การประเมินและระบบวิเคราะห์ความเสี่ยงทางกายภาพเชิงพื้นที่

การประเมินและระบบวิเคราะห์ความเสี่ยงทางกายภาพเชิงพื้นที่

คำนำ

สภาพความเสี่ยงทางกายภาพเชิงพื้นที่ ที่มีบทบาทต่อการตัดสินใจในการผลิตพืชของเกษตรกร มักจะเกี่ยวข้องกับสภาพความเป็นประโยชน์ของน้ำในพื้นที่ต่อการเกษตร โดยเฉพาะสภาพแห้งแล้ง (ขาดแคลนน้ำ) หรือน้ำท่วมซ้ำซากที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะกับระบบการผลิตพืชที่จำเป็นต้องการใช้น้ำสำหรับการเพาะปลูก สภาพความแห้งแล้งและน้ำท่วมซ้ำซากที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะเฉพาะเชิงพื้นที่ที่มักจะเกิดขึ้นในพื้นที่นั้น ๆ แล้วกลับมาเกิดขึ้นอีกได้ตลอดเวลา เนื่องจากลักษณะเฉพาะของปัจจัยทางด้านกายภาพ และการจัดการด้านต่าง ๆ ในพื้นที่นั้น มีผลทำให้ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาไม่เพียงพอหรือมากเกินพอต่อกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งส่งผลกระทบทั้งในแง่เศรษฐกิจ สังคม และสภาพแวดล้อม การประเมินสภาวะความเสี่ยงทางกายภาพในพื้นที่ โดยทั่วไปคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง 3 ลักษณะคือ ความแห้งแล้งจากสภาพแหล่งน้ำไม่เพียงพอ สภาพภูมิอากาศที่ไม่เหมาะสม (ปริมาณน้ำฝน ศักยภาพการคายระเหยน้ำ และอุณหภูมิ) และระบบการผลิตทางเกษตรที่ไม่เหมาะสม (Jackson, 2001)

การศึกษาสภาวะความเสี่ยงทางกายภาพเชิงพื้นที่ต่อระบบการผลิตพืช ในโครงการวิจัย ฯ นี้ ได้พัฒนาหาแนวทางในการประเมินความเสี่ยงต่อสภาวะความแห้งแล้งและน้ำท่วมซ้ำซากเชิงพื้นที่ที่เหมาะสม โดยอาศัยข้อมูลปัจจัยสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเน้นถึงการนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันย้อนหลังประมาณ 30 ปี ของแต่ละสถานีที่กระจายในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง และพะเยา ตลอดจนลักษณะการจัดเรียงตัวของสภาพภูมิประเทศ และแหล่งน้ำในพื้นที่มาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อประเมินค่าความเสี่ยงของการเกิดความแห้งแล้งและน้ำท่วมซ้ำซากเชิงพื้นที่ด้วยระบบภูมิสารสนเทศ

หลังจากการพัฒนาแนวทางการประเมินสภาวะความเสี่ยงทางกายภาพเชิงพื้นที่ เป็นที่เหมาะสม ทางผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมระบบการวิเคราะห์ความเสี่ยงทางกายภาพ (Physical Risk Assessment System : PhyRisk) เพื่อช่วยในการประเมินความเสี่ยงทางกายภาพให้มีความรวดเร็วและถูกต้องมากยิ่งขึ้น และผลลัพท์ที่ได้จากการประเมินด้วยโปรแกรม "PhyRisk" สามารถเชื่อมต่อกับระบบ "รสทก" ได้โดยตรง ซึ่งจะกล่าวถึงในลำดับต่อไป

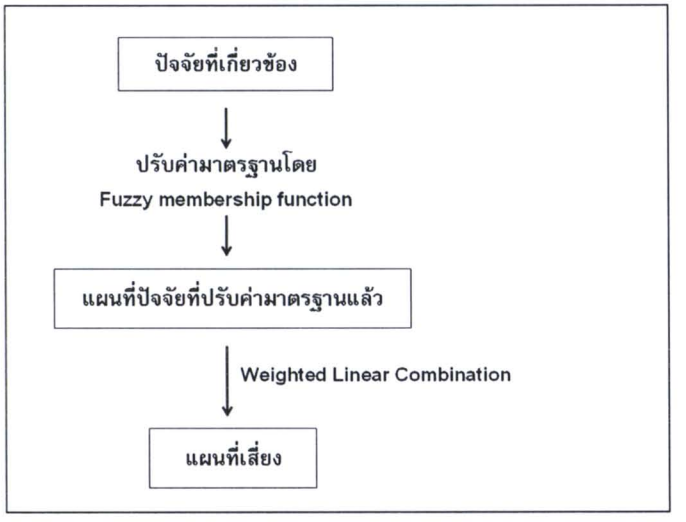
แนวทางในการศึกษา

ในการประเมินความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งและน้ำท่วมเชิงพื้นที่ครั้งนี้ ได้พิจารณาองค์ประกอบหลักเพื่อการประเมินความเสี่ยงทางกายภาพไว้ 3 องค์ประกอบ คือ 1) การประเมินด้านสภาพภูมิอากาศ 2) การประเมินด้านสภาพการใช้ที่ดิน และ 3) การประเมินด้าน

สภาพอุทกวิทยาที่เป็นอยู่ในพื้นที่ต่อการกักเก็บน้ำ โดยองค์ประกอบทั้งสามจะมีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่และเวลา สำหรับการกำหนดความเป็นประโยชน์ของน้ำต่อสภาพแวดล้อมนั้น ๆ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทั้งสามแล้วพบว่า ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (Elevation), ดัชนีความเป็นประโยชน์ของน้ำฝน (Moisture available index; MAI), ดัชนีความเปียกของพื้นที่ (Wetness index), ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (Distance from water sources), ความหนาแน่นของทางน้ำต่อหน่วยพื้นที่ลุ่มน้ำ (Stream density), ความต้องการน้ำของพืชที่ปกคลุมดิน (Crop coefficient) และความจุความชื้นของดิน (Soil water holding capacity) เป็นปัจจัยตัวหลักที่เกี่ยวข้องกับการประเมินสภาวะเสี่ยงทางกายภาพจากองค์ประกอบหลักที่กล่าวมาในข้างต้น (Mongkolsawat et al., 2000; Bhuiyan et al., 2006)

แต่ละปัจจัยดังกล่าวข้างต้นจะถูกนำไปปรับค่ามาตรฐานโดยวิธีการ Fuzzy membership function ซึ่งเป็นการปรับมาตรฐานข้อมูลโดยมีฟังก์ชั่นให้เลือกหลากหลายตามความเหมาะสมกับหลักเกณฑ์การตัดสินใจ วิธีการฟัซซีเป็นการกำหนดระดับของการเป็นสมาชิกภาพของแต่ละ grid cell โดยค่า 0 แสดงถึงการไม่มีสภาพความเป็นสมาชิกภาพของ grid cell และ ค่า 1 แสดงถึงระดับความเป็นสมาชิกสูงสุดของ grid cell โดยแต่ละ grid cell จะถูกกำหนดค่าระดับสมาชิกภาพให้อยู่ระหว่าง 0 - 1 ตามค่าตั้งต้นเป็นค่าต่อเนื่องไป โดยประโยชน์ของวิธีการนี้เป็นการวิเคราะห์การตัดสินใจด้วยค่าตัวเลขที่มีความต่อเนื่องซึ่งให้สารสนเทศมากกว่าการตัดสินใจแบบ Boolean ซึ่งทำให้สามารถลดความคลุมเครือของข้อมูลลงได้ โดยเฉพาะข้อมูลที่เป็นคุณสมบัติของทรัพยากรธรรมชาติ (เมธี และคณะ, 2549)

ข้อมูลที่ได้จากการปรับค่ามาตรฐานของแต่ละปัจจัยแล้ว จะถูกกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักไว้โดยวิธีการจัดลำดับความสำคัญ (Ranking) และนำมาวิเคราะห์ร่วมกันตามวิธีการ Weighted linear combination เพื่อให้ได้ข้อมูลความเสี่ยงทางกายภาพเชิงพื้นที่ โดยมีแนวทางการศึกษาดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งและสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากเชิงพื้นที่

ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ของปัจจัยความเสี่ยงทางกายภาพ

การพัฒนาฐานข้อมูลความเสี่ยงทางกายภาพเชิงพื้นที่ ตามแนวทางดังกล่างข้างต้น จำเป็นต้องมีการพัฒนาฐานข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเสี่ยงเชิงพื้นที่ โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบหลัก 3 องค์ประกอบ คือ 1) สภาพภูมิอากาศ 2) สภาพอุทกวิทยา และ 3) สภาพทางกายภาพ โดยแต่ละองค์ประกอบหลักมีปัจจัยย่อยดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) สภาพภูมิอากาศ

1.1 ดัชนีความเป็นประโยชน์ของน้ำฝน (Moisture Available Index; MAI) เป็นปัจจัยที่สามารถประเมินได้จาก อัตราส่วนของข้อมูลปริมาณน้ำฝนต่อค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำของพื้นที่ในช่วงที่มีการเพาะปลูกพืช (เดือนเมษายน ถึงตุลาคม) ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศเชิงพื้นที่ในกิจกรรมที่ 1 ของโครงการวิจัย ฯ ระยะที่ 2 นี้ โดยกำหนดความถูกต้องของข้อมูลที่ความน่าจะเป็นเท่ากับ 75% ดังสมการที่ 1

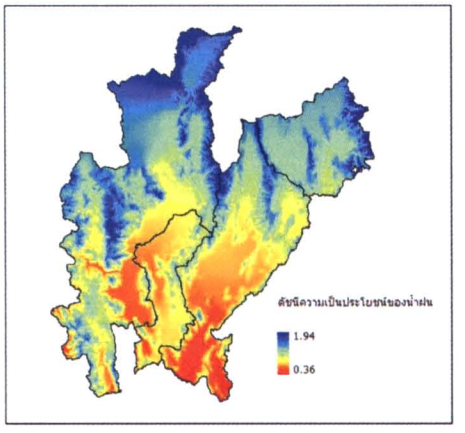
$$Fa = \frac{100 \times m}{n + 1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ 1$$

โดย Fa = ค่าความน่าจะเป็นสะสม

m = Rank number ของปี เมื่อเรียงจากปริมาณน้ำฝนจากมากไปหาน้อย

n = จำนวนปีของข้อมูล (Virmani et al., 1978)

ผลจากการพัฒนาข้อมูลดัชนีความเป็นประโยชน์ของน้ำฝนเชิงพื้นที่ สามารถสร้างเป็นแผนที่การกระจายตัวของดัชนีความเป็นประโยชน์ของน้ำฝนเชิงพื้นที่ (รูปที่ 23) ในพื้นที่สี่จังหวัดเป้าหมายได้ พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.36 – 1.94 โดยพื้นที่ที่มีค่า MAI มากกว่า 1 แสดงถึงพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมามากกว่าการสูญเสียน้ำโดยการคายระเหยน้ำ(มีน้ำเพียงพอ)

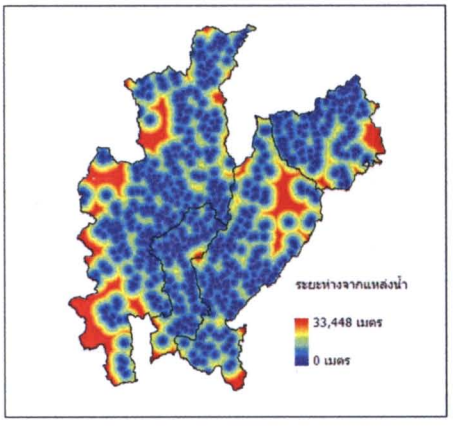


รูปที่ 23 ดัชนีความเป็นประโยชน์ของน้ำฝน (Moisture Available Index; MAI)

2) สภาพอุทกวิทยา

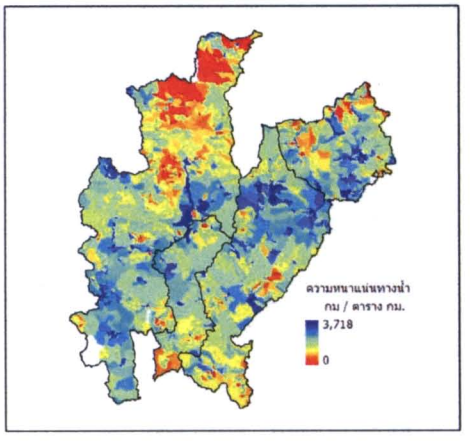
ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพอุทกวิทยาในพื้นที่ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพความเป็นประโยชน์ของน้ำในพื้นที่ประกอบด้วย

2.1 ระยะทางห่างจากแหล่งน้ำบนผิวดิน (Distance from water sources) สามารถประเมินได้โดยวิธีการหาค่า Euclidean Distance จากฐานข้อมูลแหล่งน้ำเชิงพื้นที่ที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากกิจกรรมที่ 1 ของโครงการวิจัย ฯ ระยะที่ 2 นี้ ซึ่งประกอบด้วยตำแหน่งของเหมืองฝาย และแหล่งน้ำธรรมชาติที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่ศึกษา ผลที่ได้จากการพัฒนาข้อมูลเชิงพื้นที่นี้ จะเป็นแผนที่แสดงถึงระยะห่างของพื้นที่นั้น ๆ จากแหล่งน้ำที่อยู่ในบริเวณนั้น โดยพบว่าบางพื้นที่จะมีระยะห่างจากแหล่งน้ำสูงสุดถึงประมาณ 33 กิโลเมตร (รูปที่ 24) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีแนวโน้มต่อการขาดแคลนน้ำสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ



