต่อเนื่องและทำให้เกิดแนวโน้มที่ไม่ดีต่อการพัฒนาสถาบันในบริบทพื้นที่สูง การพัฒนาท้องถิ่นในเชิงสถาบันที่ล้มเหลว ทำให้ไม่สามารถปกป้องประชากรในท้องถิ่นและประชากรไม่สามารถเข้าถึงบริการและสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ คนชายขอบ (marginalization) ทางการเมืองและสังคมเป็นปัญหาสำคัญในพื้นที่สูงส่วนใหญ่ในเอเชีย

4.3 เอกลักษณ์ของบริบททางการเกษตร

พื้นที่สูงจะแตกต่างจากที่ราบลุ่มและที่ราบตรงที่มีเอกลักษณ์เฉพาะด้วยความหลากหลายที่สูงทั้งในระนาบแนวตั้งและแนวนอน ทั้งแง่ของการมีสภาพภูมิอากาศขนาดเล็ก ภูมิศาสตร์ และปัจจัยอื่น ๆ ที่กำหนดลักษณะของการเกษตรกรรม เกษตรกรรมบนที่สูงมีลักษณะเฉพาะที่ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับเกษตรกรรมบนพื้นราบ เนื่องจากมีสภาพอากาศและรูปแบบภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ตลอดจนสภาพทางเศรษฐกิจและสังคมที่แตกต่างกัน หน้าดินที่ตื้นและการสูญเสียสารอาหารเนื่องจากการไหลบ่าและการชะล้าง ทำให้ดินบนที่สูงมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขนาดการถือครองที่ดินมักจะมีขนาดเล็กเนื่องจากพื้นที่ที่สามารถเพาะปลูกบนเนินเขาได้มีขนาดเล็ก เกษตรกรรมในพื้นที่สูงมักมีลักษณะเฉพาะด้วยการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลงต่อหัวต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ราบลุ่ม

เนื่องจากพื้นที่สูงแยกออกจากกันทางกายภาพจากพื้นที่อื่น การเข้าถึงตลาดจึงมักเป็นเรื่องที่ท้าทาย และการขนส่งทางไกลภายใต้สภาวะที่ยากลำบากก็ส่งผลให้ต้นทุนการตลาดสูงขึ้น ปัจจัยเหล่านี้ทำให้พื้นที่สูงมักไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตทางการเกษตรจำนวนมากและเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตาม มีความพยายามทั่วโลกในการทำให้พื้นที่สูงเป็นศูนย์กลางการผลิตสำหรับพืชผลที่มีมูลค่าสูง โดยใช้สภาพภูมิอากาศที่เป็นเอกลักษณ์ของพื้นที่สูง การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ได้รับแรงผลักดันจากความต้องการผลิตผลทางการเกษตรที่มีมูลค่าสูงในเมืองที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นผลให้เกษตรกรรมแบบดั้งเดิมที่ได้รับการพัฒนามานานหลายปีมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ บนที่สูงและอาจเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศในท้องถิ่น เนื่องจากธรรมชาติของระบบนิเวศ

บนภูเขามีความเปราะบาง ดังนั้นจึงต้องรักษาระบบเกษตรกรรมแบบดั้งเดิมที่ใช้ทรัพยากรต่ำ ขณะเดียวกันก็จัดการกับความท้าทายในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในท้องถิ่น มีความจำเป็นต้องเสริมสร้างสถาบันในพื้นที่สูงเพื่อปรับตัวเกษตรกรรมบนพื้นที่สูงให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างรวดเร็วในพื้นที่สูง

อย่างไรก็ตาม พื้นที่สูงยังมีโอกาสพิเศษบางประการ จากการพึ่งพาการเลี้ยงสัตว์ในจำนวนมาก ทำให้การเกษตรบนพื้นที่สูงเหมาะสำหรับการส่งเสริมแบบจำลองการหมุนเวียนทรัพยากร (resource circulation models) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยังให้โอกาสใหม่ในพื้นที่สูงเนื่องจากภาวะโลกร้อนในแนวดิ่งซึ่งมีศักยภาพในการปลูกพืชชนิดใหม่ จึงมีความจำเป็นต้องระบุโอกาสใหม่เหล่านี้และพืชผลชนิดใหม่ และเตรียมความพร้อมให้ทันเวลาซึ่งเป็นหนึ่งในวัตถุประสงค์ของการพัฒนาพื้นที่สูงเมื่อเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

4.4 ความท้าทายของพื้นที่สูงในประเทศไทย

พื้นที่สูงของประเทศไทย เป็นพื้นที่ภูเขาธรรมชาติทางภาคเหนือของประเทศไทย ภูมิภาคที่ราบสูงไทยครอบคลุม 9 จังหวัดทางภาคเหนือตามระบบ 6 ภูมิภาค รวมถึงบางส่วนของจังหวัดตากและสุโขทัย พื้นที่สูงของไทยกำลังเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในด้านการเกษตรและสภาพเศรษฐกิจและสังคมซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อความยั่งยืนของระบบนิเวศบนที่สูง เชื่อกันว่าการขยายตัวของการปลูกข้าวโพดบนที่สูงมีบทบาทสำคัญในการตัดไม้ทำลายป่าและปัญหาสิ่งแวดล้อมในพื้นที่สูงเหล่านี้ การทำฟาร์มที่ไม่ยั่งยืนและการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติมากเกินไปในพื้นที่ ส่งผลให้ทรัพยากรเสื่อมโทรมอย่างรุนแรง ผลผลิตต่ำ ผลกระทบต่อสุขภาพ และรายได้ที่ไม่มั่นคง

ความท้าทายที่สำคัญบางประการของการเกษตรในพื้นที่สูงของไทย ได้แก่ การเสื่อมโทรมและการพังทลายของดินอย่างรุนแรง การปนเปื้อนสารเคมีในสิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พื้นที่ป่าปฐมภูมิหายไป 19,461 เฮกตาร์ในจังหวัดบนพื้นที่สูงระหว่างปี พ.ศ. 2545-2563 (ค.ศ.2002-2020) พื้นที่ป่าที่สูญหายไปถูกเปลี่ยนเป็นการปลูกข้าวโพดเชิงเดี่ยว มีรายงานว่าปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและความปลอดภัยของอาหารในพื้นที่สูง คาดการณ์ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยต่อปีจะเพิ่มขึ้น 1.4 ถึง 1.8°C ภายในทศวรรษ พ.ศ.2603 (ค.ศ.2060) และเพิ่มขึ้น 3.0 ถึง 3.8°C ภายในทศวรรษ 2633 (ค.ศ.2020) ในพื้นที่สูงของไทย การเปลี่ยน แปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งแสดงออกผ่านอุณหภูมิที่สูงขึ้นและความถี่ของเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว เช่น ภัยแล้ง ส่งผลให้เกิดปัญหาทางการเกษตรรุนแรงขึ้น

ปัญหาที่คล้ายกันนี้สามารถพบได้บนที่สูงของจังหวัดน่าน โดยจังหวัดน่านกำลังประสบกับการเพาะปลูกข้าวโพดที่เพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการตัดไม้ทำลายป่าที่เพิ่มขึ้นในจังหวัด การตัดไม้ทำลายป่าและการปฏิบัติที่ไม่ยั่งยืนอื่น ๆ เป็นการทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของดินและการพังทลายของดิน การใช้งานอย่างกว้างขวางหลากหลาย และการชะล้างสารเคมีทางการเกษตรในเวลาต่อมา ซึ่งก่อเกิดการปนเปื้อนแหล่งน้ำที่สำคัญ การทำฟาร์มเชิงเดี่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตข้าวโพด ส่งผลให้ภาระหนี้สินในครัวเรือนเพิ่มขึ้น ตามที่ระบุโดยอัตราส่วนรายได้ต่อหนี้สินอยู่ที่ 0.89 ภายในปี พ.ศ.2575 ความเสื่อมโทรมของความอุดมสมบูรณ์ของดินและสุขภาพของดินส่งผลให้เกษตรกรมีหนี้เพิ่มขึ้นและเป็นเรื้อรัง ปัจจัยทั้งหมดนี้ส่งผลให้ภาระทางเศรษฐกิจของครัวเรือนเพิ่มขึ้นและภาระด้านสิ่งแวดล้อมในพื้นที่สูงของจังหวัดน่าน

4.5 ความท้าทายของการประเมินความเปราะบาง

ตามที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ พื้นที่สูงมีสภาพทางสังคม-เศรษฐกิจ ภูมิอากาศ และภูมิศาสตร์ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว และยังเป็นหนึ่งในภูมิภาคที่มีความเสี่ยงสูงต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แม้จะมีเหตุผลเหล่านี้ การประเมินความ

เปราะบางในพื้นที่สูงยังไม่ได้รับการพัฒนาอย่างเต็มที่ ปัจจัยบางประการที่มีส่วนทำให้ขาดการพัฒนาในการประเมินความเปราะบางอาจเกิดจากการที่รัฐบาลให้ความสำคัญกับระบบนิเวศที่เปราะบางเหล่านี้อย่างช้า ๆ และจำกัด ด้วยพื้นที่สูงถูกมองว่าเป็นโอกาสทางเศรษฐกิจเมื่อไม่นานมานี้เอง ความแปรปรวนเชิงพื้นที่สูงในลักษณะท้องถิ่นของพื้นที่สูงหมายความว่าจำเป็นต้องมีข้อมูลที่ละเอียด/ละเอียดสูงและมีคุณภาพเกี่ยวกับสภาวะทางชีวกายภาพและเศรษฐกิจสังคมทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่ยังขาดแคลนในพื้นที่สูง ในพื้นที่สูงส่วนใหญ่มีความขาดแคลนข้อมูลทั้งที่เป็นข้อมูลประเภทเดียวกันและข้อมูลที่มีการจำแนกเป็นส่วนย่อยหลากหลายมิติ สิ่งนี้ผลักดันให้นักวิจัยต้องตั้งสมมติฐานที่ขับเคลื่อนการวิเคราะห์และตีความการวิเคราะห์เป็นสิ่งที่ท้าทายต่อสภาพท้องถิ่น การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความเปราะบางส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่พื้นที่ราบลุ่มและที่ราบ ตัวชี้วัดความเปราะบางดังกล่าวมักจะระบุเฉพาะสถานที่ ดังนั้นเอกสารวิชาการที่มีอยู่จากภูมิภาคอื่นจึงไม่สามารถนำมาใช้กับสภาพพื้นที่สูงได้อย่างง่ายดาย นอกจากนี้ เนื่องจากการศึกษาวิจัยเรื่องความเปราะบางยังมุ่งเน้นไปที่เงื่อนไขเฉพาะของภัยอันตรายธรรมชาติ และระดับของความแตกต่างระหว่างภัยอันตรายของที่ราบสูงและที่ราบลุ่ม มักจะหมายถึงความเหมาะสมที่จำกัดสำหรับการใช้งานและความเกี่ยวข้องกับสภาพของพื้นที่สูง แม้แต่ในพื้นที่สูง การคาดการณ์เชิงพื้นที่ของความเปราะบางก็ยังเผชิญกับความท้าทายอันเนื่องมาจากพื้นที่สูงทั้งแนวตั้งและแนวนอน และความหลากหลายในพื้นที่สูง อย่างไรก็ตาม พื้นที่สูงทำให้เรามีโอกาสพิเศษในการได้ทำความเข้าใจอย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้นเกี่ยวกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของความเปราะบางที่อาจจะไม่สามารถหาได้จากภูมิภาคอื่น ๆ การพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติในระดับสูงเพื่อความยืดหยุ่นในทางสังคมและบทบาทของความหลาก หลายทางชีวภาพ และการบริการระบบนิเวศในพื้นที่สูง ทำให้เรามีโอกาสสำคัญในการทำความเข้าใจทรัพยากรธรรมชาติและบริการระบบนิเวศในพื้นที่สูง ประสบการณ์ชี้ให้เห็นว่าการเลี้ยงปศุสัตว์มีบทบาทสำคัญในการฟื้นฟูพื้นที่สูง และมีความจำเป็นในการส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์เพื่อเสริมสร้างการไหลเวียนของทรัพยากร/ระบบการเกษตรแบบวงปิดในพื้นที่สูงที่สามารถปรับปรุงความยืดหยุ่นทางการเกษตรได้ พื้นที่สูงยังให้โอกาสมากขึ้นในทำการเกษตรอย่างมีความหลากหลายของพันธุ์พืชผลเนื่องจากภาวะโลกร้อนในแนวดิ่ง การทำการเกษตรแบบดั้งเดิมที่พัฒนาไปตามยุคสมัย ตามระบบนิเวศ และประเพณีท้องถิ่นในพื้นที่สูงสามารถช่วยอนุรักษ์ระบบนิเวศในท้องถิ่นได้

5. เตรียมความพร้อม

ความเปราะบางโดยธรรมชาติจะมีลักษณะหลากหลายแง่มุมและเป็นสหวิทยาการ (multi-disciplinary) การประเมินความเปราะบาง (VA) ยังต้องอาศัยการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายฝ่าย เนื่องจากความเปราะบางนั้นมีลักษณะถ่ายทอดและสะสม กล่าวคือ ความเปราะบางส่วนบุคคลสามารถกลายเป็นประเด็นทางสังคมได้และในทางกลับกันประเด็นทางสังคมก็กลายเป็นความเปราะบางส่วนบุคคลได้ เนื่องจากลักษณะที่ซับซ้อนของความเปราะบางดังกล่าว จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวางแผนอย่างละเอียดเพื่อดำเนินการ VA

5.1 พูดภาษาเดียวกัน

ความจำเป็นลำดับแรกและสำคัญที่สุดก่อนดำเนินการ VA คือสมาชิกในทีมทุกคนที่ทำงานใน VA ต้องมีความเข้าใจร่วมกันเกี่ยวกับคำถามและแนวคิดที่เป็นรากฐานของการดำเนินการ VA เนื่องจากความเข้าใจที่แตกต่างกันอาจนำไปสู่การขาดข้อตกลงในแนวทางที่จะต้องดำเนินการ VA ความเข้าใจนี้ควรซึมซับไปถึงขอบเขตของกรอบการทำงานต่าง ๆ ที่ใช้ทั้งในด้านแนวคิดและในแง่การปฏิบัติ รวมถึงภาษาและความหมายที่เข้าใจกันในหมู่สมาชิกในทีมอย่างสม่ำเสมอ สมาชิกยังต้องการอ้างถึงเอกสารแนวทางที่มีอยู่แล้วในส่วนงานต่าง ๆ เช่น ของหน่วยงานรัฐบาล ที่อาจให้ความกระจ่างเกี่ยวกับการประเมินความเปราะบาง ลักษณะและวัตถุประสงค์ของการประเมินความเปราะบาง เป็นต้น เนื่องจากจะต้องสามารถให้วิธีง่ายๆ ในการตกลงทำความเข้าใจเกี่ยวกับความหมายทั่วไปของความเปราะบางในกลุ่มผู้ที่ดำเนินการ VA

5.2 ขอบเขตของการทำงานก็มีความสำคัญ

การระบุขอบเขตทางภูมิศาสตร์และการปกครองเพื่อประเมินความเปราะบางเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแก้ไขปัญหาเฉพาะหรือการกำหนดเป้าหมาย VA ไปยังหน่วยงานตัดสินใจเฉพาะ เช่น หน่วยงานระดับท้องถิ่นหรือหน่วยงานระดับจังหวัด ทีมงานอาจต้องการระบุภาคส่วนของสังคมตลอดจนภาคส่วนเฉพาะ และ/หรือ ภาคส่วนย่อยของเศรษฐกิจที่จำเป็นต้องมีการประเมินความเปราะบาง งานต่าง ๆ เช่น การระบุกลุ่มเปราะบาง เช่น คนในพื้นที่และชาติพันธ์ รวมถึงการรวมกลุ่มประชากรเฉพาะ เช่น เพศและอายุ ควรจะต้องได้รับการพิจารณาในขั้นตอนนี้

5.3 สร้างความมั่นใจในความเป็นเจ้าของ

การสร้างความมั่นใจในความเป็นเจ้าของ VA เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการให้เกิดผลลัพธ์อย่างมีประสิทธิผลและการนำไปใช้ในการตัดสินใจ ดังนั้นการใช้แนวทางการมีส่วนร่วมจึงเป็นหัวใจสำคัญของ VA แนวทางการมีส่วนร่วมดังกล่าว มีองค์ประกอบอย่างน้อยสององค์ประกอบ องค์ประกอบแรกคือการจัดตั้งทีมหลักของผู้เชี่ยวชาญแบบสหวิทยาการ และองค์ประกอบที่สองคือการจัดตั้งกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย การจัดตั้งทีมที่เป็นสหวิทยาการถือเป็นข้อกำหนดที่จำเป็นสำหรับการดำเนินการ VAs เนื่องจากธรรมชาติของความเปราะบางเป็นไปในแบบสหวิทยาการและหลากหลายแง่มุม

ลักษณะและองค์ประกอบของทีมขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และการมุ่งเน้นเฉพาะส่วนของ VA โดยทั่วไปแล้ว VA ต้องการผู้เชี่ยวชาญที่มีภูมิหลังทางเศรษฐกิจและสังคมและชีวกายภาพ ตัวอย่างเช่น VA ที่ดำเนินการสำหรับภาคเกษตรกรรมมัก

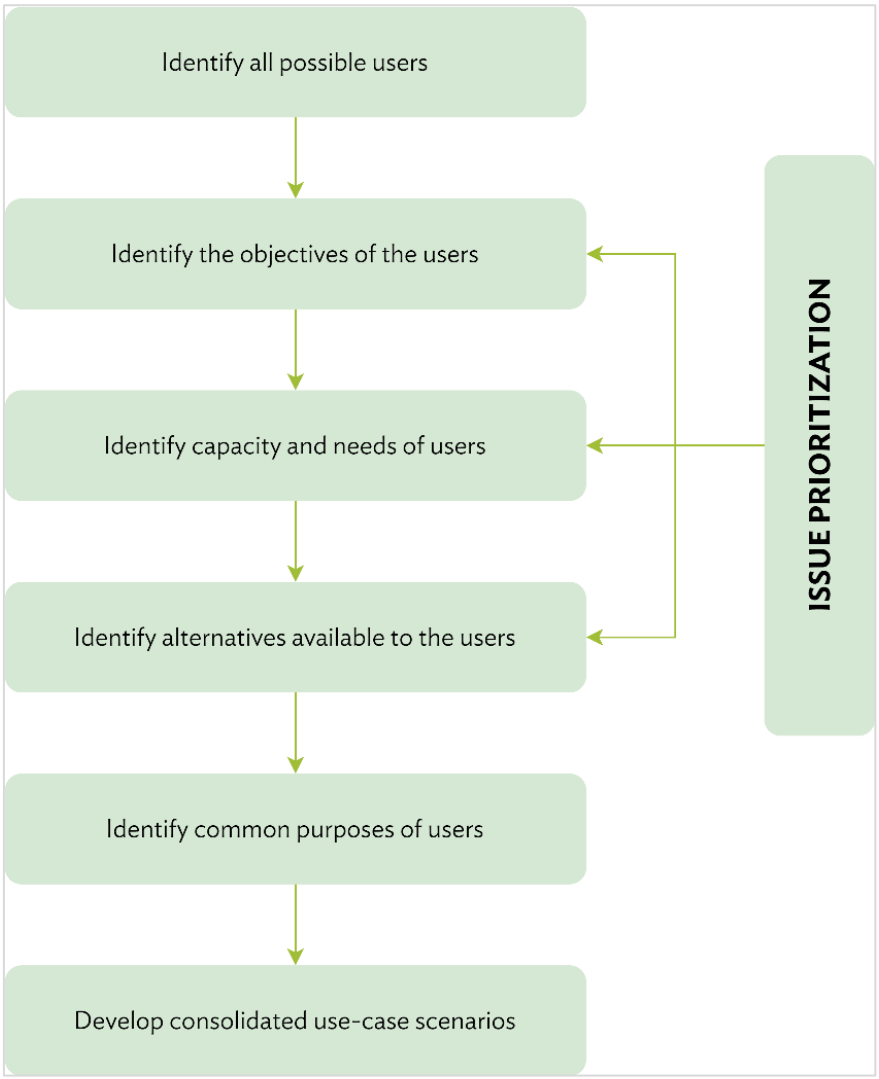
ต้องการผู้เชี่ยวชาญหลักจากด้านเศรษฐศาสตร์เกษตร อุทกวิทยาหรือการชลประทานการเกษตร ภูมิอากาศวิทยา พืชไร่ และสังคมวิทยาชนบท หรือการพัฒนาชนบท อาจมีการเลือกผู้เชี่ยวชาญเพิ่มเติมตามลักษณะเฉพาะของ VA ในขณะที่ผู้เชี่ยวชาญเหล่านี้กำลังจัดการกับ VA แต่ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับ VA ก็มาจากแหล่งต่าง ๆ และจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

เพื่อประโยชน์ในการปฏิบัติงาน จึงมีคำแนะนำว่าอาจจัดตั้งกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพื่อทำหน้าที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับกระบวนการ VA และสามารถให้ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับ VA ได้ องค์ประกอบของกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอาจประกอบด้วยหน่วยงานท้องถิ่น ผู้เชี่ยวชาญด้านการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผู้ปฏิบัติงานด้านการพัฒนา องค์กรเกษตรกร องค์กรพัฒนาเอกชน ตัวแทนภาคเอกชน เป็นต้น กลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจะสามารถมั่นใจได้ว่า VA นั้นมีความสอดคล้องกับพื้นที่ที่กำหนดไว้ มีวัตถุประสงค์และขับเคลื่อนด้วยความต้องการ และกำหนดเป้าหมายไปยังผลลัพธ์ที่เฉพาะเจาะจง กลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจะมีบทบาทสำคัญในการได้รับสิทธิ์ที่จำเป็นสำหรับการดำเนินการ VAs การจัดหาเงินทุนสำหรับกิจกรรม VA การเชื่อมโยงกับกระบวนการนโยบาย เช่น การกำหนดกลยุทธ์หรือแผนการปรับตัว และการสื่อสารผลลัพธ์ไปยังภาคส่วนที่กว้างขึ้นของสังคมที่ช่วยในการเผยแพร่และการนำผล VA ไปใช้อย่างมีประสิทธิผลโดยผู้มีบทบาทที่เหมาะสม

6. เป้าหมายและสถานการณ์ของกรณีการใช้งาน

การระบุเป้าหมายโดยรวมและการกำหนดสถานการณ์ของกรณีการใช้งาน (use case scenarios) สำหรับการประเมินความเปราะบาง (VA) ถือเป็นส่วนสำคัญในการดำเนินการ VA เป้าหมายของ VA และสถานการณ์ของกรณีการใช้งานมีความเชื่อมโยงกัน โดยที่เป้าหมายทำหน้าที่เป็นผลลัพธ์ที่ VA มีส่วนร่วมในการสร้างผลลัพธ์นั้น และสถานการณ์ของกรณีการใช้งานนั้นสนับสนุนให้บรรลุถึงเป้าหมาย กรณีการใช้งานโดยทั่วไปสามารถกำหนดเป็นชุดของขั้นตอนที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่เฉพาะเจาะจง นอกจากนี้ยังต้องเข้าใจว่ากรณีการใช้งานยังเป็นวัตถุประสงค์และบริบทที่จะใช้ VA วัตถุประสงค์ใน VA จะกำหนดวิธีของ VA โดยความเชื่อมโยงระหว่างวัตถุประสงค์และวิธีการประเมินถือเป็นข้อพิจารณาที่สำคัญในการทำ VA

รูปที่ 5: ลำดับขั้นตอนในการจัดการสถานการณ์ของกรณีการใช้งาน (ที่มา: ผู้เขียน)



ตัวอย่างเช่น เมื่อ VA ดำเนินการโดยส่วนงานด้านเกษตรกรรม ส่วนงานต้องการประเมินความเปราะบางของระบบการผลิตทางการเกษตรในปัจจุบันต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต โดยตั้งใจที่จะพัฒนาแผนการปรับตัวจากล่างขึ้นบนโดยชุมชนที่ครอบคลุม เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับความเปราะบางด้านการเกษตร ส่วนงานอาจต้องการนำมุมมองของระบบมาใช้ในการออกแบบแนวทางแก้ไขปัญหาที่ต้องการขอคำแนะนำจาก VA ในทำนองเดียวกัน เมื่อ VA ดำเนินการโดยหน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐาน กรณีการใช้งานในที่นี้ อาจเป็นเพื่อระบุความเปราะบางของโครงสร้างพื้นฐานในปัจจุบันต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่คาดการณ์ไว้ หรือเพื่อออกแบบโครงสร้างพื้นฐานที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต เนื่องจากสถานการณ์กรณีการใช้งานแตกต่างกันไปในแต่ละผู้ใช้ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ใช้จะต้องทำความเข้าใจสถานการณ์กรณีการใช้งานที่พวกเขาต้องการใช้ผลลัพธ์ของ VA ก่อน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของ VA อาจมีกรณีการใช้งานหลายกรณีที่อาจพิจารณาและเมื่อกรณีการใช้งานทั้งหมดเหล่านี้อ้างถึงเป้าหมายเดียว เช่น การลดความเปราะบางจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นกรณีการใช้งานแต่ละกรณีเหล่านี้ ก็ถือเป็นสถานการณ์กรณีการใช้งานได้

จึงมีคำแนะนำให้ดำเนินการจัดทำการเชื่อมโยง (mapping) สถานการณ์กรณีการใช้งานอย่างละเอียดโดยเป็นส่วนหนึ่งของ VA เพื่อเป็นแนวทางให้กับกระบวนการ VA ในลักษณะที่มีประสิทธิภาพและมุ่งเน้นผลลัพธ์ การทำการเชื่อมโยงสถานการณ์การใช้งานจะเกิดขึ้นในรูปแบบของการประชุมเชิงปฏิบัติการ การปรึกษาหารือของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายฝ่าย โดยที่ผู้เข้าร่วมให้ข้อมูลแก่กระบวนการระบุสถานการณ์กรณีการใช้งานของ VA การออกแบบการประชุมเชิงปฏิบัติการในบริบทของพื้นที่สูงควรแสวงหาการมีส่วนร่วมจากหน่วยงานท้องถิ่น หน่วยงานด้านเกษตรกรรม การพัฒนาชนบท ทรัพยากรน้ำ ที่ดิน ตัวแทนเกษตรกร และเอกชน ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในภาคส่วนที่เกี่ยวข้องกับการตลาดผลผลิตทางการเกษตรและอุปทานปัจจัยการผลิต กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเกี่ยวกับสถานการณ์กรณีการใช้งานแสดงใน รูปที่ 5.

โดยทั่วไป การดำเนินการพัฒนาสถานการณ์ของกรณีการใช้งาน จะประกอบด้วยหกขั้นตอน ในขั้นตอนแรก ผู้เข้าร่วมจะเริ่มต้นด้วยการระบุผู้ใช้ VA ทั้งหมด ผู้เข้าร่วมบางรายที่ระบุไว้ในย่อหน้าก่อนหน้านี้อาจจะไม่ได้ใช้ VA เป็นประจำหรือเป็นแหล่งทรัพยากรในการทำงานหลักในการดำเนินงานประจำวันของตนก็ได้ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องตั้งคำถามสำคัญเพื่อระบุผู้ใช้ VA ซึ่งจะทำให้เห็นเป็นรูปเป็นร่างว่า 'งานของใครจะไม่สมบูรณ์หากไม่ได้อ้างอิงถึง VA' เนื่องจากมีความเป็นไปได้ในการระบุตัวผู้ใช้เฉพาะผู้ที่เข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการเท่านั้น ดังนั้นทีมประสานงานของ VA จะต้องศึกษาเอกสารอย่างละเอียดและสัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูลหลักล่วงหน้าเพื่อระบุรายชื่อผู้ใช้อย่างละเอียดถี่ถ้วน และรับประกันการมีส่วนร่วมของผู้มีโอกาสที่จะเป็นผู้ใช้ทั้งหมดของ VA เมื่อระบุผู้ใช้ VA ทั้งหมดแล้ว การดำเนินการจะเข้าสู่ขั้นตอนการระบุวัตถุประสงค์ของผู้ใช้แต่ละคน กล่าวคือ ผู้ใช้ต้องการ VA เพื่อจุดประสงค์ใด

การเขียนวัตถุประสงค์ทั้งหมดไว้ในแผนภูมิและการระบุความเชื่อมโยงระหว่างวัตถุประสงค์เหล่านี้ถือเป็นสิ่งสำคัญในขั้นตอนนี้ สิ่งนี้ทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่า วัตถุประสงค์ทั้งหมดของผู้ใช้ได้จะได้รับการยอมรับและมีการระบุการทำงานร่วมกันที่เป็นไปได้ระหว่างวัตถุประสงค์ เมื่อผู้ใช้ส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์ที่คล้ายกันโดยอาจจะมีความแตกต่างอยู่บ้าง กลุ่มอาจต้องการหารือเกี่ยวกับวิธีการจัดการความแตกต่างเหล่านั้น โดยการระบุวิธีการในการบรรลุถึงวัตถุประสงค์เหล่านี้ จุดประสงค์คือเพื่อจะดูว่าสามารถตกลงในประเด็นวัตถุประสงค์ร่วมกันเพื่อให้สามารถพัฒนา VA ที่มุ่งเน้นได้หรือไม่ แม้ว่าวัตถุประสงค์จะตรงกัน แต่ผู้ใช้ก็อาจแตกต่างกันในแง่ของความสามารถที่พวกเขาต้องใช้ VA ดังนั้น การหารือควรระบุข้อจำกัดด้านความสามารถที่เป็นไปได้ในการใช้งาน และข้อจำกัดเหล่านี้จะจำกัดการใช้ VA อย่างมีประสิทธิผลในการทำให้บรรลุบรรลุวัตถุประสงค์เฉพาะหรือไม่ เนื่องจากอาจเป็นไปไม่ได้ที่จะพัฒนา VA ที่เข้ากันได้กับข้อจำกัดทั้งหมด กลุ่มจึงต้องระบุทรัพยากรบางอย่างหรือติดตาม

กิจกรรมเสริมสร้างขีดความสามารถเพื่อพัฒนาขีดความสามารถของผู้ใช้ในประเด็นที่สำคัญ เพื่อให้ VA สามารถช่วยเหลือผู้ใช้ทุกคนได้ให้มากที่สุด

ในการเตรียมตัวสำหรับการดำเนินการนั้น ทีมประสานงานควรนำเสนอข้อมูลที่จำเป็นเพื่อพัฒนาความเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับบริบททางการเกษตรของภูมิภาค ความเปราะบางที่ซ่อนอยู่ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อให้ข้อมูลนี้นำผู้เข้าร่วมทั้งหมดไปสู่ความเข้าใจร่วมกันในประเด็นต่าง ๆ การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาเป็นองค์ประกอบสำคัญของการทำการประชุมเชิงปฏิบัติการสถานการณ์กรณีการใช้งาน ซึ่งสามารถจัดลำดับความสำคัญของปัญหาได้โดยใช้เทคนิคง่ายๆ เช่น การจัดอันดับ ตัวอย่างกรณีการใช้งานของ VA มีดังต่อไปนี้:

(1) ประเมินความเปราะบางของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ของพืชผลปัจจุบันที่ปลูกในพื้นที่สูง จนถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต
(2) ประเมินความเปราะบางของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ของพืชทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการเกษตรบนที่สูงในอนาคต
(3) ระบุศักยภาพในการลดความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของการทำการการเกษตรในการเกษตรบนที่

7. การจัดเตรียมข้อมูล

คู่มือแนวทางการประเมินความเปราะบางส่วนนี้ จะให้ข้อมูลเชิงลึกในรายละเอียดเกี่ยวกับ:

(1) ข้อมูลประเภทใดที่จำเป็นสำหรับการดำเนินการ VA
(2) วิธีเตรียมข้อมูลที่จำเป็นสำหรับทุกขั้นตอนของ VA
(3) ประเภทของการดำเนินการเกี่ยวกับข้อมูล (data treatment)
(4) ประเด็นปัญหาคุณภาพข้อมูล แหล่งที่มาของปัญหาคุณภาพข้อมูล และวิธีการจัดการ/ปรับปรุงคุณภาพข้อมูล
(5) ผลกระทบของคุณภาพข้อมูลต่อผลลัพธ์และการใช้งานของ VA
(6) วิธีการรับรองคุณภาพของข้อมูล

7.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความเปราะบาง (VA)

มีการใช้ข้อมูลหลายประเภทใน VA โดยทั่วไปข้อมูลเหล่านี้สามารถจัดกลุ่มได้เป็นสองประเภท:

(1) ข้อมูลปฐมภูมิ
(2) ข้อมูลทุติยภูมิ

ข้อมูลปฐมภูมิมาจากการสังเกตุและการสำรวจแบบสอบถามโดยตรงจากภาคสนาม ข้อมูลทุติยภูมิมาจากแหล่งต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงข้อมูลที่จัดทำโดยหน่วยงานรัฐบาลทั้งในระดับชาติและระดับท้องถิ่น และจากแหล่งข้อมูลทั่วโลกที่เข้าถึงได้แบบเปิด ข้อมูลเฉพาะที่ใช้ใน VA ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3: การวิเคราะห์สถานการณ์การปรับตัว

SN	ข้อมูล	ช่วงเวลา (พ.ศ.)	รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาในเชิงพื้นที่	แหล่งข้อมูล
CLIMATE DATA (OBSERVED)				
1)	อุณหภูมิต่ำสุด	2528–2557	จุด/รายวัน	TMD
2)	อุณหภูมิสูงสุด	2528–2557	จุด/รายวัน	TMD
3)	ปริมาณฝน	2528–2557	จุด/รายวัน	TMD, RID
4)	ERA5 (อุณหภูมิต่ำสุด/สูงสุด, ปริมาณน้ำฝน)	2528–2557	0.25°×0.25°/รายวัน	https://cds.climate.copernicus.eu/#!/search?text=ERA5&type=dataset
ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (GCMs)				
1)	CMCC-ESM2	2528–2643	1°×1°/รายวัน	CCCMA

SN	ข้อมูล	ช่วงเวลา (พ.ศ.)	รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาในเชิงพื้นที่	แหล่งข้อมูล
2)	EC-Earth3	2528–2643	1°×1°/รายวัน	EC-Earth Consortium, Rossby Center, SMHI
3)	EC-Earth3-CC	2528–2643	1°×1°/รายวัน	
4)	GFDL-ESM4	2528–2643	1°×1°/รายวัน	NOAA
5)	NorESM2-MM	2528–2643	1°×1°/รายวัน	NCC
6)	TaiESM1	2528–2643	1°×1°/รายวัน	RCEC
ข้อมูลพืชผล				
1)	ชนิดพืช (การใช้ประโยชน์ที่ดิน)	28/12/2561	1:4,000/25,000/ 50,000	LDD
2)	วิธีการปลูก (ใช้ต้นกล้า/หว่านเมล็ด)	-	-	การสำรวจพื้นฐาน & เอกสาร
3)	ช่วงเวลาเพาะปลูก (วันปลูกและวันเก็บเกี่ยว)	-	ระดับไร่นา	
4)	การปกคลุมดินของพืชสูงสุด (Canopy Cover)	-	-	ฐานข้อมูล FAO & เอกสาร
5)	ปริมาณผลผลิต	2555–2562 2527–2562	อำเภอ/รายปี จังหวัด/รายปี	RID, OAE, DOAE
6)	ความหนาแน่นของการปลูกพืช	ช่วงเวลาการปลูก	ระดับไร่นา/เวลาหนึ่งปี	การสำรวจพื้นฐาน & เอกสาร
ข้อมูลดิน				
1)	กลุ่มของเนื้อของดิน (ทราย/ตะกอน/ดินเหนียว/ดินร่วน ฯลฯ)	2561	1:25,000	LDD
2)	จำนวนของชั้นดิน	-	ระดับไร่นา	
3)	ความหนาของชั้นดิน	-	ระดับไร่นา	
4)	คุณสมบัติของดิน: • ค่าความชื้นของดิน (θ) ณ จุดอิ่มตัว, ความชื้นชลประทานกับจุดเหี่ยวเฉาถาวร • ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน • ความลึกของดินที่รากหยั่งลึกได้ • อินทรีย์วัตถุในดิน • ความเป็นกรด-ด่างของดิน	ช่วงเวลาการปลูกพืชผล	ระดับไร่นา	การคำนวณคุณลักษณะทางชลศาสตร์ (Saxton and Rawls, 2006) ได้จากการประมาณค่า θ_s และ K_{sat} จากเนื้อดิน ค่า θ_{sat}, θ_{fc}, θ_{pwp} และ K_{sat}, ได้จาก FAO Harmonised World Soil Database (Fisher et al., 2008) (AquaCrop คำนวณค่าพารามิเตอร์กายภาพอื่น ๆ ที่มีผลต่อการควบคุม

