



แผนที่ดัชนีฝนมาตรฐานเพื่อการติดตามสภาพภัยแล้ง

กรณีศึกษา : พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

Standardized Precipitation Index (SPI) Map for Drought Monitoring

Case Study: Upper Ping River Basin

ชาญพิชญ์ กำพรหม¹ และ รศ.ดร.นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (chaphit64@hotmail.com)

² ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (fengms@ku.ac.th)

บทคัดย่อ

ภัยแล้งเป็นต้นกำเนิดของปัญหาตามมาที่ส่งผลกระทบต่อสภาพความเป็นอยู่และความมั่นคงทางอาหารของมวลมนุษยชาติ ประเทศไทยได้เผชิญกับปัญหาภัยแล้งอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งภาวะภัยแล้งสามารถประเมินได้โดยใช้ดัชนีฝนมาตรฐาน (Standardized Precipitation Index, SPI) ดังนั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินดัชนีฝนมาตรฐานสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยใช้ข้อมูลฝนรายเดือนระหว่างปี พ.ศ. 2523 ถึงปี พ.ศ. 2552 (30 ปี) ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำและบริเวณใกล้เคียงซึ่งเก็บรวบรวมได้โดยกรมอุตุนิยมวิทยากรมและชลประทานจำนวน 38 สถานี มาใช้ประกอบการประเมินดัชนีฝนมาตรฐาน ทั้งนี้ ดัชนีฝนมาตรฐานโดยทั่วไปมีค่าระหว่าง -3 ถึง 3 โดยสภาวะภัยแล้งเกิดขึ้นเมื่อดัชนีฝนมาตรฐานน้อยกว่า 0 และค่าที่ใกล้เคียง -3 แสดงว่าพื้นที่บริเวณนั้นเกิดภาวะภัยแล้งอย่างรุนแรงมาก อย่างไรก็ตาม ดัชนีฝนมาตรฐานที่ประเมินได้จะเป็นตัวแทนสำหรับสถานีวัดน้ำฝนที่พิจารณา ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงได้ทำการเฉลี่ยดัชนีฝนมาตรฐานเชิงพื้นที่สำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยวิธีการต่างๆ โดยวิธีการเคลื่อนค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) และ วิธีการกริกกิ้ง (Kriging method) จากนั้นจึงทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลการประเมินโดยแต่ละวิธีการด้วยวิธี Cross Validation โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าของดัชนีฝนมาตรฐานรายเดือนที่ได้จากการเฉลี่ยเชิงพื้นที่โดยวิธีการต่าง ๆ ณ จุดที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนกับค่าของดัชนีฝนมาตรฐานรายเดือนที่คำนวณได้จากข้อมูลฝนรายเดือน โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องสำหรับช่วงเวลาที่เกิดสภาวะภัยแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำระหว่างปี พ.ศ.2543 ถึงปี พ.ศ.2544 จากผลการศึกษาพบว่า วิธีการกริกกิ้งให้ผลการประเมินที่ถูกต้องมากที่สุด จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมเพื่อใช้สร้างแผนที่ดัชนีฝนมาตรฐานเพื่อประกอบการติดตามสภาพภัยแล้งสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน

คำสำคัญ: ภัยแล้ง, ดัชนีฝนมาตรฐาน (SPI), วิธีการเคลื่อนค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก, กริกกิ้ง, ลุ่มน้ำปิงตอนบน

Abstract

Drought is the cause of many problems affecting the likelihood and food safety for mankind. Thailand has been facing drought continuously, especially during the dry season. Drought can be evaluated using Standardized Precipitation Index (SPI). This research is therefore initiated with the objective to evaluate SPI for the Upper Ping River Basin (UPRB). Monthly rainfall depth between 1978 and 2009 (30 years) at 38 rainfall stations covering the UPRB collected by the Meteorological Department and Royal Irrigation Department was used for an investigation. Generally the SPI values varied between -3 and 3. Drought can be specified once the SPI values are lower than 0 and the values close to -3 represented an extreme drought. However, the estimated SPI values only represent the values at each rainfall station. In this study is therefore applied three areal interpolation techniques consisting of Weighted Moving Average, and Kriging to interpolate the SPI values for the UPRB. The interpolated SPI values were checked for their accuracy using the cross validation technique by comparing between the SPI values interpolated by different techniques and the SPI values calculated using monthly rainfall depth at each station. The validation processes cover the drought period of the basin between 2000 and 2001. The results of the study reveal that Kriging yields more accurate prediction than other techniques. Kriging is therefore suitable to be used to prepare the SPI map for drought monitoring of the UPRB.

Keywords: Drought, Standardized Precipitation Index (SPI), Weighted Moving Average, Kriging, Upper Ping River Basin.

1. คำนำ

ภัยแล้งจัดว่าเป็นภัยพิบัติด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้รับความสนใจจากผู้เชี่ยวชาญในหลาย ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นในด้านสิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยา อุทกวิทยา อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา รวมทั้งด้านเกษตรวิทยา ภัยแล้งสามารถเกิดขึ้นได้กับเขตภูมิอากาศทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นบริเวณที่มีปริมาณฝนมากไปจนถึงฝนน้อย ๆ และโดยทั่วไปแล้วภัยแล้งจะหมายถึงสภาพการณ์ที่ฝนมีปริมาณลดลงจากค่าปกติในช่วงเวลาที่ยาวนานพอสมควรอาจเป็นรายฤดูกาลหรือนานจนถึงรายปีได้ [1] ดังนั้น การติดตามภัยแล้งจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยในการบริหารจัดการความเสี่ยงทางภัยพิบัติและเป็นการกระตุ้นให้เกิดการวางแผนเพื่อรับมือกับสถานการณ์ดังกล่าว การติดตามภัยแล้งสามารถดำเนินการโดยใช้ดัชนีภัยแล้งที่คำนวณได้จากข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา โดยดัชนีที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปมีมากมาย ยกตัวอย่างเช่น (1) ดัชนี Palmer Drought Severity Index (PDSI) [2] ซึ่งเป็นดัชนีภัยแล้งดัชนีแรกที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในสหรัฐอเมริกา (2) ดัชนี Deciles Index [3] ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในประเทศออสเตรเลียและมีวิธีการที่คำนวณได้ง่ายโดยใช้ข้อมูลความลึกฝน (3) ดัชนี CMI (Crop Moisture Index) ซึ่งเป็นดัชนีภัยแล้งที่นำบางส่วนของวิธีการในดัชนี PDSI มาประยุกต์ใช้โดยใช้ข้อมูลความลึกฝนและอุณหภูมิเป็นข้อมูลด้านเข้า (4) ดัชนี Standardized Precipitation Index (SPI) [4] ซึ่งเป็นดัชนีภัยแล้งที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสามารถกำหนดช่วงเวลาของภัยแล้งที่ต้องการ และยังใช้วิธีการทางสถิติรวมทั้งความน่าจะเป็นมาสร้างฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น ซึ่งวิธีการทางสถิติและความน่าจะเป็นสามารถใช้เป็นตัวแทนที่อธิบายข้อมูลได้เป็นอย่างดี [5] สำหรับในการศึกษานี้เป็นการเลือกใช้ดัชนี SPI เพื่อการประเมินสภาพภัยแล้ง โดยได้เลือกกลุ่มน้ำปีงตอนบนเป็นพื้นที่ศึกษา