รูปที่ 24 ระยะห่างจากแหล่งน้ำผิวดิน

2.2 ความหนาแน่นของทางน้ำในแต่ละลุ่มน้ำย่อยลำดับที่ 4 (Stream Density) สามารถประเมินได้จากการประเมินเส้นโครงข่ายลำน้ำที่ถูกสร้างด้วยโปรแกรมจัดลำดับชั้นและวิเคราะห์เครือข่ายลุ่มน้ำ (L-Wshed) แล้วนำมาหาสัดส่วนกับขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความยาวรวมของเส้นโครงข่ายลำน้ำต่อพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลำดับที่ 4 ผลจากการพัฒนาข้อมูลเชิงพื้นที่ดังกล่าว จะได้แผนที่ความหนาแน่นของทางน้ำในลุ่มน้ำย่อย โดยพบว่าบางลุ่มน้ำไม่มีโครงข่ายลำน้ำที่เป็นประโยชน์ได้เลย (รูปที่ 25) แสดงให้เห็นถึงโอกาสการเข้าถึงน้ำในพื้นที่น้อยมาก

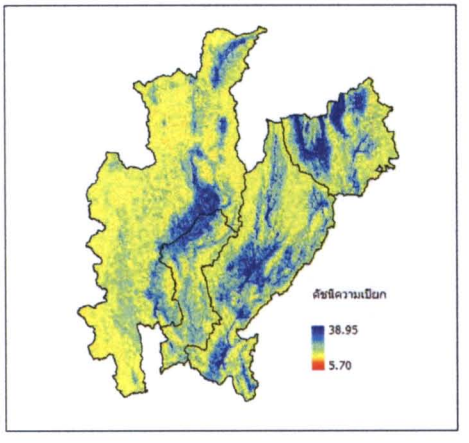


รูปที่ 25 ความหนาแน่นของทางน้ำในแต่ละลุ่มน้ำย่อยลำดับที่ 4

3) สภาพทางกายภาพ

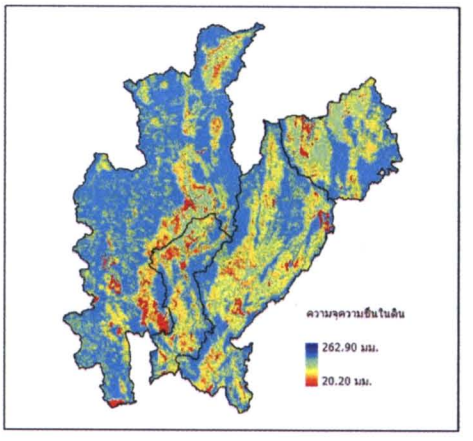
ลักษณะการจัดเรียงตัวของสภาพภูมิประเทศ การกระจายตัวของกลุ่มชุดดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพทางกายภาพของพื้นที่ และมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นประโยชน์ของน้ำในพื้นที่ โดยแต่ละปัจจัยมีแนวทางในการประเมินดังต่อไปนี้

3.1 ดัชนีความเปียกของพื้นที่ (Compound Topographic Index; CTI) ประเมินได้จากฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ชั้นความสูงต่อเนื่อง (Digital Elevation Mode; DEM) ที่ได้พัฒนาเสร็จสิ้นจากกิจกรรมที่ 1 ของโครงการวิจัย ฯ ระยะที่ 2 นี้ โดยนำมาประเมินค่าความลาดชันของพื้นที่ (Slope), ทิศทางการไหลของน้ำ (Flow direction), และการไหลสะสม (Flow accumulation) ค่าที่ประเมินได้มีค่าสูง จะแสดงถึงลักษณะของพื้นที่ที่สามารถเก็บสะสมน้ำได้มากกว่าพื้นที่ที่มีค่าน้อย (Moore et al., 1993; Tarboton 1997; Gessler et al., 1995) ผลจากการพัฒนาข้อมูลเชิงพื้นที่ดังกล่าวสามารถสร้างเป็นแผนที่ดัชนีความเปียกเชิงพื้นที่ได้ดังรูปที่ 26



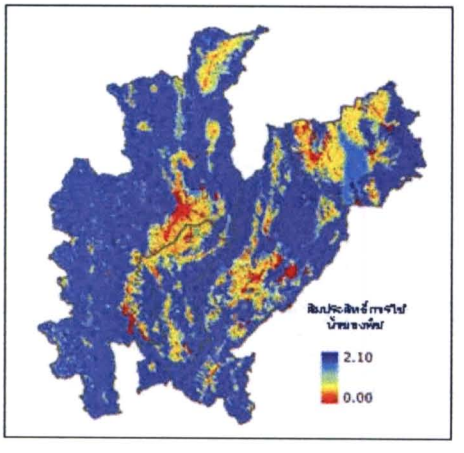
รูปที่ 26 ดัชนีความเปียกของพื้นที่ (Compound Topographic Index; CTI)

3.2 ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดิน (Soil Water Holding Capacity) ประเมินได้จากฐานข้อมูลกลุ่มชุดดินที่ได้พัฒนาเสร็จสิ้นจากกิจกรรมที่ 1 ของโครงการวิจัย ฯ ระยะที่ 2 นี้ ผลจากการพัฒนาข้อมูลเชิงพื้นที่ดังกล่าวสามารถสร้างเป็นแผนที่ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดินได้ดังรูปที่ 27 โดยพื้นที่ที่มีค่าดังกล่าวสูงจะแสดงถึงความสามารถของดินที่จะเก็บความชื้นได้มากกว่าพื้นที่ที่มีค่าดังกล่าวต่ำ



รูปที่ 27 ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดิน (Soil Water Holding Capacity)

3.3 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient) พิจารณาจากความต้องการใช้น้ำของชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดินต่าง ๆ ในพื้นที่เพื่อประกอบกิจกรรมทางเกษตรแต่ละชนิดในฤดูต่าง ๆ กัน ซึ่งสามารถส่งผลให้มีโอกาสเกิดสภาวะแห้งแล้งและน้ำท่วมที่ต่างกันได้ เนื่องจากความสามารถในการใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน โดยจะขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์ของการใช้น้ำของพืชที่ต่างกัน ดังนั้นการพัฒนาข้อมูลสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชตามการใช้ประโยชน์ของที่ดิน จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการประเมินสภาวะความเสี่ยงทางกายของพื้นที่ ผลจากการพัฒนาข้อมูลเชิงพื้นที่ดังกล่าวสามารถสร้างเป็นแผนที่สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินได้ ดังรูปที่ 28



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 28 แผนที่สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

การปรับค่ามาตรฐานของปัจจัย

ปัจจัยทั้งหมดข้างต้นเป็นปัจจัยที่มีข้อมูลช่วงค่าที่ต่างกันมาก ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกันจะทำให้ความสำคัญของแต่ละปัจจัยต่างกันมากเนื่องจากลักษณะของข้อมูลดังกล่าว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับข้อมูล โดยในขั้นตอนแรกต้องนำเข้าข้อมูลทั้งหมดมาแปลงให้อยู่ในระบบฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ในรูปแบบของไฟร์ชนิดราสเตอร์ เพื่อสะดวกต่อการวิเคราะห์เชิงซ้อนทับ หลังจากนั้นจึงทำการปรับค่ามาตรฐานให้แต่ละปัจจัยก่อนการประเมินผล โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกวิธีการ Fuzzy membership function มาใช้ในการปรับค่ามาตรฐานสำหรับปัจจัยทั้งหมด วิธีการปรับค่ามาตรฐานมีความแตกต่างกันตามลักษณะของการตอบสนองของปัจจัยต่อค่าดัชนีความเสี่ยง ซึ่งเป็นได้ทั้งในลักษณะยิ่งมากยิ่งดี (benefit), ยิ่งมากยิ่งไม่ดี (cost) หรือมีทั้งสองลักษณะตามช่วงค่าข้อมูล โดยลักษณะของการปรับค่ามีทั้งที่เป็นเส้นโค้ง คือ Sigmoidal, J-Shaped, และที่เป็นเส้นตรง คือ Linear

การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัย

เนื่องจากในสภาพความเป็นจริง ความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดสภาวะความเสี่ยงต่าง ๆ ไม่เท่ากัน ดังนั้นในกระบวนการของการประเมินความเสี่ยงทางกายภาพ จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนในการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้แก่แต่ละปัจจัย เพื่อกำหนดระดับความสำคัญในเชิงเปรียบเทียบซึ่งกันและกัน โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการจัดลำดับความสำคัญ (Ranking) ของแต่ละปัจจัย และนำมาวิเคราะห์ร่วมกันตามวิธีการ Weighted linear combination (สมการที่ 2) เพื่อให้ได้ข้อมูลความเสี่ยงทางกายภาพเชิงพื้นที่

$$R = \sum_{i=1}^{n} WiFi \quad \text{..... (2)}$$

R = ความเสี่ยงทางกายภาพ

W_i = ความถ่วงน้ำหนักของปัจจัย i

F_i = ปัจจัย i

การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อความแห้งแล้ง

การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อความแห้งแล้งสำหรับโครงการวิจัย ฯ นี้ ได้กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสภาวะแห้งแล้งไว้ทั้งหมด 6 ปัจจัย ตามองค์ประกอบหลัก 3 องค์ประกอบ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยทั้งหมดต้องผ่านกระบวนการปรับค่ามาตรฐานของข้อมูล ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 กลุ่มของปัจจัยที่ใช้ในการประเมิน

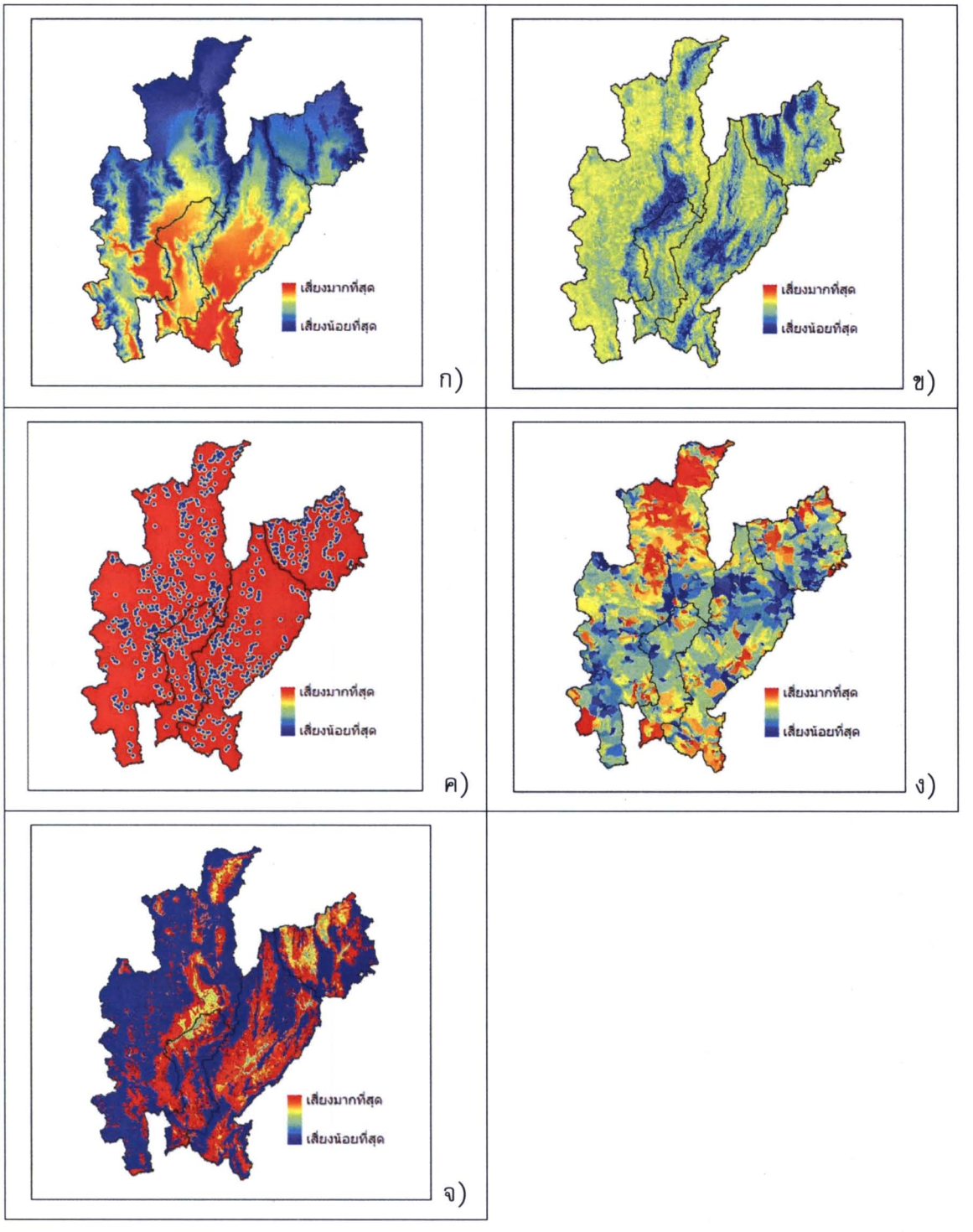
สภาพภูมิอากาศ	สภาพอุทกวิทยา	สภาพทางกายภาพ
1. ดัชนีความเป็นประโยชน์ของน้ำฝน (MAI) -ปริมาณน้ำฝน -ศักยภาพการคายระเหยน้ำ	2.ระยะห่างแหล่งน้ำบนผิวดิน 3.ความหนาแน่นของทางน้ำ	4.ดัชนีความเปียกของพื้นที่ (CTI) -ความลาดชัน -ทิศทางการไหลของน้ำ -การไหลสะสม 5.การใช้ประโยชน์ที่ดิน 6.ความจุความชื้นของดิน

การปรับค่ามาตรฐานของแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันในรายละเอียด โดยพิจารณาจากการตอบสนองของปัจจัยต่อค่าดัชนีความเสี่ยง จากการตรวจเอกสารพบว่าดัชนีความเป็นประโยชน์ของน้ำฝน, ความหนาแน่นของทางน้ำ, ดัชนีความเปียกของพื้นที่ และความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดิน มีการตอบสนองต่อความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งในลักษณะที่ค่ายิ่งมากยิ่งเสี่ยงน้อย โดยมีการกำหนดค่าคง a และ b ดังตารางที่ 2 ส่วนปัจจัยระยะห่างจากแหล่งน้ำบนผิวดิน และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช มีการตอบสนองต่อความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งในลักษณะที่ค่ายิ่งมากยิ่งเสี่ยงมาก โดยมีการกำหนดค่าคง a และ b ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวแปรที่ใช้ในการปรับค่ามาตรฐานของปัจจัย