SN	ข้อมูล	ช่วงเวลา (พ.ศ.)	รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาในเชิงพื้นที่	แหล่งข้อมูล
				การระเหยของดิน การระบายน้ำภายใน การซึมผ่านลึก การไหลบ่าของพื้นผิว และแรงยกตัวแคพิลลารี่)
แนวทางบริหารจัดการในไร่นา				
1)	ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (บ่งชี้ถึงความแห้งสัมพัทธ์สูงสุดของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน)	ช่วงเวลาการปลูกพืชผล	ระดับไร่นา	การสำรวจพื้นฐาน & เอกสาร
2)	การปฏิบัติที่ส่งผลต่อการระเหยน้ำของดินและ/หรือ การไหลบ่าของน้ำพื้นผิว: • การใช้พืชคลุมดิน • คันดิน • คันกั้นน้ำจากดินหรือหิน • การใช้วัสดุคลุมดิน • คันดินแบบสูง • ใช้ชนิดพืชและวิธีปลูกในการปรับเปลี่ยนการไหลบ่าของน้ำผิวดิน	ช่วงเวลาการปลูกพืชผล	ระดับไร่นา	
3)	พื้นที่นอกเขต/พื้นที่ในเขตชลประทาน	ช่วงเวลาปลูกพืชผล	ระดับหมู่บ้าน	DOAE, RTG, การสำรวจพื้นฐาน
ข้อมูลเศรษฐกิจ-สังคม				
1)	ดัชนีการพัฒนาของมนุษย์	2528–2557	หมู่บ้าน/รายปี	การสำรวจพื้นฐาน, CIESIN (2018), เอกสาร
2)	ความหนาแน่นของประชากร	2528–2557	หมู่บ้าน/รายปี	
3)	อัตราการรู้หนังสือ	2528–2557	หมู่บ้าน/รายปี	
4)	ความหนาแน่นของปศุสัตว์	2528–2557	หมู่บ้าน/รายปี	
5)	อัตราการรู้หนังสือ	2528–2557	หมู่บ้าน/รายปี	

หมายเหตุ:

ERA5: ECMWF Reanalysis Version 5; DOAE: กรมส่งเสริมการเกษตร; RTG: รัฐบาลไทย; LDD: กรมพัฒนาที่ดิน; OAE: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, FAO: องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ. GCM data portal: (https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip6/). การรวบรวมข้อมูลอาจแตกต่างกันไปตามตัวชี้วัดที่ใช้ในการคำนวณ VI

7.2 ประเด็นคุณภาพข้อมูลในการประเมินความเปราะบาง (VA)

ข้อมูลหรือสารสนเทศที่เป็นฐานของ VA นั้น ความแน่นอนของ VA ขึ้นอยู่กับความแน่นอนของข้อมูลที่ใช้ใน VA เพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับข้อมูลที่ใช้ คุณภาพของข้อมูล และประเด็นที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของข้อมูลก่อนที่นำไปใช้ใน VA โดยพื้นฐานแล้ว ปัญหาด้านคุณภาพข้อมูลที่พบบ่อยที่สุดสามารถจัดกลุ่มได้เป็น 5 หมวดหมู่:

(1) ข้อมูลซ้ำซ้อน
(2) ข้อมูลไม่มีโครงสร้าง
(3) ข้อมูลที่ไม่มีความแม่นยำ
(4) รูปแบบของข้อมูล
(5) การถึงข้อมูล

7.2.1 ข้อมูลซ้ำซ้อน

การมีสำเนาของข้อมูลเดียวกันหลายชุดก็ถือว่าเป็นการซ้ำซ้อนของข้อมูล ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาทั่วไปในการจัดการข้อมูล ปัญหานี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากข้อผิดพลาดเมื่อมีผู้ป้อนค่าเดียวกันหลายครั้งโดยไม่ตั้งใจ บางครั้งก็เกิดขึ้นเมื่อขั้นตอนวิธี (algorithm) มีความผิดพลาดเช่นกัน การรวมรูปแบบข้อมูลที่แตกต่างกันและการทำให้ข้อมูลเป็นมาตรฐานก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่เป็นไปได้สำหรับการทำสำเนาข้อมูล ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการระบุชุดข้อมูลที่ซ้ำกันเพื่อปรับปรุงข้อมูลที่เชื่อถือได้และเชื่อมั่นได้สำหรับการทำ VA

7.2.2 ข้อมูลไม่มีโครงสร้าง

โครงสร้างของข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อป้อนข้อมูลไม่ถูกต้อง หรือแฟ้มข้อมูลบางแฟ้มเสียหาย ส่งผลให้ข้อมูลสูญหายหรือไม่มีโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น บันทึกของสถานีตรวจอากาศสำหรับปริมาณฝนและอุณหภูมิไม่มีข้อมูลตำแหน่ง เช่น ละติจูด ลองจิจูด และระดับความสูง ในทำนองเดียวกัน ที่อยู่ของผู้ตอบแบบสอบถามหายไปจากข้อมูลการสำรวจแบบสอบถาม ก็เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง ข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างหรือข้อมูลที่ขาดหายไปบางส่วนอาจเป็นอุปสรรคร้ายแรงในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อ การประมวลผลข้อมูล และ VA

7.2.3 ข้อมูลที่ไม่มีความแม่นยำ

หนึ่งในความท้าทายที่พบบ่อยที่สุดและใหญ่ที่สุดในด้านคุณภาพข้อมูลคือข้อมูลที่ไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ เมื่อข้อมูลมีอยู่บางส่วนและข้อมูลนั้นไม่ถูกต้อง ก็ไม่มีประโยชน์ในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ ความไม่ถูกต้องของข้อมูลส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากข้อผิดพลาดของมนุษย์ การพิมพ์ผิด และข้อผิดพลาดอย่างเป็นระบบในกระบวนการทำงาน การตัดสินใจในโครงการวางแผนและการจัดการทางวิทยาศาสตร์จึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการเท่านั้น ดังนั้นข้อมูลที่ไม่ถูกต้องใน VA จึงนำไปสู่ผลลัพธ์ที่ไม่สอดคล้องกัน

7.2.4 รูปแบบของข้อมูลที่ไม่มีความแน่นอน

ข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บอาจส่งผลให้รูปแบบข้อมูลไม่สอดคล้องกัน เมื่อรวบรวมข้อมูลจากรูปแบบที่แตกต่างกันไปเป็นรูปแบบที่เป็นรูปแบบเดียวกัน อาจมีโอกาสที่ข้อมูลในผลลัพธ์จะขาดหายไป คุณภาพข้อมูลจึงมีความเชื่อมโยงอย่างมากกับการบูรณาการรูปแบบข้อมูลที่แตกต่างกันให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลที่เป็นรูปแบบเดียวกัน ปัญหา

คุณภาพข้อมูลนี้มีความเกี่ยวข้องเป็นอย่างดีกับการวิเคราะห์ VA เนื่องจากแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกันซึ่งมีรูปแบบข้อมูลที่แตกต่างกันจะถูกรวมไว้ในการวิเคราะห์ VA

7.2.5 ข้อมูลที่มีการใช้หน่วยวัดและภาษาที่หลากหลาย

ความแตกต่างในหน่วยวัด ต้นฉบับและภาษาที่ใช้ในข้อมูล ทำให้เกิดปัญหาร้ายแรงกับการประมวลผลข้อมูลและการตีความผลลัพธ์ ตัวอย่างเช่น ใน VA จะมีตัวแปรภูมิอากาศหลายตัวถูกนำมาใช้ในการหาผลลัพธ์ของปริมาณบางอย่าง เช่น การระเหยและการคายระเหย ความสอดคล้องในหน่วยวัดจะกำหนดค่าผลลัพธ์ที่เหมาะสม ดังนั้นความสอดคล้องของหน่วยวัดจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ใน VA ในทำนองเดียวกัน ภาษาที่ใช้เขียนข้อมูลก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาเช่นกัน เนื่องจากอาจทำให้ข้อมูลสำคัญบางอย่างเข้าใจผิดได้หากไม่ได้รับการแปลอย่างเหมาะสม

7.2.6 การเข้าถึงข้อมูล

แหล่งข้อมูลบางแห่งจำกัดการเข้าถึงข้อมูลเฉพาะ ขึ้นอยู่กับลักษณะและความอ่อนไหวของชุดข้อมูล ตัวอย่างเช่น เว็บท่าหรือพอร์ทัลข้อมูลออนไลน์ของหน่วยงานท้องถิ่นและระดับชาติมีข้อจำกัดบางประการในการเข้าถึงข้อมูลโดยตรงจากเครื่องบริการหรือเว็บเซิร์ฟเวอร์ บ่อยครั้งที่ผู้ใช้ข้อมูลจำเป็นต้องได้รับอนุญาตเป็นกรณีพิเศษในการเข้าถึงข้อมูลที่ละเอียดอ่อนจากพอร์ทัลเว็บที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม แหล่งข้อมูลทั่วโลกส่วนใหญ่ จะมีข้อมูลที่ใช้การสำรวจระยะไกล ข้อมูลที่รวมข้อมูลจากหลายแหล่ง ชุดข้อมูลจำลองแบบจำลองพื้นผิวดินนั้นส่วนใหญ่สามารถเข้าถึงได้โดยอิสระจากเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่เกี่ยวข้อง

7.3 ขั้นตอนของการให้เกิดความมั่นใจในคุณภาพข้อมูลเพื่อทำ VA

การทำให้เกิดความมั่นใจในคุณภาพของข้อมูลก่อนดำเนินการวิเคราะห์ VA นั้น มีมาตรการต่าง ๆ เพื่อรับรองการสร้างคุณภาพข้อมูล ดังนี้:

7.3.1 ขจัดความซ้ำซ้อนของข้อมูล

การทำสำเนาข้อมูลเป็นหนึ่งในปัญหาที่พบบ่อยในข้อมูลอนุกรมเวลาสำหรับตัวแปรต่าง ๆ เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความเร็วลม การแผ่รังสีแสงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ การระเหย เป็นต้น การขจัดข้อมูลซ้ำซ้อนเป็นวิธีการแก้ปัญหาการทำสำเนาข้อมูล การขจัดข้อมูลซ้ำซ้อนเป็นกระบวนการในการระบุข้อมูลที่มีการบันทึกซ้ำกันโดยมนุษย์ ขั้นตอนวิธี (algorithm) ของคอมพิวเตอร์ การแสดงภาพข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล ขั้นตอนวิธีที่ใช้ในคอมพิวเตอร์หรือปัญญาประดิษฐ์ (AI) จะสามารถระบุการจับคู่แบบตรงทั้งหมดหรือการจับคู่แบบใกล้เคียงของบันทึกที่ซ้ำกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลที่มีบันทึกซ้ำจะถูกตัดแต่งด้วยขั้นตอนวิธีและการตรวจสอบด้วยภาพเพื่อให้มั่นใจในคุณภาพของข้อมูลใน VA

7.3.2 เครื่องมือสำหรับการบูรณาการข้อมูล

ข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างส่วนหนึ่งเกิดจากข้อมูลขาดหายไป ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยเครื่องมือบูรณาการข้อมูลซึ่งสามารถแปลงข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างเป็นข้อมูลที่มีโครงสร้างได้ เครื่องมือบูรณาการข้อมูลยังช่วยแปลงข้อมูลที่จัดรูปแบบต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการโดยไม่สูญเสียข้อมูลสำคัญใด ๆ

7.3.3 เครื่องจัดการข้อมูลอัตโนมัติ

ข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง/ไม่แม่นยำ จะไม่มีประโยชน์สำหรับวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการตัดสินใจใดใด ข้อผิดพลาดของมนุษย์ส่วนใหญ่นำไปสู่ความไม่ถูกต้อง ซึ่งการลดการมีส่วนร่วมของมนุษย์ในข้อมูลที่เข้าสู่กระบวนการติดตามและวิเคราะห์จะทำให้ข้อมูลมี

คุณภาพมากขึ้น เครื่องมืออัตโนมัติสามารถลดเวลาที่สำคัญในการประมวลผลข้อมูลด้วยตนเอง ช่วยลดปัญหาข้อมูลที่ไม่ถูกต้องอีกด้วย

7.3.4 เครื่องมือช่วยการแปล

ข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบที่หลากหลายหลายภาษา จะต้องแปลด้วยเนื้อหาที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปใช้ใน VA เครื่องมือการแปลและด้วยความช่วยเหลือจากคนในท้องถิ่น ปัญหาหลายภาษาในข้อมูลสามารถแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8. ทำความเข้าใจเรื่องความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับ VA

คู่มือแนวทางการประเมินในส่วนนี้ จะแนะนำผู้ใช้เกี่ยวกับแนวคิดเรื่องความไม่แน่นอน (uncertainty) ใน VA ผลกระทบที่ส่งผลต่อผลลัพธ์จาก VA และการใช้งาน VA เพื่อการตัดสินใจ นอกจากนี้ยังอธิบายแหล่งที่มาและประเภทของความไม่แน่นอนใน VA และระบุวิธีการในการลดความไม่แน่นอนดังกล่าว

8.1 อะไรคือความไม่แน่นอนใน VA?

ความไม่แน่นอนโดยทั่วไปสามารถอธิบายได้ว่าเป็นระดับที่ไม่ทราบค่า ความไม่แน่นอนเกิดขึ้นจากการขาดข้อมูลหรือจากข้อเท็จจริงที่ไม่รู้หรือจากความขัดแย้งในสิ่งที่รู้ ความไม่แน่นอนใน VA ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ค่อนข้างสูงกว่าสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเปราะบางต่อภัยธรรมชาติ ฯลฯ สาเหตุหลักมาจากการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนั้นมีช่วงของความไม่แน่นอนสูง ควบคู่ไปกับการพิจารณาถึงความเปราะบางของการเกษตรบนพื้นที่สูงที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเศรษฐกิจสังคมที่เพิ่มความแปรปรวนที่เกี่ยวข้องกับช่วงของเวลาในเชิงพื้นที่ด้วย ซึ่งเพิ่มความไม่แน่นอนในตัวชี้วัดที่วัดได้ ประการต่อมา ความไม่แน่นอนยังเกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองกระบวนการในระยะเวลาที่นานมากในอนาคต ความไม่แน่นอนที่เกิดจากข้อมูลที่นำเข้า พารามิเตอร์แบบจำลอง และโครงสร้างของแบบจำลอง ซึ่งหากรุนแรงก็จะส่งผลต่อกระบวนการตัดสินใจใน VA

8.2 แหล่งของความไม่แน่นอนใน VA

แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนจะขยายจากข้อผิดพลาดเชิงปริมาณในข้อมูลที่ใช้ใน VA แนวคิด/คำศัพท์ที่ไม่ถูกต้อง ข้อผิดพลาดของมนุษย์ และความไม่แน่นอนในการฉายภาพสภาพภูมิอากาศ ดังนั้น การประเมินทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพจึงจำเป็นเพื่อระบุปริมาณความไม่แน่นอนใน VA ความไม่แน่นอนเชิงปริมาณเป็นการประมาณช่วงของค่าที่คำนวณโดยแบบจำลอง ในขณะที่ความไม่แน่นอนเชิงคุณภาพสะท้อนถึงการตัดสินจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการตีความเชิงคุณภาพหรือเชิงอัตนัย สำหรับความไม่แน่นอนในส่วนที่เกี่ยวกับ VA นั้น จุดมุ่งหมายหลักควรเป็นการใช้ข้อมูลที่ดีที่สุดที่มีอยู่เพื่อประเมินและการตัดสินใจ และแนะนำให้ใช้แนวทางการทำวนซ้ำในการทำ VA และความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องและเมื่อมีข้อมูลใหม่

8.3 การแปลผลลัพธ์ VA ที่มีความไม่แน่นอน

ผู้มีอำนาจตัดสินใจจำเป็นต้องมีความเข้าใจที่ชัดเจนเกี่ยวกับผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ VA และความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องเพื่อการตัดสินใจที่มีประสิทธิผล การประเมินความไม่แน่นอนจึงมีความสำคัญทั้งสำหรับการทำ VA ที่ดีที่สุดของระบบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและช่วงของความเปราะบางที่อาจเกิดขึ้นภายใต้ความไม่แน่นอนที่กำหนด การสังเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ของ VA จากการศึกษาการสร้างแบบจำลอง การศึกษาเชิงทดลอง การศึกษาภาคสนาม รายงานทางเทคนิค และความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้นผลลัพธ์ของ VA จึงเป็นการผสมผสานระหว่างแหล่งข้อมูลหลายแหล่ง

และความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ผลลัพธ์ของ VA ควรได้รับการสังเคราะห์ในลักษณะที่สามารถสื่อสารความไม่แน่นอนผ่านการประเมินได้อย่างชัดเจน

8.4 ข้อควรระวังในการลดความไม่แน่นอน

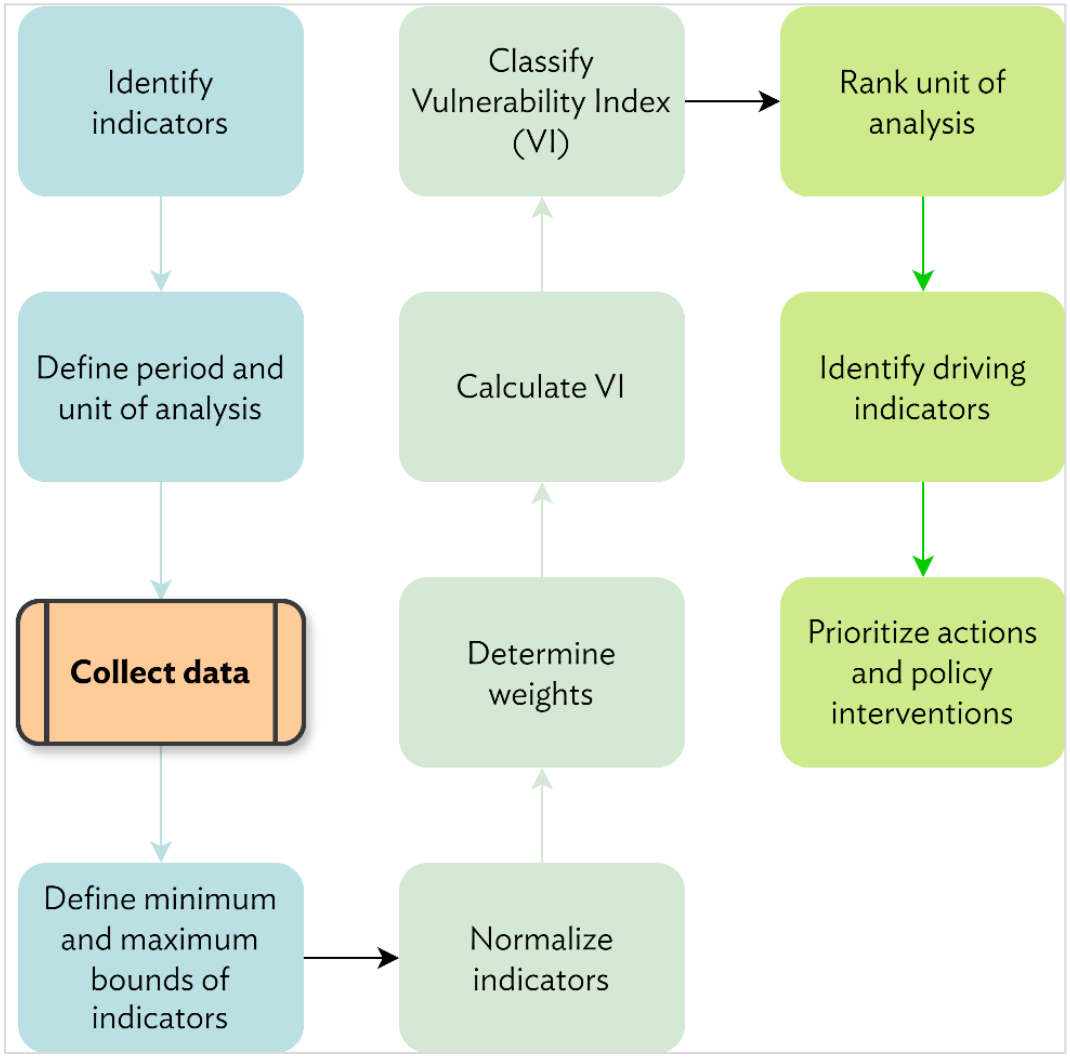
ข้อควรระวังหลายประการในการลดความไม่แน่นอนใน VA สามารถทำได้เพื่อให้เกิดการตัดสินใจที่มีประสิทธิผล แนวปฏิบัติแรกและสำคัญที่สุดคือการใช้แหล่งข้อมูลหลายแหล่งสำหรับข้อมูลประเภทเดียวกัน ความไม่แน่นอนในข้อมูลนำเข้าสามารถลดลงได้เมื่อใช้แหล่งข้อมูลและชุดข้อมูลจากหลายแหล่ง แหล่งข้อมูลจากหลายแหล่งจะสามารถจับความแปรปรวนที่เป็นไปได้ทั้งหมดในตัวแปรที่ใช้พิจารณา และการรวมข้อมูลจากหลายแหล่งยังแสดงถึงค่าตัวแทนของตัวแปร ซึ่งช่วยลดความไม่แน่นอนในค่าข้อมูลที่นำเข้าได้เป็นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตจาก GCM หรือ RCM หลายรายการสามารถนำมาเฉลี่ยรวมกันได้เพื่อให้ได้ชุดของตัวแปรสภาพภูมิอากาศ (ปริมาณฝนและอุณหภูมิ) ซึ่งมีแนวโน้มที่จะลดความไม่แน่นอนของแบบจำลอง ประการที่สอง ความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ยังส่งผลต่อความไม่แน่นอนโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการลดความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ให้เหลือน้อยที่สุดจะช่วยเพิ่มความมั่นใจในการตัดสินใจของ VA ได้ ควรใช้ขั้นตอนวิธี (algorithm) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่ครอบคลุมเป็นเครื่องมือสำหรับการสอบเทียบพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีในแบบจำลองในระหว่างกระบวนการสอบเทียบโมเดล ขั้นตอนวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ขั้นสูง ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพหลายรายการสามารถนำมาใช้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาขั้นต่ำในการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบจำลองในระหว่างกระบวนการ VA การประมาณค่าพารามิเตอร์ตามช่วงเวลายังช่วยลดความไม่แน่นอนในระหว่างกระบวนการสอบเทียบแบบจำลองอีกด้วย เทคนิคขั้นสูงดังกล่าวมีความจำเป็นเพื่อลดความไม่แน่นอนในกระบวนการ VA ประการที่สาม ความไม่แน่นอนสามารถลดลงได้ด้วยการเลือกโครงสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดและเป็นตัวแทนเพื่อสร้างกรอบความคิดและจำลองส่วนประกอบของกระบวนการ VA แบบจำลองบางรุ่นมีลักษณะรวมกันซึ่งทำให้การทำกระบวนการที่ซับซ้อนให้กลายเป็นกระบวนการง่าย ๆ ได้สะดวกขึ้น ในทางกลับกัน แบบจำลองที่มีพื้นฐานทางกายภาพโดยสมบูรณ์จะมีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งต้องการข้อมูลมากขึ้น รวมถึงการกำหนดพารามิเตอร์และการคำนวณที่ครอบคลุม ดังนั้นการเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษาและปัจจัยอื่น ๆ จึงมีความจำเป็น ไม่เพียงแต่ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการที่สมบูรณ์เท่านั้น แต่ยังช่วยลดความไม่แน่นอนที่อาจจะเกิดจากการบิดเบือนค่าไปจากความเป็นจริงในระหว่างการสร้างแบบจำลองของกระบวนการอีกด้วย

9. การประเมินความเปราะบาง

คู่มือแนวทางการประเมินในในส่วนนี้ จะกล่าวถึงกระบวนการประเมินความเปราะบาง (Vulnerability Assessment: VA) แบบเป็นขั้นตอน โดยจะมีเฉพาะการคำนวณตัวอย่างเท่านั้น สำหรับผลลัพธ์โดยละเอียดจากการคำนวณ ดูที่ในเอกสาร ความเปราะบางของการเกษตรบนพื้นที่สูง: สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันและอนาคต (KP2)

9.1 ขั้นตอนการคำนวณดัชนีความเปราะบาง (VI)

รูปที่ 6: ขั้นตอนการประเมินความความเปราะบาง



หน่วยในการวิเคราะห์:

หมู่บ้านและช่วงเวลา: ช่วงเวลาฐาน (พ.ศ.2528–2557), อนาคตระยะใกล้ (พ.ศ.2563–2589), อนาคตระยะกลาง (พ.ศ. 2590–2616) และ อนาคตระยะไกล (2617–2643)

9.1.1 ขั้นตอนที่ 1: ระบุดัชนีชี้วัด

รายการตัวชี้วัดที่ระบุในแต่ละองค์ประกอบของความเปราะบาง แสดงไว้ในตารางที่ 12 ตัวชี้วัดที่เลือกทั้งหมดเป็นตัวแทนของชุมชนเกษตรกรรมบนพื้นที่สูงในตำบลบัวใหญ่ จังหวัดน่าน ประเทศไทย แหล่งที่มาของข้อมูลมีทั้งแหล่งที่มาหลัก (การสำรวจพื้นฐาน) และแหล่งที่มารอง (การฉายภาพการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การสร้างแบบจำลองพืชผล และการวิเคราะห์เชิงพื้นที่) ข้อมูลทุติยภูมิรวบรวมจากหน่วยงานรัฐบาลท้องถิ่นและระดับชาติ ข้อมูลโอเพ่นซอร์สระดับโลก และการทบทวนเอกสารวิชาการ ตัวชี้วัดที่ระบุทั้งหมดจะกล่าวถึงภายใต้องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องในหัวข้อ: ความล่อแหลม, ความอ่อนไหว และความสามารถในการปรับตัว

9.1.2 ขั้นตอนที่ 2: ระบุช่วงเวลาและหน่วยของการวิเคราะห์

ในโครงการนี้ ได้พิจารณาหมู่บ้านในตำบลบัวใหญ่เป็นหน่วยวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากความน่าสนใจของโครงการ ที่ตั้งของสถานที่สาธิต และความพร้อมของข้อมูล ในขณะที่ช่วงเวลาของการวิเคราะห์ถือว่าสอดคล้องกับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ค่าพื้นฐาน (พ.ศ. 2528-2557) อนาคตระยะใกล้ (2563-2589) อนาคตระยะกลาง (2590-2616) และอนาคตระยะไกล (2617-2643)

9.1.3 ขั้นตอนที่ 3: กำหนดขอบเขตขั้นต่ำสุดและสูงสุดสำหรับดัชนีชี้วัด

การกำหนดขอบเขตขั้นต่ำและสูงสุดมีส่วนสำคัญในระหว่างกระบวนการทำให้เป็นมาตรฐาน เนื่องจากค่าของตัวดัชนีชี้วัดจะถูกทำให้เป็นมาตรฐานระหว่าง 0 ถึง 1 โดยอ้างอิงกับค่าเหล่านี้ สำหรับการวิเคราะห์ในช่วงเวลาเดียวกัน สามารถพิจารณาค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดทั่วทั้งหน่วยการวิเคราะห์ (หมู่บ้าน) อย่างไรก็ตาม หากต้องการเปรียบเทียบข้อมูลความเปราะบางในช่วงเวลาต่าง ๆ จำเป็นต้องพิจารณาค่าของดัชนีชี้วัดทั่วทั้งหมู่บ้านและช่วงเวลา (ระยะเวลาพื้นฐานและในอนาคต) ในการดำเนินการดังกล่าว ต้องระมัดระวังเกี่ยวกับตัวดัชนีชี้วัดที่ถือว่าคงที่ตลอดช่วงระยะเวลา เนื่องจากช่วงที่ต่ำกว่า (จากขอบเขตขั้นต่ำและสูงสุด) ของดัชนีชี้วัดมีส่วนทำให้ดัชนีความเปราะบางมีความผันผวนที่สูงขึ้นภายในช่วงของการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุด เพื่อป้องกันปรากฏการณ์ดังกล่าว จึงควรนำเสนอตัวดัชนีชี้วัดภายในช่วงที่ทราบอย่างชัดเจน เช่น ร้อยละ (ในกรณีส่วนใหญ่ร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100) จะดีกว่า ในกรณีของโครงการ ตัวดัชนีชี้วัดส่วนใหญ่ซึ่งมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาจะเปลี่ยนเป็นร้อยละหรือข้อมูลบางช่วงที่ทราบตามข้อมูลการสำรวจและเอกสารทางวิชาการที่นำเสนอใน ตารางที่ 4 ถึง ตารางที่ 11 (ดูในเชิงอรรถ)

9.1.4 ขั้นตอนที่ 4: การปรับตัวดัชนีชี้วัดให้เป็นมาตรฐาน

คำว่า 'การทำให้เป็นมาตรฐาน' หมายถึงการเปลี่ยนแปลงค่าตัวดัชนีที่วัดในระดับที่แตกต่างกันและในหน่วยที่แตกต่างกันให้เป็นค่าที่ไม่มีหน่วยวัดในระดับมาตรฐานกลางทั่วไป ตัวอย่างเช่น หน่วยการวัดต่าง ๆ: รายได้ของครัวเรือนเป็นบาท, กรรมสิทธิ์ที่ดินเป็นเฮกตาร์หรือไร่, อัตราการรู้หนังสือเป็นเปอร์เซ็นต์, อินทรียวัตถุในดินเป็นเปอร์เซ็นต์, ผลผลิตน้ำของพืชเป็นกิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร – และอื่น ๆ ซึ่งหน่วยที่แตกต่างกันเหล่านี้ไม่สามารถรวมเข้าด้วยกันได้หากไม่มีการทำให้เป็นมาตรฐานร่วมเดียวกัน ตัวดัชนีชี้วัดจะถูกทำให้เป็นมาตรฐานโดยใช้วิธีการเปลี่ยนแปลงขั้นต่ำ-สูงสุดเพื่อให้พอดีกับขนาดระหว่าง 0 ถึง 1 โดยโครงการจะกำหนด '0' เป็น 'ต่ำสุด' และ '1' เป็น 'สูงสุด'

ตัวอย่างเช่น ปริมาณน้ำฝนรายปี 1,000 มม./ปี อาจเป็น 0 คือ มีความเปราะบางต่ำที่สุด ในขณะที่ปริมาณน้ำฝน 200 มม. อาจเป็น 1 คือ มีความเปราะบางสูงสุด ตัวชี้วัดที่ได้จะถูกทำให้เป็นมาตรฐานโดยใช้วิธี min-max วิธีการนี้จะแปลงค่าทั้งหมดให้เป็นคะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยการลบค่าต่ำสุดแล้วหารด้วยช่วงของค่าตัวดัชนีชี้วัด

ตัวชี้วัดแต่ละตัวภายใต้องค์ประกอบหลักสามประการ (Exposure, Sensitivity และ Adaptation Capacity) จะผ่านการคำนวณในระดับหมู่บ้านแต่ละแห่งและสภาพพืชผลเฉพาะแต่ละชนิดโดยใช้ชุดข้อมูลในช่วงเวลาปัจจุบันและอนาคต เนื่องจากตัวชี้วัดที่แตกต่างกันจะถูกนำไปคำนวณในระดับการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาในเชิงพื้นที่ (spatiotemporal) ที่แตกต่างกันไปพร้อม ๆ กัน การทำให้ตัวชี้วัดเป็นมาตรฐานจะถูกนำไปใช้นั้น จะขึ้นอยู่กับว่าตัวชี้วัดนั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกหรือเชิงลบ ตามสมการดังต่อไปนี้ (สมการ 10 และ 11)

ถ้าค่าดัชนีชี้วัดเพิ่มขึ้น ค่าของความเปราะบางก็จะเพิ่มขึ้น:

$$X_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (10)$$

ถ้าค่าดัชนีชี้วัดเพิ่มขึ้น ค่าของความเปราะบางก็จะลดลง:

$$X_{ij} = \frac{X_{max} - X_{ij}}{X_{max} - X_{min}} \quad (11)$$

โดยที่, X_{max} และ X_{min} คือ ขอบเขตขั้นต่ำและสูงสุดตามลำดับ ในขณะที่ X_{ij} แสดงถึงค่าทั้งหมดสำหรับตัวดัชนีชี้วัดลำดับที่ j^{th} สำหรับหมู่บ้านลำดับที่ i^{th}

9.1.5 ขั้นตอนที่ 5: พิจารณากำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก

ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดน้ำหนัก หากปัจจัยบางอย่างมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยอื่น ๆ ควรกำหนดน้ำหนักที่แตกต่างกันให้กับตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้อง ซึ่งหมายความว่า ตัวชี้วัดที่ได้รับน้ำหนักมากกว่า (หรือน้อยกว่า) จึงมีอิทธิพลมากกว่า (หรือน้อยกว่า) ต่อองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องและต่อดัชนีความเปราะบางโดยรวม น้ำหนักที่แตกต่างกันที่กำหนดให้กับตัวชี้วัดสามารถหาได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น เอกสารวิชาการที่มีอยู่ ข้อมูลผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ หรือวิธีความแปรปรวนทางสถิติ หากพิจารณาการให้น้ำหนักที่เท่ากัน ก็สามารถนำน้ำหนักมาหารด้วยจำนวนตัวบ่งชี้ได้

ในที่นี้ จะใช้การทดสอบวิธีการถ่วงน้ำหนักเท่ากันและต่างกันก่อน และเลือกวิธีน้ำหนักเท่ากันตามผลลัพธ์ น้ำหนักที่แตกต่างกันจะถูกคำนวณตามความแปรปรวนของตัวชี้วัดทั่วทุกหมู่บ้านโดยใช้สมการ (12) โดยที่น้ำหนักจะถือว่าแปรผกผันกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เพื่อให้มั่นใจว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าที่สูงในตัวชี้วัดตัวใดตัวหนึ่งจะไม่มีอิทธิบพลเหนือ ตัวชี้วัดที่เหลือและไม่ก่อให้เกิดการบิดเบือนในการเปรียบเทียบระหว่างหน่วยวัดต่าง ๆ ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของวิธีถ่วงน้ำหนักเท่ากันและวิธีถ่วงน้ำหนักต่างกัน จะพบว่าวิธีถ่วงน้ำหนักที่แตกต่างกันจะลดการแปรผันเชิงพื้นที่ของตัวตัวชี้วัด ส่งผลให้ค่าดัชนีความเปราะบางภายในพื้นที่มีน้อยหรือไม่มีเลย ดังนั้น การศึกษาจึงยึดถือวิธีถ่วงน้ำหนักเท่ากัน

$$w_j = \frac{1}{\left(SD_i \times \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{SD_i}\right)} \quad (12)$$