อย่างไรก็ตาม ผลการคำนวณดัชนีภัยแล้งโดยใช้ดัชนีด้านอุตุนิยมวิทยาตามที่กล่าวข้างต้นนั้นเป็นผลการคำนวณค่าที่ใช้เป็นตัวแทนเฉพาะตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดที่พิจารณาเท่านั้น แต่สำหรับการติดตามภัยแล้งนั้น มีความจำเป็นต้องแสดงสภาพภัยแล้งในลักษณะเชิงพื้นที่ จึงมีความจำเป็นต้องเฉลี่ยค่าดัชนีภัยแล้งแบบเชิงพื้นที่เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาในภาพรวม ดังนั้น จึงได้มีการนำวิธีการต่าง ๆ มาใช้เพื่อการจัดทำแผนที่เพื่อติดตามภัยแล้ง สำหรับวิธีการต่าง ๆ ที่มีการนำมาใช้เพื่อการเฉลี่ยเชิงพื้นที่นั้น อาทิเช่น (1) วิธีการรูปเหลี่ยมริเอสเซน (Thiessen Polygon) ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและนิยมใช้กันมากโดยการสร้างรูปเหลี่ยมโพลิกอนเพื่อเป็นตัวแทนของสถานีที่ทำการพิจารณา แต่วิธีการนี้ไม่มีความต่อเนื่องเชิงพื้นที่และจำเป็นต้องสร้างรูปเหลี่ยมใหม่ทุกครั้งในกรณีที่จำนวนสถานีตรวจวัดมีการเปลี่ยนแปลงไป (2) วิธีการเคลื่อนค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) ซึ่งเป็นวิธีการที่เฉลี่ยโดยการถ่วงน้ำหนักโดยสถานีที่อยู่ใกล้เคียงจะมีค่าถ่วงน้ำหนักมาก และ (3) Geostatistics (GS) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถอธิบายถึงความต่อเนื่องเชิงพื้นที่ได้ [6] วิธีการ GS มีอยู่หลากหลายวิธีการ ยกตัวอย่างเช่น

วิธีการคริกกิง (Kriging), โค-คริกกิง (Co-kriging) และทิน-เพลท-สไปล์ (Thin plate smoothing splines, TPSS) เป็นต้น [7]

จากการศึกษาเพื่อการประยุกต์ใช้วิธีการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ทั้งในส่วน of ข้อมูลฝนและข้อมูลดัชนีภัยแล้งในหลาย ๆ พื้นที่นั้น ผลการศึกษาแสดงในทำนองเดียวกันว่า วิธีการคริกกิงเป็นวิธีการที่ให้ผลการศึกษาที่มีความถูกต้องสูงเทียบเท่าหรือมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ [8], [9] และ [10] นอกจากนั้นแล้ว ในบางการศึกษาพบว่า วิธีการเคลื่อนค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ให้ผลการศึกษาที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับวิธีการคริกกิง [11]

ดังนั้น นอกจากการประเมินค่าดัชนี SPI ที่สถานีตรวจวัดฝนสำหรับลุ่มน้ำปีงตอนบนแล้ว ในการศึกษาครั้งนี้ยังได้นำวิธีการคริกกิงและวิธีการเคลื่อนค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักมาประยุกต์ใช้ เพื่อการเฉลี่ยค่าของดัชนี SPI สำหรับลุ่มน้ำปีงตอนบน เพื่อตรวจสอบว่าวิธีการใดให้ผลการประเมินดัชนี SPI เชิงพื้นที่ที่มีความถูกต้องสูงกว่า เพื่อนำวิธีการนั้นมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างแผนที่ดัชนีฝนมาตรฐานเพื่อการติดตามสภาพภัยแล้งสำหรับลุ่มน้ำปีงตอนบนต่อไป

2. ขอบเขตและขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำปีงเป็นลุ่มน้ำสาขาหลักของลุ่มน้ำเจ้าพระยาและมีพื้นที่รับน้ำประมาณ 34,856 ตารางกิโลเมตร แม่น้ำปีงมีความยาวประมาณ 740 กิโลเมตร และมีต้นกำเนิดจากทิวเขาผีปันน้ำในเขตอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ลุ่มน้ำปีงถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ลุ่มน้ำปีงตอนบนที่อยู่เหนือเขื่อนภูมิพล และลุ่มน้ำปีงตอนล่างที่อยู่ท้ายเขื่อนภูมิพล สำหรับลุ่มน้ำปีงตอนบนมีพื้นที่รับน้ำประมาณ 25,370 ตารางกิโลเมตร สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำปีงตอนบนเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อน ปกคลุมด้วยป่าไม้ และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,170 มิลลิเมตร ลุ่มน้ำปีงตอนบนประกอบด้วย 14 ลุ่มน้ำย่อย คือ แม่น้ำปีงส่วนที่ 1 น้ำแม่จืด น้ำแม่แดง แม่น้ำปีงส่วนที่ 2 น้ำแมริม น้ำแม่กวง น้ำแม่จัน น้ำแม่ลี น้ำแม่กลาง แม่น้ำปีงส่วนที่ 3 น้ำแม่แจ่มตอนบน น้ำแม่แจ่มตอนล่าง น้ำแม่หาด และน้ำแม่ต้น ดังแสดงในรูปที่ 1 [5]

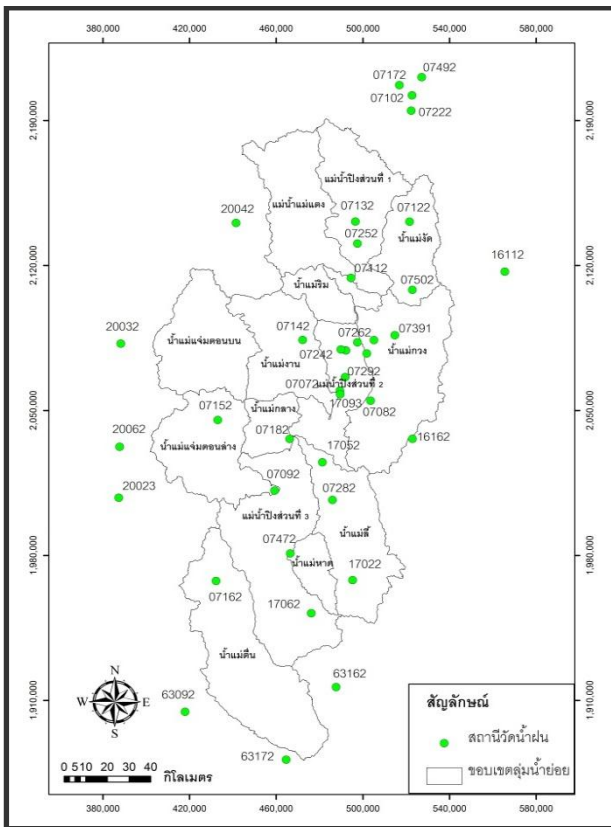
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ดัชนีฝนมาตรฐาน Standardized Precipitation Index (SPI)

ดัชนีฝนมาตรฐาน (SPI) ได้รับการพัฒนาโดย [4] ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้ในการประเมินภัยแล้งที่ได้รับการยอมรับในการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากจุดเด่นที่สำคัญ คือ สามารถประเมินดัชนีความแห้งแล้งได้ตามช่วงเวลาที่ต้องการทั้งสั้นและยาว ตัวอย่างเช่น 1, 3, 6, 9, 12 และ 24 เดือน และต้องการเฉพาะข้อมูลความลึกฝนรายเดือนเท่านั้น โดยดัชนี SPI ที่คำนวณจากข้อมูลความลึกฝนที่มีช่วงเวลาที่ยาวนานจะเป็นผลดีต่อความถูกต้องของผลการคำนวณเพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับพื้นที่ศึกษา ในการประเมินค่าดัชนี SPI นั้น จะใช้วิธีการทางสถิติและความน่าจะเป็นมาสร้างฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น ซึ่งการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นกับข้อมูลความลึกฝนที่ใช้คำนวณค่า

ดัชนี SPI คือ การแจกแจงแบบแกมมา (Gamma Distribution) จากนั้นจะถูกนำมาผ่านกระบวนการเพื่อแปลงความลึกฝนสะสมที่มีการกระจายแบบแกมมาให้มีความลึกฝนที่มีการแจกแจงแบบปกติซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 1 เพื่อให้ได้ค่าของดัชนี SPI สำหรับสถานีวัดน้ำฝนที่พิจารณาตามช่วงเวลาที่กำหนด