ปัจจัยสำหรับการประเมิน	ลักษณะของ Sigmoid	ค่าคงที่ a	ค่าคงที่ b
ดัชนีความเป็นประโยชน์ของน้ำฝน	ลดลง	0.37	1.3
ระยะห่างจากแหล่งน้ำบนผิวดิน	เพิ่มขึ้น	200	3,000
ความหนาแน่นของทางน้ำ	ลดลง	50	350
ดัชนีความเปียกของพื้นที่	ลดลง	2.9	19.26
สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช	เพิ่มขึ้น	0.6	1.8
ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดิน	ลดลง	100	200

จากการปรับค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ของปัจจัยดังกล่าวตามรายละเอียดในตารางที่ 2 ทำให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นแผนที่ข้อมูลที่มีรูปแบบเดียวกัน (รูปที่ 29) พร้อมที่จะทำไปวิเคราะห์ได้ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการปรับค่ามาตรฐานจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 โดยค่า 0 หมายถึงพื้นที่ที่มีปัจจัยที่มีผลต่อความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งน้อยที่สุด ขณะที่ค่า 1 หมายถึงพื้นที่ที่มีปัจจัยที่มีผลต่อความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งมากที่สุด



รูปที่ 29 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะแห้งแล้งที่ถูกปรับค่ามาตรฐานข้อมูลด้วยวิธีการฟัสซี่เซต

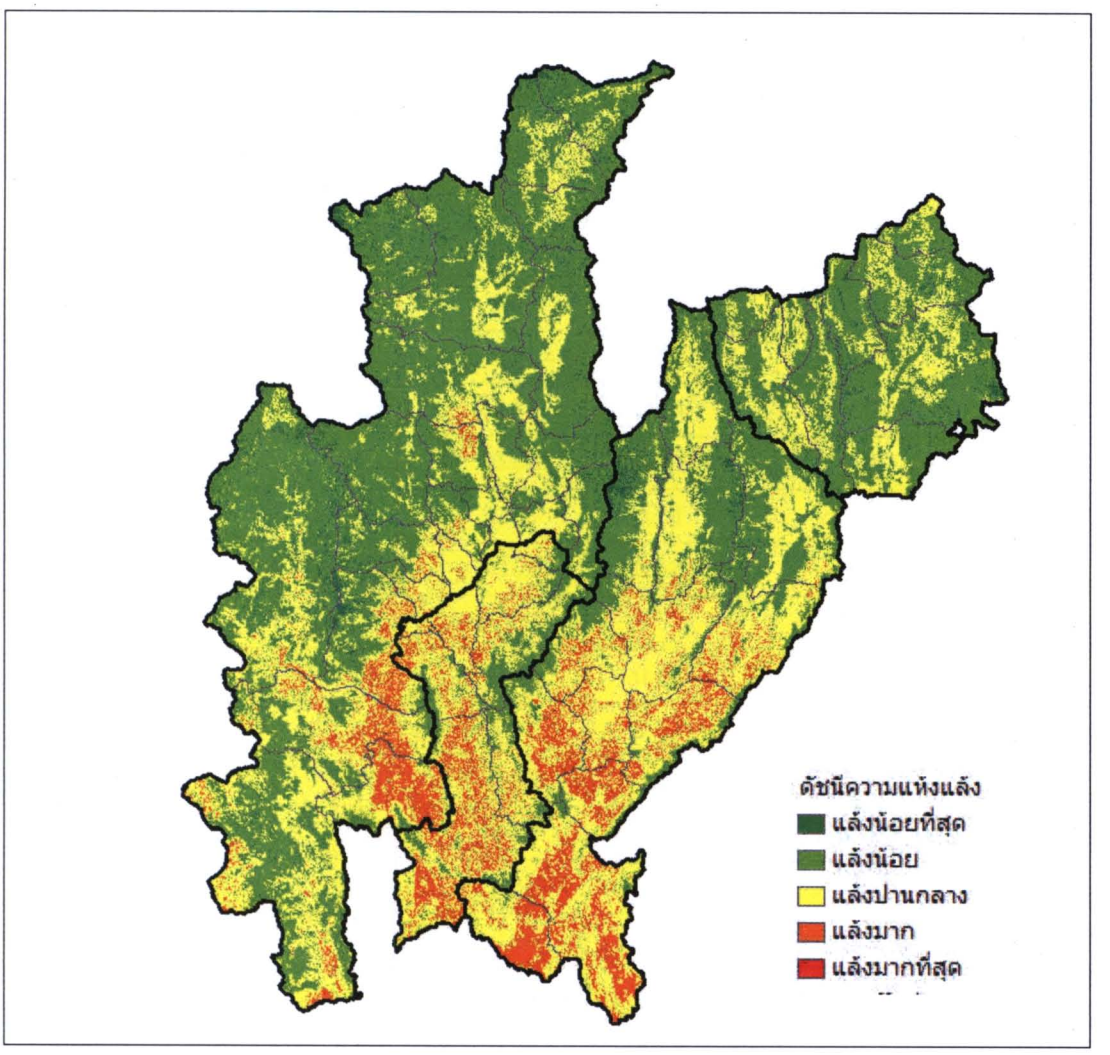
ปัจจัยที่ผ่านการปรับค่ามาตรฐานจากรูปที่ 29 ถูกนำมาวิเคราะห์เชิงซ้อนทับร่วมกัน โดยผ่านวิธีการ Weighted Linear Combination (Ranarao, 2003) โดยมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 3 ด้วยวิธีการของ Malczewski (1999)

ตารางที่ 3 ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยสำหรับการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อความแห้งแล้ง

ปัจจัยสำหรับการประเมิน	ค่าถ่วงน้ำหนัก
ความเป็นประโยชน์ของน้ำฝน	0.300
ระยะห่างจากแหล่งน้ำผิวดิน	0.150
ความหนาแน่นของทางน้ำ	0.150
ดัชนีความเปียกของพื้นที่	0.175
สัมประสิทธิการใช้น้ำของพืช	0.050
ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดิน	0.175

จากการเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินสภาวะความแห้งแล้ง พบว่า ความเป็นประโยชน์ของน้ำฝน เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดสภาวะแห้งแล้งของพื้นที่มากที่สุด รองลงมาเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ คือ ค่าดัชนีความเปียกของพื้นที่ และความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดิน ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของชั้นดินในพื้นที่ ปัจจัยทางกายภาพ เช่น ระยะห่างจากแหล่งน้ำผิวดิน และความหนาแน่นของทางน้ำซึ่งคำนวนมาจากปริมาณเส้นทางน้ำที่อยู่ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลำดับที่ 4 นั้น ทั้งสองปัจจัยมีผลกระทบต่อระดับความแห้งแล้งของพื้นที่พอสมควร โดยพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำผิวดินอยู่หนาแน่น โอกาสเกิดสภาวะแห้งแล้งจะมีน้อยกว่าพื้นทีที่มีความหนาแน่นของทางน้ำไม่มากนัก จากการเรียงลำดับความสำคัญครั้งนี้ พบว่าปัจจัยที่มีความสำคัญต่ำสุดคือสัมประสิทธิการใช้น้ำของพืช

ผลจากการประเมินความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งเชิงพื้นที่ สามารถแสดงผลเป็นแผนที่ความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งของพื้นที่ทั้งสี่จังหวัดได้ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 โดยค่า 0 หมายถึงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งน้อยที่สุด ขณะที่ค่า 1 หมายถึงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งมากที่สุด จากการจัดกลุ่มพื้นที่เสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งออกเป็น 5 กลุ่ม โดยแบ่งช่วงค่าข้อมูลเท่า ๆ กันทำให้สามารถแสดงแผนที่ระดับความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งได้ ดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 แผนที่แสดงความเสี่ยงต่อความแห้งแล้ง

จากแผนที่ของผลลัพท์การประเมินสภาวะแห้งแล้งข้างต้น เมื่อนำมาวิเคราะห์สภาวะแห้งแล้งเชิงพื้นที่ในแต่ละจังหวัดอย่างละเอียด พบว่าในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอดอยเต่าเป็นอำเภอที่มีพื้นที่ความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความแห้งแล้งที่ประมาณ 73 % ขณะที่อำเภอแม่อายมีความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งต่ำสุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 48 % ความแปรปรวนของสภาวะแห้งแล้งภายในอำเภอพบว่า อำเภอจอมทองและอำเภอแม่ริมมีความแปรปรวนสูงที่สุด ส่วนอำเภอพร้าวและอำเภอไชยปราการมีความแปรปรวนต่ำสุด (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งในจังหวัดเชียงใหม่รายอำเภอ

อำเภอ	ค่าความเสี่ยงต่อความแห้งแล้ง			
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เมืองเชียงใหม่	0.16	0.78	0.51	0.08
จอมทอง	0.10	0.91	0.61	0.11
แม่แจ่ม	0.18	0.90	0.56	0.08
เชียงดาว	0.15	0.77	0.53	0.07
ดอยสะเก็ด	0.23	0.79	0.54	0.08
แม่แตง	0.24	0.85	0.58	0.07
แม่ริม	0.18	0.85	0.58	0.11
สะเมิง	0.17	0.80	0.52	0.07
ฝาง	0.11	0.69	0.50	0.07
แม่อาย	0.13	0.69	0.48	0.07
พร้าว	0.21	0.78	0.52	0.06
สันป่าตอง	0.40	0.85	0.62	0.07
สันกำแพง	0.35	0.80	0.58	0.07
สันทราย	0.30	0.81	0.62	0.08
หางดง	0.15	0.84	0.57	0.09
ฮอด	0.23	0.92	0.68	0.10
ดอยเต่า	0.40	0.94	0.73	0.09
อมก๋อย	0.26	0.97	0.64	0.09
สารภี	0.33	0.73	0.58	0.07
เวียงแหง	0.10	0.71	0.50	0.07
ไชยปราการ	0.15	0.67	0.49	0.06
แม่วาง	0.14	0.85	0.54	0.09
กิ่งอ.แม่ออน	0.24	0.79	0.54	0.08
กิ่งอ.ดอยหล่อ	0.35	0.84	0.67	0.08

เมื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งในจังหวัดลำพูน พบว่า อำเภอลี้เป็นอำเภอที่มีพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งสูงสุดโดยมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 72% ขณะที่อำเภอแม่ทามีความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งต่ำสุดโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 62 % ซึ่งโดยส่วนใหญ่เกือบทั้งจังหวัดมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาถึงค่าความแปรปรวนของสภาวะแห้งแล้งภายในอำเภอพบว่า อำเภอบ้านโฮ่ง และ ลี้ มีความแปรปรวนสูงที่สุด ขณะที่ กิ่งอ.เวียงหนองล่องมีความแปรปรวนต่ำสุด (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งในจังหวัดลำพูนรายอำเภอ

อำเภอ	ค่าความเสี่ยงต่อความแห้งแล้ง			
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เมืองลำพูน	0.37	0.87	0.64	0.08
แม่ทา	0.31	0.87	0.62	0.08
บ้านโฮ่ง	0.33	0.90	0.68	0.09
ลี้	0.31	0.95	0.72	0.09
ทุ่งหัวช้าง	0.27	0.86	0.64	0.08
ป่าซาง	0.36	0.87	0.67	0.08
บ้านธิ	0.34	0.85	0.63	0.07
กิ่ง อ.เวียงหนองล่อง	0.46	0.85	0.69	0.06

จากการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อความแห้งแล้งในจังหวัดลำปางพบว่า อำเภอแม่พริกและอำเภอเถิน เป็นอำเภอที่มีพื้นที่เสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งสูงสุดโดยมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 76 % ขณะที่อำเภอเมืองปานมีความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งต่ำสุดโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 56 % ความแปรปรวนของสภาวะแห้งแล้งภายในอำเภอพบว่า อำเภอแจ้ห่ม มีความแปรปรวนสูงที่สุด นอกเหนือจากนั้นมีความแปรปรวนอยู่ในระดับไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งในจังหวัดลำปางรายอำเภอ

อำเภอ	ค่าความเสี่ยงต่อความแห้งแล้ง			
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เมืองลำปาง	0.32	0.87	0.67	0.09
เกาะคา	0.42	0.90	0.71	0.09
งาว	0.27	0.83	0.61	0.09
แจ้ห่ม	0.28	0.86	0.61	0.10
เถิน	0.40	0.96	0.76	0.08
แม่ทะ	0.37	0.91	0.70	0.09
แม่พริก	0.42	0.94	0.76	0.08
วังเหนือ	0.19	0.77	0.57	0.09
สบปราบ	0.44	0.92	0.72	0.09
ห้างฉัตร	0.28	0.86	0.66	0.09
เสริมงาม	0.34	0.91	0.70	0.09
แม่เมาะ	0.38	0.89	0.69	0.09
เมืองปาน	0.24	0.85	0.56	0.09

สำหรับที่จังหวัดพะเยาพบว่า อำเภอเชียงม่วนเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งสูงสุดโดยมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 56 % ขณะที่อำเภอจุน มีความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งต่ำสุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 48 % ความแปรปรวนของสภาวะแห้งแล้งภายในอำเภอพบว่า อำเภอมีความแปรปรวนสูงที่สุด ขณะที่อำเภอดอกคำใต้มีความแปรปรวนต่ำสุด (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งในจังหวัดพะเยารายอำเภอ

อำเภอ	ค่าความเสี่ยงต่อความแห้งแล้ง			
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เมืองพะเยา	0.19	0.75	0.54	0.09
จุน	0.16	0.72	0.48	0.08
เชียงคำ	0.19	0.72	0.50	0.07
เชียงม่วน	0.30	0.79	0.56	0.08
ดอกคำใต้	0.22	0.73	0.52	0.06
ปง	0.20	0.77	0.53	0.08
แม่ใจ	0.17	0.73	0.49	0.07
ภูซาง	0.18	0.71	0.50	0.08
ภูกามยาว	0.28	0.75	0.53	0.08