โดยที่ w_j คือค่าถ่วงน้ำหนักของตัวชี้วัดลำดับที่ j^{th} และ X_{ij} คือค่ามาตรฐานของ X_{ij} และ SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

9.1.6 ขั้นตอนที่ 6: การคำนวณค่าดัชนีความเปราะบาง (VI)

หลังจากกำหนดน้ำหนักแล้ว ก็นำค่าตัวชี้วัดที่เป็นมาตรฐานมาคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักตามลำดับแล้วรวมผลเพื่อประเมินดัชนีความเปราะบาง (VI) ในแต่ละหมู่บ้าน ดังแสดงในสมการ (13) ในทำนองเดียวกัน ผลรวมของตัวชี้วัดความล่อแหลมที่ทำให้เป็น

มาตรฐานและค่าถ่วงน้ำหนักตามลำดับ จะให้องค์ประกอบความล่อแหลมของดัชนีความเปราะบางต่อเนื่องกันไป สำหรับความอ่อนไหวและความสามารถในการปรับตัว ดังที่แสดงในสมการที่ (14), (15) และ (16)

$$\mathbf{VI} = \sum_{i=1}^{n} (\boldsymbol{w_{ij}} \times \boldsymbol{X_{ij}}) \quad (13)$$

$$\mathbf{E} = \sum_{i=1}^{n} (\boldsymbol{w_{ij}} \times \boldsymbol{E_{ij}}) \quad (14)$$

$$\mathbf{S} = \sum_{i=1}^{n} (\boldsymbol{w_{ij}} \times \boldsymbol{S_{ij}}) \quad (15)$$

$$\mathbf{AC} = \sum_{i=1}^{n} (\boldsymbol{w_{ij}} \times \boldsymbol{AC_{ij}}) \quad (16)$$

โดยที่ VI คือ ดัชนีความเปราะบาง, w_j คือค่าถ่วงน้ำหนักของตัวชี้วัดลำดับที่ j^{th} , ค่า X_{ij} , $\boldsymbol{E_{ij}}$, $\boldsymbol{S_{ij}}$ และ $\boldsymbol{AC_{ij}}$ คือค่าของตัวชี้วัด X_{ij} , ความล่อแหลม ค่าความอ่อนไหว และ ค่าความสามารถในการปรับตัว ที่ได้ปรับค่าให้เป็นมาตรฐานแล้ว ท้ายสุด ดัชนีความเปราะบางด้านการเกษตรที่เป็นฐานในปัจจุบันและในอนาคตสำหรับแต่ละหมู่บ้านจะถูกกำหนดโดยการทำซ้ำขั้นตอนข้างต้น อย่างไรก็ตาม ขอบเขตและค่าถ่วงน้ำหนักขั้นต่ำและสูงสุดจะยังคงเหมือนเดิมในช่วงเวลาที่ต่างกัน

9.1.7 ขั้นตอนที่ 7: การจำแนกดัชนีความเปราะบาง

ดัชนีความเปราะบาง (VI) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 และ 1, โดยที่ 1 จะแสดงถึงค่าความเปราะบางสูงสุด และค่า 0 แสดงว่าไม่มีความเปราะบาง ในการอธิบายระดับของความเปราะบางนี้ สามารถเตรียมชั้นของความเปราะบางตามค่าเปอร์เซ็นไทล์ได้ดังที่แสดงไว้ใน ตารางที่ 4 ซึ่งต่อจากนี้หมู่บ้านทั้งหมดสามารถจำแนกได้เป็นห้าประเภทตามชั้นของเปอร์เซ็นต์ไทล์: มีความเปราะบางสูงมาก มีความเปราะบางสูง มีความเปราะบางปานกลาง มีความเปราะบางต่ำ และ มีความเปราะบางต่ำมาก

ตารางที่ 4: การจัดชั้นของความเปราะบางตามชั้นค่าเปอร์เซ็นไทล์

เปอร์เซ็นไทล์	ชั้นของความเปราะบาง
80 – 100	มีความเปราะบางสูงมาก
60 – 80	มีความเปราะบางสูง
40 – 60	มีความเปราะบางปานกลาง
20 – 40	มีความเปราะบางต่ำ
0 – 20	มีความเปราะบางต่ำมาก

9.1.8 ขั้นตอนที่ 8: ระดับหน่วยของการวิเคราะห์

ประสงค์โดยรวมของการคำนวณดัชนีความเปราะบาง คือการจัดลำดับความสำคัญของหน่วยที่มีความเปราะบางและดำเนินการแก้ไขความเปราะบาง ดังนั้น จึงเห็นได้ชัดเจนว่าการจัดอันดับหมู่บ้านตามลำดับดัชนีความเปราะบาง จากคะแนนดัชนีความเปราะบาง หน่วย ม. (รวม 8 หมู่บ้าน) สามารถจัดอันดับได้ตั้งแต่ 1 ถึง 8 โดย 1 เป็นตัวแทนของหมู่บ้านที่มีความ

เปราะบางสูงสุด และอันดับที่ 8 ต่ำที่สุด ค่าตัวชี้วัดอาจอนุมานขอบเขตของการแทรกแซงเพื่อแก้ไขปัญหาที่จำเป็นในการปรับปรุงสถานการณ์ของหมู่บ้านในพื้นที่ที่มีความเปราะบาง

9.1.9 ขั้นตอนที่ 9: การระบุตัวชี้วัดเพื่อการขับเคลื่อน

ช่วงของค่าดัชนีความเปราะบางและการตีความอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับขนาด ประเภทของระบบหรือภาคส่วนที่พิจารณา และชุดของตัวชี้วัดความเปราะบางที่เลือก การจัดอันดับหรือการใช้หน่วยในการวัดแบบธรรมดาจึงไม่เพียงพอ ดังนั้น จะเป็นการดีกว่าที่จะระบุตัวชี้วัดการขับเคลื่อนโดยพิจารณาจากร้อยละการมีส่วนร่วมของดัชนีความเปราะบาง

ในการกำหนดร้อยละของการมีส่วนร่วมของตัวชี้วัดแต่ละตัวนั้น ผลคูณของค่ามาตรฐานและค่าถ่วงน้ำหนักจะถูกหารด้วยค่าดัชนีความเปราะบาง ของหมู่บ้านที่เกี่ยวข้องแล้วคูณด้วย 100 โดยสามารถแยกการมีส่วนร่วมเหล่านี้ออกเพื่อกำหนดตัวชี้วัดการขับเคลื่อนที่มีความสำคัญในอันดับต้น ๆ สิ่งนี้ช่วยให้มีการจัดลำดับความสำคัญของตัวชี้วัดในการดำเนินการและตัดสินใจจัดลำดับความสำคัญของการดำเนินการในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้สอดคล้องกับการดำเนินการเหล่านี้ สามารถแนะนำการดำเนินการเพื่อแทรกแซงเชิงนโยบายได้

9.1.10 ขั้นตอนที่ 10: การเรียงลำดับความสำคัญและการแทรกแซงเชิงนโยบาย

แผนที่แสดงความเปราะบางในระดับหมู่บ้านจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับหมู่บ้านที่สำคัญซึ่งการดำเนินการด้านการปรับตัวมีความสำคัญเป็นลำดับแรกทันทีเพื่อรับมือกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในทำนองเดียวกัน ตัวชี้วัดเพื่อขับเคลื่อนจะให้ข้อมูลว่าสิ่งใดที่หมู่บ้านจะต้องดำเนินการ การรวมข้อมูลเหล่านี้เข้าด้วยกันจะช่วยให้ทราบว่าหมู่บ้านใดควรดำเนินการอะไรและตัวชี้วัดใด อย่างไรก็ตาม การแทรกแซงทางนโยบายมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อทุกหมู่บ้าน ดังนั้นจึงแนะนำให้จัดทำแผนปฏิบัติการสำหรับทุกหมู่บ้าน

ในขณะที่กำลังดำเนินการพัฒนาแผนปฏิบัติการดังกล่าว วิธีที่ดีที่สุดคือพิจารณาทางกายภาพของภูมิภาค ความรู้ในท้องถิ่น ทรัพยากรที่มีอยู่ วัฒนธรรมชุมชน แนวทางปฏิบัติทางการเกษตรที่กำลังดำเนินอยู่ องค์กรชุมชน สถาบันวิจัยและวิชาการ ความร่วมมือระหว่างภาครัฐและภาคเอกชน และอื่น ๆ เมื่อพิจารณาข้อเท็จจริงเหล่านี้แล้ว แผนปฏิบัติการที่ลำดับความสำคัญของปัญหาสำหรับหมู่บ้านทัพม่าน (หมู่ 4) จะนำเสนอเป็นตัวอย่างใน ตารางที่ 5

ตารางที่ 5: การเรียงลำดับความสำคัญของการดำเนินการและการแทรกแซงเชิงนโยบายสำหรับหมู่บ้านทัพม่าน

หมู่ 4: บ้านทัพม่าน		
ตัวชี้วัด	**การดำเนินการ/แนวปฏิบัติ**	**การแทรกแซงเชิงนโยบาย**
การเปลี่ยนแปลงในปริมาณฝนรายปี (มม./ปี)* **(6.6%)**	**การพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวกของระบบชลประทานทางเลือก:** สระเก็บน้ำในแปลงไร่นา การจัดเก็บน้ำฝน **การปรับเปลี่ยนไปใช้ระบบชลประทานที่มีประสิทธิภาพ** การให้น้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, การให้น้ำตามการไถแบบแนวคีย์ไลน์ (Keyline water management), การให้น้ำแบบหยด, การให้นำแบบใต้ผิวดิน (Subsurface Irrigation) การปลูกพืชแนวตั้ง, และ การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics)	**โครงการสาธิต:** สร้างโครงการสาธิตที่เกษตรกรสามารถสังเกตและเรียนรู้เกี่ยวกับประโยชน์และประสิทธิผลของระบบชลประทานที่มีประสิทธิภาพ สิ่งอำนวยความสะดวกของระบบชลประทานทางเลือก และการปลูกพืชที่ใช้น้ำน้อย **โปรแกรมให้คำปรึกษา:** จัดทำโปรแกรมที่ให้คำปรึกษาช่วยเหลือด้านเทคนิคแก่เกษตรกร ช่วยให้เกษตรกรสามารถประเมินความต้องการด้านการชลประทาน การเลือกพืชผลที่เหมาะสม การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม และให้คำแนะนำในการออกแบบระบบ การติดตั้ง และการบำรุงรักษา **การให้บริการด้านข้อมูลและการส่งเสริม** ปรับปรุงการเข้าถึงข้อมูลและบริการส่งเสริมสำหรับเกษตรกร โดยให้ความรู้และทรัพยากรที่ทันสมัยแก่แก่เกษตรกร
อินทรีย์วัตถุในหน้าดินชั้นบน **(%** พื้นที่ที่สามารถใช้เพื่อการเพาะปลูกที่มีความสมบูรณ์ปานกลาง) **(6.6%)**	**เสริมสร้างแนวทางปฏิบัติในการจัดการดิน** การเติมอินทรียวัตถุ เช่น ถ่านชีวภาพ ปุ๋ยหมัก การปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อช่วยหยุดวงจรโรคพืช ปรับปรุงโครงสร้างของดิน และเพิ่มความสมบูรณ์ของสารอาหารในดิน การไถพรวนเพื่อการอนุรักษ์ ลดการพังทลายของดินและการรบกวนอื่น ๆ	**โปรแกรมการติดตามและประเมินสุขภาพดิน:** จัดทำโครงการติดตามและประเมินสุขภาพดินเพื่อติดตามคุณภาพดินและให้ข้อเสนอแนะแก่เกษตรกร **สิ่งจูงใจสำหรับเกษตรอินทรีย์และการทำเกษตรกรรมฟื้นฟู:** การสนับสนุนด้านการรับรองเกษตรอินทรีย์ ความช่วยเหลือในการเข้าถึงตลาด และราคาระดับพรีเมียมสำหรับผลิตภัณฑ์อินทรีย์หรือผลิตภัณฑ์ที่มาจากการทำการเกษตรแบบฟื้นฟู

หมู่ 4: บ้านทัพม่าน		
ตัวชี้วัด	**การดำเนินการ/แนวปฏิบัติ**	**การแทรกแซงเชิงนโยบาย**
ความเป็นกรดของดิน (% พื้นที่ที่สามารถใช้เพื่อการเพาะปลูกที่มีค่าความเป็นกรดปานกลางถึงมีค่าเป็นกลาง) **(6.5%)**	**เสริมสร้างแนวทางปฏิบัติในการจัดการดิน** การเติมอินทรียวัตถุ เช่น ถ่านชีวภาพ ปุ๋ยหมัก จะช่วยป้องกันความผันผวนของค่า pH ในดิน การใส่ปูนสำหรับดินที่เป็นกรด การคลุมดิน เช่น เศษไม้ จะทำให้ดินมีความเป็นกรดค่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป การใช้พืชที่เหมาะสมกับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน	**โปรแกรมการติดตามและประเมินสุขภาพดิน:** จัดทำโครงการติดตามและประเมินสุขภาพดินเพื่อติดตามคุณภาพดินและให้ข้อเสนอแนะแก่เกษตรกร **โปรแกรมให้คำปรึกษา:** จัดทำโปรแกรมที่ให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิคแก่เกษตรกร ช่วยให้เกษตรกรเลือกพืชผลที่เหมาะสมตามค่า pH ของดิน และให้แนวทางแก้ไขที่เหมาะสมในการเพิ่มหรือลดค่า pH ของดิน
ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช (กก./ลบ.ม.)^^ **(5.6%)**	การปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชที่ใช้น้ำน้อยหรือทนแล้ง การปลูกพืชคลุมดิน การคลุมดินด้วยวัสดุหรือเศษพืช	**โครงการสาธิต:** จัดทำโครงการสาธิตที่เกษตรกรสามารถสังเกตและเรียนรู้เกี่ยวกับประโยชน์และประสิทธิผลของระบบชลประทานที่มีประสิทธิภาพ สิ่งอำนวยความสะดวกการชลประทานทางเลือก และการปลูกพืชที่ใช้น้ำน้อย/ทนแล้ง **โปรแกรมให้คำปรึกษา:** จัดทำโปรแกรมที่ให้คำปรึกษาช่วยเหลือด้านเทคนิคแก่เกษตรกร ช่วยให้เกษตรกรสามารถประเมินความต้องการด้านการชลประทาน การเลือกพืชผลที่เหมาะสม การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม และให้คำแนะนำในการออกแบบระบบ การติดตั้ง และการบำรุงรักษา **การให้บริการด้านข้อมูลและการส่งเสริม** ปรับปรุงการเข้าถึงข้อมูลและบริการส่งเสริมสำหรับเกษตรกร โดยให้ความรู้และทรัพยากรที่ทันสมัยแก่เกษตรกร

หมู่ 4: บ้านทัพม่าน		
ตัวชี้วัด	**การดำเนินการ/แนวปฏิบัติ**	**การแทรกแซงเชิงนโยบาย**
สัดส่วนค่ามัธยฐานของรายได้เฉลี่ยนอกภาคการเกษตรต่อรายได้ทั้งหมด **(%) (5.3%)**	**เพิ่มรายได้จากภาคการเกษตร** การแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้าการเกษตร การตลาดทางตรงและเกษตรกรรมสนับสนุนชุมชน (จากฟาร์มสู่ร้านอาหาร) การเกษตรแบบชาญฉลาดและเท่าทันภูมิอากาศ(**Climate Smart Agriculture**) ด้วยการใช้พืชทนแล้ง เปลี่ยนไปใช้พืชที่มีมูลค่าสูง การเข้าถึงปัจจัยการผลิตที่ได้รับการปรับปรุง (เมล็ดพันธุ์ ปุ๋ย เครื่องมือและอุปกรณ์การเกษตร) **การสร้างอาชีพทางเลือก** การท่องเที่ยวเชิงเกษตร (ทัวร์ฟาร์ม การเข้าพักในฟาร์ม อบรมเชิงปฏิบัติการด้านการศึกษา หรือการจัดกิจกรรมต่าง ๆ เช่น **Farm-to-Table Dinner** หรืองานเทศกาลที่ใช้วัตถุดิบโดยตรงจากฟาร์ม)	**การกระจายความหลากหลายของสินค้าและตลาด การเพิ่มมูลค่า การเชื่อมโยง และการพัฒนาห่วงโซ่คุณค่า** ส่งเสริมความหลากหลายและสนับสนุนเกษตรกรในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรผ่านการแปรรูป บรรจุภัณฑ์ การสร้างตราสินค้า (แบรนด์) และความคิดริเริ่มทางการตลาด อำนวยความสะดวกในการเชื่อมโยงตลาดระหว่างเกษตรกรและภาคนอกภาคเกษตร เช่น ธุรกิจการเกษตร ผู้แปรรูป ผู้ค้าปลีก และผู้ให้บริการ **การเข้าถึงปัจจัยทางการเกษตร:** การอุดหนุนปัจจัยการผลิต การควบคุมคุณภาพ และการรับรองปัจจัยการผลิตทางการเกษตร สหกรณ์เกษตรกร และการจัดซื้อแบบกลุ่ม **การเข้าถึงบริการสินเชื่อและการเงิน:** ปรับปรุงการเข้าถึงบริการสินเชื่อและบริการทางการเงินสำหรับเกษตรกรที่ต้องการสร้างหรือขยายธุรกิจนอกภาคการเกษตร **โปรแกรมการจ้างงานในชนบท** สร้างโอกาสในการทำงานให้กับเกษตรกรในภาคส่วนต่าง ๆ เช่น การบริการในชนบท โครงการก่อสร้างสาธารณะ และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน
31% (ผลรวมของร้อยละ)		

หมายเหตุ:
ค่าในวงเล็บแสดงถึง ร้อยละของการมีส่วนร่วมของตัวชี้วัดการขับเคลื่อนแต่ละตัวต่อดัชนีความเปราะบาง (VI)

10. ความล่อแหลม

คำจำกัดความของความล่อแหลม (Exposure) นั้นแตกต่างกันในบริบทของการประเมินความเสี่ยงด้านสภาพภูมิอากาศและการประเมินความเปราะบาง โดยถูกกำหนดให้เป็นระดับความเสียหายที่เกิดจากภัยอันตราย (hazards) อันเนื่องมาจากสภาพอากาศ หรือการขยายขอบเขตความครอบคลุมของภัยอันตราย แต่ก่อนอื่นควรมาทำความเข้าใจก่อนว่าความล่อแหลมคืออะไร

โดยทั่วไป ภัยอันตราย ถือเป็นกระบวนการหรือปรากฏการณ์ที่อาจก่อให้เกิดการสูญเสียชีวิต การบาดเจ็บ หรือส่งผลกระทบด้านลบอื่น ๆ เช่น ความเสียหายต่อทรัพย์สิน การหยุดชะงักทางเศรษฐกิจและสังคม หรือการเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม เท่าที่เกี่ยวข้องกับการความเปราะบางจากเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรบนพื้นที่สูง ภัยอันตราย คือภัยอันตรายจากสภาพอากาศส่วนใหญ่ เช่น อุณหภูมิสุดขั้ว ฝนตกหนักสุดขั้ว น้ำท่วม และภัยแล้ง โดยมีการวัดทั้งในด้านขนาด ระยะเวลา และความถี่ นอกจากนี้ ภัยอันตรายยังมีขอบเขตเชิงพื้นที่ที่ระบบ จำนวนคน โครงสร้างพื้นฐานพิเศษ หรือทรัพยากรที่สำคัญอื่น ๆ สามารถถูกทำให้เกิดความล่อแหลมที่จะเปิดรับต่อภัยอันตรายนั้น องค์ประกอบของภัยอันตรายทั้งสองส่วนนี้ ได้รับการพิจารณาที่แตกต่างกันในด้านความเสี่ยงด้านสภาพภูมิอากาศและกรอบการประเมิน

ในระหว่างการประเมินความเสี่ยงด้านสภาพภูมิอากาศ ทั้งภัยอันตรายและความล่อแหลม จะถูกพิจารณาว่าเป็นองค์ประกอบที่แยกจากกัน โดยภัยอันตรายบ่งบอกถึงระดับความเสียหาย และความล่อแหลมบ่งบอกถึงขอบเขตเชิงพื้นที่ที่ระบบมีความล่อแหลมที่เปิดรับต่อภัยอันตรายที่เกิดขึ้น ในขณะที่ในกรอบการดำเนินการประเมินความเปราะบางจากสภาพภูมิอากาศของ IPCC (2007) ภัยอันตรายถูกรวมไว้ภายในองค์ประกอบของความล่อแหลมและอธิบายว่าเป็นขนาด ระยะเวลา และความถี่ของภัยอันตรายที่มีต่อหน่วยที่จะทำการวิเคราะห์ ในคู่มือนี้ จะปฏิบัติตามคำนิยามหลังนี้ โดยที่ความล่อแหลมจะมีภัยอันตรายอยู่ภายในตัวมันเอง แสดงตัวบ่งชี้ทั้งหมดที่พิจารณาในการศึกษาซึ่งจะอธิบายในภายหลัง

ตารางที่ 6 แสดงตัวบ่งชี้ทั้งหมดที่พิจารณาในการศึกษา ซึ่งจะอธิบายต่อไป

ตารางที่ 6: ค่ามาตรฐานการวัดความพร้อมใช้ของน้ำ (SPEI) ที่สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่มีน้ำมาก น้ำปกติ และน้ำแล้ง

ดัชนี	ตัวชี้วัด (หน่วย)	การคำนวณ	ความสัมพันธ์	อ้างอิง
E1	ความรุนแรงของภัยแล้งในช่วงฤดูฝน/ฤดูฝนหลัก (ไม่มีหน่วย)*	-รวม SPEI <= -1.5	เชิงบวก	Wang et al. (2020); Duong et al. (2017)
E2	ความรุนแรงของภัยแล้งในช่วงฤดูแล้ง/ฤดูรอง (ไม่มีหน่วย)*	-รวม SPEI <= -1.5	เชิงบวก	Wang et al. (2020); Duong et al. (2017)
E3	ระยะเวลาภัยแล้งฤดูฝน/ฤดูฝนหลัก (เดือน)*	นับ SPEI <= -1.5	เชิงบวก	Wang et al. (2020); Duong et al. (2017)
E4	ระยะเวลาภัยแล้งช่วงฤดูแล้ง/ฤดูรอง (เดือน)*	นับ SPEI <= -1.5	เชิงบวก	Wang et al. (2020); Duong et al. (2017)
E5	ระดับความรุนแรงของน้ำท่วมในช่วงฤดูฝน/ฤดูฝนหลัก (ไม่มีหน่วย)*	รวม SPEI <= 1.5	เชิงบวก	Wang et al. (2020); Duong et al. (2017)

ดัชนี	ตัวชี้วัด (หน่วย)	การคำนวณ	ความสัมพันธ์	อ้างอิง
E6	ระดับความรุนแรงของน้ำท่วมในฤดูแล้ง/ฤดูรอง (ไม่มีหน่วย)*	รวม SPEI <= 1.5	เชิงบวก	Wang et al. (2020); Duong et al. (2017)
E7	ระยะเวลาน้ำท่วมฤดูฝน/ฤดูฝนหลัก (เดือน)*	นับ SPEI <= 1.5	เชิงบวก	Wang et al. (2020); Duong et al. (2017)
E8	ระยะเวลาน้ำท่วมในช่วงฤดูแล้ง/ฤดูรอง (เดือน)*	นับ SPEI <= 1.5	เชิงบวก	Wang et al. (2020); Duong et al. (2017)
E9	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรายปี (°C/ปี)*	ความชันของอุณหภูมิรายปี	เชิงบวก	Neset et al. (2019); Gbetibouo et al. (2010)
E10	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนรายปี (มม./ปี)*	ความลาดชันของปริมาณน้ำฝนประจำปี	เชิงลบ	Neset et al. (2019); Gbetibouo et al. (2010)

น้ำท่วมและความแห้งแล้งส่วนใหญ่ถูกกำหนดโดยใช้ดัชนีชี้วัดความแห้งแล้ง (SPEI) ซึ่งคำนวณตามข้อมูลที่สังเกตได้สำหรับช่วงพื้นฐาน ในขณะที่ค่าในอนาคตจะคำนวณโดยใช้ข้อมูล GCM/RCM ที่แก้ไขความผิดพลาดแล้ว

10.1 ดัชนีชี้วัดความแห้งแล้ง (SPEI)

Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) คือมาตรฐานการวัดความพร้อมใช้ของน้ำ โดยพิจารณาจากปริมาณฝนและศักยการคายระเหยน้ำ (Potential evapotranspiration, PET) ค่าดัชนี นี้เป็นส่วนขยายของดัชนีฝนมาตรฐาน (SPI) และคำนึงถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่แตกต่างจาก SPI การคำนวณ SPEI เริ่มต้นด้วยการคำนวณน้ำส่วนเกินหรือการขาดน้ำ (Di) ดังแสดงในสมการ (17)

$$D_i = P_i - PET_i \quad (17)$$

โดยที่ D_i P_i และ PET_i คือ ปริมาณน้ำส่วนเกินหรือขาด ปริมาณน้ำฝน และศักยการคายระเหยน้ำ ในเดือนที่ i^{th} ตามลำดับ ด้วยข้อมูลที่จำกัด PET สามารถคำนวณได้โดยใช้วิธี Thorntwaite ซึ่งต้องใช้เฉพาะข้อมูลอุณหภูมิเท่านั้น ในขณะที่หากมีข้อมูลเกี่ยวกับการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ด้วย ก็สามารถใช้วิธีประมาณค่า PET ที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น สมการ Penman-Monteith ได้ อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่า วิธีการที่ซับซ้อนกว่านั้นจะมีความสัมพันธ์กับความไม่แน่นอนที่มากกว่าด้วย จากนั้นค่า Di จะถูกนำไปใส่ในการแจกแจงแบบล็อก-ลอจิสติกส์ (log-logistic distribution) เพื่อคำนวณค่า SPEI ดังแสดงในสมการ (18) ที่กำหนดโดย Abramowitz และ Stegun (1965)

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (18)$$

$$W = -2\ln(P) \quad (19)$$

โดยที่ P คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกินค่าที่กำหนดของ D และ $P \leq 0.5$

$$P = 1 - F(x) \quad (20)$$

สำหรับค่า P > 0.5 ค่า P จะถูกแทนที่ด้วย 1–P และ เครื่องหมายของ SPEI ที่เป็นผลลัพธ์จะกลับค่ากัน โดยค่าคงที่คือ:

- C_0 = 2.515517
- C_1 = 0.802853
- C_2 = 0.010328
- d_1 = 1.432788
- d_2 = 0.189269
- d_3 = 0.001308

F(x) กำหนดโดยใช้สมการ

$$F(x) = \left(1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma}\right)^{\beta}\right)^{-1} \quad (21)$$

โดย α, β and γ คือ ค่ามาตราส่วน รูปร่าง และค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น ตามลำดับ สำหรับค่า D ในช่วงที่กำหนด (γ > D < ∞) พารามิเตอร์เหล่านี้สามารถประมาณได้โดยใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น โมเมนต์ถ่วงน้ำหนักความน่าจะเป็นที่เป็นกลาง (ub-PWM) การลงจุดตำแหน่ง PWM และวิธีการความน่าจะเป็นสูงสุด สำหรับการศึกษาโครงการนี้ เลือกวิธี PWM ที่เป็นกลาง (สมการ (22) ถึง (25)) เนื่องจากมีความสามารถในการแก้ปัญหาและสามารถเปรียบเทียบได้ทั่วทั้งพื้นที่

$$\beta = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2} \quad (22)$$

$$\alpha = \frac{\beta(w_0 - 2w_1)}{\Gamma(1+\frac{1}{\beta})\Gamma(1-\frac{1}{\beta})} \quad (23)$$

$$\gamma = w_0 - \beta(w_0 - 2w_1) \quad (24)$$

$$w_s = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \frac{\left(\frac{N-i}{s}\right) D_i}{\left(\frac{N-1}{s}\right)} \quad (25)$$

โดยที่ $\Gamma(\beta)$ คือ ค่าแกมม่าฟังก์ชั่นของ β, N คือ ค่าจำนวนจุดข้อมูล และ w_s คือ PWM สำหรับค่าต่างๆ ของ s เมื่อใช้สมการที่ (17) ถึงสมการ (25) ค่า SPEI สามารถคำนวณได้ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 1–48 เดือน เหตุการณ์น้ำมาก เหตุการณ์ปกติ และเหตุการณ์แล้ง สามารถจัดหมวดหมู่ตามค่า SPEI ดังที่แสดงใน ตารางที่ 7

ตารางที่ 7: ค่ามาตรฐานการวัดความพร้อมใช้ของน้ำ (SPEI) ที่สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่มีน้ำมาก น้ำปกติ และน้ำแล้ง

SPEI	Condition	Probability
≥2	น้ำมากในระดับรุนแรงที่สุด	0.02
1.50 to 1.99	น้ำมากในระดับรุนแรง	0.06
1.00 to 1.49	น้ำมากในระดับปานกลาง	0.10
-0.99 to 0.99	น้ำในระดับปกติ	0.65
-1.49 to -1.00	น้ำน้อยในระดับปานกลาง	0.10
-1.99 to -1.50	น้ำน้อยในระดับรุนแรง	0.05
≤2	น้ำน้อยในระดับรุนแรงที่สุด	0.02

ค่า SPEI ที่มากกว่า 1 ถือเป็นสภาพที่น้ำมาก ดังนั้นเกณฑ์ภัยอันตรายจากน้ำท่วม จึงใช้ค่า SPEI ที่มากกว่า 1

ดูรายละเอียดของโปรแกรมคำสั่งภาษา R ใน ภาคผนวก III สำหรับกระบวนการคำนวณ SPEI ลักษณะความแห้งแล้งและน้ำท่วม รวมถึงอุณหภูมิ ความลาดชันของฝน และความต้องการน้ำของพืชผล

10.2 ภัยแล้ง

ภัยแล้งเป็นระยะเวลาแล้งที่ยาวนานในวัฏจักรสภาพภูมิอากาศที่กำหนด ภัยแล้งทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำดื่ม กระทบกับการเจริญเติบโตของพืช การผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ และความต้องการด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ดังนั้นจึงส่งผลกระทบอย่างมากต่อสุขภาพ เกษตรกรรม พลังงาน และสิ่งแวดล้อมในภูมิภาคที่ได้รับผลกระทบ ภัยแล้งมีลักษณะเฉพาะในแง่ของภาวะขาดแคลนน้ำที่พร้อมใช้ ดังนั้น SPEI จึงเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดมาตรฐานที่แสดงถึงความแห้งแล้งในพื้นที่และในช่วงเวลาที่กำหนด ตารางที่ 2 แสดงสภาวะภัยแล้งที่แตกต่างกันและค่า SPEI ที่สอดคล้องกัน เกณฑ์สำหรับภาวะภัยแล้งจึงถือที่ค่า SPEI ต่ำกว่า -1

10.3 ความรุนแรง ระยะเวลา และระดับความรุนแรงของภัยแล้ง

ความรุนแรงของภัยแล้งคือผลรวมสะสมของค่า SPEI ทั้งหมดที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -1 ความรุนแรงของภัยแล้งในฤดูฝนและฤดูแล้งจะคำนวณในทำนองเดียวกันโดยให้สอดคล้องกับฤดูกาลเฉพาะในระหว่างช่วงพื้นฐานและช่วงอนาคต ในที่นี้ การศึกษาได้พิจารณาถึงภัยแล้งที่รุนแรง ดังนั้นภัยแล้งจึงถูกกำหนดให้เป็นผลรวมของค่า SPEI ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -1.5

ระยะเวลาแล้ง คือ จำนวนเดือนที่มีค่า SPEI น้อยกว่าหรือเท่ากับ -1 ในที่นี้ได้พิจารณาถึงภัยแล้งที่รุนแรง ดังนั้นระยะเวลาภัยแล้งคือจำนวนเดือนที่มีค่า SPEI น้อยกว่าหรือเท่ากับ -1 ส่วนระดับความรุนแรงของความแห้งแล้ง (drought intensity) นั้นเป็นเพียงอัตราส่วนของความรุนแรงของความแห้งแล้งต่อระยะเวลาของความแห้งแล้ง มีหน่วยเป็นต่อเดือน

10.4 น้ำท่วม

น้ำท่วมเกิดขึ้นเนื่องจากมีฝนตกหนักอย่างรุนแรงและแหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสามารถในการรับน้ำส่วนเกิน เหตุการณ์น้ำท่วม ภัยอันตราย มักมีความสัมพันธ์และระบุได้กับตัวชี้วัดตามสภาพอากาศหลายประการ เช่น ดัชนีฝนมาตรฐาน (SPI) และดัชนีมาตรฐานการวัดความพร้อมใช้ของน้ำ (SPEI) ภัยอันตรายจากน้ำท่วมในอนาคต คำนวณจากค่า SPEI ในอนาคต โดยค่า

SPEI สำหรับเวลาในอนาคตคำนวณจากปริมาณฝนที่คาดการณ์ไว้ในอนาคตและชุดข้อมูลอุณหภูมิจาก GCM ที่แก้ไขค่าผิดพลาดแล้ว

10.5 ความรุนแรง ระยะเวลา และระดับความรุนแรงของภัยน้ำท่วม

ความรุนแรงของน้ำท่วมคือผลรวมสะสมของค่า SPEI ทั้งหมดที่มากกว่า 1 ความรุนแรงของน้ำท่วมในฤดูกาลที่แตกต่างกันจะคำนวณจากค่า SPEI ของฤดูกาลที่สอดคล้องกัน ฤดูฝนถือว่าเริ่มตั้งแต่เดือนเมษายนถึงกันยายน ในขณะที่ฤดูแล้งถือว่าตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงมีนาคม ความรุนแรงของน้ำท่วมเฉพาะฤดูฝนและฤดูแล้ง คือผลรวมสะสมของค่า SPEI ที่สอดคล้องกันในระหว่างฤดูกาลเฉพาะเหล่านี้สำหรับทั้งช่วงพื้นฐานและในอนาคต ในที่นี้ การศึกษาได้พิจารณาถึงน้ำท่วมที่รุนแรง ดังนั้นน้ำท่วมจึงถูกกำหนดให้เป็นผลรวมของค่า SPEI ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 1.5

ระยะเวลาน้ำท่วมคือจำนวนเดือนที่มีค่า SPEI มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ในที่นี้เราได้พิจารณาว่าน้ำท่วมรุนแรง ดังนั้นระยะเวลาน้ำท่วมคือจำนวนเดือนที่มีค่า SPEI มากกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ส่วนระดับความรุนแรงหรือความเข้มข้นของน้ำท่วม (flood intensity) นั้นเป็นเพียงอัตราส่วนของความรุนแรงของน้ำท่วมต่อระยะเวลาน้ำท่วม โดยมีหน่วยเป็นต่อเดือน

หมายเหตุ: ในที่นี้จะไม่ใช้ค่าระดับความรุนแรงหรือความเข้มข้น (intensity) เป็นตัวชี้วัด เพื่อหลีกเลี่ยงความซ้ำซ้อน