Thom (1966) [12] พบว่าการแจกแจงแบบแกมมา (Gamma Distribution) สามารถเข้าได้กับอนุกรมเวลาของฝนได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ การแจกแจงแบบแกมมาถูกกำหนดโดยฟังก์ชันความหนาแน่นของความถี่หรือความน่าจะเป็น (Frequency or probability density function, $g(x)$) ดังแสดงในสมการที่ (1)



รูปที่ 1 แผนที่แสดงกลุ่มน้ำย่อยและสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำปึงตอนบนและบริเวณใกล้เคียง จำนวน 38 สถานี ที่ใช้ในการศึกษา

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

โดยที่
 α คือ พารามิเตอร์แสดงรูปร่าง (Shape factor) ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 1
 β คือ พารามิเตอร์แสดงสเกล (Scale factor) ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 1
 x คือ ความลึกฝน
 $\Gamma(\alpha)$ คือ ฟังก์ชันแบบแกมมา (λ) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (2)$$

การคำนวณค่า SPI เป็นการสร้างความเข้ากันได้ระหว่างความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบแกมมากับการแจกแจงความถี่ของฝนในแต่ละสถานีโดยพารามิเตอร์ Shape factor (α) และ Scale factor (β) ทั้งนี้ Thom (1966) [12] ได้เลือกใช้วิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum likelihood) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว แสดงดังในสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

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

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

โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูลความลึกฝนที่ได้จากการตรวจวัด
 \bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยของความลึกฝน
 A คือ ตัวแปรที่ประเมินดังในสมการที่ (5)

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

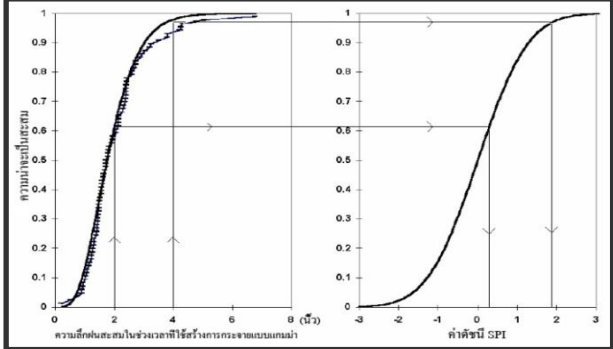
จากการคำนวณค่าพารามิเตอร์ α และ β จะถูกนำมาใช้เพื่อหาความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative probability) ของเหตุการณ์ฝนที่ได้จากการตรวจวัดในแต่ละเดือนได้ ดังแสดงในสมการที่ (6) และเมื่อแทนค่า $t = x/\beta$ ลงในสมการที่ (6) จะได้ฟังก์ชันแกมมาแบบที่ไม่สมบูรณ์ดังแสดงในสมการที่ (7) ซึ่งจะไม่สามารถหาค่าได้ในกรณีที่ฝนไม่ตก ($x = 0$) ดังนั้น เพื่อการแก้ไขปัญหาดังกล่าวความน่าจะเป็นสะสมจึงถูกปรับแก้ ดังสมการที่ (7)

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

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (7)$$

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (8)$$

โดยที่ q คือ ค่าความน่าจะเป็นที่เท่ากับศูนย์ สามารถหาค่าได้จาก m/n ซึ่ง m คือ ช่วงระยะเวลาที่ฝนไม่ตก และ n คือ ช่วงระยะเวลาทั้งหมด



รูปที่ 2 ตัวอย่างการแปลงค่าความน่าจะเป็นที่เทียบเท่ากับ (equiprobability tranformation) จากการแจกแจงแบบแกมมาที่ได้จากการพิจารณาไปเป็นการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน ที่มา: [5]

เมื่อได้ค่าความน่าจะเป็นสะสม จากการคำนวณรูปแบบการกระจายของข้อมูลฝนในช่วงเวลาที่กำหนด ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2 โดยเมื่อพิจารณากราฟทางด้านซ้ายจะเป็นกราฟที่แจกแจงความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative probability distribution) ที่ได้จากการนำการแจกแจงแบบแกมมามาใช้กับข้อมูลฝน ส่วนกราฟทางด้านขวาเป็นกราฟแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมของตัวแปรสุ่มแบบปกติมาตรฐาน (Z) ที่มีการใช้สเกลความน่าจะเป็นสะสมร่วมกันกับรูปทางด้านซ้าย และเมื่อลากเส้นขนานแกนความน่าจะเป็นสะสมจนมาตัดแกนค่า SPI ก็จะสามารแปลงข้อมูลฝนที่ได้จากการตรวจวัดมาเป็นค่าดัชนี SPI ที่ต้องการ อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวมีความยุ่งยากที่จะต้องสร้างกราฟสำหรับทุกสถานีวัดน้ำฝน ดังนั้น Abramowitz (1965) [13] ได้เสนอวิธีการคำนวณค่า Z โดยการแปลงความน่าจะเป็นสะสมให้เป็นค่าตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐาน Z ดังแสดงในสมการที่ (8) ถึง (12)

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ เมื่อ } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (9)$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ เมื่อ } 0.5 < H(x) < 1 \quad (10)$$

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(H(x))^2} \right)} \text{ เมื่อ } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (11)$$

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1-H(x))^2} \right)} \text{ เมื่อ } 0.5 < H(x) < 1 \quad (12)$$

โดยที่ C_0 , C_1 และ C_2 มีค่าเท่ากับ 2.515517, 0.802853 และ 0.010328 ตามลำดับ และ d_1 , d_2 และ d_3 มีค่าเท่ากับ 1.432788, 0.189269 และ 0.001308 ตามลำดับ

จากผลการคำนวณดัชนี SPI ตามวิธีการดังกล่าวข้างต้นนั้น McKee [4] ได้แนะนำแนวทางการประเมินระดับความรุนแรงของภัยแล้ง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การแบ่งระดับความรุนแรงของภัยแล้ง โดยใช้ค่าของดัชนี SPI

ค่าดัชนี SPI	ระดับความรุนแรงของภัยแล้ง
มากกว่า 2 ขึ้นไป	ห่มขั้นมาก
1.5 ถึง 1.99	ห่มขั้นปานกลาง
1 ถึง 1.49	ห่มขั้นเล็กน้อย
0.99 ถึง -0.99	ปกติ
-1.00 ถึง -1.49	ภัยแล้งเล็กน้อย
-1.50 ถึง -1.99	ภัยแล้งปานกลาง
ตั้งแต่ -2.00 ลงไป	ภัยแล้งมาก

ที่มา: [4]

2.2.2 วิธีการเฉลี่ยเชิงพื้นที่สำหรับดัชนี SPI

ในการศึกษานี้ได้ทำการเฉลี่ยดัชนีฝนมาตรฐานหรือดัชนี SPI เชิงพื้นที่สำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบนด้วยวิธีการ 2 วิธี คือ (1) วิธีการเคลื่อนค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average, WMA) และ (2) วิธีการกริกกิง (Kriging, KG) สำหรับรายละเอียดของทฤษฎีในแต่ละวิธีแสดงได้ดังนี้