ผลการประเมินพื้นที่เสี่ยงกับรายงานความเสียหายจริง

ผลจากการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้ง จะได้ค่าระดับความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งดังแสดงข้างต้น ซึ่งสามารถนำมาคำนวณขนาดของพื้นที่ (ไร่) ที่มีค่าความเสี่ยงต่อความแห้งแล้ง 5 กลุ่มได้ดังต่อไปนี้ คือ ขนาดของพื้นที่ที่มีค่าความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งมากกว่า 0.60, 0.70, 0.80, 0.85 และ 0.95 ตามลำดับ รายอำเภอของจังหวัดเชียงใหม่ และนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการรายงานความแห้งแล้งของจังหวัดในปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2549 – 50 ดังตารางที่ 8 ทั้งนี้เพื่อใช้ในการกำหนดค่าดัชนีความแห้งแล้งที่สอดคล้องกับสภาวะที่เกิดขึ้นจริง

ตารางที่ 8 ขนาดพื้นที่ที่เสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งในระดับต่าง ๆ ของจังหวัดเชียงใหม่

อำเภอ	พื้นที่แห้งแล้งในจังหวัดเชียงใหม่รายอำเภอ (ไร่)					
	> 60	> 70	> 80	> 85	> 90	รายงาน
เมืองเชียงใหม่	10,001	859	0	0	0	-
จอมทอง	369,819	143,575	31,020	7,110	39	2,654
แม่แจ่ม	634,375	121,894	18,909	4,649	0	-
เชียงดาว	186,669	40,279	0	0	0	-
ดอยสะเก็ด	85,713	14,768	0	0	0	-
แม่แตง	245,500	68,019	6,876	0	0	-
แม่ริม	103,881	38,794	10,275	78	0	-
สะเมิง	76,063	9,298	0	0	0	-
ฝาง	54,617	0	0	0	0	-
แม่อาย	32,778	0	0	0	0	1,952
พร้าว	87,238	13,127	0	0	0	-
สันป่าตอง	68,525	15,432	1,211	0	0	-
สันกำแพง	49,030	7,579	39	0	0	-
สันทราย	115,444	43,990	273	0	0	-
หางดง	62,430	15,276	1,953	0	0	5,020
ฮอด	727,875	395,131	107,869	47,624	2,305	6,501
ดอยเต่า	488,931	319,925	131,150	74,075	7,814	-
อมก๋อย	1,097,625	461,350	84,075	34,614	8,478	-
สารภี	32,700	820	0	0	0	-
เวียงแหง	39,185	820	0	0	0	1,280
ไชยปราการ	20,159	0	0	0	0	8,200
แม่วาง	98,844	23,167	1,563	39	0	-
กิ่งอ.แม่ออน	56,844	10,783	0	0	0	-
กิ่งอ.ดอยหล่อ	112,750	52,156	7,071	0	0	-

รายงานสถานการณ์ภัยแล้ง ปี 2550 สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย จังหวัดเชียงใหม่

จากตารางที่ 8 เมื่อพิจารณาจากรายงานพื้นที่ประสพภัยจากสถานการณ์ภัยแล้งปี 2550 พบว่าในรายงานมีพื้นที่ประสพภัยทั้งหมด 6 อำเภอได้แก่ ไชยปราการ ฮอด เวียงแหง จอมทอง หางดง และแม่อาย โดยอำเภอไชยปราการมีพื้นที่เสียหายมากที่สุด 8,200 ไร่ จากพื้นที่ตั้งของอำเภอที่มีรายงาน พบว่ากระจายอยู่ทั่วทั้งจังหวัดเชียงใหม่ ทั้งตอนบน (ไชย

ปราการ แม่อาย) ตอนกลาง (หางดง) และตอนล่าง (จอมทอง ฮอด) เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความแห้งแล้งที่สอดคล้องกับการรายงานความแห้งแล้งของจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าจะอยู่ในระดับที่มากกว่า 0.85 ขึ้นไป ดังนั้นการประเมินค่าความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งโดยวิธีที่กล่าวมาข้างต้น ที่มีผลกระทบต่อกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ควรกำหนดค่าดัชนีไว้ที่มากกว่า 0.85 ส่วนจังหวัดลำพูน ลำปาง และพะเยาไม่พบการรายงานความแห้งแล้งของจังหวัด จึงไม่สามารถตรวจสอบค่าดัชนีได้

การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซาก

ปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากในพื้นที่ สำหรับการศึกษาในโครงการวิจัย ฯ นี้ ได้กำหนดให้มีปัจจัยทั้งหมด 7 ปัจจัย ตามองค์ประกอบหลัก 3 องค์ประกอบ แสดงดังตารางที่ 9 โดยทั้งหมดต้องผ่านกระบวนการปรับค่ามาตรฐานของข้อมูลก่อนเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 9 ตัวแปรที่ใช้ในการปรับค่ามาตรฐานของปัจจัย

สภาพภูมิอากาศ	สภาพอุทกวิทยา	สภาพทางกายภาพ
1.ดัชนีความเป็นประโยชน์ของน้ำฝน (MAI) -ปริมาณน้ำฝน -ศักยภาพการคายระเหยน้ำ	2.ระยะห่างแหล่งน้ำบนผิวดิน 3.ความหนาแน่นของทางน้ำ	4.ดัชนีความเปียกของพื้นที่ (CTI) -ความลาดชัน -ทิศทางการไหลของน้ำ -การไหลสะสม 5.การใช้ประโยชน์ที่ดิน 6.ความจุความชื้นของดิน 7.ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล

การปรับค่ามาตรฐานของแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันในรายละเอียด โดยพิจารณาจากการตอบสนองของปัจจัยต่อค่าดัชนีความเสี่ยง จากการตรวจเอกสารพบว่าดัชนีความเป็นประโยชน์ของน้ำฝน, ความหนาแน่นของทางน้ำ, และดัชนีความเปียกของพื้นที่ มีการตอบสนองต่อความเสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากในลักษณะที่ค่ายิ่งมากยิ่งเสี่ยงมาก โดยมีการกำหนดค่าคง a และ b ดังตารางที่ 10 ส่วนปัจจัยระยะห่างจากแหล่งน้ำบนผิวดิน สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดิน และความสูงเหนือระดับน้ำทะเล มีการตอบสนองต่อความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งในลักษณะที่ค่ายิ่งมากยิ่งเสี่ยงน้อย โดยมีการกำหนดค่าคง a และ b ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 10 ตัวแปรที่ใช้ในการปรับค่ามาตรฐานของปัจจัย

ปัจจัยสำหรับการประเมิน	ลักษณะของ Sigmoid	ค่าคงที่ a	ค่าคงที่ b
ความเป็นประโยชน์ของน้ำฝน	เพิ่มขึ้น	0.37	1.3
ระยะห่างจากแหล่งน้ำบนผิวดิน	ลดลง	200	3,000
ความหนาแน่นของทางน้ำ	เพิ่มขึ้น	50	350
ดัชนีความเปียกของพื้นที่	เพิ่มขึ้น	2.9	19.26
สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช	ลดลง	0.6	1.8
ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดิน	ลดลง	100	200
ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล	ลดลง	100	287

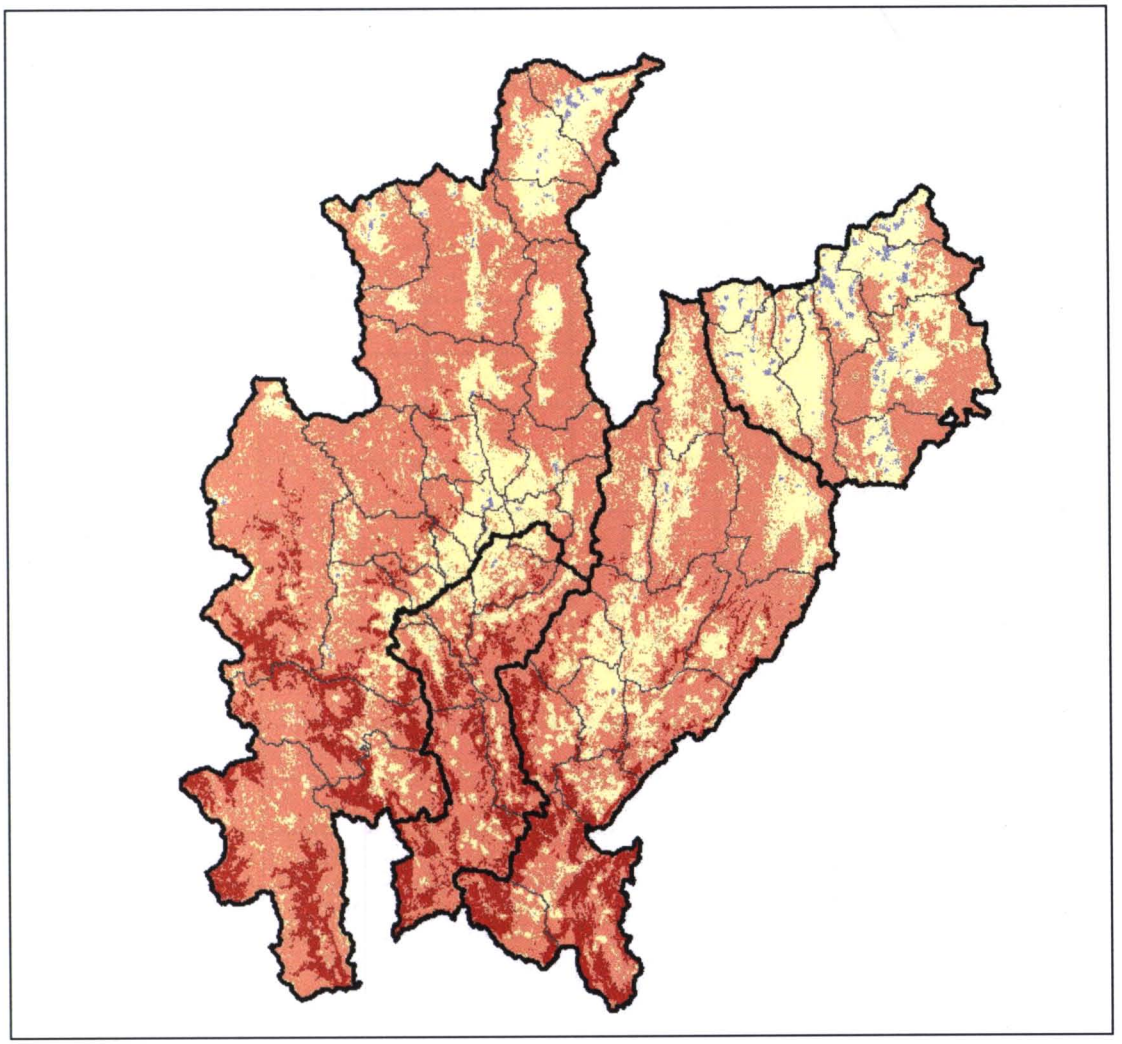
ปัจจัยทั้งหมดข้างต้นถูกนำไปหาค่าถ่วงน้ำหนัก ด้วยวิธีการของ Malczewski โดยใช้วิธีการพิจาณาจาก องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดภาวะน้ำท่วมซ้ำซากในพื้นที่ประกอบกับการตรวจสอบเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง พบว่าการเกิดน้ำท่วมขังในพื้นที่นั้น ดัชนีความเปียกของพื้นที่ที่เป็นปัจจัยทางด้านกายภาพของพื้นที่ โดยคำนวนค่าจากลักษณะความลาดชันของพื้นที่ ทิศทางการไหลของน้ำ และการไหลสะสมของน้ำ เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้มีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในพื้นที่ ซึ่งปัจจัยที่สัมพันธ์กันและมีค่าถ่วงน้ำหนักสูงเป็นลำดับต่อมาคือความสูงเหนือระดับน้ำทะเล ซึ่งเป็นปัจจัยทางด้านกายภาพของพื้นที่เช่นกัน ปัจจัยนอกเหนือจากนี้มีระดับความสำคัญลดหลั่นกันตามอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วม โดยค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ปัจจัยดังรายละเอียดในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยสำหรับการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่สภาวะน้ำท่วมซ้ำซาก

ปัจจัยสำหรับการประเมิน	ค่าถ่วงน้ำหนัก
ความเป็นประโยชน์ของน้ำฝน	0.100
ระยะห่างจากแหล่งน้ำบนผิวดิน	0.125
ความหนาแน่นของทางน้ำ	0.125
ดัชนีความเปียกของพื้นที่	0.200
สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช	0.100
ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดิน	0.100
ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล	0.250

เมื่อผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ข้างต้น จะได้ชั้นข้อมูลปัจจัยที่ปรับค่ามาตรฐานข้อมูลแล้วพร้อมกับค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยทั้งหมดที่กำหนดไว้ จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ผลจากการการประเมินหาพื้นที่เสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซาก ซึ่งสามารถแสดงผลเป็นแผนที่ความเสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากของทั้งสี่จังหวัดได้ โดยผลที่ได้จากการ

วิเคราะห์มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 โดยค่า 0 หมายถึงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากน้อยที่สุด ขณะที่ค่า 1 หมายถึงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากมากที่สุด จากการจัดกลุ่มพื้นที่เสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากออกเป็น 5 กลุ่ม โดยแบ่งช่วงค่าข้อมูลเท่า ๆ กันที่ให้สามารถแสดงแผนที่ระดับความเสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากได้ ดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 แผนที่แสดงความเสี่ยงต่อความน้ำท่วมซ้ำซาก