10.6 อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝน/อุณภูมิรายปี

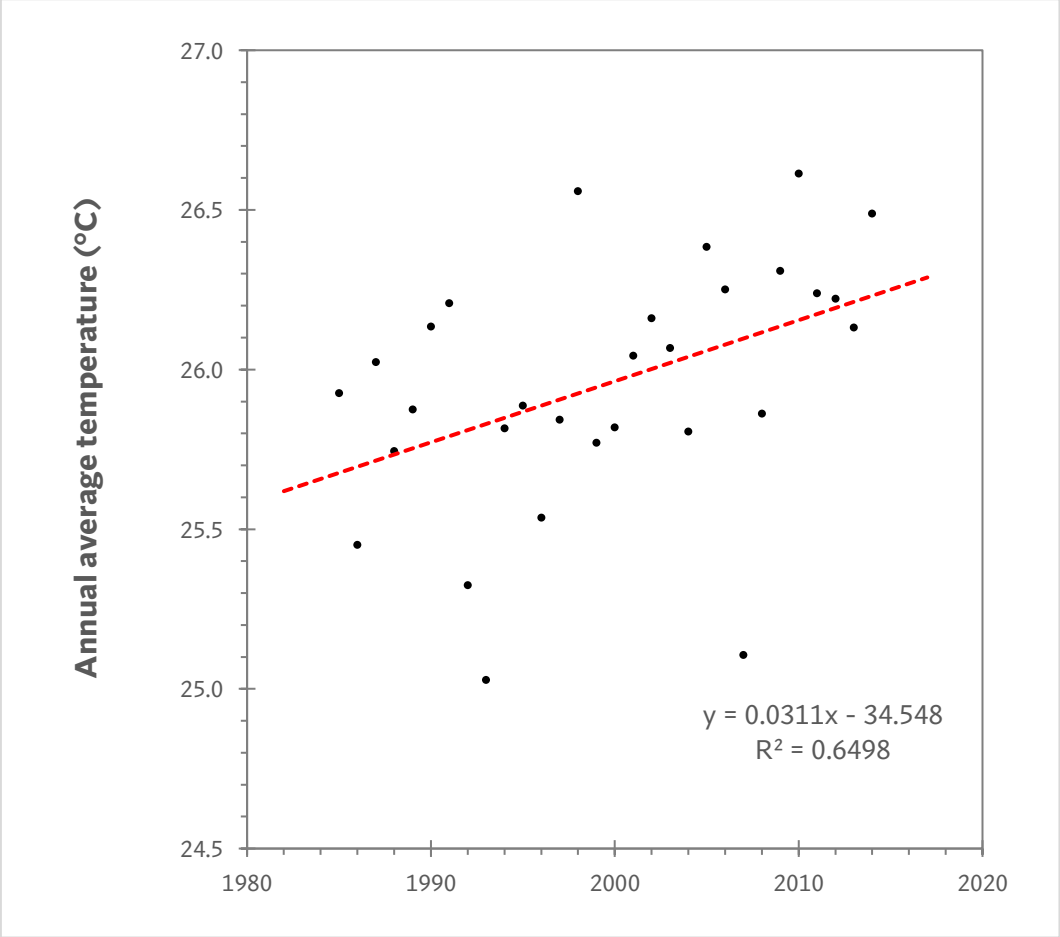
อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนรายปีคำนวณได้จากพารามิเตอร์ความชันของสมการถดถอยเชิงเส้นตรงจุดที่พอดีกันระหว่างปริมาณฝน/อุณหภูมิประจำปีและเวลาในแต่ละปี ค่าบวกของอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝน/อุณหภูมิประจำปีหมายถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาหนึ่ง ในขณะที่ค่าลบหมายถึงการลดลงของปริมาณฝน/อุณหภูมิในช่วงเวลาหนึ่ง

10.7 การถดถอยเชิงเส้นของอุณหภูมิในอำเภอบัวใหญ่

การถดถอยเป็นวิธีการทางสถิติในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (คือ ปริมาณฝน/อุณหภูมิในกรณีของโครงการนี้) และตัวแปรอิสระหนึ่งตัวหรือมากกว่า (คือเวลารายปีในกรณีของโครงการนี้) ขึ้นอยู่กับจำนวนของตัวแปรตาม อาจเป็นการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) หรือการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (multiple linear regression)

รูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีที่สถานี ID: 48333 เปลี่ยนแปลงในอัตรา 0.03211°C/ปี ในระหว่างปี พ.ศ. 2528 ถึง พ.ศ. 2557 ความชันของเส้นถดถอย คือค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร “x” ที่แสดงในกราฟและหาค่าได้โดยการเพิ่มเส้นแนวโน้มในแผนภูมิกระจายในโปรแกรม MS-Excel โดยมีเครื่องหมายถูกที่ “แสดงสมการบนแผนภูมิ”

รูปที่ 7: การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี (สถานี 48330) ระหว่างปี พ.ศ. 2515-2563


Annual average temperature (°C)
27.0
26.5
26.0
25.5
25.0
24.5
1980
1990
2000
2010
2020
y = 0.0311x - 34.548
R² = 0.6498

11. ความอ่อนไหว

อ่อนไหว (Sensitivity) เป็นองค์ประกอบของความเปราะบางที่บ่งชี้ว่าระบบมีแนวโน้มที่จะตอบสนองต่อภัยอันตรายจากสภาพอากาศเมื่อเกิดภัยพิบัติอย่างไร ตัวอย่างเช่น ระบบการผลิตพืชผลได้รับผลกระทบอย่างไรเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีหลายปัจจัยที่สามารถพิจารณาได้ภายใต้องค์ประกอบของความอ่อนไหว ในบริบทของความเปราะบางจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรบนพื้นที่สูง รายการตัวชี้วัดของความอ่อนไหวสามารถจะพิจารณาได้ในตารางที่ 8 ตามด้วยคำอธิบายของตัวชี้วัดทั้งหมด ข้อมูลความแตกต่างของผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชได้มาจากการสร้างแบบจำลองพืช ซึ่งจะได้มีการกล่าวถึงในตอนท้ายและตามด้วยกระบวนการของการสร้างแบบจำลองพืชผล

ตารางที่ 8: ตัวชี้วัดที่ได้มาจากการทบทวนค่าดัชนีของค่าความอ่อนไหวและและความสัมพันธ์เชิงหน้าที่กับความเปราะบางทางการเกษตร

ดัชนี	ตัวชี้วัด (หน่วย)	การคำนวณ	ความสัมพันธ์	อ้างอิง
S1	ความแตกต่างของผลผลิต (%)	ความแตกต่างของผลผลิต = [ศักยภาพของผลผลิต (Yp) – ผลผลิตภายใต้ข้อจำกัดของน้ำ (Yw)] / ศักยภาพของผลผลิต (Yp)	เชิงบวก	Wang et al. (2020)
S2	ความเสี่ยงจากการพังทลายของดิน (% ของผู้ตอบแบบประเมินที่เชื่อในความเสี่ยงจากการพังทลายของดิน	จำนวนของผู้ตอบแบบประเมินที่เชื่อในความเสี่ยงจากการพังทลายของดิน/จำนวนผู้ตอบแบบประเมินผล * 100	เชิงบวก	Brien et al. (2003); Carter et al. (2010); Parker et al. (2019)
S3	อินทรีย์วัตถุในหน้าดินชั้นบน (% ของพื้นที่ที่สามารถใช้เพื่อการเพาะปลูกที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง)	พื้นที่ที่ใช้ในการเพาะปลูกที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง/พื้นที่ที่สามารถใช้เพื่อการเพาะปลูกทั้งหมด * 100	เชิงลบ	Brien et al. (2003); Carter et al. (2010); Parker et al. (2019)
S4	ความเป็นกรดของดิน (% ของพื้นที่ที่สามารถใช้เพื่อการเพาะปลูกที่มีค่าความเป็นกรดปานกลางถึงมีค่าเป็นกลาง)	พื้นที่ที่ใช้ในการเพาะปลูกที่มีค่าความเป็นกรดปานกลางถึงมีค่าเป็นกลาง/ พื้นที่ที่สามารถใช้เพื่อการเพาะปลูกทั้งหมด *100	เชิงลบ	Brien et al. (2003); Carter et al. (2010); Parker et al. (2019)
S5	สัดส่วนของพื้นที่ดินเพาะปลูกทั้งหมดต่อพื้นที่เพื่อการเกษตร (%)	พื้นที่สามารถใช้เพื่อการเพาะปลูก/พื้นที่เพื่อการเกษตรทั้งหมด *100	เชิงบวก	Wiréhn et al. (2015); Neset et al. (2019)
S6	ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช (กก./ลบ.ม.)^^	ปริมาณผลผลิต/ปริมาณน้ำที่ใช้	เชิงลบ	

ดัชนี	ตัวชี้วัด (หน่วย)	การคำนวณ	ความสัมพันธ์	อ้างอิง
S7	ความต้องการใช้น้ำของพืช (มม./ปี)^^	ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปโดยการคายน้ำของพืช - ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) ที่พืชนำไปใช้ได้	เชิงบวก	Duong et al. (2017)
S8	ครัวเรือนที่มีรายได้จากภาคการเกษตรเท่านั้น (%)	ครัวเรือนที่มีรายได้จากภาคการเกษตรเท่านั้น /จำนวนครัวเรือนทั้งหมด *100	เชิงบวก	Duong et al. (2017)
S9	อัตราการทำลายป่า (% ของพื้นที่ป่าที่ถูกทำลาย/30 ปี)	ค่าความลาดชันของร้อยละพื้นที่ป่าต่อปี *30 ปี	เชิงบวก	Hagenlocher et al. (2018)
S10	ความหนาแน่นของประชากร (จำนวนคน/ครัวเรือน)^	จำนวนคน/ครัวเรือน	เชิงบวก	Gbetibouo et al. (2010)
S11	การปลูกพืชหมุนเวียน (% ของครัวเรือนที่มีการปลูกพืชหมุนเวียน)	จำนวนครัวเรือนที่มีการปลูกพืชหมุนเวียน/จำนวนครัวเรือนทั้งหมด *100	เชิงลบ	Swami & Parthasarathy (2021)
S12	ความหลากหลายของชนิดพืชผล (จำนวนพืช/100 ไร่)*	จำนวนชนิดพืชที่ปลูก *พื้นดินที่สามารถใช้เพื่อการเพาะปลูก/100	เชิงลบ	Gbetibouo et al. (2010); Neset et al. (2019); Bhatia (1965)

^ : ขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดได้รับการประเมินจากการสำรวจพื้นฐาน

^^ : ขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดได้รับการประเมินตามเอกสารวิชาการ

* : ขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดได้รับการประเมินตามค่าตัวชี้วัดทั้งหน่วยการวิเคราะห์ทั้งหมด (หมู่บ้าน) ในช่วงระยะเวลาตามข้อมูลพื้นฐานและในอนาคต

11.1 ความเสี่ยงจากการพังทลายของดิน

การพังทลายของดินเป็นปรากฏการณ์ที่ดินชั้นบนถูกกัดเซาะเนื่องจากผลรวมของการที่เนื้อดินมีการหลวมตัวและปริมาณน้ำฝนที่ตกหนัก ประกอบกับระบบระบายน้ำชลประทานที่ไม่มีการจัดการ การพังทลายของดินชั้นบนทำให้เกิดการสูญเสียดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ ส่งผลให้มีการใช้ปุ๋ยเคมีมากขึ้นเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน การพังทลายของดินโดยพื้นฐานแล้วเป็นปริมาณทางกายภาพที่ได้มาจากการสร้างแบบจำลองการพังทลายของดิน อย่างไรก็ตาม ในที่นี้ จะได้พิจารณาความเสี่ยงจากการกัดเซาะจากการรับรู้เกี่ยวกับความเปราะบาง ตามที่ได้รับจากผู้ตอบแบบสอบถามในระหว่างการสำรวจพื้นฐาน

11.2 อินทรีย์วัตถุในดิน

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินคือการวัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน ถือเป็นพารามิเตอร์ที่มีความละเอียดอ่อนเนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตพืชผล ดินสามารถจำแนกได้เป็นระดับความอุดมสมบูรณ์ที่แตกต่างกันตามปริมาณอินทรียวัตถุ ซึ่งจะช่วยสร้างแผนที่เชิงพื้นที่ของความอุดมสมบูรณ์ของดิน ที่นี่ จะใช้แผนที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน (LDD) เพื่อระบุดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและปานกลางเพื่อการคำนวณ (% ของพื้นที่ที่สามารถใช้เพื่อการเพาะปลูกที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง)

11.3 ความเป็นกรดของดิน

ความเป็นกรดของดินหรือที่เรียกว่า pH หมายถึงระดับความเป็นกรดหรือความเป็นด่างของดินใด ๆ ในระดับหนึ่ง คำว่าความเป็นกรดในที่นี้ จะมีความสอดคล้องกับข้อมูลดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ความผันผวนของความเป็นกรดของดินทำให้การเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตผันผวนซึ่งเป็นผลมาจากตัวชี้วัดความเปราะบาง พืชผลแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับระดับความเป็นกรดของดินที่แตกต่างกัน โดยที่พืชส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เพาะปลูกที่มีดินปานกลางถึงเป็นกลางจึงถือว่าเป็นตัวชี้วัดของการศึกษา

11.4 สัดส่วนของพื้นที่ดินเพาะปลูกทั้งหมดต่อพื้นที่เพื่อการเกษตร

ที่ดินเพาะปลูก หมายถึงที่ดินทั้งหมดที่ใช้เพาะปลูกเท่านั้น ในขณะที่ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมหมายรวมถึงพื้นที่เพาะปลูกควบคู่กับพื้นที่ที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการเกษตรอื่น ๆ เช่น การเลี้ยงปศุสัตว์ การเลี้ยงโคนม การเลี้ยงสัตว์ปีก การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สวนผลไม้ ไร่องุ่น เป็นต้น สัดส่วนของที่ดินเพาะปลูกต่อพื้นที่เกษตรกรรมเป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่กำหนดความหลากหลายในการปฏิบัติทางการเกษตร นอกจากนี้ยังสะท้อนถึงระดับความอิ่มตัวของระบบเกษตรกรรมจากการเพาะปลูก และทำให้เกิดแนวคิดในการพัฒนาต่อไป ในที่นี่จะใช้เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เพาะปลูกต่อพื้นที่เกษตรกรรมเป็นตัวชี้วัด และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเปราะบาง

11.5 ความต้องการน้ำของพืช

ความต้องการน้ำของพืชหรือการคายระเหยน้ำ คำนวณได้จากแบบจำลอง AquaCrop โดยใช้สมการ Penman-Monteith ความต้องการน้ำของพืชผลนี้ เป็นความต้องการน้ำที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุดสำหรับพืชที่จะเติบโตภายใต้สภาวะที่ปราศจากความเครียด แหล่งน้ำสำหรับการเจริญเติบโตของพืชคือปริมาณน้ำฝนและการชลประทาน ข้อมูลปริมาณน้ำฝนมีอยู่ในแฟ้มข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ซึ่งข้อมูลปริมาณน้ำฝนส่วนเกินในแต่ละวันจะถูกคำนวณในแบบจำลอง AquaCrop นอกจากนี้ การชลประทานเป็นแหล่งน้ำเพิ่มเติมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งคำนวณจากความแตกต่างระหว่างการคายระเหยนำและปริมาณน้ำฝนที่มากเกินไป

ดูรายละเอียดของโปรแกรมคำสั่งภาษา R ใน ภาคผนวก III สำหรับการคำนวณความต้องการน้ำของพืช

11.6 ครัวเรือนที่มีรายได้จากภาคการเกษตรเท่านั้น

เรือนที่มีรายได้จากภาคการเกษตร เป็นครัวเรือนที่เปราะบางที่สุดในช่วงเกิดภัยพิบัติ เนื่องจากมีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบเป็นกลุ่มแรกและโดยตรง ที่นี่ จะใช้การคำนวณเปอร์เซ็นต์ของครัวเรือนเป็นตัวชี้วัดความเปราะบาง

11.7 อัตราการตัดไม้ทำลายป่า

การตัดไม้ทำลายป่าเกิดขึ้นเนื่องจากการบุกรุกทรัพยากรป่าไม้อย่างผิดกฎหมายหรือเพื่อขยายพื้นที่เกษตรกรรม ในที่นี้ ได้พิจารณาอัตราการตัดไม้ทำลายป่าเนื่องจากสังเกตได้จากพื้นที่โครงการ เช่น ตำบลบัวใหญ่ เพื่อวัตถุประสงค์อย่างหลัง ซึ่งบ่งบอกถึงความไม่เพียงพอของพื้นที่เกษตรกรรม

11.8 ความหนาแน่นของประชากร

ยิ่งพื้นที่มีประชากรหนาแน่นมากเท่าใด ความต้องการทรัพยากรในการตอบสนองก็จะมากขึ้น และการจัดการในช่วงที่เกิดภัยพิบัติก็จะยิ่งยากขึ้น ดังนั้น จึงถือว่าจำนวนคน/ครัวเรือนเป็นตัวชี้วัดความอ่อนไหวที่สะท้อนถึงความหนาแน่นของประชากรในหน่วยของการวิเคราะห์

11.9 การปลูกพืชหมุนเวียน

เมื่อมีการปลูกพืชชนิดเดียวกันตลอดทั้งปี พืชจะได้รับการเติมเต็มสารอาหารเฉพาะที่จำเป็นสำหรับพืช ในขณะที่สารอาหารอื่น ๆ จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากวัฏจักรของสารอาหาร การเปลี่ยนแปลงในวัฏจักรสารอาหารดังกล่าว สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ที่แตกต่างกันไปตามลำดับ กระบวนการนี้เรียกว่าการปลูกพืชหมุนเวียน การปลูกพืชหมุนเวียนไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มผลผลิตเท่านั้น แต่ยังช่วยลดความเปราะบาง เนื่องจากพืชชนิดหนึ่งภายในหนึ่งฤดูกาลอาจได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในขณะที่พืชอื่น ๆ ยังคงไม่ได้รับผลกระทบ

11.10 ความหลากหลายของชนิดพืชผล

เช่นเดียวกับการปลูกพืชหมุนเวียน การปลูกพืชหลายชนิดบนพื้นที่และปฏิทินการปลูกพืชที่แตกต่างกัน เรียกว่าเป็นความหลากหลายของพืชผล ความหลากหลายของพืชจะช่วยเพิ่มกระบวนการผสมเกสรและการแลกเปลี่ยนสารอาหาร นอกจากนี้เช่นเดียวกับการปลูกพืชหมุนเวียน ความหลากหลายของชนิดพืชผลจะช่วยลดผลกระทบ เนื่องจากพืชชนิดหนึ่งภายในหนึ่งฤดูกาลอาจได้รับผลกระทบจากความเปราะบางของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในขณะที่พืชอื่น ๆ จะยังคงไม่ได้รับผลกระทบ

เพื่อให้ได้ตัวชี้วัดเหล่านี้ จะต้องผ่านขั้นตอนการสร้างแบบจำลองพืชผล โดยการจำลองผลผลิตพืชผลตามสภาพภูมิอากาศ ชนิดของพืชผล แนวปฏิบัติในการจัดการ และข้อมูลดิน หลักการการของแบบจำลอง AquaCrop และกระบวนการจำลองจะได้กล่าวต่อไป

11.11 หลักการของแบบจำลอง AquaCrop

แบบจำลองพืชผลเป็นเครื่องมือสำคัญในการจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อระบบการปลูกพืช การสร้างแบบจำลองพืชผลเป็นกระบวนการสร้างกรอบความคิดในขั้นตอนต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตของพืชและการสร้างแบบจำลองด้วยฟังก์ชันที่เหมาะสม AquaCrop เป็นแบบจำลองพืชผลที่พัฒนาโดยแผนกที่ดินและน้ำขององค์การอาหารและการเกษตร (FAO) เพื่อประเมินผลกระทบของสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมต่อผลผลิตพืชและผลิตภาพการใช้น้ำของพืช (crop water productivity) ซึ่งเป็นการกล่าวเชื่อมโยงถึงความมั่นคงทางอาหาร แบบจำลอง AquaCrop ได้รับการพัฒนาในลักษณะที่ทำให้เกิดความสมดุลระหว่างความแม่นยำ มีกระบวนการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ง่ายขึ้น และมีความมั่นคงเปลี่ยนแปลงได้ยากในการสนับสนุนการตัดสินใจ แบบจำลอง AquaCrop สามารถใช้ในการสร้างแบบจำลองการเจริญเติบโตและการตอบสนองผลผลิตของพืชล้มลุกที่มีอายุสั้นต่อน้ำและเงื่อนไขการจัดการพื้นที่ที่แตกต่างกัน โมเดล AquaCrop ช่วยให้ผู้ใช้สามารถจำลองการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชผลภายใต้ความพร้อมใช้ของน้ำและสถานการณ์ในการจัดการไร่นาที่หลากหลาย นอกจากนี้ยังสามารถจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้โดยใช้แบบจำลองการเพาะปลูกนี้ แบบจำลอง AquaCrop คำนวณผลผลิตพืชผลและผลผลิตน้ำของพืชในสี่ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้:

11.11.1 การพัฒนาพื้นที่ปกคลุมของเรือนยอดพืชสีเขียว (green canopy cover)

การเจริญเติบโตของพืชและการพัฒนาใบใน AquaCrop ถูกจำลองด้วยแนวคิดพื้นที่ปกคลุมของเรือนยอด พื้นที่ปกคลุมของเรือนยอด (canopy cover) เป็นส่วนของพื้นผิวดินที่ทรงพุ่มของพืชมีการปกคลุมไว้ และมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ 0 ชี้ว่าพืชผลยังไม่พัฒนา และ 1 ชี้ว่าพืชผลได้รับการพัฒนาเต็มที่และครอบคลุมพื้นที่พื้นดินทั้งหมด ปริมาณน้ำในดินบริเวณรากมีความเชื่อมโยงกับการพัฒนาของใบและการขยายขนาดทรงพุ่ม มีการติดตามปริมาณน้ำในดินในเขตรากพืช (root zone) ทุกวัน และการขาดความชื้นในดินจะเป็นสาเหตุจากความเครียดจากน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและการพัฒนาทรงพุ่มของพืช

11.11.2 การคายระเหยน้ำของพืช

ภายใต้สภาวะที่มีการให้น้ำอย่างดี การคายระเหยของพืช (Tr) จะถูกคำนวณโดยการคูณค่าการคายระเหยอ้างอิง (ET0) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์พืชผล (Kc) ค่าสัมประสิทธิ์พืชผลเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ปกคลุมเรือนยอด และจะแตกต่างกันไปตลอดระยะเวลาของวงจรการปลูกพืช ความเครียดจากน้ำ ไม่เพียงส่งผลต่อการพัฒนาของทรงพุ่มเรือนยอดเท่านั้น แต่ยังส่งผลต่อการคายน้ำของพืชด้วย เนื่องจากความเครียดจากน้ำสามารถกระตุ้นให้ปากใบปิดได้ ดังนั้นจึงจำกัดกระบวนการคายน้ำ

11.11.3 ชีวมวลเหนือพื้นดิน (Above-ground biomass)

ปริมาณของชีวมวลเหนือพื้นดินเป็นสัดส่วนกับการคายน้ำของพืชสะสม (ΣTr) โดยปัจจัยตามสัดส่วน คือ ผลิตภาพของน้ำ (Water Productivity: WP) นอกจากนี้ WP ยังได้รับการปรับให้เป็นมาตรฐานสำหรับผลกระทบของสภาพภูมิอากาศ ซึ่ง WP ที่ได้รับการปรับให้เป็นมาตรฐาน (WP') แล้ว ยังใช้สำหรับการเปรียบเทียบในระหว่างฤดูกาล สถานที่ และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ที่แตกต่างกันอีกด้วย

11.11.4 ผลผลิตพืชผล

การจำลองชีวมวลเหนือพื้นดิน เป็นการบูรณาการองค์ประกอบการสังเคราะห์แสงทั้งหมดที่สะสมโดยพืชผลในช่วงฤดูการเจริญเติบโตของพืช ผลผลิตพืชผลคือส่วนหนึ่งของมวลชีวภาพที่สะสมอยู่เหนือพื้นดิน ซึ่งแยกโดยใช้ดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvest Index) โดย HI จริงจะถูกปรับจากการอ้างอิง HI พร้อมค่าสัมประสิทธิ์ที่การปรับสำหรับความเครียดของน้ำ

11.12 การพัฒนาแบบจำลอง AquaCrop

การพัฒนาแบบจำลองพืชผลสำหรับพื้นที่ใด ๆ ที่สนใจ สามารถดำเนินการให้เสร็จสิ้นได้ในสามขั้นตอนหลัก: การตั้งค่าแบบจำลอง การสอบเทียบ และการตรวจสอบความถูกต้อง ก่อนที่จะดำเนินการต่อไป จะเป็นการดีที่ควรทำความเข้าใจเกี่ยวกับอินเทอร์เฟซซึ่งเป็นส่วนเชื่อมต่อของแบบจำลองก่อน

11.12.1 การจัดการแฟ้มข้อมูล

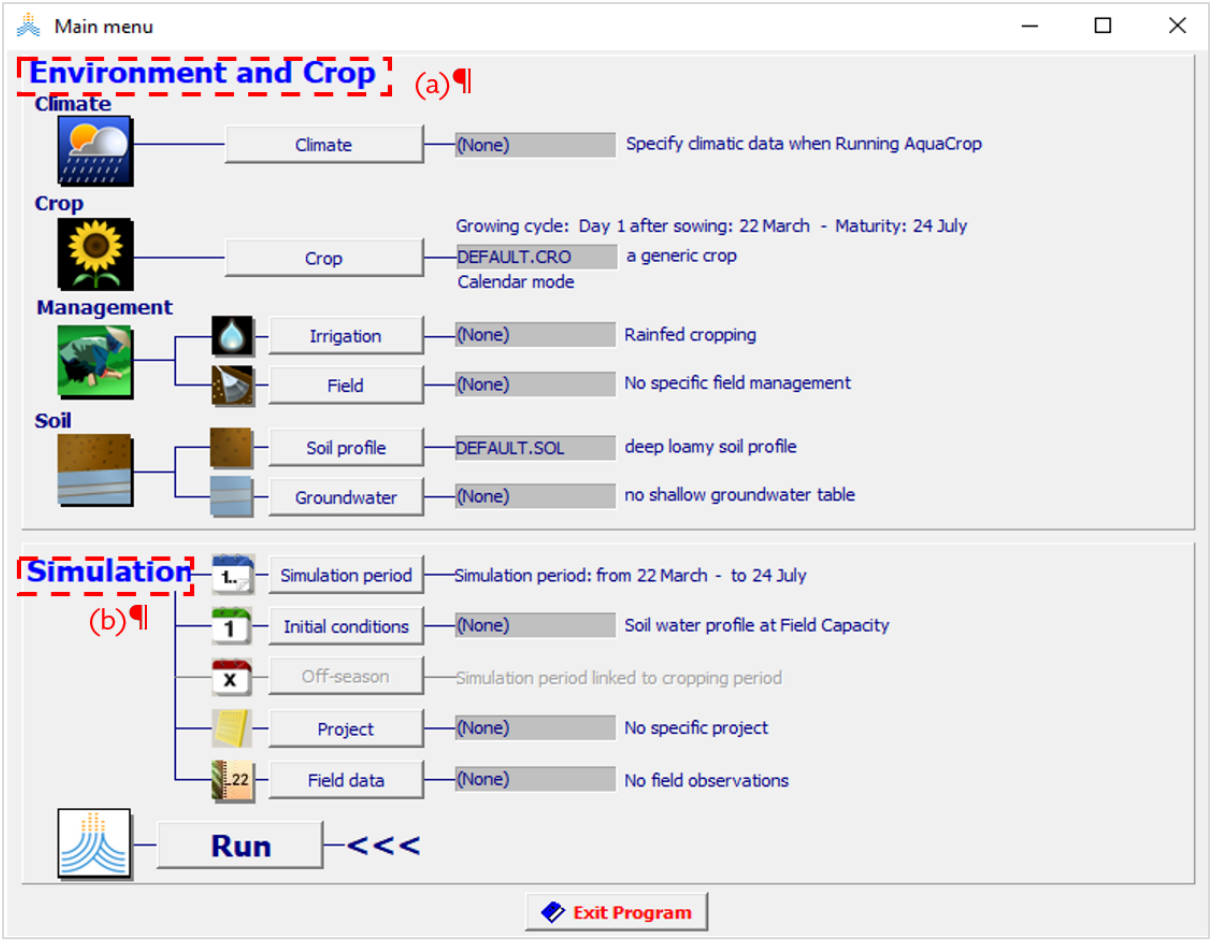
เมนูหลัก

ในส่วนนี้จะอธิบายแผงหน้าปัด (panel) ต่าง ๆ บนจอภาพของแบบจำลอง AquaCrop และวิธีแสดงแฟ้มข้อมูลในส่วนนำเข้าต่าง ๆ โดยจะมีสองแผงหน้าปัดในแบบจำลอง AquaCrop ได้แก่: a) แผงหน้าปัดสภาพแวดล้อมและพืชผล และ b) แผงหน้าปัดแสดงการจำลอง (รูปที่ 8)

(1) แผงหน้าปัดสภาพแวดล้อมและพืชผล: ผู้ใช้สามารถ : (1) เลือกหรือสร้างแฟ้มสภาพภูมิอากาศ ปฏิทิน พืช การชลประทานและการจัดการไร่นา หน้าตัด (soil profile) และระดับน้ำใต้ดิน การแสดงผลหรือปรับปรุงคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องให้ทันสมัย (2) ระบุจุดเริ่มต้นของวงจรการเพาะปลูก

(2) แผงหน้าปัดแสดงการจำลอง: ผู้ใช้สามารถ (3) ระบุช่วงระยะเวลาการจำลอง; (4) เลือกหรือสร้างเงื่อนไขเริ่มต้น เงื่อนไขนอกฤดูกาล โครงการ และแฟ้มข้อมูลภาคสนาม และแสดงหรือปรับปรุงคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องให้ทันสมัย (5) การสั่งให้แบบจำลองทำงานสำหรับสภาพแวดล้อม พืช และการตั้งค่าการจำลองตามที่ระบุ

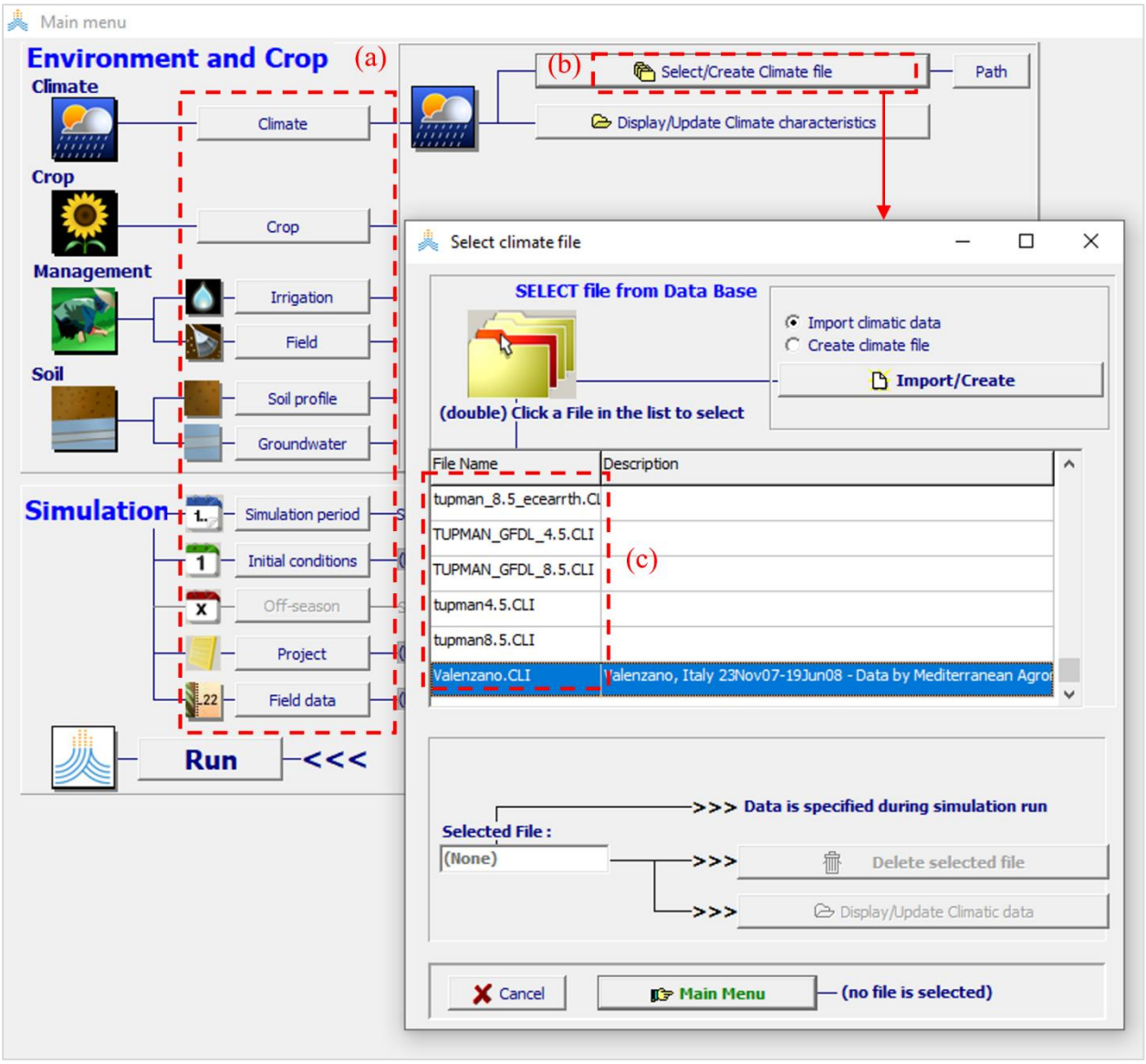
รูปที่ 8: เมนูหลักของ AquaCrop a) แผงหน้าปัดสภาพแวดล้อมและพืชผล และ b) แผงหน้าปัดแสดงการจำลอง



เลือกแฟ้มข้อมูล การยกเลิกการเลือก และการตั้งค่าเริ่มต้น

เมื่อ AquaCrop เริ่มทำงาน ระบบจะถือว่าใช้การตั้งค่าเริ่มต้นที่ตั้งไว้ (ตารางที่ 9) ด้วยปุ่ม <Select/Create> ที่มีอยู่ในแผงหน้าปัดการจัดการแฟ้มของเมนูหลัก ผู้ใช้จึงสามารถเข้าถึงฐานข้อมูลที่สามารถเลือกแฟ้มข้อมูลที่จะนำเข้าได้ (รูปที่ 9) แฟ้มต่าง ๆ จะถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลเริ่มต้น ซึ่งเป็นไดเร็กทอรีย่อย DATA ของกล่องแฟ้มข้อมูล AquaCrop ด้วยปุ่ม <Path> ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกไดเร็กทอรีอื่นได้