1. วิธีการเคลื่อนค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก

WMA เป็นวิธีที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการหาค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละสถานีตรวจวัดที่พิจารณา ซึ่งในที่นี้คือสถานีวัดน้ำฝนที่เลือกใช้ในลุ่มน้ำปิงตอนบนมายังบริเวณต่าง ๆ ทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ไม่มีสถานีตรวจวัด โดยการหาค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับแต่ละสถานีตรวจวัด (λ_i) นั้น แสดงดังในสมการที่ (13) โดยค่า h หมายถึงระยะห่างระหว่างสถานีตรวจวัดกับจุดต่าง ๆ บนลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีตรวจวัด สำหรับค่า u หมายถึง เลขยกกำลังของค่า h โดยถ้ามีค่ายิ่งมากจะให้ความสำคัญกับจุดที่ไกลออกไปน้อยลง โดยทั่วไปนิยมใช้ค่า u เท่ากับ 2 ซึ่งทำให้วิธีการนี้มีชื่อเรียกเฉพาะในกรณีนี้ว่า วิธีส่วนกลับของระยะทางกำลังสอง (Inverse Distance Square, IDS) ทั้งนี้จะมีการกำหนดรัศมี (R) เพื่อบอกขอบเขตของระยะทางระหว่างสถานีตรวจวัดกับจุดต่างๆ บนลุ่มน้ำที่ต้องการใช้ในการประเมินค่า เมื่อได้ค่าถ่วงน้ำหนักของทุกสถานีตรวจวัด (n) แล้วจึงนำไปคูณกับค่าดัชนี SPI ที่ต้องการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี WMA นั้นสามารถกำหนดจำนวนสถานีตรวจวัดแทนรัศมีได้ โดยจะมีการเลือกจำนวนสถานีออกจากจุดพิจารณา จนได้จำนวนสถานีที่อยู่ใกล้จุดที่พิจารณาตามจำนวนที่กำหนดไว้ ซึ่งในการศึกษานี้จะทำการเลือกจำนวนสถานี (n) แทนการเลือกรัศมี รวมทั้งจะทำการเลือกเลขยกกำลัง (u) ของค่า h ที่เหมาะสม เพื่อให้ผลการเฉลี่ยค่ามายังจุดที่พิจารณามีความถูกต้องสูงสุด

$$\lambda_i = \frac{h_i^{-u}}{\sum_{i=1}^n h_i^{-u}} \quad h_i \leq R \text{ and } \lambda_i = 0 \quad h_i > R \quad (13)$$

$$Z(x)^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (14)$$

2. วิธีการกริกกิง

กริกกิงเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการเฉลี่ยเชิงพื้นที่สำหรับข้อมูลที่พิจารณา โดยการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่า Semivariance กับระยะห่างระหว่างจุดข้อมูล 2 จุด ให้เข้ากันกับความสัมพันธ์ดังกล่าวของชุดข้อมูลที่ศึกษา ทั้งนี้ค่า Semivariance สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (15) โดยใช้ค่าของชุดข้อมูลซึ่งในที่นี้หมายถึงค่าดัชนี SPI

$$\gamma_h = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(u_i) - Z(u_i + h)]^2 \quad (15)$$

โดยที่

$N(h)$ = จำนวนคู่ของจุดข้อมูลที่มีระยะห่างกันเท่ากับ h

h = เวกเตอร์ของระยะห่างระหว่างจุดข้อมูล 2 จุดในทิศทางพื้นที่

u_i = เวกเตอร์ของพิกัดเชิงพื้นที่ (พิกัด x, y)

$Z(u_i)$ = ค่าของข้อมูลที่พิจารณาซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งเชิงพื้นที่

$Z(u_i + h)$ = ค่าของข้อมูลที่พิจารณาที่มีระยะห่าง (lag) ออกไปจาก

$Z(u)$ เท่ากับ h

เมื่อนำค่า Semivariance ที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าของจุด 2 จุด ที่อยู่ห่างกันเท่ากับระยะทาง h มาพล็อตกราฟจะให้ความสัมพันธ์ที่เรียกว่า Semivariogram ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3 (ก)

จากรูปดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า Semivariogram มีพารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 พารามิเตอร์ คือ (1) Sill หมายถึง ค่า Semivariance สูงสุดของข้อมูล ที่เป็นค่าคงที่ (2) Range หมายถึง ระยะทางจากจุด 0 ถึงระยะทางที่ Semivariance เริ่มมีค่าคงที่หรือถึงค่า Sill และ (3) Nugget หมายถึง ค่า Semivariance ที่ระยะทางเท่ากับ 0 ซึ่งเป็นค่าที่เกิดจากความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด

ในการสร้าง Semivariogram จากชุดข้อมูลที่ศึกษานั้น อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางที่เลือกพิจารณา ซึ่งในที่นี้เรียกว่าเกิดสภาพที่เป็น Anisotropy และในกรณีที่ Semivariogram มีลักษณะที่เหมือนกันทุกทิศทางจะเรียกว่า Omidirectional semivariogram ซึ่งในกรณีหลังจะทำให้ง่ายต่อการเลือกทิศทางแต่สำหรับในกรณีแรกจะต้องเลือกทิศทางที่ทำให้ได้ Semivariogram ที่ดีที่สุดกล่าวคือต้องเป็นทิศทางที่ชุดข้อมูลมีความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดหรือมีค่า Semivariance ที่ต่ำกว่าทิศทางอื่น ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นกรณีนี้

จากนั้นจึงทำการคัดเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถนำมาใช้เพื่อสร้างความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลที่ทำให้เกิดการเข้ากันกับ Semivariogram ของชุดข้อมูลที่ศึกษา โดยแบบจำลองที่นิยมเลือกใช้ประกอบด้วย แบบจำลอง Spherical, Exponential และ Gaussian โดยสมการความสัมพันธ์ของแต่ละแบบจำลองแสดงดังในสมการที่ (16), (17) และ (18) ตามลำดับ โดยรายละเอียดสามารถศึกษาได้จาก [4] และ [6]

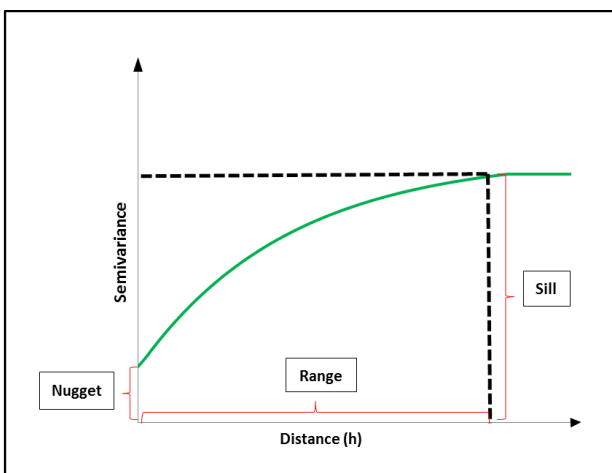
$$g(h) = C \cdot \left(1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) \quad \text{เมื่อ } h \leq a \quad (16)$$

$$= C \quad \text{เมื่อ } h = 0$$

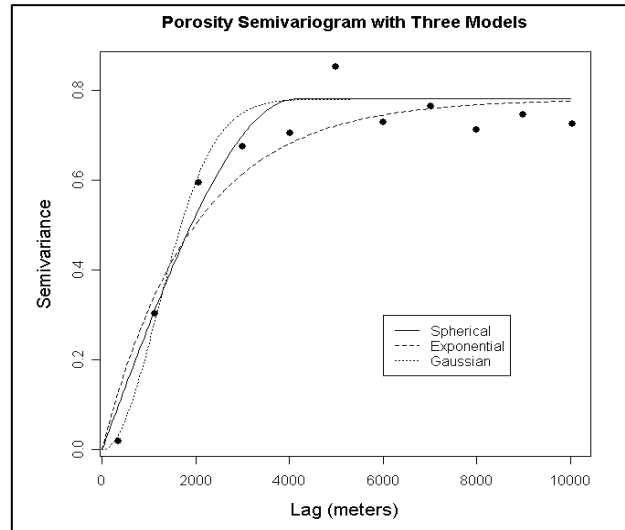
$$g(h) = C \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{-3h}{a} \right) \right) \quad (17)$$

$$g(h) = C \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{-3h^2}{a^2} \right) \right) \quad (18)$$

โดยที่ h หมายถึง ระยะทางที่ห่างกันระหว่างจุด 2 จุด a หมายถึง ค่าของ Range และ C หมายถึง ค่าของ Sill



ก) ลักษณะเฉพาะของ Semivariogram



ข) การเลือกแบบจำลองในการสร้าง Semivariogram ให้เข้ากับข้อมูลตรวจวัดรูปที่ 3 ลักษณะเฉพาะของ Semivariogram และการเลือกของแบบจำลองในการสร้าง Semivariogram ให้เข้ากับข้อมูลตรวจวัด