จากแผนที่ในรูปที่ 31 เป็นแผนที่ระดับความเสี่ยงน้ำท่วมซ้ำซากเมื่อนำไปซ้อนทับกับขอบเขตการปกครอง เพื่อตรวจสอบระดับความเสี่ยงของแต่ละอำเภอ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของดัชนีความเสี่ยง พบว่าในจังหวัดเชียงใหม่ อำเภอเมืองเป็นอำเภอที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนีความเสี่ยงน้ำท่วมสูงสุดอยู่ที่ 49 % และกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยในระดับใกล้เคียงอำเภอเมืองได้แก่อำเภอสารภี สันกำแพง สันป่าตอง ซึ่งอำเภอต่าง ๆ เหล่านี้มีลักษณะภูมิประเทศโดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบลุ่ม และเป็นพื้นที่นา ส่วนกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยต่ำ ๆ ได้แก่ อำเภอฮอด ดอยเต่า และอมก๋อย เนื่องจากมีสภาพภูมิประเทศโดยส่วนใหญ่เป็นที่ดอน เมื่อพิจารณาจากค่าความแปรปรวนของสภาวะน้ำท่วมภายในอำเภอ พบว่าอำเภอหางดงมีค่าความแปรปรวนสูงที่สุด ขณะที่อำเภอสะเมิง และสารภีมีความแปรปรวนต่ำสุด (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 ความเสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากในจังหวัดเชียงใหม่รายอำเภอ

อำเภอ	ค่าความเสี่ยงต่อน้ำท่วมซ้ำซาก			
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เมืองเชียงใหม่	0.22	0.73	0.49	0.10
จอมทอง	0.09	0.71	0.33	0.10
แม่แจ่ม	0.03	0.75	0.30	0.08
เชียงดาว	0.00	0.76	0.35	0.07
ดอยสะเก็ด	0.21	0.67	0.37	0.08
แม่แตง	0.00	0.76	0.33	0.08
แม่ริม	0.16	0.67	0.36	0.11
สะเมิง	0.18	0.70	0.32	0.06
ฝาง	0.02	0.68	0.41	0.08
แม่อาย	0.02	0.77	0.42	0.09
พร้าว	0.03	0.70	0.35	0.07
สันป่าตอง	0.15	0.64	0.44	0.08
สันกำแพง	0.20	0.72	0.42	0.10
สันทราย	0.19	0.75	0.39	0.10
หางดง	0.14	0.67	0.37	0.12
ฮอด	0.08	0.64	0.26	0.09
ดอยเต่า	0.04	0.57	0.27	0.10
อมก๋อย	0.03	0.64	0.26	0.09
สารภี	0.37	0.70	0.47	0.06
เวียงแหง	0.02	0.72	0.38	0.08
ไชยปราการ	0.05	0.67	0.40	0.08
แม่วาง	0.15	0.67	0.35	0.09
กิ่งอ.แม่ออน	0.21	0.67	0.35	0.07
กิ่งอ.ดอยหล่อ	0.14	0.66	0.36	0.10

ในจังหวัดลำพูน พบว่ากลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยน้ำท่วมสูงได้แก่ กิ่ง อ.เวียงหนองล่อง เมือง ป่าซาง และบ้านธิ ส่วนลี้และทุ่งหัวช้างเป็นพื้นที่ที่เสี่ยงต่อน้ำท่วมต่ำสุดในจังหวัดลำพูน โดยจะเห็นได้ว่าทั้งสองอำเภอมีสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ดอนและที่สูง โดยมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 26 % และเมื่อพิจารณาจากค่าความแปรปรวน พบว่าอำเภอบ้านโฮ่งมีค่าความแปรปรวนสูงสูด ขณะที่ กิ่ง อ.เวียงหนองล่องมีความแปรปรวนต่ำสุด (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 ความเสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากในจังหวัดลำพูนรายอำเภอ

อำเภอ	ค่าความเสี่ยงต่อน้ำท่วมซ้ำซาก			
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เมืองลำพูน	0.14	0.72	0.38	0.10
แม่ทา	0.12	0.63	0.29	0.09
บ้านโฮ่ง	0.12	0.62	0.30	0.11
ลี้	0.03	0.58	0.25	0.08
ทุ่งหัวช้าง	0.13	0.56	0.26	0.09
ป่าซาง	0.11	0.63	0.37	0.08
บ้านธิ	0.18	0.60	0.37	0.10
กิ่ง อ.เวียงหนองล่อง	0.29	0.62	0.40	0.04

จากการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อน้ำท่วมในจังหวัดลำปาง พบว่าอำเภอเกาะคา และวังเหนือ เป็นอำเภอที่มีพื้นที่เสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมสูงสุดโดยมีค่าเฉลี่ยที่ 40 % ขณะที่อำเภอเถินมีความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งต่ำสุดโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 24 % ความแปรปรวนของสภาวะแห้งแล้งภายในอำเภอพบว่า อำเภอสบปราบมีความแปรปรวนสูงที่สุด นอกเหนือจากนี้ความแปรปรวนไม่แตกต่างกันมากนัก (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ความเสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากในจังหวัดลำปางรายอำเภอ

อำเภอ	ค่าความเสี่ยงต่อน้ำท่วมซ้ำซาก			
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เมืองลำปาง	0.15	0.66	0.36	0.09
เกาะคา	0.11	0.65	0.40	0.09
งาว	0.04	0.68	0.36	0.08
แจ้ห่ม	0.15	0.70	0.36	0.09
เถิน	0.01	0.61	0.24	0.10
แม่ทะ	0.04	0.65	0.33	0.09
แม่พริก	0.07	0.65	0.26	0.10
วังเหนือ	0.02	0.68	0.39	0.07
สบปราบ	0.09	0.62	0.31	0.11
ห้างฉัตร	0.14	0.64	0.34	0.09
เสริมงาม	0.09	0.61	0.28	0.10
แม่เมาะ	0.00	0.62	0.31	0.08
เมืองปาน	0.05	0.65	0.35	0.08

สำหรับที่จังหวัดพะเยา พบว่าอำเภอจุนและอำเภอแม่ใจ เป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมสูงสุดโดยมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 48 % ขณะที่อำเภอเชียงม่วน และอำเภอปงมีความเสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมต่ำสุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 39 % และเมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวนของสภาวะน้ำท่วมภายในอำเภอ พบว่าอำเภอจุนมีความแปรปรวนสูงที่สุด ขณะที่อำเภอเมืองพะเยามีความแปรปรวนต่ำสุด (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ความเสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากในจังหวัดพะเยารายอำเภอ

อำเภอ	ค่าความเสี่ยงต่อน้ำท่วมซ้ำซาก			
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เมืองพะเยา	0.25	0.71	0.45	0.08
จุน	0.04	0.77	0.48	0.11
เชียงคำ	0.03	0.75	0.45	0.10
เชียงม่วน	0.02	0.71	0.39	0.10
ดอกคำใต้	0.12	0.68	0.43	0.09
ปง	0.01	0.79	0.40	0.09
แม่ใจ	0.04	0.73	0.48	0.09
ภูซาง	0.29	0.74	0.47	0.10
ภูกามยาว	0.25	0.71	0.47	0.09

ผลการประเมินพื้นที่เสี่ยงกับรายงานความเสียหายจริง

ผลจากการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซาก จะได้ค่าระดับความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ข้างต้น ซึ่งถูกนำมาคำนวณขนาดของพื้นที่ (ไร่) ที่มีค่าความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม 5 กลุ่มดังต่อไปนี้ คือ ขนาดของพื้นที่ที่มีค่าความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมมากกว่า 0.60, 0.65, 0.70, 0.75 และ 0.80 ตามลำดับ รายอำเภอของจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และลำปาง และนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการรายงานการเกิดน้ำท่วมของจังหวัด ในปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2548 – 49 ทั้งนี้เพื่อใช้ในการกำหนดค่าดัชนีการเกิดน้ำท่วมที่สอดคล้องกับสภาวะที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละจังหวัด

ตารางที่ 16 ขนาดพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมในระดับต่าง ๆ ของจังหวัดเชียงใหม่

อำเภอ	พื้นที่น้ำท่วมในจังหวัดเชียงใหม่รายอำเภอ (ไร่)					
	> 60	> 65	> 70	> 75	> 80	รายงาน
เมืองเชียงใหม่	36,958	14,416	4,532	1,602	313	-
จอมทอง	22,816	5,821	977	78	0	4,551
แม่แจ่ม	508	117	0	0	0	250
เชียงดาว	586	156	0	0	0	-
ดอยสะเก็ด	12,658	1,602	313	0	0	-
แม่แตง	5,469	1,367	156	78	39	-
แม่ริม	20,081	4,571	664	0	0	250
สะเมิง	78	0	0	0	0	40
ฝาง	234	0	0	0	0	5,510
แม่อาย	1,992	547	39	0	0	-
พร้าว	1,055	78	0	0	0	-
สันป่าตอง	17,854	4,180	781	78	0	-
สันกำแพง	19,260	6,016	1,055	39	39	-
สันทราย	8,751	977	39	39	39	-
หางดง	23,167	6,563	1,367	156	0	-
ฮอด	6,251	977	234	39	39	2,600
ดอยเต่า	17,698	2,032	430	0	0	-
อมก๋อย	78	0	0	0	0	-
สารภี	12,033	5,704	2,500	430	39	-
เวียงแหง	117	0	0	0	0	-
ไชยปราการ	39	0	0	0	0	-
แม่วาง	4,649	1,055	117	0	0	10,300
กิ่งอ.แม่ออน	625	39	0	0	0	-
กิ่งอ.ดอยหล่อ	8,517	2,305	430	39	0	-

*รายงานสรุปความเสียหายจากสถานการณ์น้ำท่วม สิงหาคม-พฤศจิกายน ปี 2549 สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย จังหวัดเชียงใหม่

จากตารางที่ 16 เมื่อพิจารณาจากรายงานสรุปความเสียหายจากสถานการณ์น้ำท่วมของจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าพื้นที่เสียหายจากการถูกน้ำท่วมกระจายไม่ทั่วทั้งจังหวัด มีเพียงบางอำเภอที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะน้ำท่วมในพื้นที่ ได้แก่ จอมทอง แม่แจ่ม แม่ริม สะเมิง ฝาง ฮอด และแม่วาง โดยอำเภออื่น ๆ ไม่พบพื้นที่เสียหายจากการถูกน้ำท่วม โดยพบว่าอำเภอแม่

วางเป็นอำเภอที่มีพื้นที่เสียหายจากการเกิดน้ำท่วมมากที่สุด(10,300 ไร่) และสะเมิงมีพื้นที่เสียหายต่ำสุด โดยพื้นที่ทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปของจังหวัดเชียงใหม่ ตั้งแต่เชียงใหม่ตอนบน (ฝาง) ตอนกลาง (แม่ริม สะเมิง แม่แจ่ม) และเชียงใหม่ตอนล่าง (จอมทอง ฮอด) เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีการเกิดน้ำท่วมที่สอดคล้องกับการรายงานสรุปความเสียหายของจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าจะอยู่ในระดับที่มากกว่า 0.65 ขึ้นไป ดังนั้นการประเมินค่าความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมโดยวิธีดังกล่าวมาข้างต้น ที่มีผลกระทบต่อกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ควรกำหนดค่าดัชนีไว้ที่มากกว่า 0.65

ตารางที่ 17 ขนาดพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมในระดับต่าง ๆ ของจังหวัดลำพูน

อำเภอ	พื้นที่น้ำท่วมในจังหวัดลำพูนรายอำเภอ (ไร่)					
	> 60	> 65	> 70	> 75	> 80	รายงาน
เมืองลำพูน	19,573	6,720	2,383	781	195	5,071
แม่ทา	4,102	899	0	0	0	1,858
บ้านโฮ่ง	13,517	4,766	1,211	195	0	1,220
ลี้	1,719	234	0	0	0	737
ทุ่งหัวช้าง	0	0	0	0	0	1,014
ป่าซาง	6,915	1,641	117	0	0	2,060
บ้านธิ	1,524	0	0	0	0	290
กิ่งอ.เวียงหนองล่อง	977	234	78	39	0	180

รายงานสรุปความเสียหายจากสถานการณ์น้ำท่วม สิงหาคม-พฤศจิกายน ปี 2549 สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย จังหวัดเชียงใหม่

จากตารางที่ 17 เมื่อพิจารณาจากรายงานสรุปความเสียหายจากสถานการณ์น้ำท่วมของจังหวัดลำพูน พบว่าทุกอำเภอของจังหวัดมีแนวโน้มในการเกิดสภาวะน้ำท่วมสูง โดยอำเภอเมืองลำพูนพบความเสียหายจากการถูกน้ำท่วมสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีการเกิดน้ำท่วมที่สอดคล้องกับการรายงานสรุปความเสียหายของจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าจะอยู่ในระดับที่มากกว่า 0.65 ขึ้นไป ดังนั้นการประเมินค่าความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมโดยวิธีที่กล่าวมาข้างต้น ที่มีผลกระทบต่อกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดลำพูนควรกำหนดค่าดัชนีไว้ที่มากกว่า 0.65

ตารางที่ 18 ขนาดพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมในระดับต่าง ๆ ของจังหวัดลำปาง

อำเภอ	พื้นที่น้ำท่วมในจังหวัดลำปางรายอำเภอ (ไร่)					
	> 60	> 65	> 70	> 75	> 80	รายงาน
เมืองลำปาง	51,179	10,548	2,188	352	0	1,374
เกาะคา	61,688	23,167	6,837	1,758	39	-
งาว	23,870	6,759	1,094	78	0	1,055
แจ้ห่ม	24,769	6,368	1,953	234	0	3,499
เถิน	34,302	12,306	2,383	469	39	-
แม่ทะ	21,018	5,665	1,211	234	0	1,643
แม่พริก	19,651	7,814	3,204	508	195	4,941
วังเหนือ	1,641	156	0	0	0	-
สบปราบ	23,011	7,814	1,797	313	39	-
ห้างฉัตร	15,041	2,852	234	39	0	-
เสริมงาม	17,620	7,149	1,641	430	0	-
แม่เมาะ	1,602	391	195	0	0	-
เมืองปาน	6,251	1,914	234	0	0	2,635