รูปที่ 9: เมนูหลักของ AquaCrop a) พร้อมกล่องโต้ตอบการนำเข้าข้อมูลที่เปิดอยู่



ตารางที่ 9: การตั้งค่าเริ่มต้น

เรื่อง	แฟ้ม	หมายเหตุ
สภาพภูมิอากาศ	-	จะใช้อุณหภูมิอากาศต่ำสุดและสูงสุดที่เป็นค่าเริ่มต้น ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET_o) ปริมาณน้ำฝน (ไม่มี) และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ (CO_2) เมื่อเริ่มต้นการจำลอง สามารถระบุค่าอื่น ๆ สำหรับปริมาณการใช้น้ำของพืชและปริมาณน้ำฝนได้
ปฏิทินการปลูกพืช	-	ผู้ใช้เป็นผู้ระบุการเริ่มต้นของระยะเวลาการเติบโต
พืช	DEFAULT.CRO	ข้อมูลของพืชทั่วไปพร้อมวันปลูก
การจัดการด้านชลประทาน	-	ถือว่าการปลูกพืชแบบใช้น้ำฝน เมื่อทำการจำลองสถานการณ์ สามารถระบุลักษณะการจัดการชลประทานได้ (ทั้งคุณภาพและปริมาณ)
การจัดการไร่นา	-	ถือว่ามีเงื่อนไขการจัดการไร่นาที่เหมาะสมที่สุด
หน้าตัดดิน	DEFAULT.SOL	ลักษณะทางกายภาพของดินร่วนในระดับลึก
น้ำใต้ดิน	-	ไม่มีระดับน้ำใต้ดินในระดับตื้น
ช่วงเวลาของการจำลองสถานการณ์	-	ช่วงเวลาจำลองสถานการณ์จะครอบคลุมวัฏจักรวงรอบของการเพาะปลูก
เงื่อนไขเริ่มต้น	-	ปริมาณน้ำในดินอยู่ในระดับความจุความชื้นสนามที่ยังคงมีความชื้นของดินเหลืออยู่และไม่มีเกลืออยู่ในหน้าตัดของดิน
นอกฤดูเพาะปลูก	-	ถือว่ามีเงื่อนไขการจัดการไร่นาที่เหมาะสมที่สุด
โครงการ	-	
ข้อมูลภาคสนาม	-	

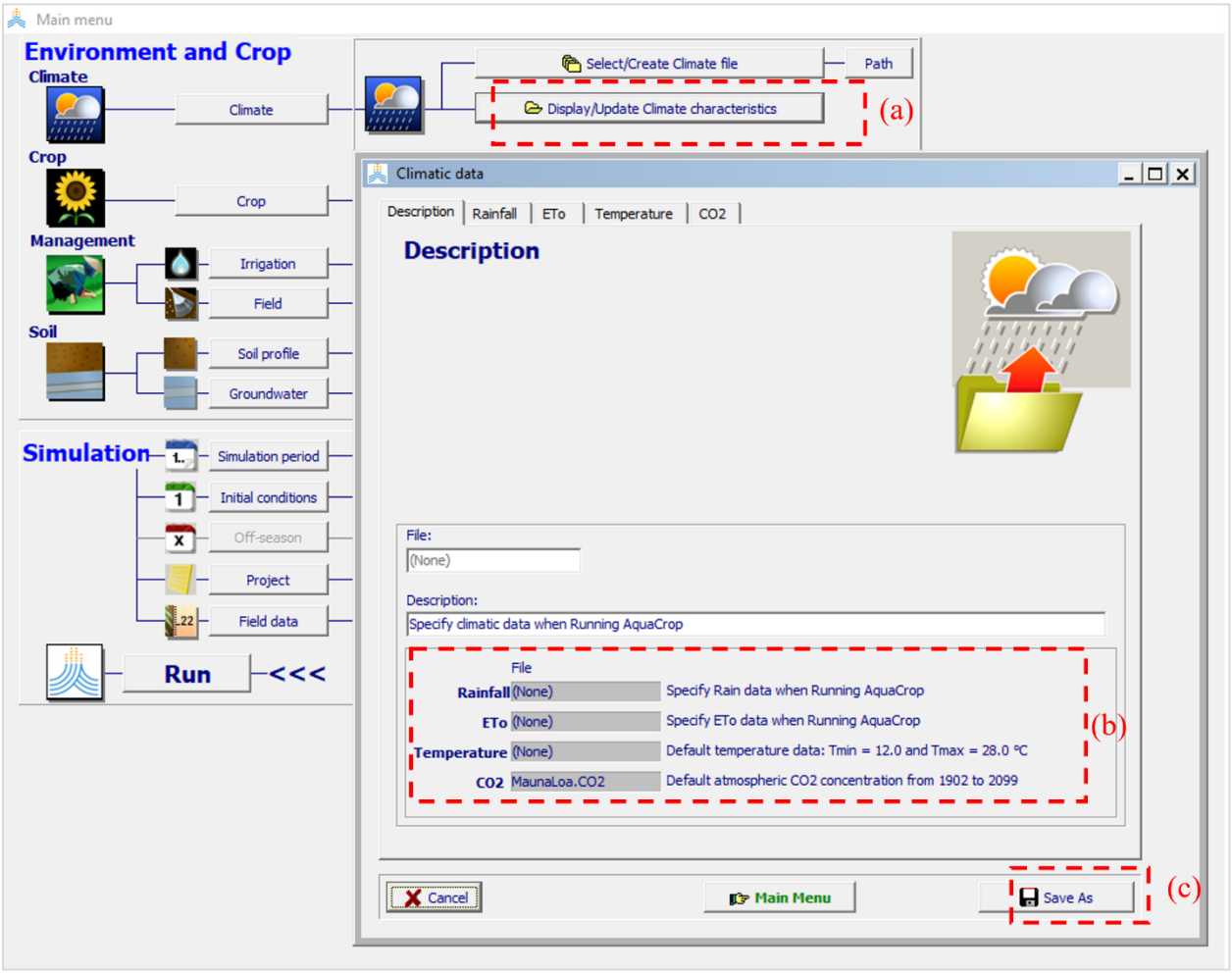
การสร้างแฟ้มนำเข้าข้อมูล

มีหลายตัวเลือกในการสร้างแฟ้มนำเข้าข้อมูลสำหรับการจำลอง AquaCrop

(1) จากเมนูเลือกแฟ้ม (ตัวอย่างในรูปที่ 9): เมนูสร้างแฟ้มสามารถใช้งานได้โดยการเลือกคำสั่ง <Create File> ในเมนูเลือกแฟ้ม (ตัวเลือก b ในรูปที่ 9) ในแฟ้มข้อมูล คุณลักษณะของสภาพภูมิอากาศ ปฏิทินการเพาะปลูก พืช การชลประทาน หรือการจัดการไร่นา หน้าตัดของดิน น้ำใต้ดิน สภาพเริ่มต้น ข้อมูลโครงการหรือภาคสนามจะถูกจัดเก็บไว้

(2) แฟ้มข้อมูลนำเข้าทั้งหมดควรอยู่ในรูปแบบ txt (ข้อความ) โดยผู้ใช้สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของแฟ้มข้อมูลนำเข้าได้ขึ้นอยู่กับประเภทของพืชจากเมนูการแสดงผล/การปรับปรุงลักษณะเฉพาะ (ตัวเลือก a ในรูปที่ 10) ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและเลือกฐานข้อมูลที่ได้ปรับปรุงแล้วในแบบจำลองได้ (ตัวเลือก b ในรูปที่ 10) หลังจากนั้นผู้ใช้สามารถคลิกคำสั่ง Save As เพื่อบันทึกแฟ้มข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้อง (ตัวเลือก c ใน รูปที่ 10)

รูปที่ 10: (a) แสดงผล/การปรับปรุงคุณลักษณะสำหรับการเลือกแฟ้มข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้อง (b) ตรวจสอบแฟ้มข้อมูลนำเข้าที่ถ่ายโอนข้อมูลสำหรับแบบจำลอง (c) เลือกคำสั่ง Save As สำหรับการบันทึกแฟ้มข้อมูล



11.12.2 ภูมิอากาศ

ข้อมูลภูมิอากาศที่ AquaCrop ต้องการ

ในการจำลองสถานการณ์ด้วยแบบจำลอง AquaCrop ผู้ใช้งานต้องการข้อมูลภูมิอากาศของภูมิภาคหรือสถานที่เฉพาะ ในแต่ละวันของช่วงระยะเวลาของการจำลอง จำเป็นต้องใช้ข้อมูลสำหรับ AquaCrop ดังนี้:

(1) ค่าต่ำสุด (Tn) และค่าสูงสุด (Tx) ของอุณหภูมิอากาศ
(2) ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo)
(3) ข้อมูลปริมาณฝน
(4) ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ข้อมูลภูมิอากาศที่ต้องการจะถูกจัดเก็บไว้ตามลำดับ:

(1) แฟ้มข้อมูลอุณหภูมิ (แฟ้มนามสกุล '.Tnx')
(2) แฟ้มข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (แฟ้มนามสกุล '.ETo')

(3) แฟ้มข้อมูลปริมาณฝน (แฟ้มนามสกุล '.PLU')

(4) CO_2 files (แฟ้มนามสกุล '.CO_2')

แฟ้มข้อมูลรวมของสภาพภูมิอากาศที่ครอบคลุมข้อมูลทั้งหมด (แฟ้มนามสกุล '.CLI') จะประกอบไปด้วยแฟ้มที่มีนามสกุล Tnx ETo PLU และ CO_2 โดยข้อมูลภูมิอากาศจะถูกจัดเก็บไว้ในแฟ้มที่มีนามสกุล Tnx ETo PLU และ CO_2 ดังที่กล่าวไว้ในการสร้างแฟ้มข้อมูลนำเข้า ข้อมูลสภาพภูมิอากาศพร้อมตัวแปรภูมิอากาศทั้งหมดจะถูกจัดทำในรูปแบบ txt จึงสามารถถ่ายโอนไปยังแบบจำลองได้ ตารางที่ 10 เป็นตัวอย่างของแฟ้มข้อมูลที่เป็นข้อความ (text file) ประกอบไปด้วยข้อมูลสภาพภูมิอากาศ เช่น ข้อมูลรายวัน (คอลัมน์ที่ 1) ของปริมาณฝน หน่วยเป็นมิลิเมตร (คอลัมน์ที่ 2) ค่าต่ำสุด และ (คอลัมน์ที่ 3) ค่าสูงสุดของอุณหภูมิอากาศ หน่วยเป็นองศาเซลเซียส (คอลัมน์ที่ 4) จำนวนชั่วโมงที่พระอาทิตย์ส่องสว่าง หน่วยเป็นชั่วโมง/วัน และ (คอลัมน์ที่ 5) ความเร็วของลม หน่วยเป็นเมตร/วินาที

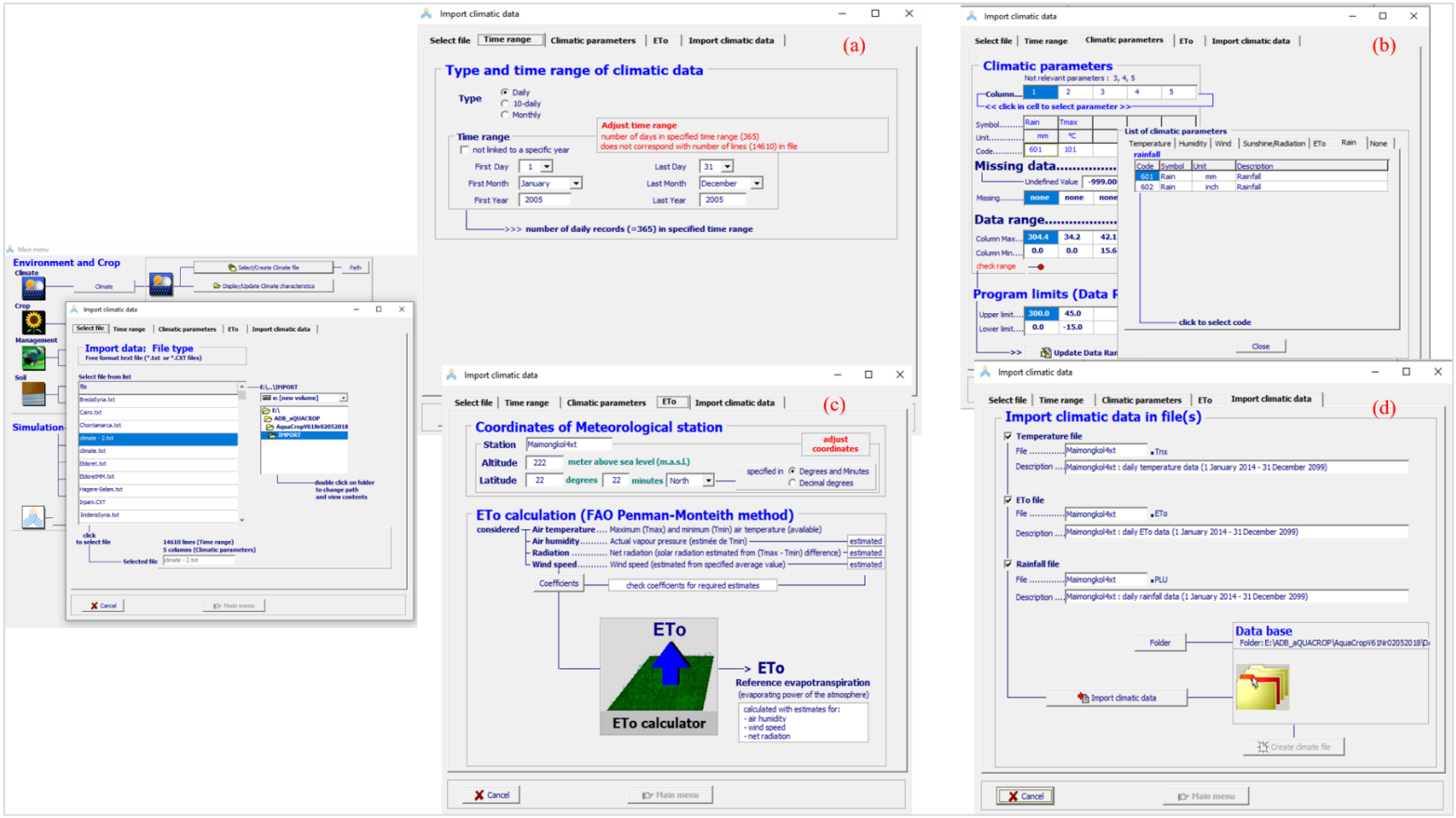
ตารางที่ 10: ตัวอย่างของแฟ้มข้อมูลที่เป็นข้อความ (text file)

0	11.1	30.8	7.8	1.71	3.9
0	10.3	31.6	8	1.43	2.7
0	11.5	31.5	8	1.29	1.4
0	10.7	32.2	8.5	2.57	2.8
0	11.5	30	8.1	1.86	3.3
0	11.9	29.2	8.3	1.14	3.2
0	11	28.6	8.5	2	3.1
0	10.6	28.7	8.4	1.43	3.4
0	11	29	8.4	1.86	3.2
0	10.5	29.9	8.1	2.5	3.1
0	10	30.9	8.1	0.88	3.1
0	9.3	30.3	8.1	3	3

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศอาจเป็นข้อมูลสภาพอากาศรายวันหรือรายเดือน แฟ้มข้อความประกอบด้วย ข้อมูลภูมิอากาศที่บันทึกในช่วงเวลาที่กำหนด (ตั้งแต่สองสามวันจนถึงหลายปี) หรือค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้สำหรับหลายปี

เมื่อผู้ใช้เลือกแฟ้มข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแผงหน้าปัดสภาพแวดล้อมและพืชผล ผู้ใช้ต้องคลิก Select/Create แฟ้มของสภาพภูมิอากาศ (ตัวเลือก b รูปที่ 9). หลังจากนั้นต้องคลิก Import/Create เพื่อนำเข้าแฟ้ม climate txt จากตำแหน่งที่เก็บแฟ้มไว้ ในขณะที่เตรียมแฟ้มข้อมูลของสภาพภูมิอากาศ ผู้ใช้มีความจำเป็นต้องปรับประเภทและเวลาของข้อมูลสภาพภูมิอากาศ รวมทั้งต้องกำหนดพารามิเตอร์สภาพภูมิอากาศตามรหัส ค่า ETo ควรกำหนดโดยใช้ตำแหน่งของสถานีอุตุนิยมวิทยา เช่น ละติจูด, ลองจิจูด และระดับความสูง และจำเป็นต้องนำเข้าแฟ้มข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศแต่ละแฟ้มจากฐานข้อมูลซึ่งจะถูกจัดเก็บไฟล์ Tnx, ETo, PLU และ CO ไว้ (รูปที่ 11)

รูปที่ 11: การสร้างแฟ้มสภาพภูมิอากาศ: a) การปรับปรุงประเภทข้อมูลและเวลา b) การเลือกพารามิเตอร์สภาพภูมิอากาศ c) การคำนวณค่า ETo และ d) การนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศในแฟ้มข้อมูล

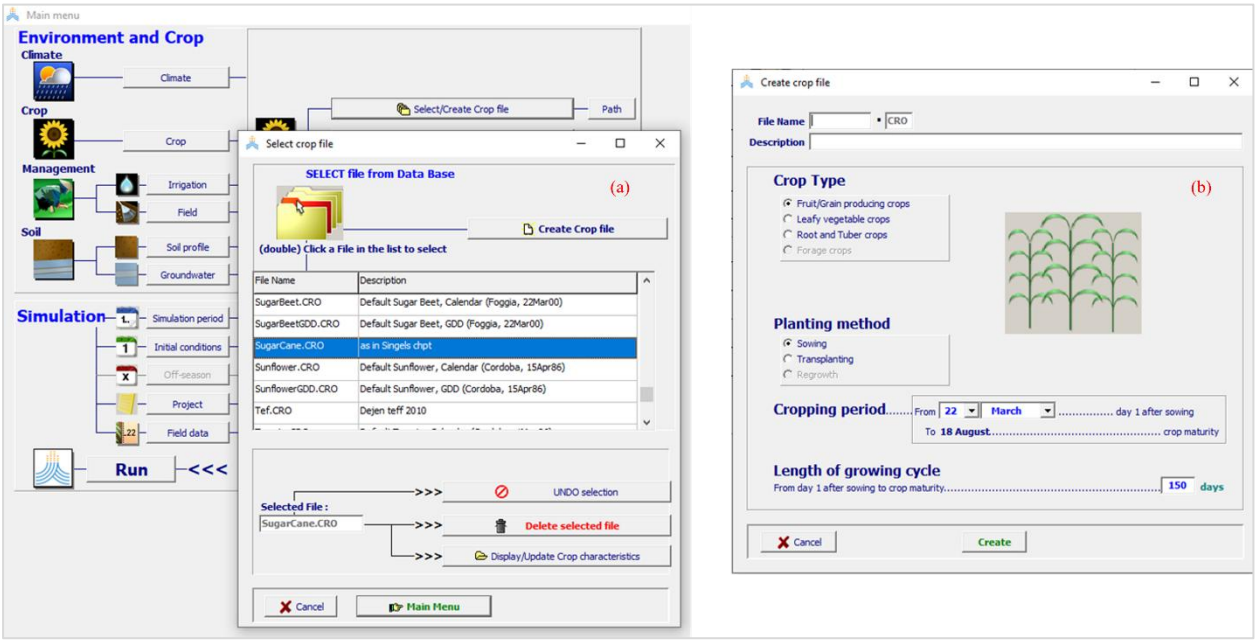


11.12.3 พืชผล

การนำเข้า/สร้าง แฟ้มข้อมูลพืชผล

แฟ้มข้อมูลพืชาลจะอธิบายประเภทพืชผล เวลา และวันที่ปลูกพืชผล และพารามิเตอร์พืชผลต่าง ๆ ขั้นแรก ต้องเลือกประเภทพืชผลจากฐานข้อมูลเริ่มต้น หรือสร้างไฟล์พืชผล ในขณะที่เราสร้างแฟ้มข้อมูลพืชผล ต้องเลือกประเภทของพืชผล ไม่ว่าจะเป็นผลไม้/ธัญพืช พืชที่ใช้ประโยชน์จากใบหรือจากหัว หลังจากนั้นก็ต้องเลือกวิธีการปลูกว่าจะใช้วิธีปลูกแบบใดแบบหนึ่งระหว่างการหว่านหรือแบบย้ายกล้าปลูกก็ได้ สุดท้ายต้องระบุวันที่หว่านหรือย้ายปลูกซึ่งเป็นตัวกำหนดระยะเวลาของวงจรการปลูกพืช (ตัวเลือก b รูปที่ 12). แฟ้มข้อมูลพืชผลจะถูกจัดเก็บด้วยนามสกุล .CRO

รูปที่ 12: การนำเข้าแฟ้มข้อมูลพืชผลจากฐานข้อมูล b) สร้างแฟ้มข้อมูลพืชผล



การแสดงผลและการปรับปรุงคุณลักษณะของพืชผล

หลังจากสร้างแฟ้มข้อมูลพืชผลแล้ว จะต้องปรับปรุงพารามิเตอร์พืชผลตามประเภทของพืชผล โดยต้องคลิกคำสั่ง Display/Update ที่เป็นข้อมูลคุณลักษณะของพืชผล จากนั้นผู้ใช้จะเข้าถึงลักษณะของพืชผลที่ต้องการปรับค่าพารามิเตอร์พืชผล มีพารามิเตอร์การเพาะปลูกที่แตกต่างกัน เช่น โหมด (mode) การพัฒนาพืช การผลิตพืช ความเครียดของพืชจากความสมบูรณ์ของดิน และปฏิทินการเพาะปลูก (รูปที่ 13) ซึ่งมีดังต่อไปนี้:

(1) **คำอธิบาย**: เพื่อปรับเปลี่ยนคำอธิบายของแฟ้มข้อมูลพืชผล

(2) **โหมด**: เพื่อเปลี่ยนจากวันตามปฏิทินไปสู่วันที่ใช้ค่าของอุณหภูมิสะสม (growing degree-days: GDD) เพื่อการพัฒนาและการเจริญเติบโตของพืชเมื่อสิ้นสุดกระบวนการปรับแต่งข้อมูล

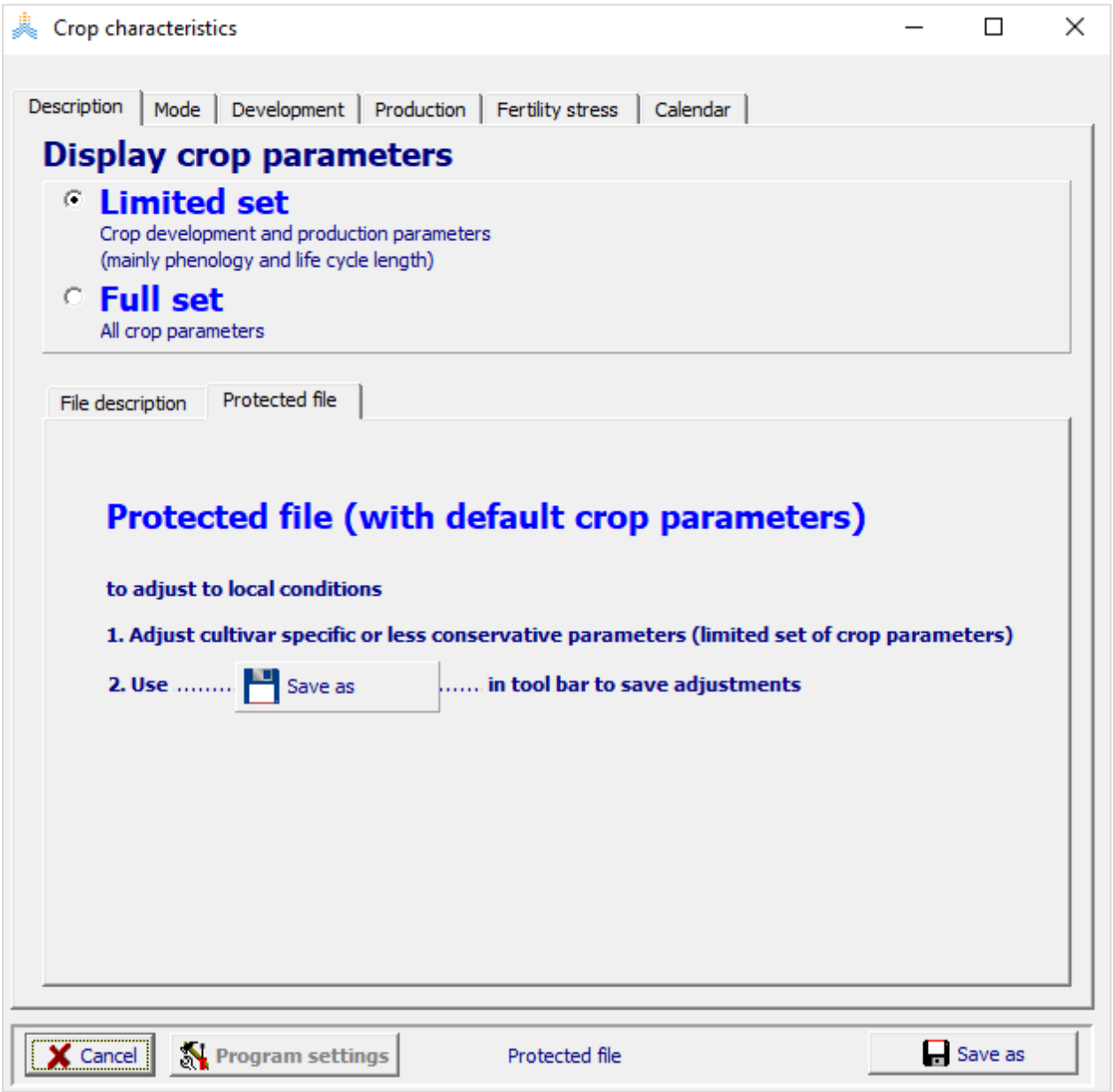
(3) **การพัฒนา**: เพื่อปรับพารามิเตอร์เฉพาะพันธุ์และพารามิเตอร์ที่ได้รับผลกระทบจากการปลูก การจัดการ และสภาพเงื่อนไขในหน้าตัดของดิน

(4) **ผลผลิต**: เพื่อปรับดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvest Index)

(5) **ความอุดมสมบูรณ์-ความเครียด**: เพื่อปรับแต่งการตอบสนองของชีวมวลของพืชต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน และ/หรือ ความเครียดอันเนื่องจากความเค็มของดิน

(6) **ปฏิทิน**: เพื่อดูภาพรวม และ/หรือ ปรับแต่งปฏิทินของวงจรการเจริญเติบโตของพืช

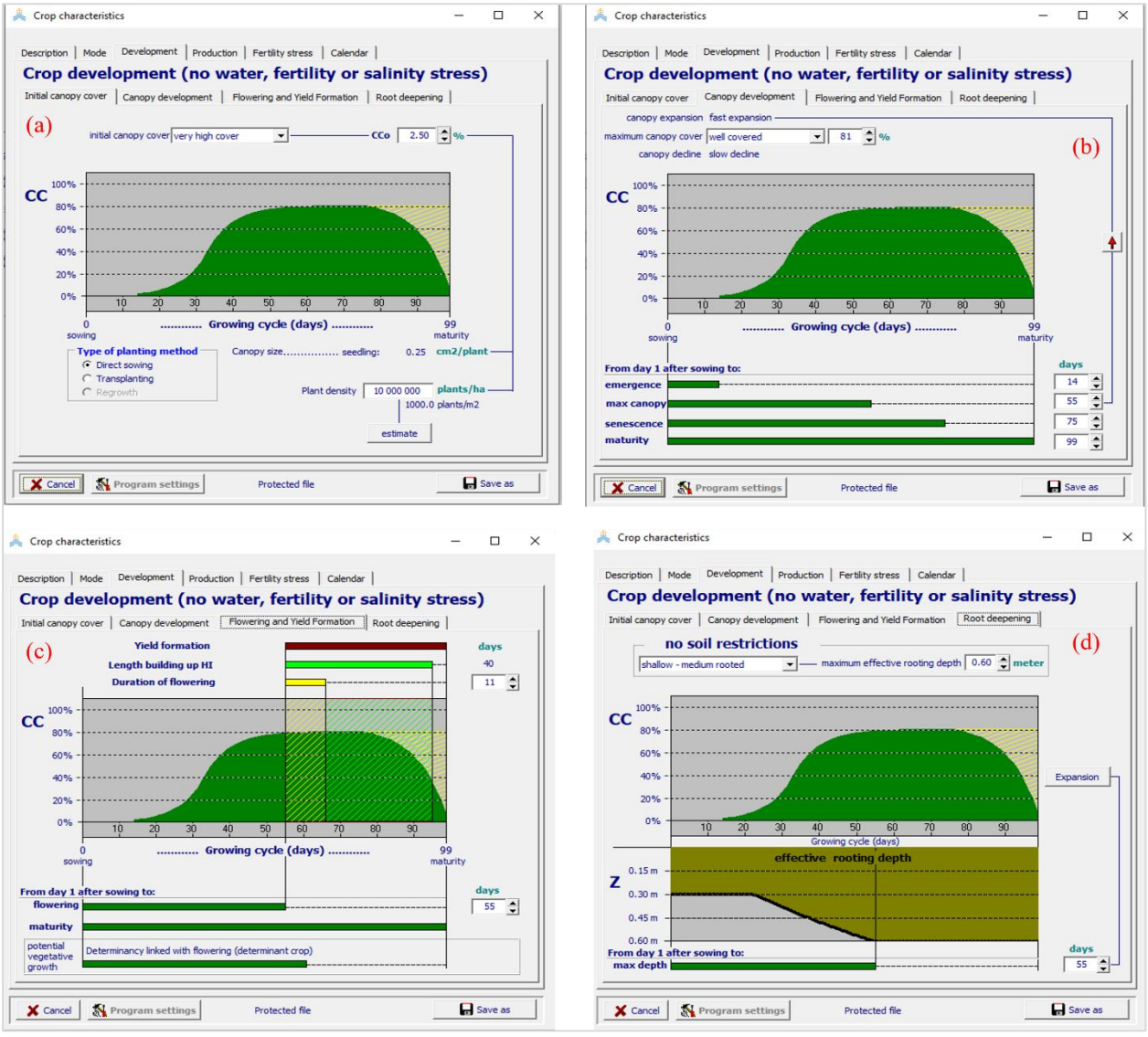
รูปที่ 13: ค่าพารามิเตอร์ของพืชผลที่แตกต่างกันในรูปของแผ่นงานแบบตาราง (tabular sheets)



ผู้ใช้งานเลือกพารามิเตอร์ของพืชผลที่จำกัดหรือชุดเต็ม หลังจากนั้นก็เข้าสู่โหมด ภายใต้โหมดนี้ จะกำหนดว่าต้องการปลูกพืชผลตามวันตามปฏิทินหรือการใช้ค่าของอุณหภูมิสะสม (growing degree-days: GDD) ในการวัดการเติบโตของพืช โดยส่วนใหญ่จะเลือกวันตามปฏิทินสำหรับการสร้างแบบจำลอง หลังจากนั้นจะเข้าสู่ส่วนของการพัฒนา ซึ่งจะอธิบายการพัฒนาพืชผลพร้อมกับการพัฒนาของทรงพุ่มเป็นพื้นที่ปกคลุมเรือนยอด การออกดอกและการสร้างผลผลิต การทำให้รากหยั่งลึก จากรูปที่ 14 a) อธิบายการปกคลุมเรือนยอดเริ่มต้น (CCo) วิธีการปลูก และความหนาแน่นของพืช ซึ่งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของพืช b) ค่าการปกคลุมเรือนยอดสูงสุด (CCx) ถูกกำหนดด้วยระยะเวลาที่เริ่มต้น ค่าปกคลุมเรือนยอดสูงสุด ไป

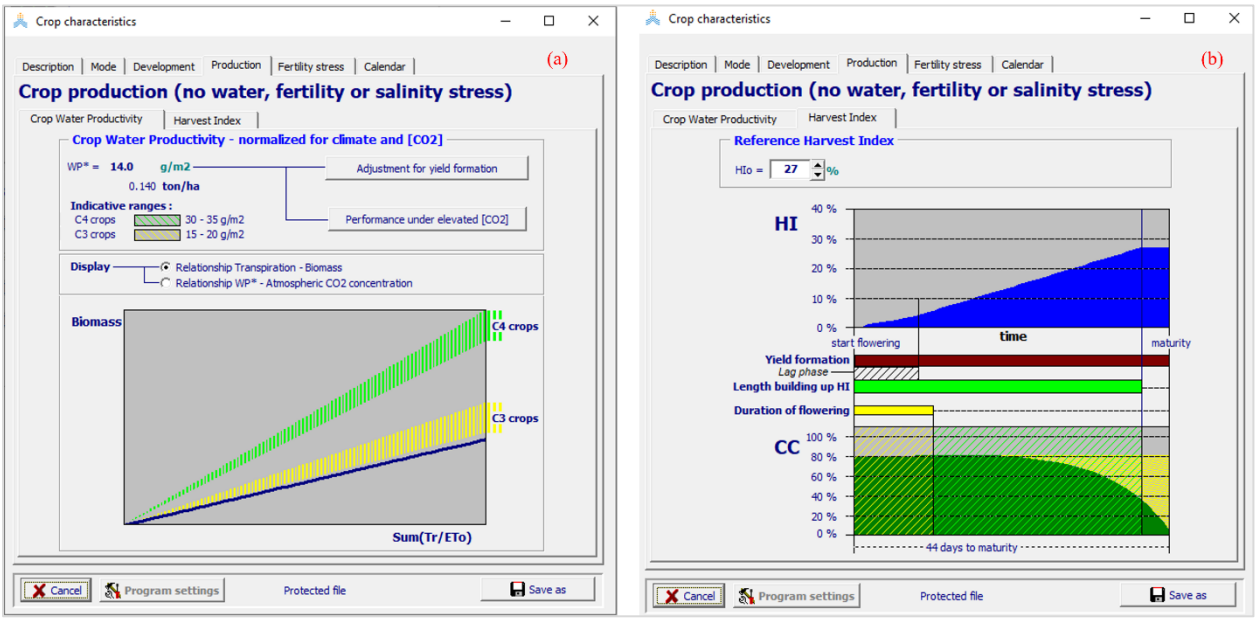
จนถึงวันที่ครบกำหนด c) ระยะเวลาของการออกดอกและการสร้างผลผลิต และ d) กำหนดความลึกของรากที่มีประสิทธิภาพสูงสุด (Zx)

รูปที่ 14: (a) การพัฒนาทรงพุ่มปกคลุมเรือนยอด (b) ค่าการปกคลุมเรือนยอดสูงสุด (CCx) (c) ระยะเวลาของการออกดอกและการสร้างผลผลิต และ (d) กำหนดความลึกของรากที่มีประสิทธิภาพสูงสุด



ผลิตภาพการใช้น้ำของพืชและดัชนีการเก็บเกี่ยวอ้างอิง ถูกกำหนดไว้ในแผ่นงานแบบตารางการพัฒนาพืชผล ผลิตภาพการใช้น้ำของพืชประเมินโดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่ดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI) สามารถระบุได้จากการทบทวนเอกสารวิชาการ. (รูปที่ 15).