แบบจำลองที่ได้รับการคัดเลือกจะถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาคำนวนค่า Semivariogram และค่า Covariance ระหว่างจุด 2 จุด ของชุดข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ ซึ่งในที่นี้คือข้อมูล SPI สำหรับช่วงเวลาที่ยาวนาน (1, 3, 6, 9 และ 12 เดือน) ณ สถานีวัดน้ำฝนทั้ง 38 สถานี ในกลุ่มนี้ปีงตอนบน ในกรณีที่ต้องการคำนวณค่าของดัชนี SPI ณ จุดที่ไม่มีข้อมูลสามารถดำเนินการได้ โดยการเลือกจำนวนจุดที่ต้องการนำมาใช้ในการประเมินค่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าพิจารณาเลือกการประเมินค่าจากจุด 6 จุด ดังนั้นจึงทำการคำนวณค่า Covariance ระหว่างทุกคู่ของสถานีทั้ง 6 จุด โดยการแทนค่าระยะทางระหว่างคู่ของสถานีลงในแบบจำลองที่ได้รับการคัดเลือก จากนั้นสร้างเมตริก C ของคู่ลำดับกับสถานีที่พิจารณาทั้ง 6 สถานี ดังแสดงในสมการที่ (19) ซึ่งเป็นเมตริก 6×6 ต่อจากนั้นหาค่า C^{-1} (Inverse ของเมตริก C) ดังในสมการที่ (20) จากนั้นสมการที่ (20) ถ้าต้องการหาค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละสถานีที่พิจารณาทั้ง 6 สถานี เพื่อนำไปคูณกับค่า SPI ของแต่ละสถานีที่ทราบข้อมูล SPI ก็สามารถคำนวณได้โดยการสร้างเมตริก D ซึ่งหมายถึงระยะทางระหว่างจุดที่ต้องการประเมินค่า SPI ถึงจุดที่มีค่า SPI ดังนั้นในที่นี้เมตริก D จะเป็นเมตริก 1×6 เมื่อนำเมตริก C^{-1} ไปคูณกับเมตริก D ก็จะได้ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละจุดทั้ง 6 จุด ที่มีข้อมูล SPI ดังนั้น เมื่อนำค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละตัวไปคูณกับค่า SPI ณ จุดนั้น ๆ ก็จะได้ค่า SPI ที่เกิดจากการประเมินค่าโดยวิธีการ KG ตามต้องการ

$$C \cdot W = D \quad (19)$$

$$W = C^{-1}D \quad (20)$$

2.2.3 การตรวจสอบความถูกต้อง (Cross Validation)

ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของผลการประเมินค่าของดัชนี SPI โดยใช้วิธี WMA และ KG เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้อาจจากการตรวจวัด ณ จุดที่มีสถานีตรวจวัด ซึ่งในที่นี้คือสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 38 สถานี ที่มีการ

ประเมินค่า SPI ซึ่งเรียกว่า การทำ Cross Validation นั้น ดำเนินการโดยใช้ตัวแปรทางสถิติ 3 ตัวแปร ซึ่งประกอบด้วย Mean absolute error (MAE), Mean biased error (MBE) และ Root mean square error (RMSE) โดยแสดงการคำนวณในสมการที่ (21) ถึง (23) ตามลำดับ ทั้งนี้ในกรณีที่ไม่มีค่าผิดพลาดของผลการประเมินแล้ว ค่าทางสถิติเหล่านี้จะมีค่าเท่ากับ 0

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| \quad (21)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i)) \quad (22)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))^2}{n}} \quad (23)$$

โดยที่ n = จำนวนข้อมูล

$Z^*(x_i)$ = ค่าของดัชนี SPI ที่ได้จากการประเมินโดยแบบจำลอง

$Z(x_i)$ = ค่าของดัชนี SPI ที่คำนวณได้จากข้อมูลฝนที่ได้จากการตรวจวัด

2.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

2.3.1 การรวบรวมข้อมูลน้ำฝน

ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำจำนวน 83 สถานี และสถานีวัดน้ำฝนบริเวณข้างเคียงที่ได้รับการคัดเลือกในเบื้องต้นจำนวน 16 สถานี โดยสถานีโดยรอบดังกล่าวจะต้องมีความลึกฝนไม่แตกต่างจากความลึกฝนของสถานีที่ตั้งอยู่ภายในลุ่มน้ำปิงตอนบนมากนัก จากจำนวนสถานีวัดน้ำฝนดังกล่าว ได้นำข้อมูลของทุกสถานีมาตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลและจำนวนช่วงปีสถิติข้อมูล เพื่อคัดเลือกสถานีที่มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการประเมินดัชนี SPI โดยในการศึกษานี้ ได้เลือกพิจารณาเฉพาะสถานีที่มีข้อมูลครบถ้วนต่อเนื่องจำนวน 30 ปี ในระหว่างปี ค.ศ.1980-2009 ทั้งนี้ในกรณีที่ข้อมูลขาดเป็นบางช่วงจะส่งผลกระทบต่อทำให้ข้อมูลในเดือนนั้น ๆ ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถนำมาคำนวณค่าของดัชนี SPI ได้ ดังนั้น ในการศึกษาจึงได้ทำการเติมข้อมูลฝนรายวันโดยการเฉลี่ยจากสถานีโดยรอบด้วยวิธี Inverse Distance Square ซึ่งหมายถึงวิธีการเคลื่อนค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักในกรณีที่ตัวเลขยกกำลังเท่ากับสอง (ดูรายละเอียดจากสมการที่ (13)) ทั้งนี้ การเติมข้อมูลนั้นจะต้องเติมไม่เกินประมาณ 10% ของข้อมูลทั้งหมดของแต่ละสถานี จากการใช้กฎเกณฑ์ดังกล่าว พบว่าจำนวนสถานีที่สามารถนำมาใช้คำนวณดัชนี SPI มีจำนวนทั้งสิ้น 38 สถานี โดยเป็นสถานีในลุ่มน้ำจำนวน 25 สถานี และนอกลุ่มน้ำจำนวน 13 สถานี

2.3.2 การคำนวณดัชนีฝนมาตรฐาน

เมื่อทำการเตรียมข้อมูลความลึกฝนรายเดือนในช่วงเวลา 30 ปี ระหว่างปี ค.ศ. 1980 ถึงปี ค.ศ. 2009 แล้ว จากนั้นจึงทำการคำนวณค่า SPI สำหรับช่วงเวลาทีเลือกวิเคราะห์คือ 1, 3, 6, 9 และ 12 เดือน เพื่อแสดงระดับภัยแล้งที่มีค่าระหว่าง -3 ถึง 3

2.3.3 การเคลื่อนเชิงพื้นที่

จากผลการคำนวณค่าของดัชนี SPI ที่สถานีวัดน้ำฝนจำนวน 38 สถานี จากนั้นจึงพิจารณาคัดเลือกช่วงระยะเวลาในปี ค.ศ. 2001 เพื่อการเคลื่อนเชิงพื้นที่สำหรับหาค่าดัชนี SPI ไปยังบริเวณที่ไม่ทราบค่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

1) วิธีการเคลื่อนค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก โดยในการศึกษานี้จะพิจารณาเลือกจำนวนของสถานีที่ใช้ในการเคลื่อน (n) และเลขยกกำลังของระยะทาง (u) โดยพิจารณาผลจากการทำ Cross Validation

2) วิธีการคริกกิง โดยในการศึกษานี้จะเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมซึ่งประกอบด้วยแบบจำลอง Spherical, Exponential และ Gaussian เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองใดจะให้ความถูกต้องของผลการประเมินโดยการทำ Cross Validation มากที่สุด จากนั้นทำการเลือกสถานีโดยรอบจุดที่ต้องการทราบค่าเพื่อทำการหาค่าถ่วงน้ำหนัก และนำไปคูณกับค่าดัชนี SPI ก็จะสามารถหาค่าดัชนี SPI บริเวณจุดที่ต้องการทราบค่าได้