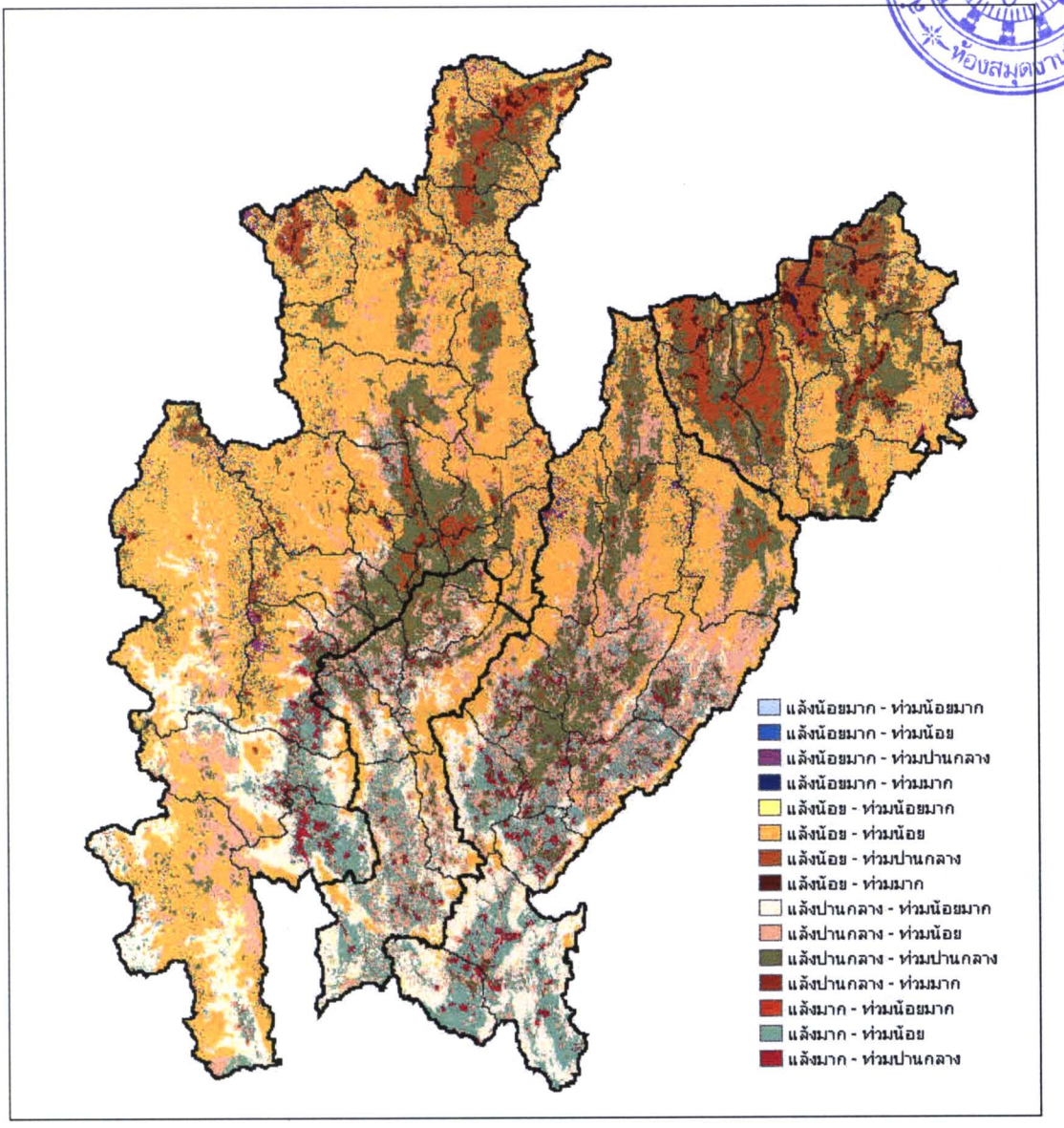
*รายงานสรุปความเสียหายจากสถานการณ์น้ำท่วม สิงหาคม-พฤศจิกายน ปี 2549 สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย จังหวัดเชียงใหม่

จากตารางที่ 18 เมื่อพิจารณาจากรายงานสรุปความเสียหายจากสถานการณ์น้ำท่วมของจังหวัดลำปาง พบว่าพื้นที่เสียหายจากการถูกน้ำท่วมกระจายไม่ทั่วทั้งจังหวัด มีเพียงบางอำเภอที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะน้ำท่วมในพื้นที่ ได้แก่ อำเภอเมืองลำปาง งาว แจ้ห่ม แม่ทะ แม่พริก และเมืองปาน โดยอำเภออื่น ๆ ไม่พบพื้นที่เสียหายจากการถูกน้ำท่วม โดยพบว่าอำเภอแม่พริกเป็นอำเภอที่มีพื้นที่เสียหายจากการเกิดน้ำท่วมมากที่สุด (4,941 ไร่) เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีการเกิดน้ำท่วมที่สอดคล้องกับการรายงานสรุปความเสียหายของจังหวัดลำปาง พบว่าจะอยู่ในระดับที่มากกว่า 0.70 ขึ้นไป ดังนั้นการประเมินค่าความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมโดยวิธีที่กล่าวมาข้างต้น ที่มีผลกระทบต่อกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดลำปางควรกำหนดค่าดัชนีไว้ที่มากกว่า 0.70 ส่วนขอมูลของจังหวัดพะเยาไม่สามารถกำหนดได้เนื่องจากขาดข้อมูลการประสบภัยที่รายงานจากจังหวัด

ความสัมพันธ์ของการเกิดสภาวะแห้งแล้งและน้ำท่วมซ้ำซากในพื้นที่

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินสภาวะความเสี่ยงทางกายภาพข้างต้น มีความสัมพันธ์กันโดยตรงผ่านปัจจัยต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการประเมิน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำแผนที่ทั้งสองมาวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่โดยการซ้อนทับชั้นแผนที่ ได้ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 32

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 32 ความสัมพันธ์ของพื้นที่เสี่ยงแห้งแล้งและพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม

จากแผนที่รูปที่ 32 แสดงให้เห็นได้ว่าพื้นที่ที่พบความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้ง และสภาวะความเสี่ยงต่อน้ำท่วมซ้ำซาก โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่ถูกใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจากพื้นที่ป่าไม้ โดยเฉพาะพื้นที่ราบลุ่มของทั้งสี่จังหวัดที่ถูกใช้เพื่อตอบสนองความต้องการของชุมชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น ๆ ลักษณะการเกิดสภาวะต่าง ๆ มีความแตกต่างและหลากหลายตามแต่สภาพพื้นที่ บางพื้นที่มีความรุนแรงของปัญหาที่เกิดจากสภาพแวดล้อมของพื้นที่เอง โดยปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้สามารถแสดงออกมาได้จากการที่พบสภาวะความเสี่ยงทั้งสองแบบภายในพื้นที่เดียวกัน

เมื่อพิจารณาจากแผนที่ พบว่าโดยส่วนใหญ่แม้จะพบพื้นที่ที่เกิดปัญหาทั้งสองแบบ แต่ไม่ถือว่าเป็นปัญหารุนแรงมากนัก บางพื้นที่พบปัญหาสภาวะแห้งแล้ง และในขณะเดียวกันก็ยังพบปัญหาการเกิดน้ำท่วมซ้ำซาก แต่อย่างไรก็ตามจากแผนที่ไม่พบพื้นที่ที่มีความเสี่ยงแล้งสูงสุดและเสี่ยงน้ำท่วมซ้ำซากสูงสุดภายในพื้นที่เดียวกัน (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 พื้นที่แยกตามลักษณะความสัมพันธ์ของจังหวัดต่าง ๆ

	เชียงใหม่	ลำพูน	ลำปาง	พะเยา
แล้งน้อยมาก - ท่วมน้อยมาก	430	0	195	195
แล้งน้อยมาก - ท่วมน้อย	157,404	820	39,966	46,373
แล้งน้อยมาก - ท่วมปานกลาง	131,385	78	41,724	40,748
แล้งน้อยมาก - ท่วมมาก	1,641	0	0	4,102
แล้งน้อย - ท่วมน้อยมาก	50,749	17,502	15,080	1,953
แล้งน้อย - ท่วมน้อย	7,495,549	495,536	2,052,388	1,560,798
แล้งน้อย - ท่วมปานกลาง	762,252	11,642	11,7907	903,638
แล้งน้อย - ท่วมมาก	51,530	0	2,461	118,922
แล้งปานกลาง - ท่วมน้อยมาก	1,183,364	579,766	1,006,894	0
แล้งปานกลาง - ท่วมน้อย	1,390,071	694,508	1,660,030	73,213
แล้งปานกลาง - ท่วมปานกลาง	1,866,972	416,385	1,530,090	1,083,038
แล้งปานกลาง - ท่วมมาก	32,114	3,711	13,830	54,734
แล้งมาก - ท่วมน้อยมาก	10,314	2,852	899	0
แล้งมาก - ท่วมน้อย	547,887	522,141	1,085,772	0
แล้งมาก - ท่วมปานกลาง	119,508	53,093	188,893	0

จากตารางที่ 19 พบว่าทั้งสี่จังหวัดมีพื้นที่ที่มีสภาวะความเสี่ยงที่หลากหลายกระจายอยู่ในพื้นที่ต่าง ๆ และจะเห็นได้ว่าพื้นที่โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่มีสภาวะความเสี่ยงทั้งแห้งแล้งและสภาวะน้ำท่วมน้อย เนื่องจากพื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่บริเวณป่าไม้เกือบทั้งหมด ซึ่งจากการประเมินครั้งนี้คุณสมบัติของปัจจัยต่าง ๆ ที่นำมาประเมิน เมื่อเป็นพื้นที่ป่าไม้จะมีค่าคะแนนความเสี่ยงค่อนข้างต่ำ นอกเหนือจากนั้นจะเป็นพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย โดยเฉพาะพื้นที่ทำประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม เป็นพื้นที่ที่พบค่าความเสี่ยงของทั้งสองสภาวะค่อนข้างสูง

นอกจากพื้นที่ป่าไม้ที่มีความเสี่ยงต่ำดังเหตุผลข้างต้นแล้ว พื้นที่อื่น ๆ ส่วนใหญ่จะมีความเสี่ยงทั้งด้านแห้งแล้งและน้ำท่วมซ้ำซากอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำ พื้นที่ที่ไม่มีความเสี่ยงเลยมีพื้นที่น้อยมาก โดยจังหวัดเชียงใหม่มีเพียง 430 ไร่ จังหวัดลำปาง และลำพูน จังหวัดละ 195 ไร่ ส่วนจังหวัดลำพูนไม่มีพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำมาก ส่วนพื้นที่เสี่ยงแล้งมากที่สุดและเสี่ยงน้ำท่วมมากที่สุดไม่พบว่ามีพื้นที่ปรากฏในทั้งสี่จังหวัด

เมื่อพิจารณาทีละจังหวัด พบว่าจังหวัดเชียงใหม่มีสภาวะความเสี่ยงทั้งสองรูปแบบในพื้นที่ที่เท่า ๆ กัน แต่มีพื้นที่ที่มีความเสี่ยงด้านความแห้งแล้งเป็นบริเวณกว้างกว่าพื้นที่เสี่ยงน้ำ

ท่วมเล็กน้อย เช่นเดียวกันกับจังหวัดลำพูนและจังหวัดลำปาง แต่ในส่วนของจังหวัดพะเยาจะมีความแตกต่างกัน โดยจะพบพื้นที่ที่มีความเสี่ยงด้านสภาวะน้ำท่วมมากกว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้ง โดยจังหวัดพะเยาเป็นจังหวัดเดียวที่ไม่มีพื้นที่ที่มีระกับความเสี่ยงด้านความแห้งแล้งสูง โดยพบเพียงพื้นที่ที่มีระดับความแห้งแล้วปานกลางถึงระดับต่ำ

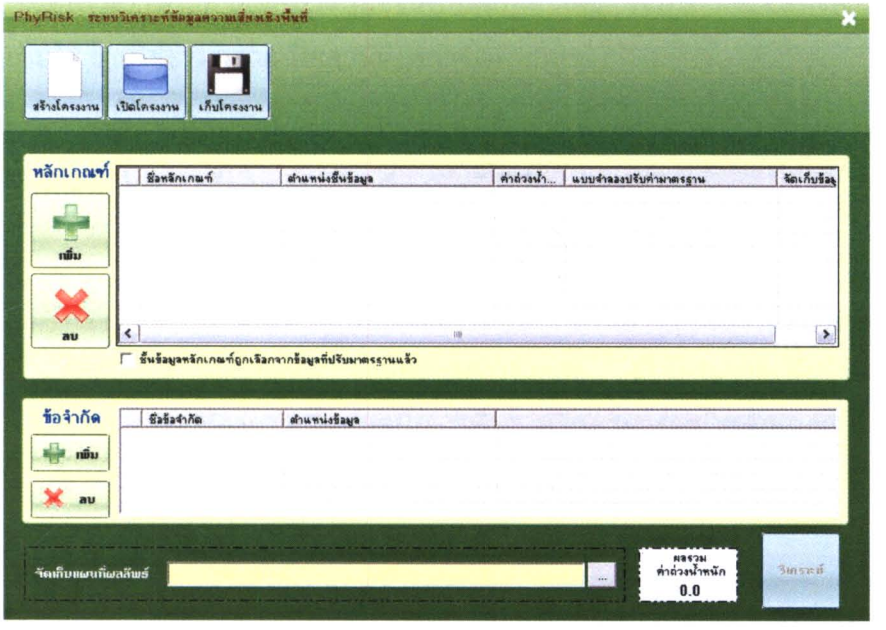
นอกจากนี้ในกรณีของพื้นที่เสี่ยงแห้งแล้งน้อยมาก-ท่วมมาก หรือ แล้งมาก-ท่วมน้อยมาก มีพื้นที่เพียงเล็กน้อยเช่นกัน สามารถอธิบายได้ว่าในพื้นที่ศึกษาโดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่พบทั้งสองสภาวะความเสี่ยงไปพร้อมๆ กัน แสดงให้เห็นว่าการเกิดสภาวะเสี่ยงทั้งสองรูปแบบมีความสัมพันธ์กันอย่างเห็นได้ชัด