รูปที่ 15: ผลผลิตจากพืช – a) ผลิตภาพการใช้น้ำของพืช และ b) ดัชนีการเก็บเกี่ยวอ้างอิง



การพิจารณาความเครียดของความสมบูรณ์ของดิน (soil fertility stress) ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชผล หากชีวมวลเหนือพื้นดิน (B) ในพื้นที่ที่มีความเครียดมีจำกัด ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการลดลงของการปกคลุมของเรือนยอด (CC) และผลิตภาพของการใช้น้ำ (WP*) จากชีวมวล จะต้องดำเนินการสอบเทียบความเครียดด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน ผลกระทบของความเครียดของความสมบูรณ์ของดิน จะได้รับผลกระทบจากประเภทของสารอาหารที่จำกัดและสภาพแวดล้อม เช่น สภาพภูมิอากาศและชนิดของดิน จำเป็นต้องมีการสอบเทียบการตอบสนองของพืชต่อความเครียดจากความอุดมสมบูรณ์ของดิน และส่วนใหญ่จะต้องทำซ้ำสำหรับสภาพแวดล้อมแต่ละประเภท การตอบสนองของพืชต่อความเครียดของความสมบูรณ์ของดินได้รับการปรับเทียบในเมนูลักษณะพืชผล (รูปที่ 16) ในแผ่นงานแบบตาราง "การเก็บข้อมูลภาคสนาม" ของเมนูการสอบเทียบความเครียดอันเนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ตัวแปรพารามิเตอร์หลักสำหรับความเครียดอันเนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ของดินคือ:

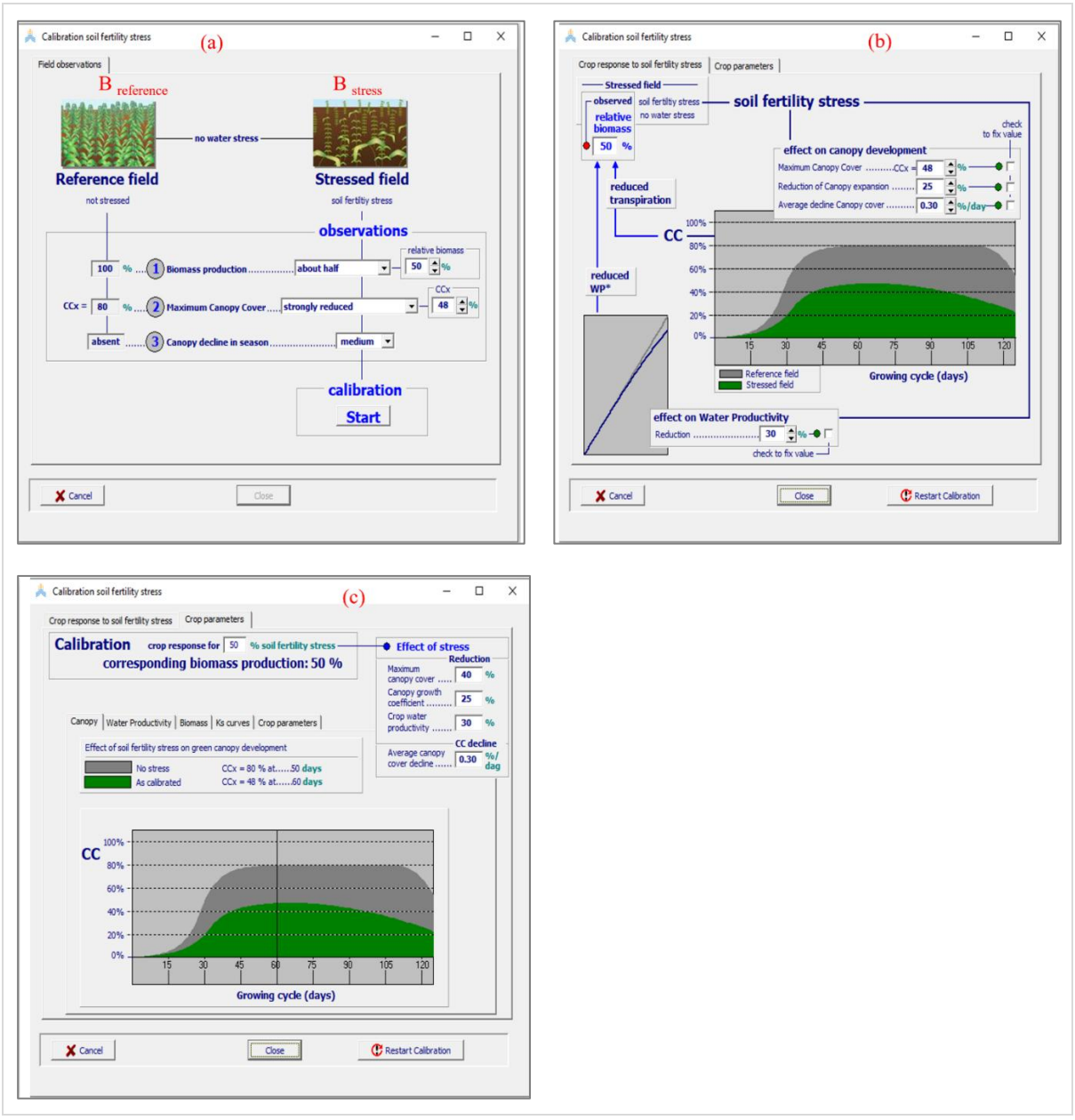
(1) ชีวมวลทั้งหมดที่ผลิตขึ้นได้ในพื้นที่ไร่นาที่มีความเครียด ซึ่งแสดงเป็นค่าสัมพัทธ์ B_{rel} (= 100 x $B_{stress}/B_{reference}$) B_{rel} คือ ค่าชีวมวลเหนือพื้นดินที่ค่อนข้างแห้งสูงสุด (B_{rel}) ที่สามารถคาดหวังได้ในพื้นที่นั้น ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ของดินจำกัด เมื่อเทียบกับสภาพที่ปราศจากความเครียด;

(2) ค่าปกคลุมเรือนยอดสูงสุดที่สามารถทำได้ในพื้นที่ที่มีความเครียดสูง ($CC_{xstress}$); และ

(3) ระดับของค่าปกคลุมเรือนยอด (น้อย กลาง หรือเข้มข้น) ที่ลดลงตามฤดูกาล

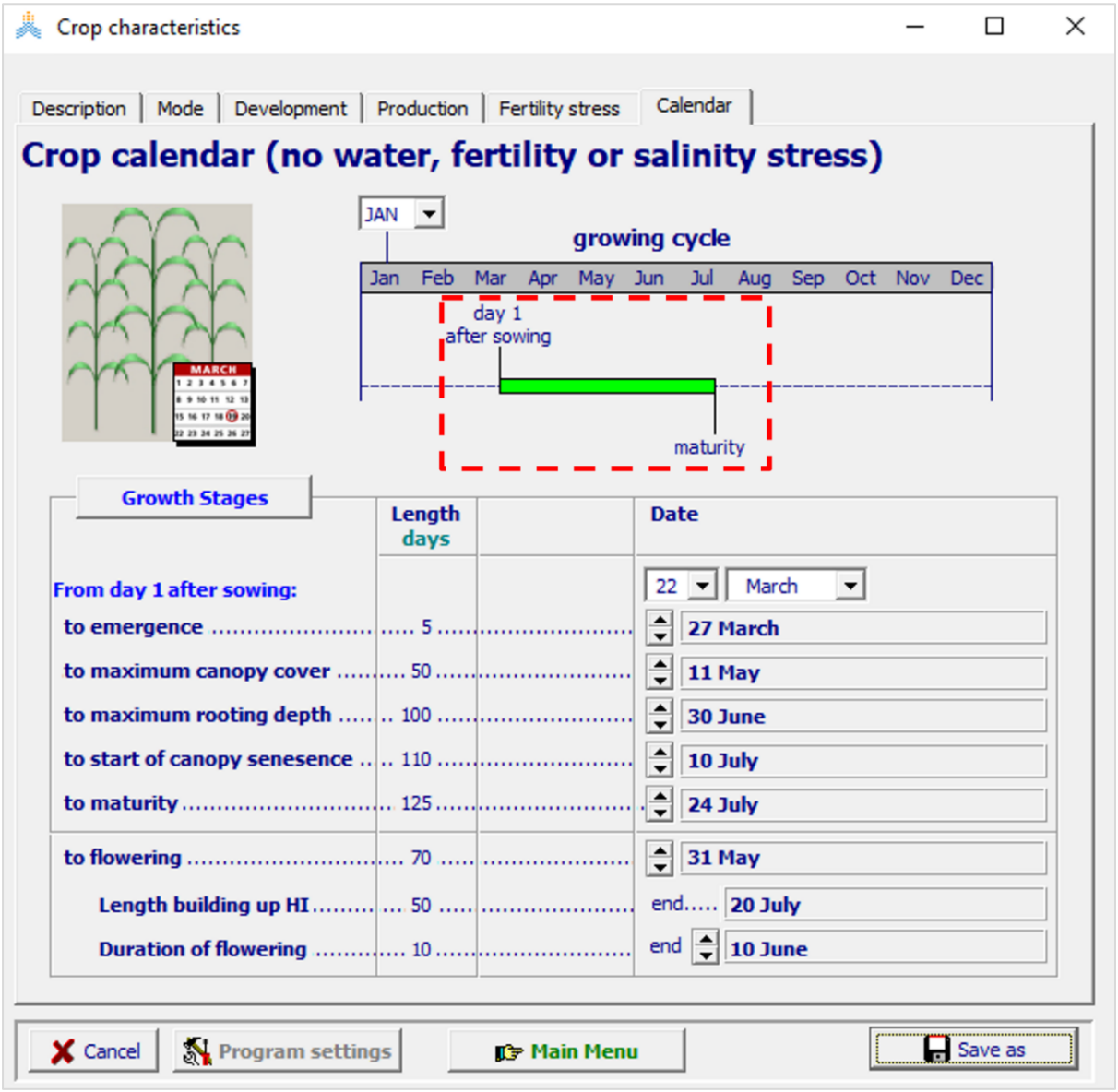
หลังจากเริ่มกระบวนการสอบเทียบแล้ว AquaCrop จะค้นหาการตั้งค่าของค่าสัมประสิทธิ์ความเครียด 4 ค่า ซึ่ง WP* ที่ลดลงและ CC ที่น้อยลง จะส่งผลให้ค่า Brel ที่ได้จะเท่ากับ Brel ที่ได้จากการตอบสนองของพืชผลที่ถูกสอบเทียบ

รูปที่ 16: (a) เริ่มต้นการสอบเทียบความเครียดของความอุดมสมบูรณ์ของดิน (b) การตอบสนองของพืชต่อความเครียดของความอุดมสมบูรณ์ของดิน และ (c) การสอบเทียบค่าพารามิเตอร์พืชผล



แฟ้มข้อมูลพืชผล จะลงท้ายด้วยปฏิทินของรอบการเติบโตที่แสดงในแผ่นตารางปฏิทินของลักษณะของพืชผล ผู้ใช้งานสามารถปรับวันที่ปลูกและระยะเวลาของการเจริญเติบโตของพืชผลต่าง ๆ ได้ สามารถใช้ปุ่มหมุนเพื่อเปลี่ยนเดือนของรอบการปลูกพืชได้ (รูปที่ 17) หลังจากปรับลักษณะพืชผลทั้งหมดแล้ว ก็สามารถคลิกคำสั่งบันทึกเป็นเพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงได้

รูปที่ 17: แผ่นตารางปฏิทินเพื่อตรวจสอบหรือปรับปฏิทินของช่วงการเจริญเติบโต



11.12.4 การจัดการ

การจัดการประกอบด้วยสองแฟ้ม a) แฟ้มข้อมูลการจัดการชลประทาน และ b) แฟ้มข้อมูลการจัดการไร่นา

แฟ้มข้อมูลการจัดการชลประทาน

แฟ้มข้อมูลนี้จะถูกใช้งานเมื่อมีการใช้น้ำจากระบบชลประทานเพื่อการเจริญเติบโตและการจัดการพืชผล หากพืชผลที่ปลูกเป็นการใช้น้ำฝน ก็ไม่จำเป็นต้องปรับแฟ้มข้อมูลนี้

แฟ้มข้อมูลการจัดการไร่นา

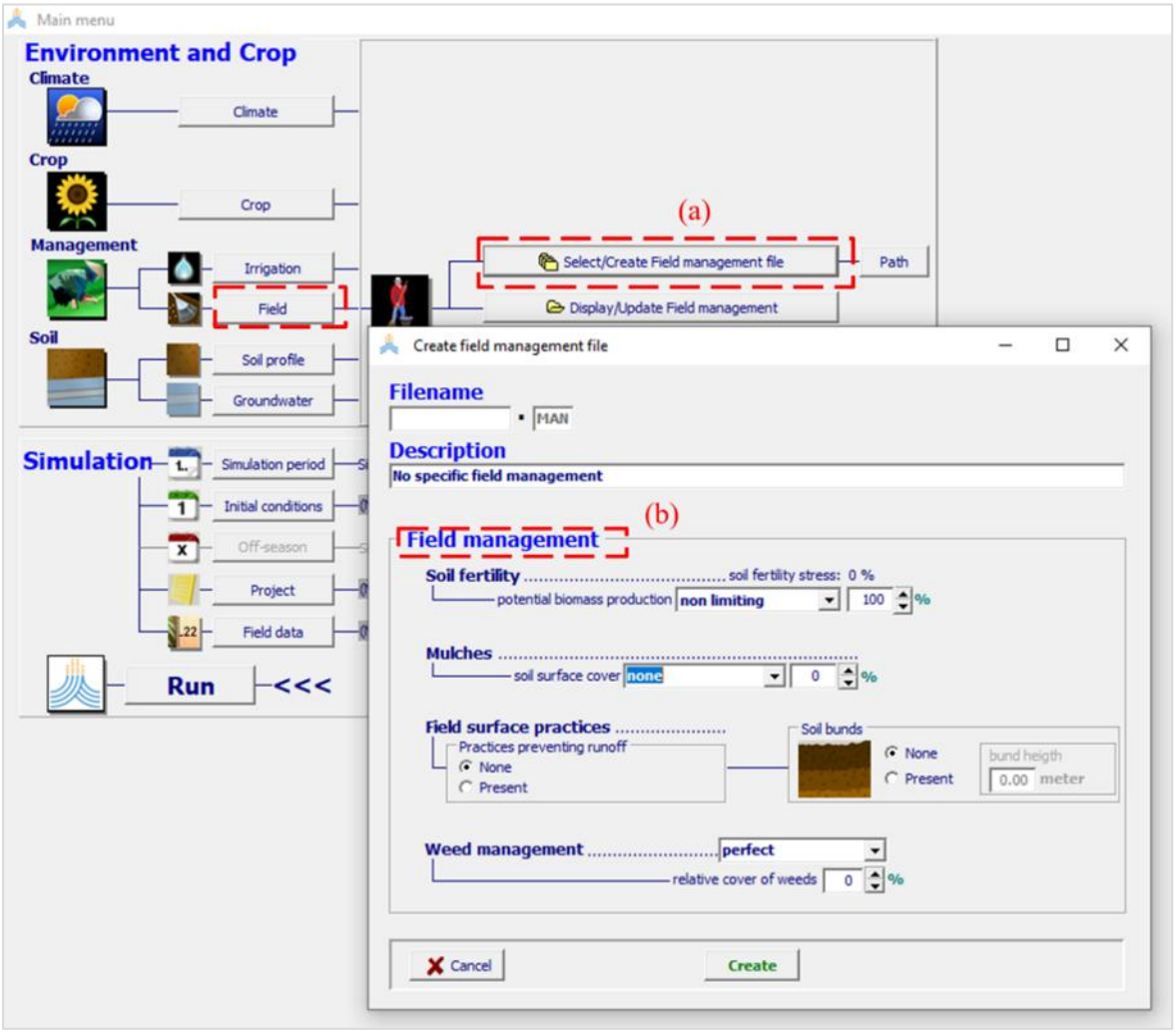
แฟ้มข้อมูลการจัดการไร่นาเป็นแฟ้มข้อมูลที่ผู้ใช้ระบุ ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับปรุงข้อมูลแนวทางการจัดการที่แตกต่างกันตามประเภทการเพาะปลูกและแนวทางการจัดการของเกษตรกร ข้อมูลจะอิงตามข้อมูลการสำรวจพื้นฐานจากภาคสนาม ลักษณะการจัดการในไร่นา มีดังนี้:

(1) **คำอธิบาย**: เพื่อปรับเปลี่ยนคำอธิบายของแฟ้มข้อมูลหน้าตัดดิน
(2) **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**: เพื่อระบุมวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ค่อนข้างแห้งสูงสุดที่คาดหวังเมื่อความอุดมสมบูรณ์ของดินมีจำกัด
(3) **การคลุมดิน**: เพื่อระบุการคลุมดินด้วยวัสดุคลุมดินและชนิดของวัสดุคลุมดิน
(4) **แนวการปฏิบัติในพื้นที่ไร่นา**: เพื่อระบุว่าการไหลบ่าของน้ำพื้นผิวได้รับผลกระทบหรือถูกยับยั้งโดยแนวทางปฏิบัติที่ใช้อยู่หรือไม่ **หรือถ้า คันดิน** (soil bunds) **มีอยู่ก็สามารถเก็บน้ำไว้บนพื้นที่ไร่นาได้**
(5) **การจัดการวัชพืช**: เพื่อระบุระดับของการจัดการวัชพืชและระดับของการปกคลุมของวัชพืช

ในแผงหน้าปัดการจัดการ ผู้ใช้สามารถค้นหาคำสั่ง Field หลังจากที่คลิกคำสั่งแล้ว กล่องโต้ตอบใหม่จะปรากฏขึ้นเพื่อเลือกคำสั่ง Select/Create และคำสั่ง Display/Update ในการสร้างแฟ้ม การแสดงผล และปรับปรุงข้อมูลการจัดการไร่นา ผู้ใช้ต้องคลิกคำสั่ง Select/Create แฟ้มการจัดการไร่นา เพื่อที่จะทำให้สามารถปรับแนวทางการจัดการตามข้อมูลการสำรวจพื้นฐาน ภายใต้ข้อมูลลักษณะพืชผลก่อนหน้านี้ หากพิจารณาการสอบเทียบของความอุดมสมบูรณ์ของดิน ก็จะมีตัวเลือกปรากฏขึ้นมาว่าจะเปลี่ยนการจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดินหรือไม่ หลังจากนั้นก็สามารถปรับวัสดุคลุมดินและประเภทของวัสดุคลุมดินได้

ขึ้นอยู่กับข้อมูลการสำรวจพื้นฐาน ผู้ใช้สามารถทราบได้ว่ามีแนวการปฏิบัติในไร่นาเพื่อป้องกันการไหลบ่าของน้ำผิวดินหรือไม่ ถ้ามีแนวปฏิบัติอยู่ ก็ต้องเลือกคำสั่งที่ของลักษณะที่เป็นอยู่ในปัจจุบันและให้รายละเอียด เช่น ความสูงของคันดินด้วย และสุดท้าย จำเป็นต้องปรับขนาดการจัดการวัชพืชในสนามจากแย่ที่สุด ไปจนถึงสมบูรณ์แบบที่สุดด้วยการหมุนปุ่ม (รูปที่ 18).

รูปที่ 18: (a) เลือกคำสั่ง Select/Create แฟ้มข้อมูลการจัดการไร่นาเพื่อสร้างแฟ้มการจัดการไร่นา และ b) เลือก Field Management เพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลการจัดการไร่นาที่แตกต่าง



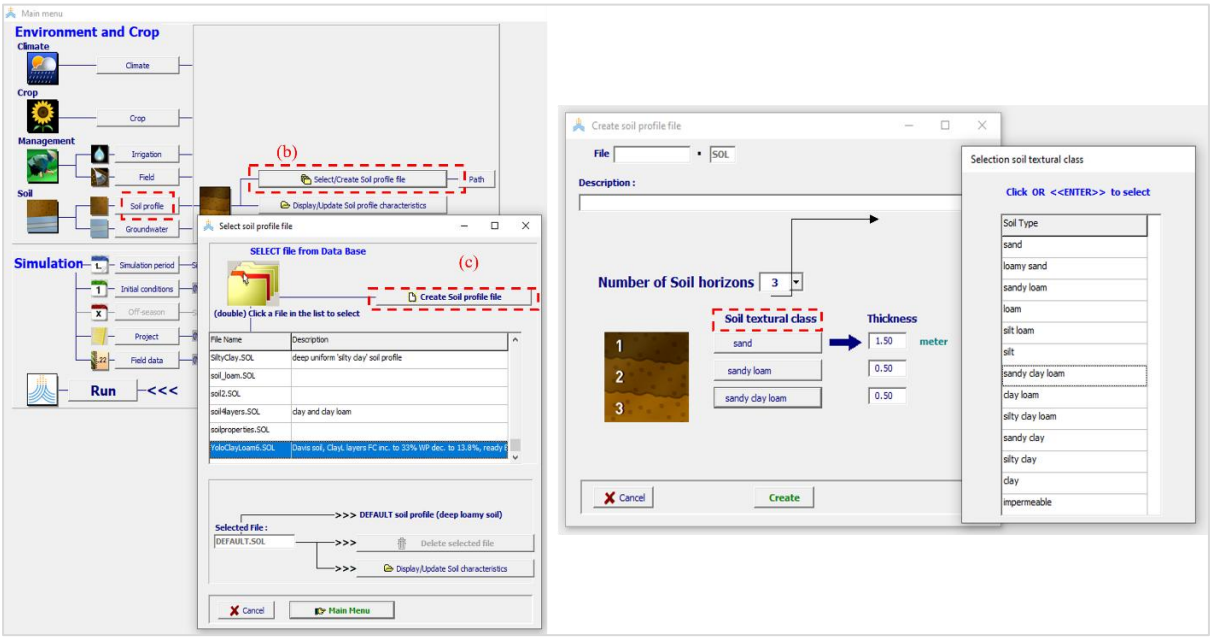
11.12.5 ดิน

แฟ้มข้อมูลดินประกอบไปด้วยข้อมูลนำเข้า 2 ส่วน คือ a) ดิน และ b) น้ำใต้ดิน

ดิน

ข้อมูลดินส่วนใหญ่จะถูกจัดเก็บจากกรมพัฒนาที่ดินในพื้นที่ตามลำดับ สำหรับแฟ้มข้อมูลดิน ต้องกำหนดจำนวนชั้นของดิน เนื้อดิน และความหนาของชั้นดินในแต่ละชั้น ประเภทของดิน จะถูกเลือกจากรายการซึ่งมีข้อมูลสำหรับชุดของดิน จากข้อมูลก็จะได้ค่าเริ่มต้นสำหรับลักษณะทางกายภาพของดินที่ต้องการของดินแต่ละชั้นและผิวดินชั้นบน (รูปที่ 19)

รูปที่ 19: a) เลือกคำสั่ง Soil profile b) เลือกคำสั่ง Select/Create soil profile file ในแผงหน้าปัดเมนูหลักของการจัดการแฟ้มข้อมูล c) เลือกคำสั่ง Select Create soil profile file เพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลการจัดการดิน

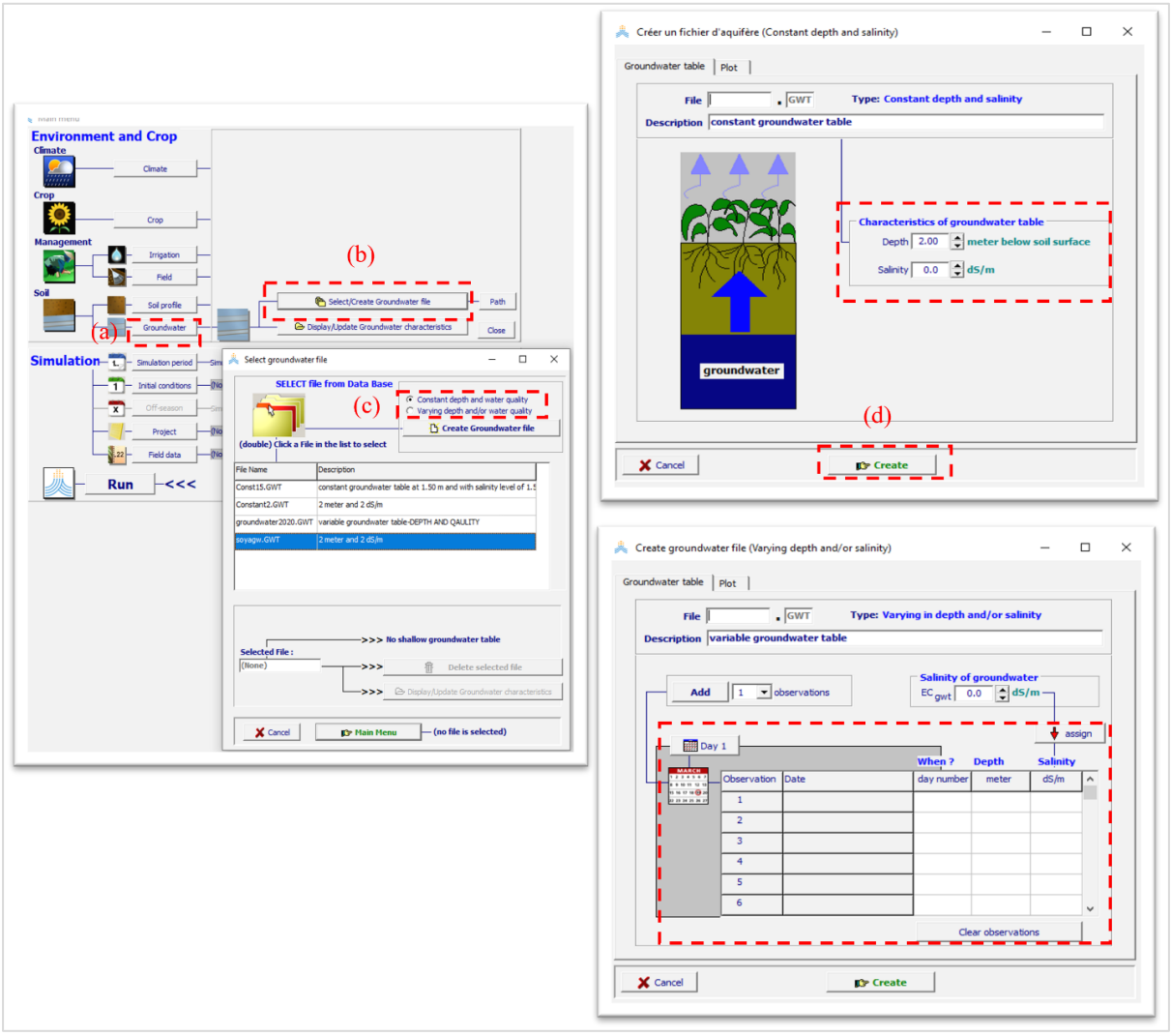


แฟ้มข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน

ในการสร้างแฟ้มข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน ต้องคลิกคำสั่ง Select/Create เพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลน้ำใต้ดินจากแผงหน้าปัดการจัดการแฟ้มข้อมูล (รูปที่ 20) ข้อมูลน้ำใต้ดิน ยังรวบรวมจากกรมน้ำบาดาลที่ตั้งอยู่ในส่วนภูมิภาคอีกด้วย ระบบต้องการข้อมูลความลึกและคุณภาพของน้ำใต้ดินเพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลน้ำใต้ดิน ในขณะที่ทำแฟ้มข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน ต้องระบุว่า ต้องการ (a) ความลึกและคุณภาพน้ำคงที่หรือไม่ หรือ (b) ความลึกและ/หรือคุณภาพน้ำที่แตกต่างกัน

หากระดับน้ำใต้ดินไม่สูงมาก (ต่ำกว่าเขตรากพืช (root zone) มากกว่า 4 เมตร) ก็ไม่จำเป็นต้องระบุระดับน้ำใต้ดิน เนื่องจากการการเคลื่อนขึ้นแคพิลลารีอาจจะไม่เกิดขึ้น

รูปที่ 20: แฟ้มข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน a) เลือกคำสั่ง Groundwater b) เลือกคำสั่ง Select/Create แฟ้มข้อมูลน้ำใต้ดิน c) เลือกระหว่าง Constant depth and water quality; หรือ Varying depth and/or water quality d) คลิกเลือกคำสั่ง Create เพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน



11.12.6 การจำลองสถานการณ์

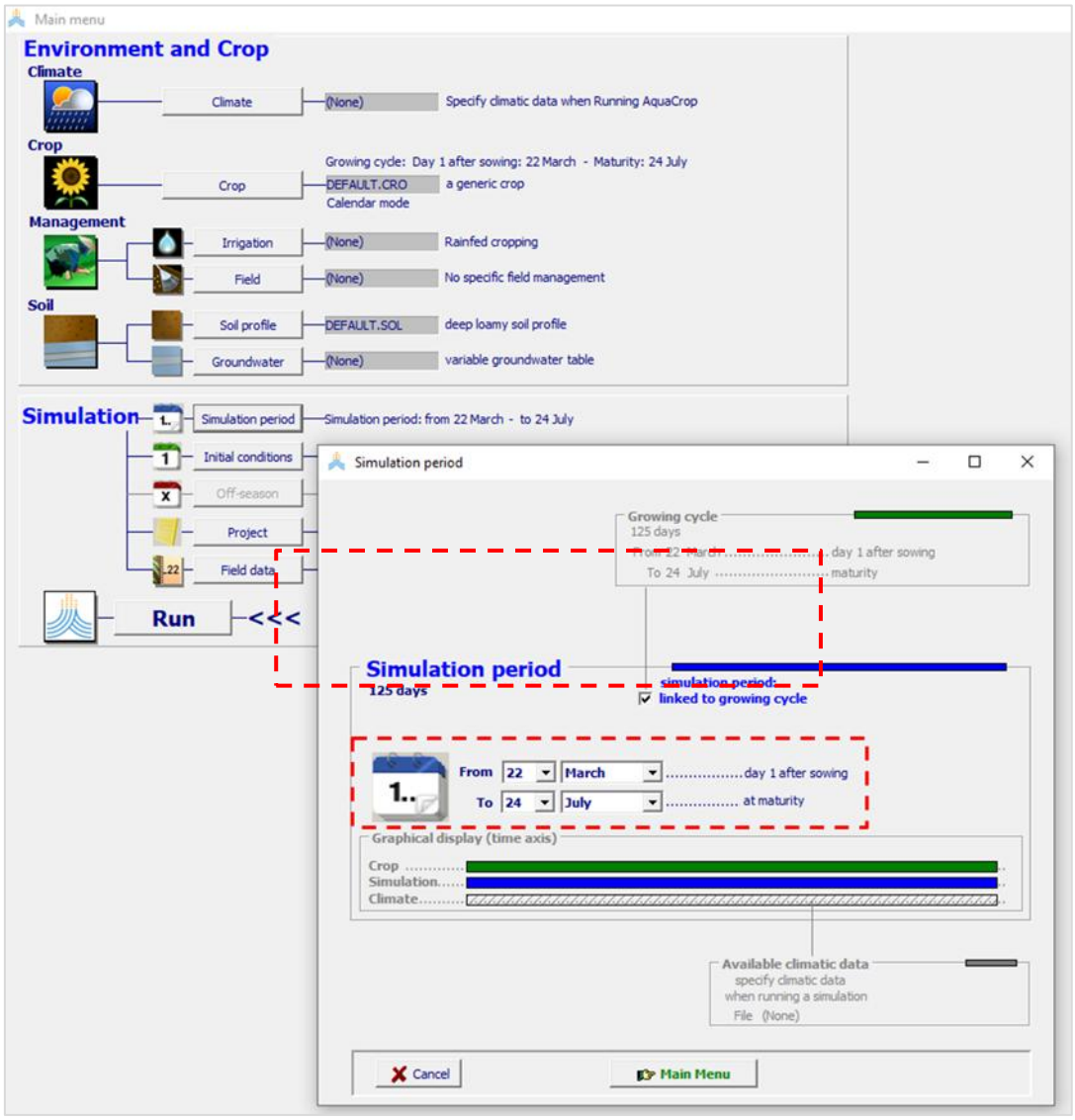
แผงหน้าปัดการแสดงผลส่วนที่สองของแบบจำลอง **AquaCrop** คือแผงหน้าปัดการจำลองสถานการณ์ (**simulation**) ในแผงหน้าปัดนี้ จะตรวจสอบระยะเวลาการจำลองสถานการณ์ เงื่อนไขเริ่มต้น กำหนดโครงการและการนำเข้าข้อมูลสำหรับการจำลองสถานการณ์

ระยะเวลาการจำลองสถานการณ์

ระยะเวลาการจำลองสถานการณ์ สามารถปรับได้ในเมนูระยะเวลาการจำลองสถานการณ์ บางครั้งระยะเวลาการจำลองสถานการณ์อาจจะตรงหรือไม่ตรงกับวงจรการเติบโตของพืชผล แต่อาจสั้นกว่าหรือยาวนานกว่านั้นก็ได้ ตราบเท่าที่ระยะเวลาไม่เกินช่วงของข้อมูลภูมิอากาศ

เลือกระยะเวลาการจำลอง จากนั้นกล่องโต้ตอบจะปรากฏขึ้น โดยผู้ใช้สามารถปรับระยะเวลาการจำลองสถานการณ์ได้ตั้งแต่ 1 ชุด หลังจากหยอดเมล็ดจนโตเต็มที่ (รูปที่ 21).