2.3.4 การจัดทำแผนที่ภัยแล้ง

จากการประยุกต์ใช้วิธี WMA และ KG จะทำให้ทราบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับวิธี WMA และแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับวิธี KG จากนั้นจึงเลือกสิ่งที่เหมาะสมที่สุดของทั้งสองวิธีการเพื่อนำไปสร้างแผนที่ภัยแล้งต่อไป

3. ผลการศึกษาและอภิปราย

3.1 ผลการคำนวณดัชนีฝนมาตรฐาน

จากผลการคำนวณค่าดัชนี SPI ที่สถานีวัดน้ำฝนจำนวน 38 สถานี สำหรับช่วงเวลา 1, 3, 6, 9 และ 12 เดือน โดยใช้ข้อมูลความลึกฝนระหว่างปี ค.ศ. 1980-2009 นั้น พบว่า การเกิดสภาพความรุนแรงภัยแล้งในแต่ละสถานีวัดน้ำฝนมีความแตกต่างกันในแต่ละสถานี ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณค่าของดัชนี SPI เป็นการคำนวณสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำฝน ซึ่งมีลักษณะเฉพาะของข้อมูลที่แตกต่างกันไปในแต่ละสถานี ดังนั้น ค่าของดัชนี SPI ซึ่งเป็นค่าที่ยากต่อการนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างสถานี ยกเว้นสถานีที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน มีความลึกฝนใกล้เคียงกัน ตลอดจนมีการผันแปรของความลึกฝนที่ใกล้เคียงกัน

เพื่อให้เห็นภาพผลการประเมินภัยแล้งโดยดัชนี SPI ดังนั้น จึงได้แสดงผลการคำนวณค่าของดัชนี SPI สำหรับช่วงเวลา 1, 3, 6, 9 และ 12 เดือน ที่สถานีวัดน้ำฝน 07013 ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4 จากรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีการเกิดภาวะภัยแล้งประมาณครึ่งหนึ่งของคาบการศึกษาในระหว่างปี ค.ศ. 1980-2009 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการแจกแจงความถี่แบบแกมมาหรือการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลเป็น 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 1 นอกจากนี้ ในรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ช่วงเวลาของการคำนวณค่าดัชนี SPI มีอิทธิพลต่อผลการประเมินมาก กล่าวคือ ในกรณีที่ช่วงเวลาด้าน ๆ จะทำให้ดัชนี SPI มีค่าที่เปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อช่วงเวลาเพิ่มขึ้นจะทำให้ดัชนี SPI มีการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งในกรณีหลังนี้จะเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะภัยแล้งที่ได้จากการคำนวณมี

ความต่อเนื่องที่ยาวนานขึ้น อันเป็นผลมาจากช่วงเวลาของข้อมูลฝนที่นำมาใช้คำนวณเป็นช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้น ดังนั้น ในการเลือกช่วงเวลาของข้อมูลฝนมาใช้ประกอบการคำนวณจึงขึ้นอยู่กับผู้วิเคราะห์ว่าต้องการเห็นภาพการเปลี่ยนแปลงของภาวะภัยแล้งในช่วงเวลาสั้น ๆ หรือต้องการภาพรวมในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น

นอกจากนั้นแล้ว ในตารางที่ 2 ได้แสดงตัวอย่างการเกิดภาวะภัยแล้งที่ระดับต่าง ๆ ที่สถานีวัดน้ำฝน 07013 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า จากข้อมูลในปี ค.ศ. 1980-2009 มีจำนวนปีที่พิจารณาทั้งสิ้น 30 ปี หรือ 360 เดือน โดยพบว่า มีจำนวนเดือนที่เกิดภาวะภัยแล้งในระดับต่าง ๆ สำหรับช่วงเวลา 1, 3, 6, 9 และ 12 เดือน เท่ากับ 151, 178, 166, 174 และ 174 เดือน ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับจำนวนเดือนที่วิเคราะห์ทั้งสิ้น 360 เดือน จึงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเดือนที่เกิดภัยแล้งสำหรับช่วงเวลาต่าง ๆ เท่ากับ 41.94%, 49.44%, 46.11%, 48.33% และ 48.33% ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยของการเกิดภัยแล้งทุกระดับ เท่ากับ 46.83% ซึ่งใกล้เคียงกับครึ่งหนึ่งของช่วงเวลาทั้งหมด และจากตารางดังกล่าวจะเห็นได้ว่าสำหรับทุกช่วงเวลาที่ศึกษานั้นมีการเกิดภาวะภัยแล้งระดับน้อย ปานกลาง รุนแรง และรุนแรงมาก โดยเฉลี่ยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 32.06%, 9.11%, 4% และ 1.67% ตามลำดับ

3.2 ผลการเฉลี่ยค่าดัชนี SPI เชิงพื้นที่

1) ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของวิธี WMA โดยใช้ตัวแปรทางสถิติ 3 ตัวแปร คือ MAE, MBE และ RMSE สำหรับค่าของดัชนี SPI ที่สถานีตรวจวัดน้ำฝนทั้ง 38 สถานี แสดงดังในตารางที่ 3 โดยในตารางดังกล่าว ได้มีการเลือกใช้ค่าของพารามิเตอร์ u (หมายถึง เลขยกกำลังของระยะทางระหว่างจุด 2 จุดที่พิจารณา) และพารามิเตอร์ n (หมายถึง จำนวนสถานีที่ใช้ในการเฉลี่ยเชิงพื้นที่) ในสมการที่ (13) โดยได้เลือกใช้ค่า คือ $u = 1, 2$ และ $n = 6, 7$ (ทั้งนี้จากการลองใช้ค่า u และ n อื่น ๆ จะได้ค่าความผิดพลาดที่สูงกว่ากรณีดังกล่าว) จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่ $u = 1$ และ $n = 7$ มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดในการประเมินค่าของดัชนี SPI โดยเฉลี่ยสำหรับทุกช่วงเวลาและทุกสถานี ที่ทำการตรวจสอบโดยการทำ Cross Validation นั้น มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่น ๆ กล่าวคือ จากการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ 3 ตัวแปร สำหรับค่าของ SPI ใน 5 ช่วงเวลา ซึ่งรวมเป็นกรณีทั้งสิ้น 15 ครั้ง (พิจารณาจากตัวเลขเชิงซึ่งให้ผลความผิดพลาดน้อยกว่ากรณีอื่น ๆ) พบว่า ในกรณี $n = 7$ และ $u = 1$ จะให้ค่าความผิดพลาดต่ำสุดจำนวน 12 ครั้ง โดยมีค่าความผิดพลาดของ MAE, MBE และ RMSE เท่ากับ 0.494, -0.042 และ 0.625 ตามลำดับ ด้วยเหตุผล