ระบบวิเคราะห์ข้อมูลความเสี่ยงเชิงพื้นที่

จากการพัฒนาแนวทางการประเมินความเสี่ยงทางกายภาพเชิงพื้นที่ ตามแนวทางดังกล่าวข้างต้น พบว่า ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกัน จะส่งผลถึงการกำหนดค่าตัวแปรในการปรับค่ามาตรฐาน และค่าถ่วงน้ำหนักที่ต่างกันด้วยเช่นกัน นอกจากนั้นเมื่อเหตุการณ์ในอนาคตเปลี่ยนแปลงไป อาจจะมีผลต่อการใช้ปัจจัยสำหรับการประเมินความเสี่ยงทางกายภาพที่เกิดได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามสิ่งที่ไม่เปลี่ยนแปลงสำหรับการประเมินความเสี่ยงทางกายภาพคือวิธีการวิเคราะห์ที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยของโครงการวิจัย ฯ ระยะที่ 2 นี้ จึงได้พัฒนาโปรแกรมระบบวิเคราะห์ข้อมูลความเสี่ยงเชิงพื้นที่ขึ้น เพื่อช่วยผู้สนใจในการสร้างข้อมูลความเสี่ยงทางกายภาพเชิงพื้นที่ดังกล่าวในพื้นที่อื่นสามารถทำการประเมินความเสี่ยงทางกายภาพได้สะดวก รวดเร็ว และถูกต้อง โดยผ่านระบบ Interface อย่างง่ายนี้ ซึ่งระบบ ฯ นี้ได้ถูกพัฒนาเพื่อให้สามารถใช้งานได้หลังจากติดตั้งโปรแกรมควบคู่กับการติดตั้งระบบ “รสทก” โดยผู้ใช้สามารถเรียกโปรแกรม “PhyRisk” จากการเลือกเมนู Start -> All Programs -> ครส. ล้านนา -> Phyrisk ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows

หลังจากเลือก โปรแกรมดังกล่าวจะพบ Logo ที่บอกถึงการเข้าระบบ ฯ ดังรูปที่ 33 และ 34 ตามลำดับ

รูปที่ 33 โปรแกรมระบบวิเคราะห์ข้อมูลความเสี่ยงเชิงพื้นที่

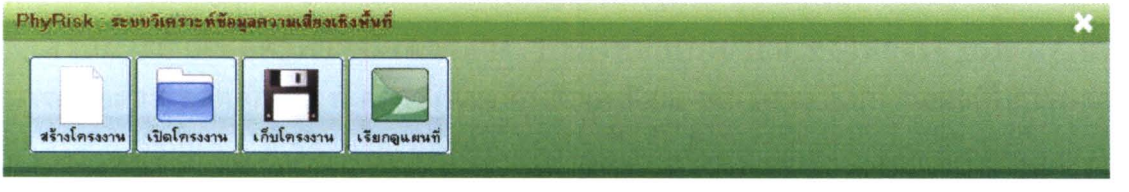


รูปที่ 34 หน้าต่างการกำหนดหลักเกณฑ์และข้อจำกัดสำหรับการประเมินความเสี่ยงทางกายภาพ

กระบวนการทำงานของระบบ ฯ

จากรูปที่ 34 แสดงให้เห็นถึงการแบ่งส่วนการทำงานของ ระบบ ฯ โดยกำหนดให้มี 3 ส่วนสำคัญ คือ

- ส่วนของเมนูหลัก ที่ออกแบบเพื่อใช้ในการจัดการโครงงานสำหรับการวิเคราะห์ โดยผู้ใช้สามารถสร้างโครงงานใหม่ เปิดโครงงานเดิม และจัดเก็บโครงงานได้ ดังรูปที่ 35



รูปที่ 35 เมนูสำหรับการจัดการโครงงาน

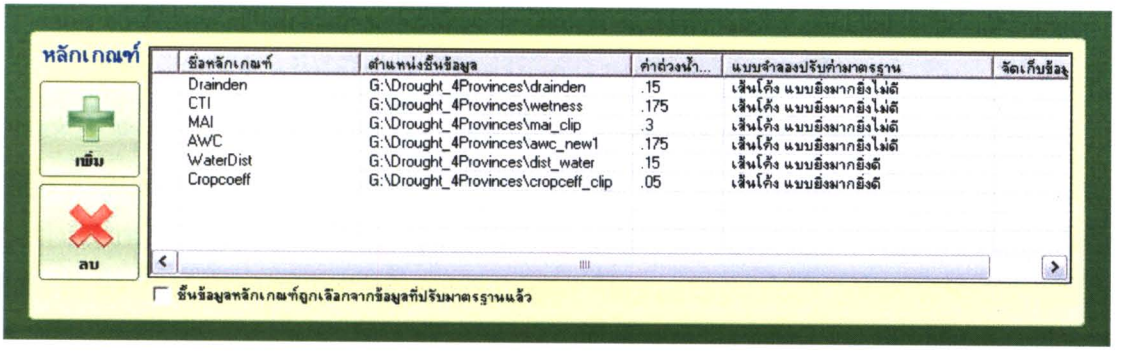
ในกรณีที่เริ่มทำงานครั้งแรก ผู้ใช้ต้องการสร้างโครงงานใหม่ โดยการคลิกปุ่ม "สร้างโครงงาน" เพื่อกำหนดหลักเกณฑ์ใหม่ หรือในกรณีที่ต้องการล้างข้อมูลเก่าทั้งหมดในรายการหลักเกณฑ์และข้อจำกัด

ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการเก็บโครงงานที่สร้างใหม่ไว้ ผู้ใช้สามารถกระทำได้โดยการกดปุ่ม "เก็บโครงงาน" บนเมนูหลัก โครงงานดังกล่าวจะถูกจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบของชื่อไฟล์ที่มี

นามสกุล .XML ซึ่งผู้ใช้สามารถเรียกโครงงานดังกล่าวขึ้นมาใช้งานได้อีกครั้ง โดยการกดปุ่ม "เปิดโครงงาน" พร้อมกับระบุชื่อไฟล์ที่มีสกุล .XML ระบบ ฯ จะแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เก็บไว้ ซึ่งผู้ใช้สามารถแก้ไขตามต้องการได้

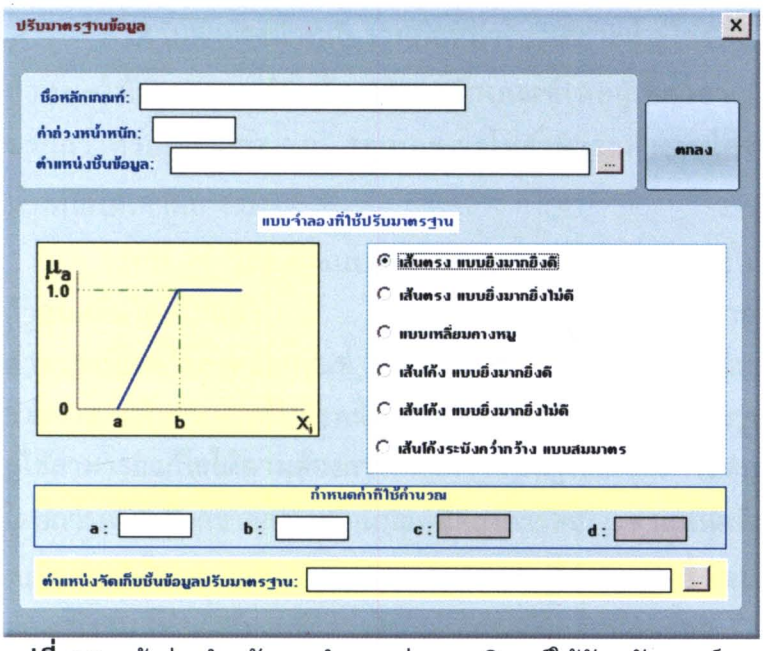
ปุ่ม "เรียกดูแผนที่" นี้จะปรากฏขึ้นหลังจากกระบวนการวิเคราะห์ทำงานเสร็จสิ้นแล้ว ทำหน้าที่สำหรับเรียกแสดงแผนที่ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ

- ส่วนประกอบที่สองของระบบ ฯ เป็นส่วนของการกำหนดหลักเกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงทางกายภาพ ผู้ใช้สามารถเพิ่มจำนวนหลักเกณฑ์ได้ตามต้องการ โดยกดปุ่ม "เพิ่ม" หรือสามารถลบหลักเกณฑ์ออกได้ โดยการกดปุ่ม "ลบ" เมื่อไม่ต้องการหลักเกณฑ์นั้นแล้ว (รูปที่ 36)



รูปที่ 36 ส่วนเมนูการจัดการหลักเกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์

ในกรณีที่ต้องการเพิ่มหลักเกณฑ์ เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม "เพิ่ม" ระบบ ฯ จะปรากฏหน้าต่างสำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหลักเกณฑ์ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 37 ซึ่งประกอบด้วย ชื่อหลักเกณฑ์ ค่าถ่วงน้ำหนัก ตำแหน่งของชั้นข้อมูล แบบจำลองที่ใช้ปรับค่ามาตรฐาน กำหนดค่าที่ใช้คำนวณ และตำแหน่งจัดเก็บชั้นข้อมูลปรับมาตรฐาน ผู้ใช้ต้องทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ครบถ้วน โดยชั้นข้อมูลที่สามารถนำมาวิเคราะห์ในระบบ ฯ ถูกกำหนดให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลแบบราสเตอร์ได้เท่านั้น ดังนั้นผู้ใช้ไม่สามารถเลือกข้อมูลแบบเวคเตอร์เข้ามาในระบบ ฯ ได้ หากต้องการวิเคราะห์ข้อมูลนั้น ๆ ผู้ใช้ต้องทำการแปลงข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบราสเตอร์ก่อนนำเข้ามาวิเคราะห์ สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับมาตรฐานหากผู้ใช้ไม่มีการกำหนดตำแหน่งเป้าหมายผลลัพธ์จากการปรับมาตรฐานของหลักเกณฑ์ ผลลัพธ์จะถูกเก็บไว้ในตำแหน่งที่กำหนดโดยระบบ ฯ



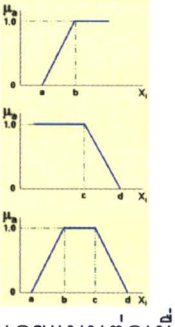
รูปที่ 37 หน้าต่างสำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับหลักเกณฑ์

แบบจำลองสำหรับใช้ในการปรับค่ามาตรฐานของข้อมูลตามวิธีการ Fuzzy membership function แบ่งออกเป็น 6 ชนิดได้แก่ เส้นตรงแบบยิ่งมากยิ่งดี เส้นตรงแบบยิ่งมากยิ่งไม่ดี แบบเหลี่ยมคางหมู เส้นโค้งแบบยิ่งมากยิ่งดี เส้นโค้งแบบยิ่งมากยิ่งไม่ดี และ เส้นโค้งระฆังคว่ำกว้างแบบสมมาตร แบบจำลองที่เหมาะสำหรับข้อมูลประเภทตัวเลขแบบไม่ต่อเนื่อง เช่น ข้อมูลชั้นความลาดชัน หรือชั้นการระบายน้ำ คือ

1 *เส้นตรงแบบยิ่งมากยิ่งดี*

2 *เส้นตรงแบบยิ่งมากยิ่งไม่ดี*

3 *แบบเหลี่ยมคางหมู*

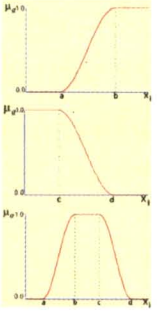


แบบจำลองที่เหมาะสำหรับข้อมูลประเภทตัวเลขแบบต่อเนื่อง เช่นข้อมูลดัชนีความเปียกของพื้นที่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ คือ

4 *เส้นโค้งแบบยิ่งมากยิ่งดี*

5 *เส้นโค้งแบบยิ่งมากยิ่งไม่ดี*

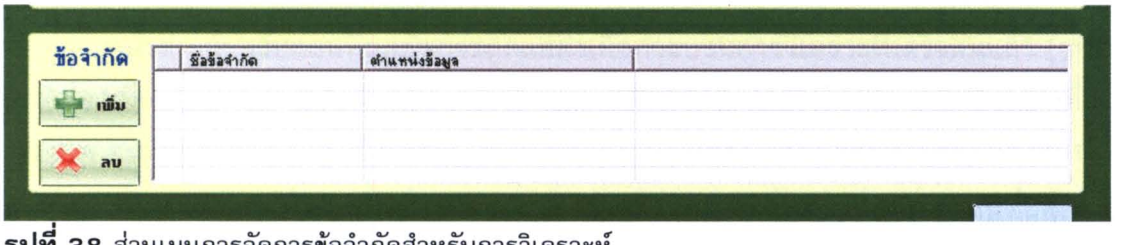
6 *เส้นโค้งระฆังคว่ำกว้าง แบบสมมาตร*



สำหรับค่าถ่วงน้ำหนักรวมก่อนนำไปวิเคราะห์ ผู้ใช้ต้องกำหนดให้ไม่เกิน 1.0 โดยการกำหนดให้เหมาะสมสำหรับแต่ละหลักเกณฑ์โดยผู้เชี่ยวชาญ หากค่าถ่วงน้ำหนักรวมมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 1.0 ระบบ ฯ จะไม่สามารถทำงานได้จนกว่าผู้ใช้จะมีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักได้เท่ากับ 1.0