รูปที่ 21: การปรับระยะเวลาการจำลองสถานการณ์ตามรอบการปลูกพืช



เงื่อนไขเริ่มต้น

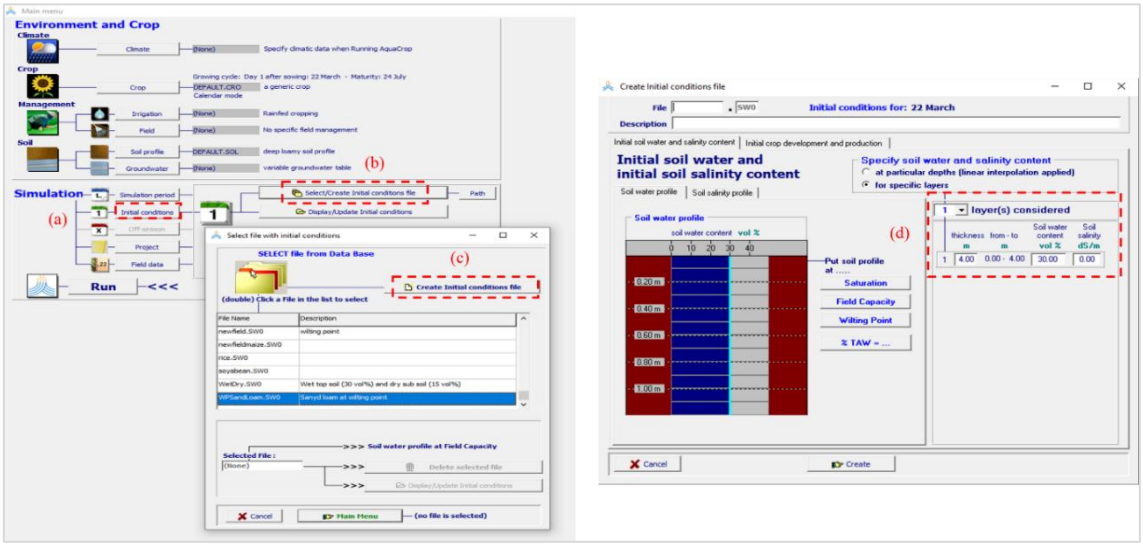
เงื่อนไขเริ่มต้น หมายถึง สถานะของปริมาณน้ำในดินและเกลือในหน้าตัดดิน (soil profile) และการพัฒนาของพืชและผลผลิตของพืชในช่วงเริ่มต้นวันแรกของระยะเวลาการจำลองสถานการณ์ ในการสร้างแฟ้มข้อมูลของเงื่อนไขเริ่มต้น สามารถคลิกคำสั่งเงื่อนไขเริ่มต้นในหน้าปัดแผงการจำลองสถานการณ์ จากนั้นจำเป็นต้องเลือกแฟ้มข้อมูลสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นที่จะแสดงเงื่อนไขเริ่มต้นและสามารถปรับเงื่อนไขให้ทันสมัยตามความต้องการได้ (รูปที่ 22) เงื่อนไขเริ่มต้น มีดังนี้:

(1) คำอธิบาย: เพื่อปรับแก้คำอธิบายของแฟ้มข้อมูลที่มีเงื่อนไขเริ่มต้น

(2) ปริมาณน้ำและความเค็มในดินเริ่มต้น: เพื่อปรับแก้ปริมาณน้ำและความเค็มในดิน

(3) การพัฒนาของพืชและและผลผลิตพืชเบื้องต้น: เพื่อปรับแก้ระดับของการพัฒนาพืช ผลผลิตพืช เมื่อระยะเวลาจำลองสถานการณ์เริ่มต้นหลังจากการงอก

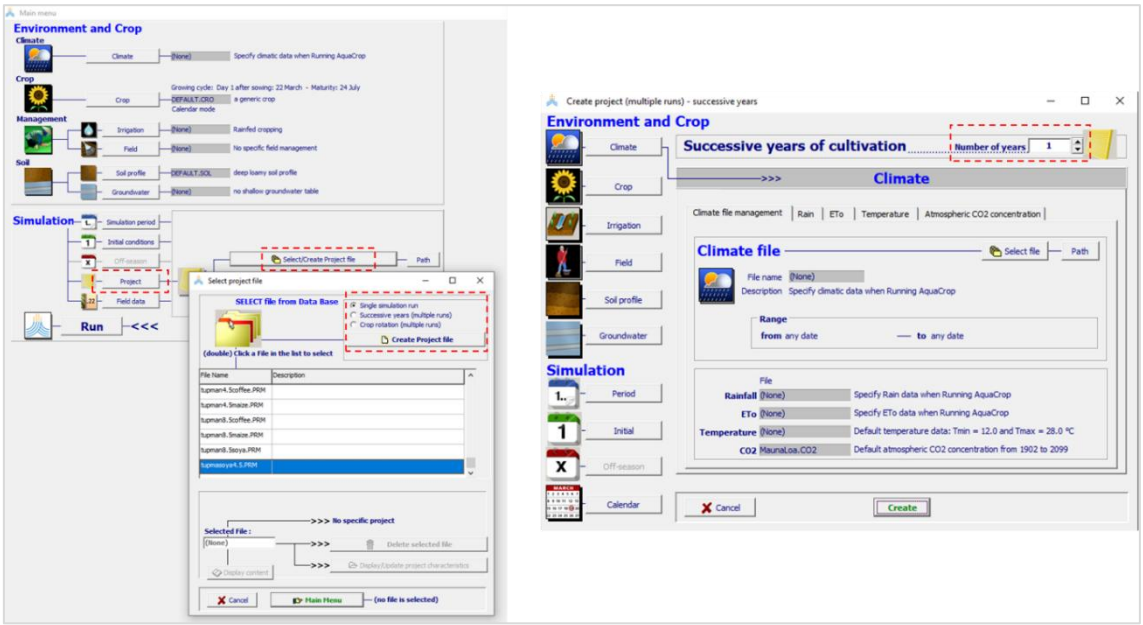
รูปที่ 22: a) เลือกคำสั่งเงื่อนไขเริ่มต้น b) เลือกคำสั่ง Select/Create เพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้น c) สร้างแฟ้มข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้น d) ปรับแก้ความหนาของหน้าตัดดิน ระดับความชื้นของดิน และความเค็มของดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของหน้าดิน



โครงการ

หลังจากจัดเตรียมแฟ้มนำเข้าข้อมูลทั้งหมดและปรับระยะเวลาการจำลองสถานการณ์และเงื่อนไขเริ่มต้นแล้ว จำเป็นต้องเตรียมแฟ้มข้อมูลโครงการ (project) ก่อนที่จะเริ่มต้นใช้แบบจำลอง โดยที่แฟ้มนำเข้าข้อมูลทุกแฟ้ม (สภาพภูมิอากาศ พืชผล ดิน น้ำใต้ดิน และการจัดการภาคสนาม) สามารถมองเห็นเป็นภาพรวมได้ และสามารถเลือกได้ว่าต้องการใช้งานแบบจำลองสถานการณ์ครั้งเดียวหรือต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปี

รูปที่ 23: (a) เลือกโครงการ (Project) จากแผงหน้าปัดจำลองสถานการณ์ (b)ใช้คำสั่ง Select/Create เพื่อสร้างแฟ้มข้อมูลโครงการ (c) เลือกการจำลองสถานการณ์ครั้งเดียวหรือหลายครั้ง และ (d) ในกรณีที่เลือกการจำลองสถานการณ์หลายครั้ง สามารถปรับแก้จำนวนของปีที่ขึ้นอยู่กับข้อมูลสภาพภูมิอากาศได้

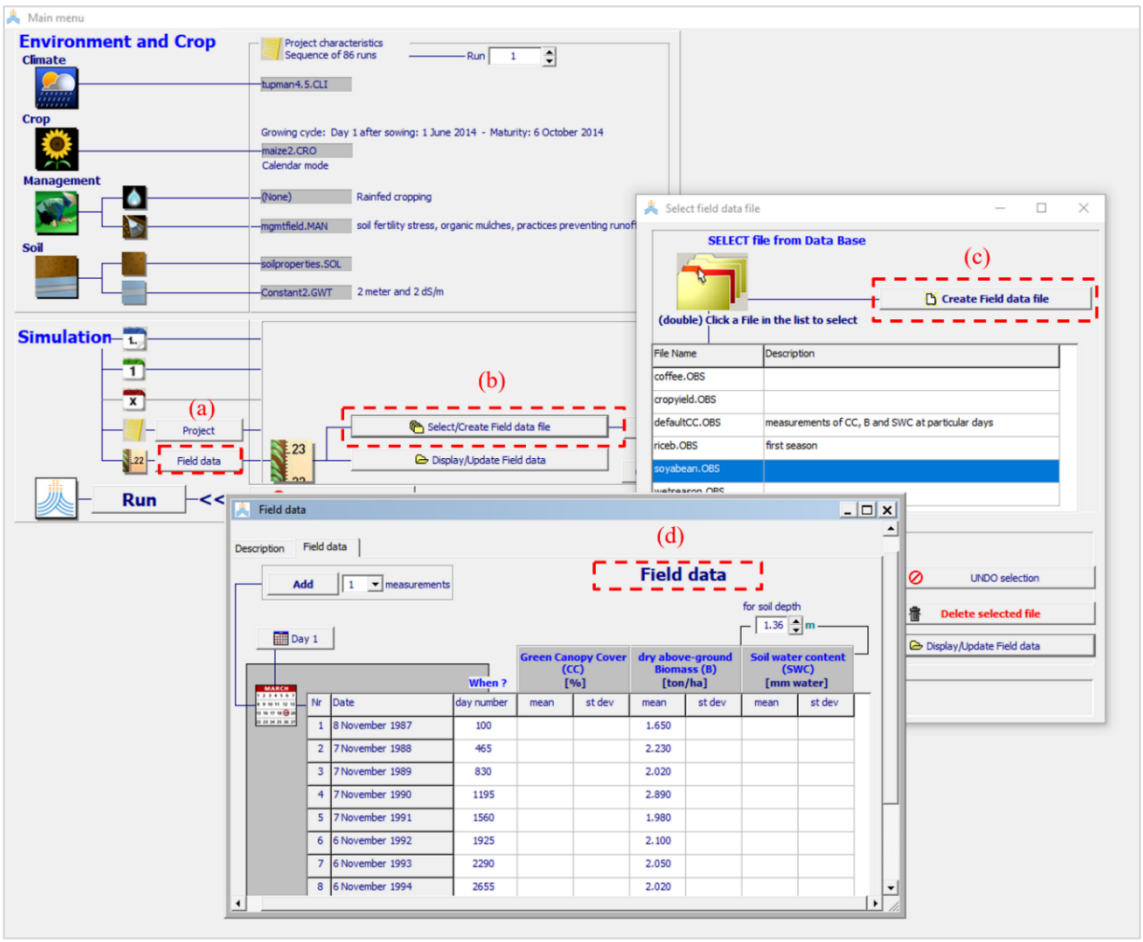


แฟ้มข้อมูลโครงการถูกเลือกจากแผงหน้าปัดการจำลองสถานการณ์ จากนั้นแฟ้มข้อมูลโครงการจะถูกสร้างขึ้นโดยการเลือกคำสั่ง <Create project file> ในเมนูเลือกแฟ้มข้อมูลโครงการ หลังจากเลือกคำสั่ง <Create project file> เมนูสร้างโครงการจะปรากฏขึ้นโดยที่ผู้ใช้สามารถเลือกการจำลองสถานการณ์ครั้งเดียวหรือหลายครั้งได้ ในกรณีของโครงการที่ดำเนินการหลายครั้ง ซึ่งประกอบด้วยการจำลองสถานการณ์ซ้ำในช่วงหลายปีติดต่อกัน จำนวนปี (ตามข้อมูลที่มีอยู่ในแฟ้มข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่เลือก) จะแสดงที่ด้านบนของเมนู ด้วยปุ่มหมุนจำนวนปี (ชุดของการจำลองการทำงาน) สามารถเปลี่ยนแปลงได้ (รูปที่ 23). หลังจากนั้นก็คลิกปุ่มซึ่งจะสร้างแฟ้มข้อมูลโครงการที่มีนามสกุล .PRO

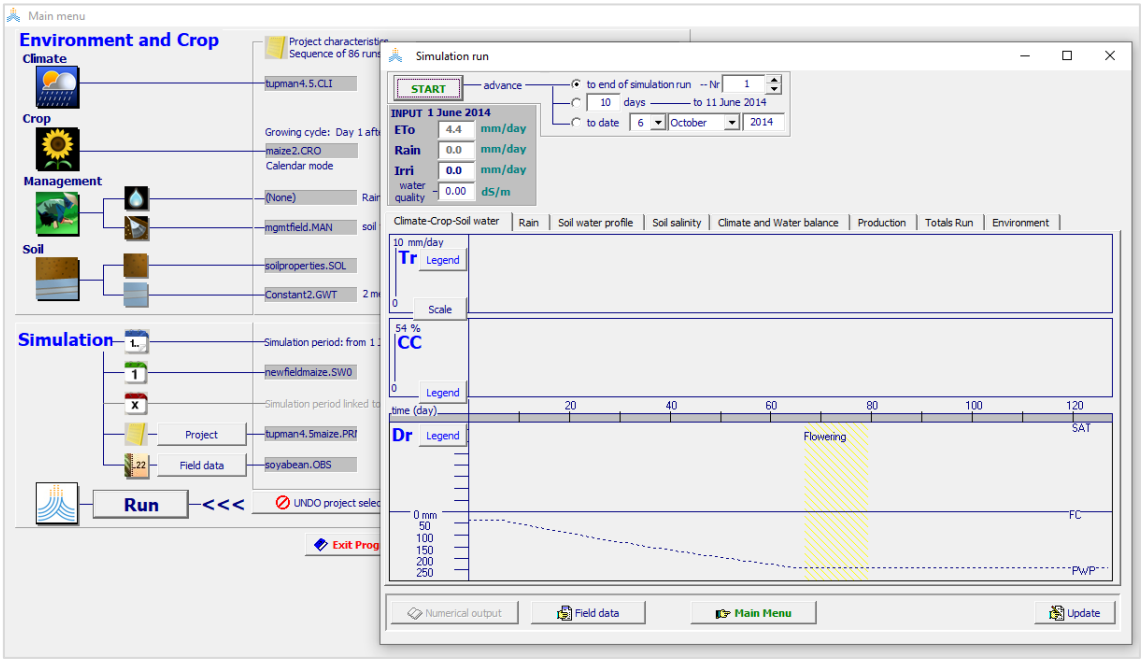
การใช้งาน AquaCrop ในโหมดโครงการ

เมื่อโหลดแฟ้มข้อมูลโครงการแล้ว ก็สามารถให้ข้อมูลของไร่นาได้ เช่น ชีวมวลที่มี ข้อมูลพื้นที่ปกคลุมของเรือนยอด ข้อมูลผลผลิตพืชผล ถ้าไม่มีข้อมูลที่เก็บจากภาคสนามก็สามารถสร้างข้อมูลจากแบบจำลองได้ (รูปที่ 24) ในการเริ่มต้นจำลองสถานการณ์ ผู้ใช้สามารถคลิกคำสั่ง Run ซึ่งอยู่ใต้ส่วนต่อประสานที่เชื่อมโยงกับแบบจำลอง (model interface) เมื่อคลิกปุ่มเรียกใช้ กล่องโต้ตอบการเรียกใช้การจำลองสถานการณ์จะปรากฏขึ้น (รูปที่ 24) กล่องโต้ตอบนี้จะแสดงข้อมูลนำเข้าของสภาพภูมิอากาศ และสามารถปรับเวลาในการสิ้นสุดการจำลองสถานการณ์ได้ หลังจากตรวจสอบเวลาแล้ว ก็สามารถคลิกคำสั่ง start และรอให้การจำลองสถานการณ์สิ้นสุด

รูปที่ 24: (a) เลือก field data, (b) เลือกคำสั่ง Select/Create field data file, (c) เลือก Create field data file, (d) แฟ้มข้อมูล Field data สามารถกรอกข้อมูลตามวันที่และปี



รูปที่ 25: (a) คลิกคำสั่ง Run (b) ปรับแก้เวลาสิ้นสุดของการจำลองสถานการณ์ และ (c) คลิกคำสั่ง Start เพื่อจำลองสถานการณ์จากแบบจำลอง



11.12.7 การสอบเทียบแบบจำลอง

แบบจำลอง AquaCrop จะสอบเทียบ (calibrate) บนพื้นฐานของการลองผิดลองถูก (trial-and-error) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ดิน พืชผล และการจัดการ จะถูกระบุในระหว่างการสอบเทียบ พร้อมกับค่าที่สังเกตได้จริง เช่น ผลผลิตพืช ปริมาณน้ำในดิน และดัชนีพื้นที่ใบ (อัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก Leave Area Index) พารามิเตอร์ของแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชจะได้รับการปรับด้วยตนเองจนกว่าจะได้ค่าที่ใกล้เคียงที่สุดระหว่างค่าจากการจำลองและค่าที่สังเกตได้ของผลผลิตพืช ปริมาณน้ำในดิน และดัชนีพื้นที่ใบ พารามิเตอร์ทั่วไปของแบบจำลอง AquaCrop ที่จะได้รับการฝึกเรียนรู้ในระหว่างการสอบเทียบมีระบุไว้ใน ตารางที่ 11

11.12.8 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้อง (validation) ของแบบจำลอง AquaCrop คือ การทดสอบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพืชผลที่มีการปรับเทียบด้วยพารามิเตอร์ที่ปรับให้เหมาะสมที่สุด ผลผลิตพืชผลที่สังเกตได้ ดัชนีพื้นที่ใบ และปริมาณน้ำในดิน ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองผ่านการเปรียบเทียบค่าจำลองและค่าที่สังเกตได้ หลังจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้ว แบบจำลองที่ปรับเทียบ/ตรวจสอบแล้วจะถูกใช้สำหรับการคาดการณ์ผลผลิตพืชผลในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความพร้อมใช้ของน้ำ และสถานการณ์การจัดการอื่น ๆ

ตารางที่ 11: พารามิเตอร์ของแบบจำลอง AquaCrop

สัญญลักษณ์	รายละเอียดพารามิเตอร์	หน่วย	ปรเภท
T_{base}	ค่าอุณหภูมิพื้นฐาน (Base Temperature)	°C	Conservative
T_{upper}	อุณหภูมิช่วงบน (Upper Temperature)	°C	Conservative
CC_0	ผิวดินปกคลุมด้วยต้นกล้าแต่ละต้นเมื่องอกขึ้นมา 90%	ตร.ซม./ต้น	Conservative
	จำนวนต้นพืชต่อเฮคแตร์	-	Management
	ระยะเวลาตั้งแต่หว่านจนถึงงอก (Growing Degree Day หรือ วันที่มีค่าอุณหภูมิสะสมที่เหมาะกับการเติบโตของพืช)	วัน	Management
CGC	ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของเรือนยอด (เศษส่วนต่อวันที่มีค่าอุณหภูมิสะสมที่เหมาะกับการเติบโตของพืช)	-	Conservative
CC_x	ค่าการปกคลุมเรือนยอดสูงสุด	ร้อยละ	Management
	ช่วงเวลาตั้งแต่หว่านพืชจนถึงพืชเริ่มหมดอายุ	วัน	Cultivar
CDC	ค่าสัมประสิทธิการลดลงของเรือนยอด (เศษส่วนต่อวันที่มีค่าอุณหภูมิสะสมที่เหมาะกับการเติบโตของพืช)	วัน	Conservative
	ระยะตั้งแต่การหว่านจนถึงการแก่เต็มที่/ความยาวของระยะเวลาวงจรการเจริญเติบโต (เศษส่วนต่อวันที่มีค่าอุณหภูมิสะสมที่เหมาะกับการเติบโตของพืช)	วัน	Cultivar
	เวลาจากการหว่านถึงออกดอก (วันที่มีค่าอุณหภูมิสะสมที่เหมาะกับการเติบโตของพืช)	วัน	Cultivar
	ความยาวของช่วงเวลาออกดอก (วันที่มีค่าอุณหภูมิสะสมที่เหมาะกับการเติบโตของพืช)	วัน	Cultivar
Z_n	ค่าต่ำสุดของประสิทธิภาพการหยั่งลึกของรากพืช	เมตร	Management
Z_x	ค่าสูงสุดของประสิทธิภาพการหยั่งลึกของรากพืช	เมตร	Management
	ปัจจัยด้านรูปร่างที่อธิบายการขยายเขตรากพืช	-	Conservative
$KC_{Tr,x}$	ค่าสัมประสิทธิ์ของพืชเมื่อทรงพุ่มเรือนยอดสมบูรณ์ก่อนการหมดอายุ	-	Conservative
	การลดลงของค่าสัมประสิทธิ์พืชอันเป็นผลมาจากการขาดไนโตรเจนตามอายุ	ร้อยละต่อวัน	Conservative
	ประสิทธิภาพของทรงพุ่มเรือนยอดในการลดการระเหยของดินในช่วงปลายฤดู	-	Conservative
WP*	ผลิตภาพของการใช้น้ำที่ทำให้เป็นมาตรฐานสำหรับค่า ET_0 และ CO_2	กรัม/ตร.ม.	Conservative
	ผลิตภาพของการใช้น้ำที่ทำให้เป็นมาตรฐานสำหรับ ET_0 และ CO_2 ระหว่างการเติบโตเพื่อสร้างผลผลิต (เป็น ร้อยละของ WP* ก่อนการเกิดผลผลิต)	ร้อยละ	Conservative

สัญญลักษณ์	รายละเอียดพารามีเตอร์	หน่วย	ปรเภท
HI_0	ดัชนีอ้างอิงการเก็บเกี่ยว	ร้อยละ	Cultivar
	ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวที่อาจจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเครียดของน้ำก่อนการออกดอก	ร้อยละ	Conservative
	การติดผลที่มากเกินไป (Excess of potential fruits)	ร้อยละ	Conservative
	ค่าสัมประสิทธิ์ที่อธิบายผลกระทบเชิงบวกของพืชที่ถูกจำกัดการเจริญเติบโตระหว่างการเติบโตเพื่อสร้างผลผลิตบนดัชนีเก็บเกี่ยว		Conservative
	ค่าสัมประสิทธิ์ที่อธิบายผลกระทบด้านลบของการปิดปากใบระหว่างการเติบโตเพื่อสร้างผลผลิตบนดัชนีเก็บเกี่ยว		Conservative
	ค่าเพิ่มสูงสุดที่จะเป็นไปได้ของดัชนีเก็บเกี่ยวที่ระบุเป็นการเฉพาะ	ร้อยละ	Conservative

12. ความสามารถในการปรับตัว

ความสามารถในการปรับตัว (A) คือความสามารถของระบบในการฟื้นฟูจากภัยพิบัติและภัยอันตราย ในบริบทของผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเกษตรในพื้นที่สูง ความสามารถในการปรับตัวเป็นเรื่องเกี่ยวกับการที่เกษตรกรสามารถรับมือกับสภาวะที่ไม่พึงประสงค์อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาพของภัยอันตรายจากสภาพภูมิอากาศในพื้นที่สูงได้ดีเพียงใด มีหลายปัจจัยที่ถือได้ว่าเป็นความคืบหน้าในความสามารถในการปรับตัว ซึ่งรวมถึงขนาดการถือครองที่ดิน อัตราการจ้างงาน ความพร้อมของสินเชื่อ อัตราการรู้หนังสือ เป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้น รายการตัวชี้วัดที่แสดงอยู่ในตารางที่ 12.

ตารางที่ 12: ตัวชี้วัดที่ได้มาจากการทบทวนดัชนีความสามารถในการปรับตัวและความสัมพันธ์เชิงหน้าที่กับความเปราะบางทางการเกษตร

ดัชนี	ตัวชี้วัด (หน่วย)	การคำนวณ	ความสัมพันธ์	อ้างอิง
AC1	ขนาดการถือครองที่ดิน (ไร่/ครัวเรือน)^	พื้นที่การถือครองที่ดิน/จำนวนครัวเรือน	เชิงลบ	Gbetibouo et al. (2010); Wiréhn et al. (2015)
AC2	อัตราการจ้างงาน (% ของผู้ตอบแบบประเมินที่ถูกจ้างงาน)	จำนวนผู้ตอบแบบประเมินที่ถูกจ้างงาน/จำนวนผู้ตอบแบบประเมินทั้งหมด *100	เชิงลบ	Gbetibouo et al. (2010)
AC3	ความพร้อมของสินเชื่อ (% ของผู้ตอบแบบประเมินที่เชื่อว่าสามารถจะหาสินเชื่อได้)	จำนวนผู้ตอบแบบประเมินที่เชื่อว่าสามารถจะหาสินเชื่อได้/จำนวนผู้ตอบแบบประเมินทั้งหมด *100	เชิงลบ	Gbetibouo et al. (2010)
AC4	สัดส่วนค่ามัธยฐานของรายได้จากนอกภาคการเกษตรต่อรายได้ทั้งหมด (%)	ค่ามัธยฐานรายได้จากนอกภาคการเกษตรของครัวเรือน/ค่าเฉลี่ยของรายได้ครัวเรือน *100	เชิงลบ	Gbetibouo et al. (2010)
AC5	ระดับการศึกษา (% ของผู้ตอบแบบประเมินที่มีการศึกษาสูงกว่าระดับประถมศึกษา)	จำนวนผู้ตอบแบบประเมินที่มีการศึกษาสูงกว่าระดับประถมศึกษา/จำนวนผู้ตอบแบบประเมินทั้งหมด *100	เชิงลบ	KC et al. (2015)
AC6	ความหนาแน่นของปศุสัตว์ (จำนวนปศุสัตว์/ครัวเรือน)^	จำนวนปศุสัตว์/จำนวนครัวเรือนที่เลี้ยงปศุสัตว์	เชิงลบ	

ดัชนี	ตัวชี้วัด (หน่วย)	การคำนวณ	ความสัมพันธ์	อ้างอิง
AC7	ค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากบ้านไปตลาดขายสินค้า (บาท/ไร่)*	ค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากบ้านไปตลาดขายสินค้า/ /พื้นที่ที่สามารถใช้เพื่อการเพาะปลูก	เชิงบวก	

^ : ขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดได้รับการประเมินจากการสำรวจพื้นฐาน

* : ขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดได้รับการประเมินตามค่าตัวชี้วัดทั้งหน่วยการวิเคราะห์ทั้งหมด (หมู่บ้าน) ในช่วงระยะเวลาตามข้อมูลพื้นฐานและในอนาคต

12.1 ขนาดการถือครองที่ดิน

ขนาดการถือครองที่ดิน มีความเชื่อมโยงโดยตรงกับความสามารถในการปรับตัวของเกษตรกร เมื่อขนาดของพื้นที่ถือครองเพิ่มขึ้น ความสามารถในการปรับตัวของเกษตรกรก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน เกษตรกรผู้ถือครองที่ดินรายใหญ่มีความสามารถในการปรับตัวต่อสภาวะที่เลวร้าย

12.2 อัตราการจ้างงาน

ยิ่งคนในครัวเรือนมีงานทำมากเท่าไร ก็ยิ่งมีแนวโน้มปรับตัวเข้ากับสภาวะที่เลวร้ายมากขึ้นเท่านั้น เนื่องจากความจำเป็นในการช่วยเหลือสมาชิกคนอื่น ๆ ในครัวเรือนมีน้อยลง

12.3 ความพร้อมของสินเชื่อ

ความพร้อมของสินเชื่อเปิดโอกาสหลายประการ เช่น การทำกิจการใหม่ในธุรกิจ องค์กร ธุรกิจการเกษตร และกิจกรรมนอกภาคเกษตรกรรม ดังนั้นสินเชื่อจึงเป็นสิ่งสำคัญของความสามารถในการปรับตัว

12.4 สัดส่วนค่ามัธยฐานของรายได้เฉลี่ยนอกภาคการเกษตรต่อรายได้ทั้งหมด

รายได้นอกภาคการเกษตร คือแหล่งรายได้ทางเลือกที่ได้มาจากกิจกรรมนอกภาคเกษตรกรรม มีบทบาทสำคัญในการดำรงชีพของครัวเรือนอย่างยั่งยืนเมื่อรายได้ของเกษตรกรไม่เพียงพอที่ดำรงชีวิตอยู่ในสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวย

12.5 ระดับการศึกษา

ระดับการศึกษาของเกษตรกรและชุมชนเกษตรกรรมจะยกระดับความเข้าใจเกี่ยวกับวัฏจักรสภาพภูมิอากาศ การคาดการณ์ปริมาณน้ำฝน การเลือกปลูกพืชผลตามสภาพภูมิอากาศที่คาดการณ์ไว้ ซึ่งช่วยให้เกษตรกรเอาชนะและปรับตัวเข้ากับสภาวะที่เลวร้ายได้ การใช้เทคโนโลยีและการนำเทคโนโลยีขั้นสูงมาใช้มีส่วนช่วยอย่างมากในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศสุดขั้วที่คาดการณ์ไว้ เช่น ภัยอันตรายจากความแห้งแล้ง

12.6 ความหนาแน่นของปศุสัตว์

ปศุสัตว์เป็นส่วนหนึ่งของระบบเกษตรกรรม เกษตรกรที่มีปศุสัตว์สามารถใช้ผลพลอยได้ เช่น ปุ๋ยคอก ในไร่นาของตน ในขณะที่ผลพลอยได้จากไร่นา เช่น ฟางข้าว สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ สิ่งนี้ทำให้เกิดวงจรที่เรียกว่า แนวทางการทำเกษตรแบบ

บูรณาการ โดยที่ทั้งสองระบบถูกรวมเป็นหนึ่งเดียวเพื่อใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด ดังนั้น นอกจากแหล่งรายได้ทางเลือกแล้ว ปศุสัตว์ยังช่วยลดความเปราะบางต่อระบบการเกษตรที่มีต่อภัยอันตรายจากสภาพภูมิอากาศอีกด้วย

12.7 ค่าใช้จ่ายในการคมนาคมขนส่ง

นอกจากต้นทุนการผลิตแล้ว ต้นทุนการขนส่งสินค้าเกษตรสู่ตลาดก็เป็นอีกแหล่งหนึ่งของรายจ่ายที่สำคัญ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องไม่ละทิ้งต้นทุนการขนส่งออกจากสมการ

13. การใช้การประเมินความเปราะบางเพื่อการตัดสินใจ

13.1 การใช้ในบริบทของโครงการและนโยบาย

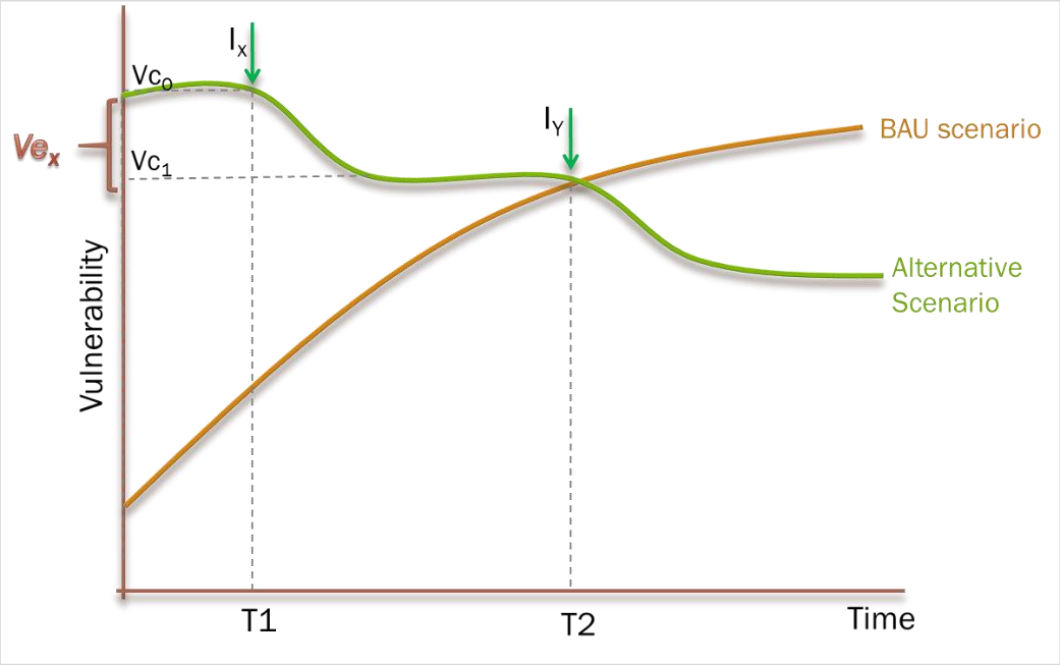
การประเมินความเปราะบาง (VAs) มีการใช้งานที่หลากหลาย การใช้งานเหล่านี้จะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาและบริบท โดย ผลลัพธ์ของ VA สามารถใช้ในการตัดสินใจทั้งในโครงการและนโยบายการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการแทรกแซงเพื่อการพัฒนาส่วนใหญ่ดำเนินการในรูปแบบของโครงการ ซึ่งโครงการมักจะมีวันที่เริ่มต้นและวันที่สิ้นสุดที่เฉพาะเจาะจง และมักจะครอบคลุมขอบเขตที่จะส่งผลและพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่แคบ โครงการมีกิจกรรมที่กำหนดไว้อย่างชัดเจนและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียระบุบทบาทและความรับผิดชอบที่ชัดเจน ในกรณีของนโยบาย แม้ว่านโยบายอาจมีระยะเวลาที่กำหนด แต่นโยบายมักไม่ได้ถูกกำหนดไว้อย่างชัดเจนเท่ากับโครงการ เนื่องจากมีแนวโน้มที่จะครอบคลุมระยะเวลาที่นานกว่า และครอบคลุมขอบเขตที่จะส่งผลที่กว้างกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโครงการ บ่อยครั้งที่นโยบายกำหนดลักษณะและขอบเขตของโครงการที่ดำเนินการ การประเมินความเปราะบาง (Vas) .,ช่วยโครงการในลักษณะดังต่อไปนี้:

(1) ช่วยจัดลำดับความสำคัญของโครงการที่ให้ผลลัพธ์การลดความเปราะบางที่ดีกว่าโครงการอื่น ๆ
(2) ช่วยออกแบบโครงการให้ดีขึ้น เพื่อกำหนดเป้าหมายส่วนที่เปราะบางที่สุดของสังคมได้ดียิ่งขึ้น
(3) ช่วยให้ดำเนินโครงการได้ดียิ่งขึ้นในแง่ของการติดตามและประเมินความก้าวหน้าของโครงการ ผลผลิต และผลลัพธ์
(4) ช่วยบริหารโครงการโดยทำหน้าที่เป็นตัวชี้วัดการปรับตัวเพื่อให้หน่วยงานที่ดำเนินโครงการ สามารถติดตามความก้าวหน้าในการปรับตัวได้

เนื่องจากมีความสนใจอย่างมากเกี่ยวกับความจำเป็นในการใช้ตัวชี้วัดของการปรับตัว จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจว่า VAs สามารถทำหน้าที่เป็นตัวชี้วัดในการประเมินประสิทธิผลของการดำเนินการปรับตัวได้อย่างไร

รูปที่ 26 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบอย่างง่ายเกี่ยวกับการใช้การประเมินความเปราะบางเพื่อประเมินการแทรกแซงการปรับตัว ตามแนวทางนี้ VAs ที่ดำเนินการในช่วงเวลาปกติระหว่างและหลังการดำเนินโครงการจะให้ตัวชี้วัดเพื่อประเมินว่าการแทรกแซงในการปรับตัวนำไปสู่การเพิ่มหรือลดช่องโหว่โดยรวมที่ประเมินในพื้นที่โครงการหรือไม่

รูปที่ 26: การใช้ความเปราะบางเป็นตัวชี้วัดเพื่อประเมินการแทรกแซงการปรับตัว (ที่มา: ผู้เขียน)



ประสิทธิผลของการลดความเปราะบาง (Vulnerability Reduction Effectiveness: Vex) สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$Ve_x = Vc_1 - Vc_0 \quad (26)$$

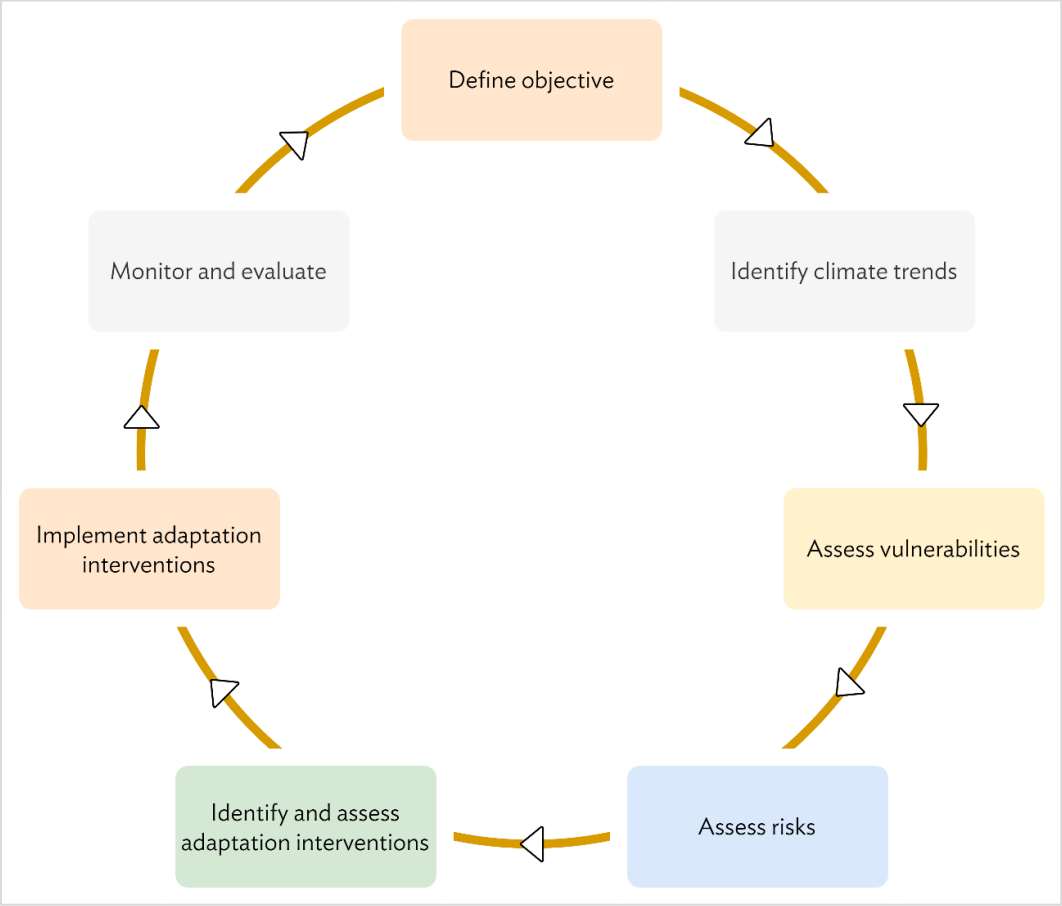
โดยที่ Ve_X คือประสิทธิผลของการดำเนินการปรับตัว x; Vc_0 และ Vc_1 คือการประเมินความเปราะบางในเวลาที่ T_1 และ T_2 ค่า I_X, I_Y แสดงถึงการแทรกแซง x และ y ที่ดำเนินการในเวลาที่ T_1 และ T_2