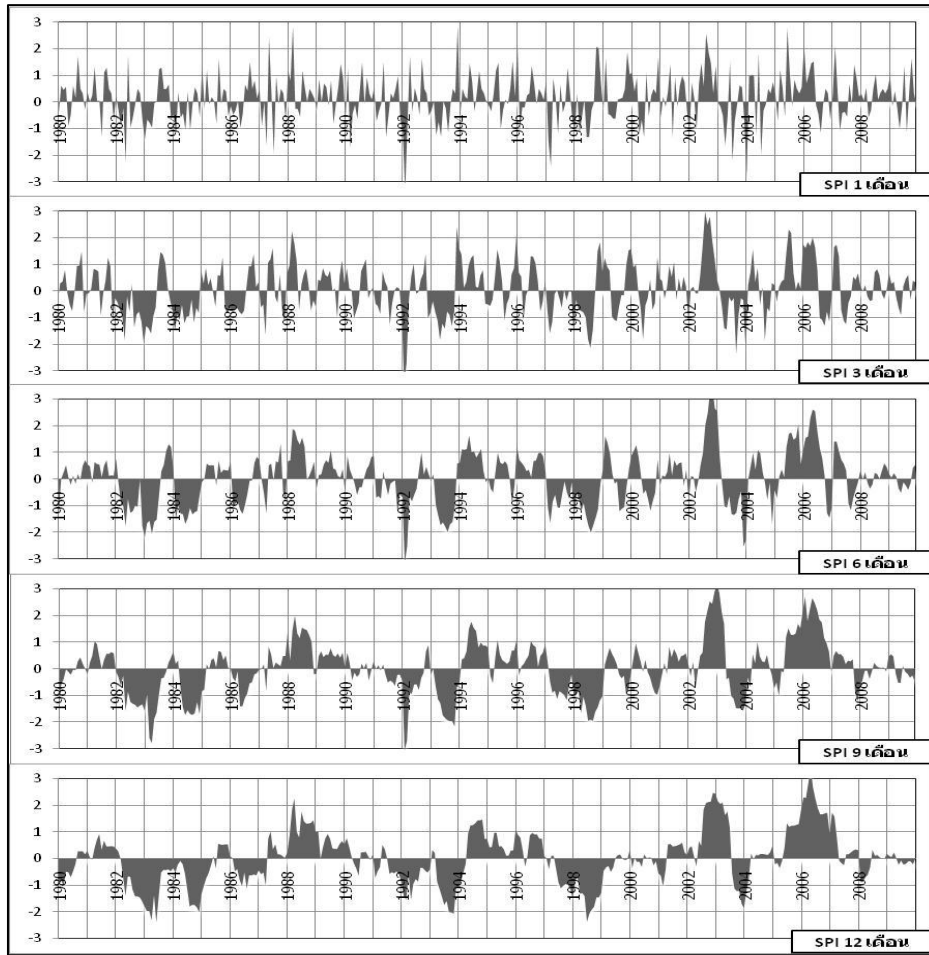
ดังกล่าว จึงพิจารณาเลือกค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวไปใช้เพื่อประกอบการสร้างดัชนีภัยแล้งเชิงพื้นที่สำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบนต่อไป

2) ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของวิธี KG แสดงดังในตารางที่ 3 เช่นกัน โดยการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมเพื่อการใช้สร้าง Semivariogram ให้เข้ากันได้กับ Semivariogram ที่คำนวณได้จากข้อมูลของค่า SPI ที่สถานีวัดน้ำฝนทั้ง 38 สถานี โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละแบบจำลอง ทำได้โดยการใช้วิธีการ Cross Validation เช่นกัน โดยเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดโดยใช้ตัวแปร MAE, MBE และ RMSE เช่นเดียวกับวิธี WMA จากตารางดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่ให้ค่าเฉลี่ยของตัวแปรเหล่านั้นมีค่าต่ำที่สุดคือแบบจำลอง Gaussian ทั้งนี้ จากการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ 3 ตัวแปร สำหรับค่าของ SPI ใน 5 ช่วงเวลา ซึ่งรวมเป็นกรณีศึกษาจำนวน 15 ครั้ง พบว่าแบบจำลอง Gaussian ให้ค่าความผิดพลาดต่ำสุดจำนวน 11 ครั้ง โดยมีค่าความผิดพลาดของ MAE, MBE และ RMSE เท่ากับ 0.492, -0.016 และ 0.612 ตามลำดับ ดังนั้นแบบจำลอง Gaussian จะถูกนำไปใช้ต่อไปเพื่อประกอบการสร้างแผนที่ดัชนีภัยแล้งเชิงพื้นที่สำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยวิธี KG ต่อไป

3) จากผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของวิธี KG และ WMA แสดงดังในตารางที่ 3 เช่นกัน จากตารางดังกล่าว จะเห็นได้ว่าจากจำนวนกรณีที่พิจารณาทั้งสิ้น 15 ครั้ง พบว่า วิธี KG ให้ผลการประเมินค่าความผิดพลาดต่ำกว่า วิธี WMA ทั้ง 15 ครั้ง (ตัวเลขหนา) โดยในจำนวนนี้ พบว่าแบบจำลอง Gaussian ให้ค่าความผิดพลาดต่ำสุดจำนวน 11 ครั้ง ตามกล่าวแล้วข้างต้น ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของ MAE, MBE และ RMSE สำหรับวิธี KG มีค่าเท่ากับ 0.494, -0.019 และ 0.617 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าเหล่านั้นที่ได้จากวิธี WMA มีค่าเท่ากับ 0.504, -0.046 และ 0.635 ตามลำดับ โดยทุกตัวแปรของวิธี WMA มีค่าสูงกว่าวิธี KG ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี KG ในผลการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ที่มีความถูกต้องมากกว่าวิธี WMA

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการเกิดภาวะภัยแล้งที่ระดับต่าง ๆ ที่สถานีวัดน้ำฝน 07013

SPI	ระดับภัยแล้ง				
	ภัยแล้งเล็กน้อย	ภัยแล้งปานกลาง	ภัยแล้งรุนแรง	ภัยแล้งรุนแรงมาก	รวม
1 เดือน	115 (31.94%)	26 (7.22%)	5 (1.39%)	5 (1.39%)	151 (41.94%)
3 เดือน	129 (35.83%)	33 (9.17%)	11 (3.06%)	5 (1.39%)	178 (49.44%)
6 เดือน	99 (27.5%)	42 (11.67%)	18 (5%)	7 (1.94%)	166 (46.11%)
9 เดือน	118 (32.78%)	30 (8.33%)	21 (5.83%)	5 (1.39%)	174 (48.33%)
12 เดือน	116 (32.22%)	33 (9.17%)	17 (4.72%)	8 (2.22%)	174 (48.33%)
ค่าเฉลี่ย	115 (32.06%)	32 (9.11%)	14 (4%)	6 (1.67%)	169 (46.83%)



รูปที่ 4 ผลการคำนวณค่าของดัชนี SPI สำหรับช่วงเวลา 1, 3, 6, 9 และ 12 เดือน ที่สถานีวัดน้ำฝน 07013

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความถูกต้อง (Cross Validation) ระหว่างวิธี KG กับ WMA ของค่าตัวแปรต่าง ๆ สำหรับสถานีวัดน้ำฝน 38 สถานี

SPI	ตัวแปร	Kriging (KG)				Weightd moving average (WMA)				
		Spherical	Exponential	Gaussian	ค่าเฉลี่ย	n=6, u=1	n=6, u=2	n=7, u=1	n=7, u=2	ค่าเฉลี่ย
1	MAE	0.418	0.416	0.418	0.417	0.426	0.442	0.426	0.440	0.434
	MBE	0.000	-0.003	-0.002	-0.002	-0.022	-0.022	-0.019	-0.020	-0.021
	RMSE	0.532	0.530	0.536	0.533	0.549	0.562	0.548	0.560	0.555
3	MAE	0.460	0.459	0.464	0.461	0.463	0.466	0.460	0.465	0.464
	MBE	-0.010	-0.014	-0.005	-0.010	-0.009	-0.008	-0.009	-0.009	-0.009
	RMSE	0.580	0.583	0.580	0.581	0.596	0.603	0.591	0.600	0.598
6	MAE	0.487	0.490	0.482	0.486	0.486	0.504	0.486	0.502	0.494
	MBE	-0.022	-0.028	-0.018	-0.023	-0.051	-0.055	-0.052	-0.057	-0.054
	RMSE	0.610	0.616	0.599	0.608	0.617	0.634	0.616	0.633	0.625
9	MAE	0.546	0.552	0.541	0.546	0.548	0.573	0.545	0.569	0.559
	MBE	-0.030	-0.035	-0.026	-0.030	-0.066	-0.079	-0.063	-0.078	-0.072
	RMSE	0.666	0.676	0.654	0.665	0.678	0.703	0.676	0.700	0.689
12	MAE	0.561	0.567	0.554	0.561	0.559	0.588	0.555	0.584	0.572
	MBE	-0.029	-0.037	-0.028	-0.031	-0.069	-0.081	-0.068	-0.081	-0.075
	RMSE	0.699	0.706	0.689	0.698	0.696	0.719	0.693	0.716	0.706
ค่าเฉลี่ย	MAE	0.494	0.497	0.492	0.494	0.497	0.515	0.494	0.512	0.504
	MBE	-0.018	-0.023	-0.016	-0.019	-0.043	-0.049	-0.042	-0.049	-0.046
	RMSE	0.617	0.622	0.612	0.617	0.627	0.644	0.625	0.642	0.635