ระบบ ฯ ได้ออกแบบให้ผู้ใช้สามารถแก้ไขหลักเกณฑ์ได้ สำหรับหลักเกณฑ์ที่ได้มีการกำหนดขึ้นใหม่ไปแล้ว หรือมีการเปิดโครงงานจากโครงงานเดิมและต้องการแก้ไขค่าพารามิเตอร์ของหลักเกณฑ์ ผู้ใช้สามารถดับเบิ้ลคลิกในตำแหน่งหลักเกณฑ์นั้น ๆ ที่มีอยู่ในรายการ หน้าต่างสำหรับกำหนดค่าพารามิเตอร์หลักเกณฑ์ ดังรูปที่ 37 จะปรากฏขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถแก้ไขได้ตามต้องการ นอกจากนั้นผู้ใช้ยังสามารถลบหลักเกณฑ์ที่ไม่ต้องการออกได้ โดยการคลิกเลือกรายการหลักเกณฑ์ที่ต้องการลบ จากนั้นคลิกปุ่ม "ลบ" เพื่อทำการนำหลักเกณฑ์นั้น ๆ ออกจากการวิเคราะห์ หากผู้ใช้คลิกปุ่มนี้ โดยไม่มีการคลิกเลือกหลักเกณฑ์ที่ต้องการลบ โปรแกรมจะทำการลบหลักเกณฑ์ที่อยู่บนสุดออก

- ส่วนประกอบที่สามของระบบ ฯ เป็นส่วนกำหนดข้อจำกัด สำหรับการกำหนดข้อจำกัด มีหลักการการทำงานคล้ายกันกับการกำหนดหลักเกณฑ์ (รูปที่ 38) เพียงแต่ต่างกันที่ข้อจำกัดไม่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้ยุ่งยากเหมือนการกำหนดหลักเกณฑ์ เพราะต้องการใช้เป็นชั้นข้อมูลที่ยกเว้นออกจากการวิเคราะห์เท่านั้น ดังนั้นการเตรียมข้อมูลข้อจำกัด ผู้ใช้ต้องเตรียมข้อมูลโดยกำหนดพื้นที่ที่ต้องการเป็นข้อจำกัดในการคำนวณ เช่น ถ้าต้องการคำนวณเฉพาะพื้นที่การเกษตร ดังนั้นพื้นที่ป่า พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่หมู่บ้าน จะต้องถูกตัดออกจากการคำนวณ ให้กำหนดพื้นที่เหล่านี้ให้มีค่าเท่ากับ 1 และพื้นที่เหลือนั้นให้กำหนดมีค่าเท่ากับ 0

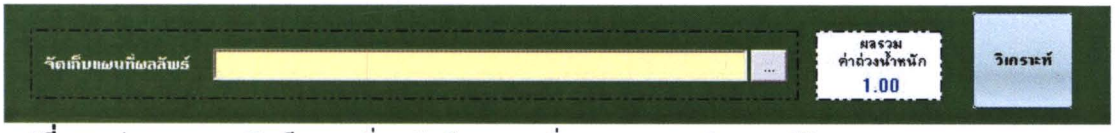


รูปที่ 38 ส่วนเมนูการจัดการข้อจำกัดสำหรับการวิเคราะห์

ในกรณีที่ต้องการเพิ่มข้อจำกัด เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม "เพิ่ม" ระบบ ฯ จะปรากฏหน้าต่างสำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหลักเกณฑ์ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 39 ซึ่งประกอบด้วย ชื่อข้อจำกัด และตำแหน่งของชั้นข้อมูล

รูปที่ 39 ส่วนเมนูการการเพิ่มข้อจำกัดสำหรับการวิเคราะห์

เมื่อผู้ใช้กำหนดหลักเกณฑ์ และข้อจำกัดครบถ้วนตามต้องการแล้ว ระบบ ฯ จะทำการตรวจสอบก่อนว่ามีข้อมูลอยู่จริง และค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 1 หรือไม่ (รูปที่ 40) โดยผู้ใช้ต้องระบุตำแหน่งสำหรับการจัดเก็บแผนที่ผลลัพธ์ไว้ให้ถูกต้อง ถ้าข้อมูลเหล่านี้ครบถ้วน เมื่อคลิกปุ่ม "วิเคราะห์" กระบวนการทำงานจะเริ่มจากการเลือกข้อมูลแต่ละหลักเกณฑ์ ที่อยู่นอกเหนือพื้นที่ข้อจำกัดที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นทำการปรับมาตรฐานข้อมูลหลักเกณฑ์โดยแบบจำลองที่ได้เลือกไว้ เมื่อปรับมาตรฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลจะถูกนำไปคำนวณร่วมกับค่าถ่วงน้ำหนัก และสุดท้าย คือการรวมแผนที่ผลลัพธ์ของแต่ละหลักเกณฑ์ออกมาเป็นแผนที่ผลลัพธ์ โดยมีค่าเป็นเลขดัชนีตั้งแต่ 0 ถึง 1.0



รูปที่ 40 ส่วนเมนูการจัดเก็บแผนที่ผลลัพธ์และการเริ่มกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล

การแสดงแผนที่ผลลัพธ์

หน้าต่างสำหรับแผนที่ผลลัพธ์จะถูกแสดงเมื่อกระบวนการวิเคราะห์เสร็จสิ้นแล้ว (รูปที่ 41) โดยมีเครื่องมือพื้นฐานสำหรับการเรียกดูแผนที่เท่านั้น ซึ่งก่อนหน้าต่างแสดงแผนที่จะปรากฏ จะมีข้อความแจ้งผู้ใช้ให้ทราบ "ประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้วต้องการแสดงแผนที่ผลลัพธ์หรือไม่" หากผู้ใช้คลิก "No" ระบบ ฯ จะไม่แสดงผลลัพธ์ แต่ถ้าต้องการดูแผนที่ผลลัพธ์ใหม่อีกครั้ง สามารถคลิกปุ่ม "เรียกดูแผนที่" ได้จากเมนูหลัก (รูปที่ 35) ซึ่งปุ่มนี้จะปรากฏหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วเท่านั้น

รูปที่ 41 หน้าต่างแสดงแผนที่ผลลัพธ์

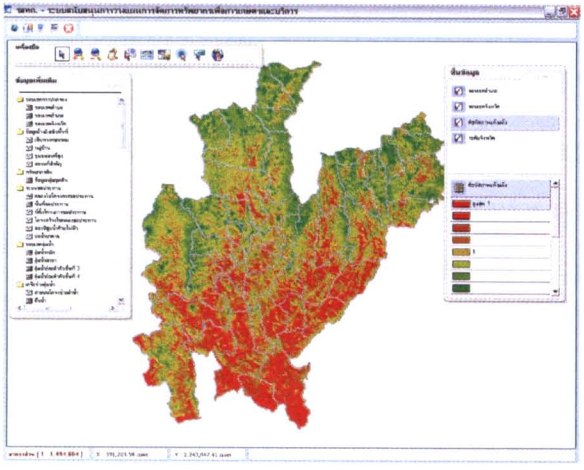
สรุป

การประเมินความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งและการเกิดสภาวะน้ำท่วมซ้ำซากเชิงพื้นที่ ในโครงการวิจัย ฯ ระยะที่ 2 นี้ ได้นำปัจจัยที่ใช้ในการประเมินทั้งหมด 7 ปัจจัยซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักทางด้านสภาพภูมิอากาศ สภาพอุทกวิทยา และ สภาพทางกายภาพ ปัจจัยทั้งหมดถูกนำมาปรับค่ามาตรฐานของข้อมูลโดยวิธี Fuzzy membership function จากนั้นกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัย เพื่อกำหนดระดับความสำคัญของปัจจัยในการประเมินโดยวิธีการ Ranking เมื่อได้ปัจจัยที่ปรับค่าและค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยแล้วจึงนำมาวิเคราะห์เชิงซ้อนทับ ด้วยวิธีการ Weighted Linear Combination จนกระทั่งได้ผลลัพธ์เป็นแผนที่ระดับความเสี่ยงต่อการเกิดสภาวะแผ้งแล้ง แผนที่ระดับความเสี่ยงต่อการเกิดสภาวะน้ำท่วมซ้ำซาก และแผนที่ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของทั้งสองสภาวะความเสี่ยง

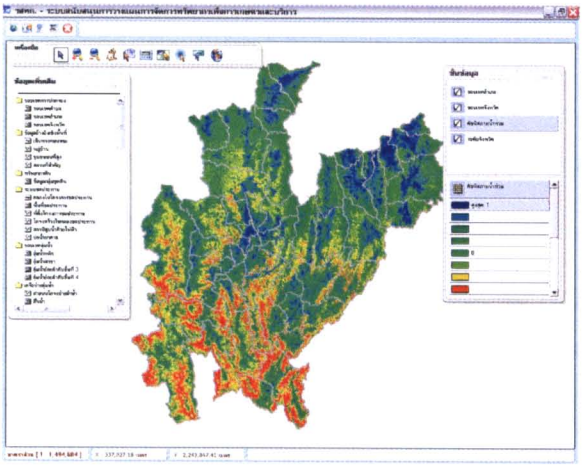
ซึ่งจากการประเมินความเสี่ยงต่อสภาวะความแห้งแล้งเชิงพื้นที่ พบว่า จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำปาง มีค่าเฉลี่ยของค่าความเสี่ยงแห้งแล้งค่อนข้างสูง เนื่องจากพื้นที่อื่น ๆ ที่นอกเหนือจากพื้นที่ป่าไม้ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ดอนอาศัยน้ำฝน และมีการทำประโยชน์ทางด้านการเกษตรที่หลากหลาย สภาพพื้นที่ดังกล่าวจึงเป็นสาเหตุให้มีความแห้งแล้งสูงกว่าสองจังหวัดที่เหลือคือจังหวัดลำพูน และจังหวัดพะเยา ในส่วนของการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อสภาวะน้ำท่วมซ้ำซาก ค่อนข้างแตกต่างจากผลการประเมินในด้านความแห้งแล้ง นั่นคือ จังหวัดที่มีค่าเฉลี่ยความเสี่ยงต่อน้ำท่วมซ้ำซากสูงที่สุด คือจังหวัดพะเยา โดยจังหวัดที่เหลือมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า

ค่อนข้างมาก แต่ทั้งสามจังหวัดมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน สาเหตุที่จังหวัดพะเยามีค่าความเสี่ยงน้ำท่วมค่อนข้างสูง เนื่องจากจังหวัดพะเยาเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ราบเป็นบริเวณกว้าง และพื้นที่เกือบทั้งหมดเป็นพื้นที่ราบลุ่ม ดังนั้นการไหลของน้ำจึงเป็นไปได้ค่อนข้างช้า โอกาสเกิดน้ำท่วมขังจึงมีมากกว่าจังหวัดอื่น

ความแปรปรวนของแผนที่ความเสี่ยงทางกายภาพและความถูกต้องที่เกิดขึ้น มีสาเหตุจากปัจจัยที่ใช้ในการประเมินซึ่งมีความแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่ ดังนั้นเพื่อให้การประเมินความเสี่ยงทางกายภาพเชิงพื้นที่สามารถกระทำได้รวดเร็ว และถูกต้อง จึงได้พัฒนาโปรแกรม "ระบบวิเคราะห์ข้อมูลความเสี่ยงเชิงพื้นที่" ขึ้นโดยใช้แนวทางการการประเมินจากงานวิจัยนี้ ซึ่งผลของการประเมินสามารถนำไปเชื่อมโยงกับโปรแกรม "รสทก" ได้ดังรูปที่ 42



ก) แผนที่เสี่ยงต่อความแห้งแล้งในระบบ "รสทก"



ข) แผนที่เสี่ยงต่อน้ำท่วมซ้ำซากในระบบ "รสทก"

รูปที่ 42 ข้อมูลความเสี่ยงทางกายภาพเชิงพื้นที่ในระบบ "รสทก"

เอกสารอ้างอิง

ชาญชัย แสงชโยสวัสดิ์, เมธี เอกะสิงห์, วรวีรุกรณ์ วีระจิตต์ และ สมจินต์ วานิชเสถียร. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการระบบสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตรและบริการ ระยะที่ 1 ภาคเหนือตอนบน : การจำแนกระบบนิเวศเกษตรและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชาญชัย แสงชโยสวัสดิ์, เมธี เอกะสิงห์ วรวีรุกรณ์ วีระจิตต์ และ สมจินต์ วานิชเสถียร. 2549. รายงานความก้าวหน้าโครงการระบบสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตรและบริการ ระยะที่ 2 ภาคเหนือตอนบน : ความเสี่ยงทางกายภาพในระบบผลิตพืช ครั้งที่ 2 (1 มิถุนายน 2549 - 30 พฤษจิกายน 2549) ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เมธี เอกะสิงห์, เฉลิมพล สำราญพงษ์, ชาญชัย แสงชโยสวัสดิ์, ประภัสสร พันธ์สมพงษ์ และ เทวินทร์ แก้วมูลเมือง. 2549. รายงานความก้าวหน้าโครงการการพัฒนาระบบวิเคราะห์แบบหลายหลักเกณฑ์เชิงพื้นที่เพื่อใช้ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ครั้งที่ 1 (1 ตุลาคม 2548 - 30 มีนาคม 2549) ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รายงานสรุปความเสียหายจากสถาณการณ์อุทกภัย รวม 47 จังหวัด ระหว่างวันที่ 27 สิงหาคม – 7 พฤศจิกายน 2549. 2550. สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธรณภัยจังหวัดเชียงใหม่.

รายงานสรุปความเสียหายจากสถาณการณ์ภัยแล้งปี 2550. 2550. สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธรณภัยจังหวัดเชียงใหม่.

Malczewaki, J. 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, Inc. New York. 392 p.

Mongkolsawat, C., P. Thirangoon, R. Suwanweramtorn, N. Karladee, S. Paiboonsank and P. Champathet. 2000. An Evaluation of Drought Risk Area in Northeast Thailand using Remotely Sensed Data and GIS. http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ts5/env004pf.htm.

Moore, ID., Gessler, P.E., Nielsen, G.A., and Petersen, G.A. 1993 Terrain attributes: estimation methods and scale effects. In Modeling Change in Environmental

Systems, edited by A.J. Jakeman M.B. Beck and M. McAleer (London: Wiley), pp. 189 - 214.

Ramarao, N. 2003. Conformity analysis of cotton crop using remote sensing and GIS. [Online]. Available: www. GISdevelopment.net/application/agriculture/cropping/ma030999.htm. [20 February 2004].