13.2 การใช้วางแผนการปรับตัวด้านเกษตรกรรม

นอกเหนือจากการประยุกต์ใช้ในบริบทของโครงการและนโยบายที่แตกต่างกันแล้ว การวางแผนการปรับตัวก็เป็นอีกประเด็นสำคัญที่สามารถใช้การประเมินความเปราะบาง (VA) ได้ เพื่อจุดประสงค์ในการอธิบาย การประยุกต์ใช้ VA ในการวางแผนการปรับตัวบนฐานของชุมชนมีวงจรในการวางแผนการปรับตัวดังแสดงอยู่ใน รูปที่ 27

แผนการปรับตัวบนฐานชุมชนสามารถเข้าใจได้ว่าเป็นแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ออกแบบโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน และดำเนินการในระดับชุมชนโดยชุมชนและเพื่อประโยชน์ของชุมชน แผนการปรับตัวจะใช้ชุมชนเป็นศูนย์กลางด้วยแนวทางการปรับตัวบนฐานของชุมชน (Community-Based Adaptation: CBA) แนวทาง CBA ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลหลายประการ เหตุผลสำคัญที่สุดคือ ชุมชนเป็นกลุ่มที่ได้รับผลกระทบด้านสภาพภูมิอากาศเป็นอันดับแรก ซึ่งแนวทางนี้ได้รับมาจากสาขาวิชาด้านการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติ ซึ่งแผนการจัดการความเสี่ยงจากภัยพิบัติบนฐานของชุมชน (Community-Based Disaster Risk Management) จะเข้าไปเกี่ยวข้องค่อนข้างมากก่อนที่การวางแผน CBA จะให้ผลลัพธ์ที่เป็นประโยชน์ในการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติในระดับชุมชน

รูปที่ 27: วงจรการวางแผนการปรับตัวบนฐานของชุมชน (ที่มา: ผู้เขียน)



แผน CBA มีจุดแข็งจากการที่ชุมชนจะเข้าใจในจุดอ่อนและขีดความสามารถของตนมากกว่าผู้มีส่วนร่วมจากภายนอกชุมชน ในสังคมที่เน้นทรัพยากรธรรมชาติส่วนใหญ่ ชุมชนยังเป็นผู้ดูแลรักษาทรัพยากรในท้องถิ่น รวมถึงทรัพยากรธรรมชาติด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่ได้รับการพิสูจน์อย่างกว้างขวางแล้วว่า การเข้าถึงทรัพยากรธรรมชาติในท้องถิ่นเป็นองค์ประกอบสำคัญของความยืดหยุ่นของชุมชนและการลดความเสี่ยงในระยะยาว เนื่องจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลบั่นทอนทรัพยากรธรรมชาติในท้องถิ่น ตลอดจนชุมชนที่ต้องพึ่งพาการดำรงชีวิตและความเป็นอยู่ที่ดี

ส่วนสำคัญของแผน CBA ยังเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของการตอบสนองที่ตามมาของภัยอันตรายจากสภาพภูมิอากาศอีกด้วย เนื่องจากชุมชนเป็นผู้เผชิญเหตุเบื้องต้นโดยการอยู่ในพื้นที่ และรู้สึกถึงผลกระทบจากเหตุการณ์จากสภาพภูมิอากาศ จึงสมเหตุสมผลที่จะเพิ่มขีดความสามารถของชุมชนเพื่อให้สามารถบรรเทาความสูญเสียและความเสียหายได้ดีก่อนที่การสนับสนุนจากภายนอกจะมาถึง ด้วยเหตุนี้ แผน CBA จึงช่วยให้หน่วยงานท้องถิ่นมุ่งเน้นไปที่ความพยายามในการลดความเสี่ยงในระยะยาวได้มากกว่าการมุ่งเน้นไปที่มาตรการบรรเทาทุกข์ในทันทีเฉพาะหน้า สิ่งนี้จะช่วยลดภาระของรัฐบาลและช่วยมุ่งเน้นความพยายามในการลดความเสี่ยง

วงจรการวางแผน CBA เป็นกระบวนการแบบมีส่วนร่วมที่หลากหลาย ซึ่งมีเทคนิคการมีส่วนร่วมหลายประการ (ตารางที่ 13) การสนทนากลุ่ม (Focus Group) ที่มุ่งเน้นในกลุ่มเฉพาะ การทำเมทริกซ์ผลกระทบจากภัยอันตราย (Hazard Impacts Matrix) การทำแผนที่ภัยอันตราย (Hazard Mapping) การจัดเรียงลำดับปัญหา การจัดอันดับอย่างง่าย ปฏิทินตามฤดูกาล

และ เมทริกซ์ของความเปราะบางและขีดความสามารถ ล้วนแล้วแต่มีความสำคัญในการเป็นเครื่องมือประเมินชนบทแบบมีส่วนร่วม (PRA) ทั้งสิ้น

ตารางที่ 13: เครื่องมือการประเมินชนบทแบบมีส่วนร่วม (Participatory Rural Appraisal) ที่ใช้ในกระบวนการ CBA

แผนที่การสื่อสาร (Communication Map)	การเรียงลำดับปัญหา/ความชอบ (Problem/Preference Ranking)
การวิเคราะห์ผลกระทบแบบไขว้ (Cross Impacts Analysis)	ปฏิทินฝน (Rain calendars)
การสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion)	การเรียงลำดับ (Ranking)
การตรวจสอบประเด็นความเสมอภาคระหว่างเพศ (Gender audit) (สถาบัน)	แผนที่ทรัพยากร (Resource maps)
การวิเคราะห์ประเด็นความเสมอภาคทางเพศ (Gender Analysis)	ปฏิทินฤดูกาล (Seasonal calendar)
เมทริกซ์ผลกระทบจากภัยอันตรายต่อการดำรงชีวิต (Hazard impact on livelihood matrix)	แผนที่สังคม (Social maps)
แผนที่ภัยอันตราย (Hazard Mapping)	การเดินสำรวจชุมชนแบบตัดผ่าน (Transect walks)
การวิเคราะห์แนวโน้มภัยอันตราย (Hazard Trend Analysis)	แผนภาพเวนน์ (Venn diagrams)
แบบจำลองความคิด (Mental models)	เมทริกซ์ความเปราะบางและขีดความสามารถ
การพัฒนาสถานการณ์แบบมีส่วนร่วม (Participatory Scenario Development)	การจัดอันดับความมั่งคั่ง (Wealth ranking)
แผนที่ผู้ที่มีพลังหรืออิทธิพลในชุมชน (Power mapping)	

กระบวนการวางแผน CBA โดยทั่วไปสามารถเห็นภาพเป็นกระบวนการห้าขั้นตอนที่เริ่มต้นด้วยการระบุชุมชนตามปัจจัยต่าง ๆ ที่แสดงใน รูปที่ 28

ปัจจัยเหล่านี้บางประการ ได้แก่ สภาพภูมิอากาศในอดีตและลักษณะของภัยอันตรายจากสภาพภูมิอากาศ ลักษณะประชากร รวมถึงอายุ กลุ่มชนพื้นเมือง และกลุ่มเพศ และลักษณะเฉพาะ เช่น ความยากจน และลักษณะของโครงสร้างพื้นฐานในปัจจุบัน กระบวนการวางแผน CBA ส่วนใหญ่ถูกขัดขวางโดยปัจจัยการเข้าถึงทางกายภาพของพื้นที่ ดังนั้นการเข้าถึงจึงมีบทบาทสำคัญเช่นกัน เมื่อทราบชุมชนที่จะดำเนินการ CBA แล้ว กระบวนการต่อมาเกี่ยวข้องกับการรู้จักชุมชนในลักษณะต่าง ๆ โดยละเอียด การเข้าไปมีส่วนร่วมของชุมชนอย่างใกล้ชิดเป็นสิ่งจำเป็นในการทำความเข้าใจชุมชนอย่างละเอียด และสามารถทำได้ผ่านการประชุมแบบไม่เป็นทางการหลาย ๆ ครั้ง ลักษณะสำคัญบางประการของชุมชนที่ต้องการรายละเอียด ได้แก่ ความเป็นอยู่ของชุมชน การดำรงชีวิตในช่วงเวลาต่าง ๆ การแบ่งความรับผิดชอบระหว่างสมาชิกในชุมชน ลักษณะเชิงพื้นที่ของหมู่บ้าน เช่น พื้นที่ราบลุ่ม และภาพรวมทางเศรษฐกิจและสังคมของส่วนที่มีความเปราะบางของชุมชน เช่น กลุ่มชาติพันธุ์ สตรี เด็ก และผู้สูงอายุ

รูปที่ 28: ลำดับขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวางแผน CBA

แม้ว่าขั้นตอนที่นำเสนอในส่วนภัยอันตราย ความอ่อนไหว ความสามารถ และการประเมินความเปราะบาง จะให้รายละเอียดทางเทคนิคในการดำเนินการ VA กระบวนการ แต่ CBA จะรวมกระบวนการเพิ่มเติมบางอย่างเพื่อใช้ผลลัพธ์ VA ที่ได้รับก่อนหน้านี้ กระบวนการเหล่านี้จะช่วยผสมผสานผลลัพธ์ของ VA ที่ได้รับก่อนหน้านี้ และอาจช่วยปรับปรุงผลลัพธ์ VA ผ่านการทบทวนแบบมีส่วนร่วม สำหรับกระบวนการ CBA เกี่ยวข้องกับขั้นตอนต่าง ๆ เช่น การจัดอันดับภัยอันตราย การทำแผนที่ภัยอันตรายภายในชุมชน การระบุความเปราะบางเฉพาะและขีดความสามารถโดยใช้เมทริกซ์ เป็นต้น เมื่อระบุความเปราะบางได้แล้ว สมาชิกของชุมชนสามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์เหล่านี้กับผลลัพธ์ที่ VA นำเสนอจากการวิเคราะห์ทางเทคนิค ผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่แนะนำให้มีการตรวจสอบผลลัพธ์ของ VA ในลักษณะที่มีส่วนร่วม ก่อนที่จะนำเสนอเพื่อวัตถุประสงค์ในการวางแผน CBA สิ่งสำคัญประการหนึ่งของการวางแผน CBA ในขั้นตอนนี้คือ การอำนวยความสะดวกในการอภิปรายแลกเปลี่ยนระหว่างสมาชิกชุมชนเกี่ยวกับความเปราะบางที่จำเป็นต้องได้รับการจัดลำดับความสำคัญจากความเปราะบางต่าง ๆ ที่ได้รับการประเมินและระบุไว้ สมาชิกชุมชนอาจต้องการระบุความเสี่ยงบางประการที่ต้องจัดการตามลำดับความสำคัญเนื่องจากการลด

ความเสี่ยงเกี่ยวข้องกับการใช้ทรัพยากรของชุมชน ในขั้นตอนนี้สมาชิกของชุมชนอาจหารือด้วยว่าทรัพยากรใดบ้างที่มีอยู่ในชุมชนที่สามารถนำมาใช้ได้ทันทีเพื่อดำเนินโครงการเพื่อริเริ่มการลดความเสี่ยงให้เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิผล

14. เอกสารอ้างอิง

Abatzoglou, J.T., S.Z. Dobrowski, S.A. Parks, K.C. Hegewisch, 2018, Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015, Scientific Data,

Fischer, G., F. Nachtergaele, S. Prieler, H.T. van Velthuizen, L. Verelst, D. Wiberg, 2008. Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.

Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University. 2018. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). https://doi.org/10.7927/H49C6VHW. Accessed 06 May 2022

Bhatia, S. S. (1965). Patterns of Crop Concentration and Diversification in India. Economic Geography, 41(1), 39. https://doi.org/10.2307/141855

Brien, K. O., Aandahl, G., Orderud, G., & Sethis, B. (2003). Vulnerability mapping – a starting point for climate dialogue. 2003(5), 12–17.

Duong, H. H., Thuc, T., & Ribbe, L. (2017). Assessing and Calculating a Climate Change Vulnerability Index for Agriculture Production in the Red River Delta, Vietnam. In Redefining Diversity and Dynamics of Natural Resources Management in Asia (Vol. 2). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805453-6.00003-6

Gbetibouo, G. A., Ringler, C., & Hassan, R. (2010). Vulnerability of the South African farming sector to climate change and variability: An indicator approach. Natural Resources Forum, 34(3), 175–187. https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2010.01302.x

Hagenlocher, M., Schneiderbauer, S., Sebesvari, Z., Bertram, M., Renner, K., Renaud, F., Wiley, H., & Zebisch, M. (2018). Climate Risk Assessment for Ecosystem-based Adaptation. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Jamshidi, O., Asadi, A., Kalantari, K., Azadi, H., & Scheffran, J. (2019). Vulnerablity to climate change of smallholder farmers in the Hamadan province, Iran. Climate Risk Management, 23(June 2018), 146–159. https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.06.002

KC, B., Shepherd, J. M., & Gaither, C. J. (2015). Climate change vulnerability assessment in Georgia. Applied Geography, 62, 62–74. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.04.007

Marshall, N.A., P.A. Marshall, J. Tamelander, D. Obura, D. Malleret-King, and J.E. Cinner. 2010. A Framework for Social Adaptation to Climate Change. IUCN Climate Change and Coral Reefs Working Group, Switzerland: IUCN, 44. https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2010-022.pdf.

Neset, T. S., Wiréhn, L., Opach, T., Glaas, E., & Linnér, B. O. (2019). Evaluation of indicators for agricultural vulnerability to climate change: The case of Swedish agriculture. Ecological Indicators, 105(April), 571–580. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.042

Parker, L., Bourgoin, C., Martinez-Valle, A., & Läderach, P. (2019). Vulnerability of the agricultural sector to climate change: The development of a pan-tropical Climate Risk Vulnerability Assessment to inform sub-national decision making. PLoS ONE, 14(3), 1–25. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213641

Swami, D., & Parthasarathy, D. (2021). Dynamics of exposure, Sensitivity, and agricultural Vulnerability at district scale for Maharashtra, India. Ecological Indicators, 121, 107206. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107206

Tessema, I., & Simane, B. (2019). Vulnerability analysis of smallholder farmers to climate variability and change: an agro-ecological system-based approach in the Fincha'a sub-basin of the upper Blue Nile Basin of Ethiopia. Ecological Processes, 8(1). https://doi.org/10.1186/s13717-019-0159-7

Wang, B., Feng, P., Liu, D. L., & Waters, C. (2020). Modelling biophysical Vulnerability of wheat to future climate change: A case study in the eastern Australian wheat belt. Ecological Indicators, 114(January), 106290. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106290

Wiréhn, L., Danielsson, Å., & Neset, T. S. S. (2015). Assessment of composite index methods for agricultural Vulnerability to climate change. Journal of Environmental Management, 156, 70–80. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.020

Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2004). At Risk: Natural Hazard, people's vulnerability and disasters. Routledge Publisher. http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed6&NEWS=N&AN=2003372014

15. ภาคผนวก

15.1 ภาคผนวก I: อภิธานศัพท์ที่สำคัญ

คำศัพท์	รายละเอียด
การปรับตัว Adaptation	การปรับตัวในระบบธรรมชาติหรือของมนุษย์เพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าทางภูมิอากาศที่เกิดขึ้นจริง หรือที่คาดหวัง หรือผลกระทบ ซึ่งจะบรรเทาอันตรายหรือใช้ประโยชน์จากโอกาสที่เป็นประโยชน์นั้น
ความสามารถในการปรับตัว Adaptive capacity	เป็นคุณสมบัติของระบบในการปรับคุณลักษณะหรือพฤติกรรมของระบบ เพื่อขยายขอบเขตการรับมือภายใต้ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศที่มีอยู่ หรือสภาพภูมิอากาศในอนาคต
ความสามารถ Capacity	การรวมกันของลักษณะที่เป็นจุดแข็งและทรัพยากรทั้งหมดที่มีอยู่ในชุมชน สังคม หรือองค์กร ทำให้สามารถลดความเสี่ยงหรือผลกระทบของภัยพิบัติได้ (ความสามารถ อาจรวมถึงปัจจัยทางกายภาพ สถาบัน สังคม หรือเศรษฐกิจ เช่นเดียวกับคุณสมบัติส่วนบุคคลหรือส่วนรวมที่มีทักษะ ความชำนาญ เช่น ความเป็นผู้นำและการจัดการ)
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ Climate change	การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีสาเหตุโดยตรงหรือโดยอ้อมมาจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของบรรยากาศโลก และนอกเหนือไปจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศตามธรรมชาติที่สังเกตได้ในช่วงเวลาที่เทียบเคียงกัน
ความสามารถในการรับมือ Coping capacity	วิธีที่ผู้คนหรือองค์กรใช้ทรัพยากรและความสามารถที่มีอยู่เพื่อเผชิญกับผลเสียที่อาจนำไปสู่ภัยพิบัติ (โดยทั่วไป สิ่งนี้เกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากร ทั้งในเวลาปกติตลอดจนในช่วงวิกฤตหรือสภาวะที่เลวร้าย การเสริมสร้างความสามารถในการรับมือมักจะสร้างความยืดหยุ่น (resilience) ในการสร้างความทนทานต่อผลกระทบของภัยอันตรายทางธรรมชาติและที่เกิดจากมนุษย์)
ภัยพิบัติ Disaster	การหยุดชะงักอย่างร้ายแรงในการทำงานของชุมชนหรือสังคม ทำให้เกิดการสูญเสียในชีวิต สิ่งของ เศรษฐกิจ หรือสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง ซึ่งเกินกว่าความสามารถของชุมชนหรือสังคมที่ได้รับผลกระทบจะจัดการได้ด้วยการใช้ทรัพยากรของตน
ความล่อแหลม Exposure	ระดับความเครียดต่อการได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศต่อหน่วยการวิเคราะห์หน่วยใดหน่วยหนึ่ง (เช่น หมู่บ้าน) อาจแสดงเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว หรือ

คำศัพท์	รายละเอียด
	การเปลี่ยนแปลงในความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ รวมถึงขนาดและความถี่ของเหตุการณ์ที่รุนแรง (การเปิดรับผลกระทบ/การเผชิญความเสี่ยง)
กระแสหลัก Mainstreaming	การบูรณาการวัตถุประสงค์ กลยุทธ์ นโยบาย มาตรการ หรือการปฏิบัติการด้านการปรับตัวจนกลายเป็นส่วนหนึ่งของนโยบาย กระบวนการ และงบประมาณการพัฒนาระดับชาติและระดับภูมิภาคในทุกระดับและทุกขั้นตอน (เช่น แผนพัฒนาการเกษตร ถือเป็นแผนกระแสหลัก)
การปรับตัวที่ไม่เหมาะสม Maladaptation	การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในระบบธรรมชาติหรือของมนุษย์ที่เพิ่มความเปราะบางต่อสิ่งกระตุ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยไม่ได้ตั้งใจ เป็นการปรับตัวที่ไม่สามารถลดความเปราะบางได้สำเร็จแต่กลับเพิ่มความความเปราะบางขึ้นแทน
ความยืดหยุ่น Resilience	ความสามารถของระบบในการทนทานต่อการรบกวนโดยไม่เปลี่ยนสถานะ หรือเป็นความสามารถในการสะท้อนกลับหลังจากการถูกรบกวน หรือเป็นความสามารถในการทนต่อการรบกวนที่เกิดขึ้นต่อระบบ (การรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ)
ความเสี่ยง Risk	เป็นผลมาจากการปฏิสัมพันธ์ (interaction) ของภัยอันตรายเชิงทางกายภาพกับคุณสมบัติของระบบที่มีความล่อแหลม เช่น ความอ่อนไหวหรือความเปราะบางทางสังคม ความเสี่ยงยังถือได้ว่าเป็นการรวมกันของเหตุการณ์ ความน่าจะเป็นของมัน และผลที่ตามมา ความเสี่ยงมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นของภัยอันตรายจากสภาพภูมิอากาศคูณด้วยความเปราะบางของระบบที่กำหนด
ความอ่อนไหว Sensitivity	ระดับที่ระบบจะได้รับผลกระทบหรือการตอบสนองต่อสิ่งเร้าทางสภาพภูมิอากาศ ความอ่อนไหว คือ ผลกระทบทางชีวฟิสิกส์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แต่ความอ่อนไหวสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคม ตัวอย่างเช่น พันธุ์พืชใหม่อาจมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไม่มากก็น้อย
ความเปราะบาง Vulnerability	ระดับที่ระบบสามารถรับรู้หรือไม่สามารถรับมือกับผลกระทบด้านลบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมถึงความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศและภาวะสุดขั้ว นอกจากนี้ ความเปราะบางยังเป็นฟังก์ชันของลักษณะ ขนาด และอัตราการแปรผันของสภาพภูมิอากาศที่ระบบมีความล่อแหลมต่อการได้รับผลกระทบ ความอ่อนไหวและความสามารถในการปรับตัวของระบบ

15.2 ภาคผนวก II: R programming language script for empirical quantile mapping

```
# THIS SCRIPT PERFORMS EMPIRICAL QUANTILE MAPPING----------------------------------------
# Since this script uses grided data from era5, 9km resolution it downscales the GCM data to same 9km
# REQUIREMENTS:
# The computer should have R program and RStudio installed
# All the libraries mentioned below should be pre-installed unless Rstudio will show a prompt

# All the files for each GCM should be in ".csv" format
        # All files should be at working directory; i.e. "D:\\data\\" refer Change point 1
        # All files should include following in filename:
# Variable name =pr, tasmax, tasmin etc.
# GCM name = "EC-Earth3", "NorESM2-MM" etc.
        # There should be a folder named "cor" within directory to save bias corrected files

# COMPILED BY: SUWAS GHIMIRE, SENIOR RESEARCH ASSOCIATE, ASIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
# DATE: 5 JUNE 2023

####    START OF THE SCRIPT     ####
# List of libraries
library(hydroTSM)
library(qmap)
library(xts)
library(hydroGOF)
library(tidyverse)

# Removes any data in the environment
rm(list = ls())

# Change Point 1: Define working directory
wd <- "D:\\data\\"
setwd(wd)
var<-c("pr")

# Generate dates
date_h<-seq.Date(as.Date("1985-01-01"),as.Date("2014-12-31"),by=1)
date_f<-seq.Date(as.Date("2015-01-01"),as.Date("2100-12-31"),by=1)
```

```
# Change Point 2: Enter the name of GCMs/RCMs as provided in the filename of data
gcm_list <- c("EC-Earth3","NorESM2-MM")
files <- list.files(path = wd,recursive = F, pattern = paste0(var,".*.csv"))


# Change Point 3: Provide pattern to detect obs data from the rest
fn_obs <- str_subset(files,"era5")

obs<-read_csv(fn_obs)
maxi <- 11*length(gcm_list)
pb=txtProgressBar(min=0, max=maxi, style = 3) # Progress bar

# This for loop selects each GCM file for QM
for (a in 1:length(gcm_list)) {
 fn_fut1 <- files[grep(paste0(var,".*.",gcm_list[a],"_ssp245"),files)]
 fn_fut2 <- files[grep(paste0(var,".*.",gcm_list[a],"_ssp585"),files)]
 fn_his <- files[grep(paste0(var,".*.",gcm_list[a],"_historical"),files)]

 his <- read_csv(fn_his)
 fut1 <- read_csv(fn_fut1)
 fut2 <- read_csv(fn_fut2)

 # Define simulated and future data in xts format
 hisx <-xts(his[,names(his)!="Date"],order.by = his[['Date']])
 fut1x<-xts(fut1[,names(fut1)!="Date"],order.by = fut1[['Date']])
 fut2x<-xts(fut2[,names(fut2)!="Date"],order.by = fut2[['Date']])
 obsx <-xts(obs[,names(obs)!="Date"],order.by = obs[['Date']])

 allcorrected_b = NULL
 allcorrected_f1 = NULL
 allcorrected_f2 = NULL

 # This for loop conducts quantile mapping for all 12 months from 0 to 11
 for(m in 0:11){
 month_obs<-obsx[.indexmon(obsx) %in% c(m)]
```

```
month_his<-hisx[.indexmon(hisx) %in% c(m)]
month_future1<-fut1x[.indexmon(fut1x) %in% c(m)]
month_future2<-fut2x[.indexmon(fut2x) %in% c(m)]

dmonth_obs<-data.frame(month_obs,row.names=NULL)
dmonth_his<-data.frame(month_his,row.names=NULL)
dmonth_future1<-data.frame(month_future1,row.names=NULL)
dmonth_future2<-data.frame(month_future2,row.names=NULL)

# Change point 7: Change the qmap functions/ settings here if you've got the know how on qmap
fitQ<-fitQmapRQUANT(dmonth_obs,dmonth_his,qstep=0.01,nboot=1,wet.day=T)
doQ_b<-doQmapRQUANT(dmonth_his,fitQ,"tricub")
doQ_f1<-doQmapRQUANT(dmonth_future1,fitQ,"tricub")
doQ_f2<-doQmapRQUANT(dmonth_future2,fitQ,"tricub")

xdata_b<-xts(doQ_b,order.by = index(month_his))
xdata_f1<-xts(doQ_f1,order.by = index(month_future1))
xdata_f2<-xts(doQ_f2,order.by = index(month_future2))

allcorrected_b <- rbind(allcorrected_b,xdata_b)
allcorrected_f1 <- rbind(allcorrected_f1,xdata_f1)
allcorrected_f2 <- rbind(allcorrected_f2,xdata_f2)


xcount <- m*a
setTxtProgressBar(pb,xcount)
}

# End of quantile mapping
his_c <- NULL
fut1_c <- NULL
fut2_c <- NULL

# Compilation of historical and future corrected data
his_c <- round(allcorrected_b,1) %>%
as.data.frame %>%
```

```
mutate(Date=index(allcorrected_b)) %>%
select(Date,everything())

fut1_c <- round(allcorrected_f1,1) %>%
as.data.frame %>%
mutate(Date=index(allcorrected_f1)) %>%
select(Date,everything())

fut2_c <- round(allcorrected_f2,1) %>%
as.data.frame %>%
mutate(Date=index(allcorrected_f2)) %>%
select(Date,everything())

# Writing output data and saving in folder “cor” within the selected directory
write.csv(his_c,paste0(wd,"cor\\",str_replace(fn_his,".csv","_cor.csv")),row.names=F)
write.csv(fut1_c,paste0(wd,"cor\\",str_replace(fn_fut1,".csv","_cor.csv")),row.names=F)
write.csv(fut2_c,paste0(wd,"cor\\",str_replace(fn_fut2,".csv","_cor.csv")),row.names=F)
}
# End of for loop for one GCM
# Next loop will conduct quantile mapping for another GCM

####     END OF EMPIRICAL QUANTILE MAPPING SCRIPT       ####
```

15.3 ภาคผนวก III: R script for SPEI, Temperature and Rainfall slopes and Crop water demand calculation

```
# THIS SCRIPT CALCULATES THE FOLLOWING:
# SIX MONTHS SPEI AND DEFINES DROUGHT AND FLOOD As PER DEFINED THRESHOLD "thres"
# MEAN ANNUAL TEMPERATURE AND RAINFALL SLOPE
# CROP WATER DEMAND

# NOTE: ALL VARIABLES ARE CALCULATED FOR BASELINE AND FUTURE PERIODS

# REQUIREMENTS:
# The computer should have R program and RStudio installed
# All the libraries mentioned below should be pre-installed unless Rstudio will show a prompt

# Input data (Change point 2)
 # Rainfall, minimum temperature and maximum temperature in “.csv” format
 # Unit of analysis shape file (here villages) in wgs projection ".shp" format
 # All files should be at working directory; i.e. “D:\\data\\" refer Change point 1
 # All input data can be at daily or monthly time step

# COMPILED BY: SUWAS GHIMIRE, SENIOR RESEARCH ASSOCIATE, ASIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
# DATE: 5 JUNE 2023

####     START OF THE SCRIPT                ####

# Import libraries ------------------------------------------------------------
library(tidyverse)
library(xts)
library(lubridate)
library(sf)
library(sp)
library(SPEI)
rm(list=ls())


# Change point 1: Define working directory ------------------------------------
```

```
wd <- "I:/suwas/nan/Station_analysis/"
setwd(wd)
thres <- 1.5

# Change point 2: Import input data ------------------------------------------
rain = read.csv("gcms_villages_fut_new/pr_Ensemble_ssp245.csv")
tmin = read.csv("gcms_villages_fut_new/tmin_ensemble_ssp245.csv")
tmax = read.csv("gcms_villages_fut_new/tmax_ensemble_ssp245.csv")
centroid <- read_sf("shapefiles/centroid_villages_new_2018_wgs.shp")
basin <- read_sf("shapefiles/Villages_wgs.shp")


# Define centroid of unit of analysis ----------------------------------------
centroid <- centroid %>% subset(subset=LUL1_CODE=="A")
centroid_df <- data.frame(centroid, sf::st_coordinates(centroid)[,1:2])
names(centroid_df) <- str_to_lower(names(centroid_df))
centroid_df <- centroid_df[order(centroid_df$village_no,decreasing = F),]

str(centroid_df)
plot(basin$geometry)
plot(centroid$geometry,add=T)


# Convert daily data to monthly-----------------------------------------------
names(rain) <- str_to_lower(names(rain))
names(tmin) <- str_to_lower(names(tmin))
names(tmax) <- str_to_lower(names(tmax))

date <- mdy(rain$date)
month <- format(x = date,format="%Y-%m")

rain_m <- rain %>% mutate(date=month) %>% group_by(date,period) %>% summarize_all(sum)
tmin_m <- tmin %>% mutate(date=month) %>% group_by(date,period) %>% summarize_all(mean)
tmax_m <- tmax %>% mutate(date=month) %>% group_by(date,period) %>% summarize_all(mean)

tmean_m <- (tmin_m[str_c("v",1:8)]+tmax_m[str_c("v",1:8)])/2
```

```
tmean_m <- cbind(date=tmin_m$date,period=tmin_m$period,tmean_m)


# Calculate PET & SPEI ------------------------------------------------------
pet1 <- hargreaves(Tmin = tmin_m[str_c("v",1:8)],Tmax = tmax_m[str_c("v",1:8)],lat=centroid_df$y)
pet1 <- pet1 %>% round(1)
rain1 <- rain_m[str_c("v",1:8)]
rain1 <- rain1 %>% round(1)
def_all= (rain1-pet1) %>% as.matrix
periods <- unique(rain_m$period)%>% na.omit() %>% as.vector()

# Loop to calculate spei over different time periods and seasons----------
 spei_list <- list()
 for (a in 1:length(periods)) {
 id <- which(rain_m$period==periods[a])
 def <- def_all[id,] %>% as.matrix
 spei_fit <- spei(data = def,scale = 6)$fitted
 # plot(spei(ts(def,freq=12,start=c(1985,1)),3,ref.start=c(1985,1), ref.end=c(2100,1)))


 # Define season and baseline and future periods ----------------------------
 month_id <- as.numeric(str_sub(rain_m$date,6,-1))[id]
 season <- ifelse(month_id==c(1,2,3,10,11,12),"dry","wet")

 spei_df <- spei_fit %>%
 data.frame() %>%
 mutate(period=periods[a]) %>%
 mutate(season=season)
 spei_list[[a]] <- spei_df
 }
# End of loop ---------------------------------------------------------
spei_df <- do.call(rbind,spei_list)

drt_sev <- spei_df %>%
 group_by(period,season) %>%
 na.omit() %>%
```

```
 summarise_all(.funs = function(x) sum(x[which(x<=-thres)]))

drt_dur <- spei_df %>%
 group_by(period,season) %>%
 na.omit() %>%
 summarise_all(.funs = function(x) length(x[which(x<=-thres)]))

drt_int <- drt_sev %>% data.frame() %>% dplyr::select(!c(period,season))/
 drt_dur %>% data.frame() %>% dplyr::select(!c(period,season))
drt_int <- cbind(period = drt_sev$period,season=drt_sev$season,drt_int)


drt <- rbind(drt_sev %>% mutate(variable="sev"),
 drt_dur %>% mutate(variable="dur"),
 drt_int %>% mutate(variable="int"))


flood_sev <- spei_df %>%
 group_by(period,season) %>%
 na.omit() %>%
 summarise_all(.funs = function(x) sum(x[which(x>=thres)]))

flood_dur <- spei_df %>%
 group_by(period,season) %>%
 na.omit() %>%
 summarise_all(.funs = function(x) length(x[which(x>=thres)]))

flood_int <- flood_sev %>% data.frame() %>% dplyr::select(!c(period,season))/
 flood_dur %>% data.frame() %>% dplyr::select(!c(period,season))
flood_int <- cbind(period = flood_sev$period,season=flood_sev$season,flood_int)

flood <- rbind(flood_sev %>% mutate(variable="sev"),
 flood_dur %>% mutate(variable="dur"),
 flood_int %>% mutate(variable="int"))

# End of SPEI calculation ------------------------------------------------
```

```
# Calculate crop water demand ----------------------------------------------------
# Initial abstraction is assumed to be 20%
demand <- (pet1-rain1*0.8)[id,] %>% data.frame() %>% mutate(period=periods[a]) %>%
mutate(season=season)
demand_season <- demand %>% group_by(period,season) %>% na.omit() %>%
summarise_all(function(x) sum(x)/length(x)*6) # multiply by six because length(x) = (no. of months is
season i.e. 6) * (no. of years in period)

# Calculate change in mean temperature and rainfall change ----------------------
# Calculate annual values of temperature and rainfall
yr <- year(as.Date(tmean_m$date,format="%Y"))
tmean_yr <- tmean_m %>% mutate(date=yr) %>% group_by(date,period) %>% summarize_all(mean)
%>% na.omit()
rain_yr <- rain_m %>% data.frame() %>% mutate(date=yr) %>% group_by(date,period) %>%
summarize_all("sum") %>% na.omit()
plot(x=tmean_yr$date,y = tmean_yr$v1)
abline(lm(tmean_yr$v1~tmean_yr$date))

plot(x=rain_yr$date,y=rain_yr$v1)
abline(lm(rain_yr$v1~rain_yr$date))

# Loop to calculate temperature and rainfall slope ------------------------------
tmean_slp <- list()
rain_slp <- list()

 for (i in 1:length(periods)) {
 df <- tmean_yr %>% data.frame() %>% subset(subset=period==periods[i])
 time <- 1:nrow(df)
 t_slope <- apply(df[str_c("v",1:8)],MARGIN = 2,FUN = function(y) lm(y ~ time)$coefficients[2])
 tmean_slp[[i]] <- t_slope

 df <- rain_yr %>% subset(subset=period==periods[i])
 time <- 1:nrow(df)
 r_slope <- apply(df[str_c("v",1:8)],MARGIN = 2,FUN = function(y) lm(y ~ time)$coefficients[2])
 rain_slp[[i]] <- r_slope
```

```
}
rain_slope <- do.call(rbind,rain_slp) %>% data.frame() %>% round(2)
rain_slope <- cbind(period=periods,rain_slope)
tmean_slope <- do.call(rbind,tmean_slp) %>% data.frame() %>% round(4)
tmean_slope <- cbind(period=periods,tmean_slope)

# Write results ----------------------------------------------------
write.csv(drt,"drt_ssp245.csv",row.names=F)
write.csv(flood,"flood_ssp245.csv",row.names=F)
write.csv(spei_df,"spei_df_ssp245.csv",row.names=F)

write.csv(tmean_slope,"tmean_slope_ssp245.csv",row.names=F)
write.csv(rain_slope,"rain_slope_ssp245.csv",row.names=F)

write.csv(demand_season,"demand_ssp245.csv",row.names=F)

#### END OF SCRIPT ####
```