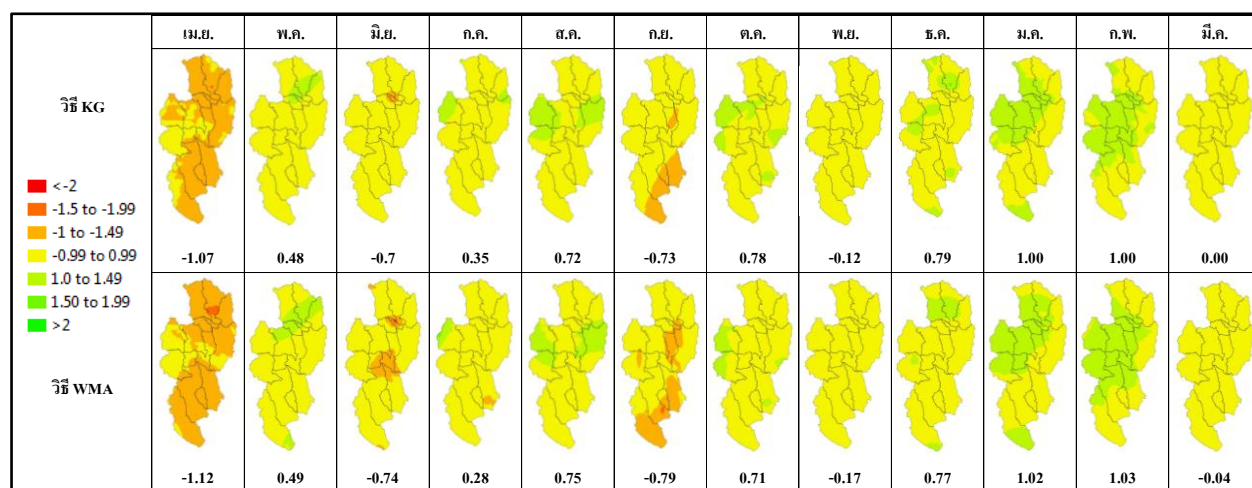
หมายเหตุ: ตัวเลขเอียง คือ ค่าความผิดพลาดค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่าง 3 แบบจำลอง ของวิธี KG และจากการเปรียบเทียบระหว่าง 4 กรณี ของวิธี WMA

ตัวเลขหนา คือ ค่าความผิดพลาดค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 แบบจำลอง ของวิธี KG รวมทั้ง 4 กรณี ของวิธี WMA

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของดัชนี SPI รายเดือนในแต่ละลุ่มน้ำย่อยในปี ค.ศ. 2001 สำหรับกรณี SPI ที่มีช่วงเวลา 1 เดือน

ลุ่มน้ำย่อย	ค่าของดัชนี SPI												
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ค่าเฉลี่ย
แม่น้ำปิงส่วนที่ 1	-1.17, -1.36 (16.11%)	0.89, 1 (11.94%)	-0.76, -0.83 (9.35%)	0.63, 0.55 (-11.57%)	0.45, 0.48 (5.47%)	-0.54, -0.66 (22.94%)	0.42, 0.38 (-10.86%)	-0.35, -0.43 (22.93%)	1, 1.01 (1.55%)	0.99, 1.03 (4.08%)	0.81, 0.84 (3.83%)	-0.06, -0.06 (-8.9%)	0.19, 0.16 (5.57%)
น้ำแม่จืด	-1.25, -1.32 (6.17%)	0.86, 0.83 (-3.26%)	-0.36, -0.48 (32.07%)	0.85, 0.81 (-4.74%)	0.7, 0.72 (3.36%)	-0.45, -0.34 (-24.83%)	0.5, 0.43 (-13.63%)	-0.33, -0.33 (-2.7%)	0.85, 0.92 (7.82%)	0.95, 0.95 (-0.51%)	0.85, 0.88 (3.25%)	0, -0.01 (201.35%)	0.26, 0.25 (17.03%)
แม่น้ำแม่แตง	-1.16, -1.34 (15.19%)	0.78, 0.83 (6.18%)	-0.89, -0.89 (-0.84%)	0.8, 0.54 (-32.26%)	0.58, 0.52 (-11.85%)	-0.57, -0.72 (26.32%)	0.62, 0.5 (-18.77%)	-0.3, -0.33 (11.66%)	0.99, 1.01 (2.05%)	1.05, 1.08 (2.57%)	0.93, 0.99 (6.15%)	-0.04, -0.13 (203.56%)	0.23, 0.17 (17.5%)
แม่น้ำปิงส่วนที่ 2	-1.05, -1.04 (-1.24%)	0.27, 0.18 (-33.3%)	-0.88, -0.9 (2.83%)	0.52, 0.52 (-0.21%)	0.93, 0.97 (4.32%)	-0.88, -1.02 (15.56%)	0.84, 0.75 (-10.08%)	-0.24, -0.28 (14.85%)	0.63, 0.65 (2.52%)	1.01, 1.01 (-0.15%)	1.13, 1.18 (4.49%)	-0.13, -0.11 (-11.03%)	0.18, 0.16 (-0.95%)
น้ำแม่ริ้ม	-1.15, -1.23 (6.6%)	0.96, 1.08 (13.25%)	-0.92, -0.91 (-0.78%)	0.74, 0.5 (-31.93%)	0.81, 0.85 (4.64%)	-0.72, -0.89 (24.53%)	0.97, 0.77 (-20.68%)	-0.11, -0.18 (62.81%)	0.83, 0.86 (3.87%)	1.12, 1.2 (7.19%)	1.13, 1.24 (9.84%)	-0.07, -0.09 (37.11%)	0.3, 0.27 (9.7%)
น้ำแม่กวาง	-1.07, -1.06 (-0.97%)	0.46, 0.28 (-38.02%)	-0.68, -0.73 (7.9%)	0.61, 0.63 (2.92%)	0.99, 1.08 (9.32%)	-0.79, -0.9 (13.1%)	0.85, 0.78 (-8.37%)	-0.3, -0.31 (4.78%)	0.62, 0.64 (3.68%)	0.86, 0.85 (-0.54%)	0.92, 0.93 (1.04%)	-0.09, -0.1 (6.75%)	0.2, 0.18 (0.13%)
น้ำแม่จาง	-0.98, -1.05 (7.15%)	0.59, 0.72 (21.92%)	-0.74, -0.73 (-0.94%)	0.72, 0.53 (-25.93%)	0.97, 0.93 (-3.92%)	-0.67, -0.82 (22.15%)	1.02, 0.85 (-16.24%)	-0.15, -0.24 (62.04%)	0.96, 0.85 (-11.67%)	1.16, 1.18 (1.98%)	1.14, 1.18 (3.55%)	-0.04, -0.07 (67.28%)	0.33, 0.28 (10.62%)
น้ำแม่สี	-1.17, -1.23 (5.49%)	0.44, 0.37 (-15.06%)	-0.65, -0.67 (2.64%)	-0.58, -0.55 (-3.77%)	0.61, 0.66 (9.55%)	-1.02, -1.01 (-0.36%)	0.84, 0.82 (-1.45%)	-0.18, -0.21 (16.21%)	0.67, 0.6 (-10.35%)	0.88, 0.86 (-1.53%)	0.96, 0.97 (1.83%)	-0.17, -0.2 (16.15%)	0.05, 0.04 (1.61%)
น้ำแม่กลาง	-0.94, -0.97 (3.75%)	0.11, 0.05 (-51.8%)	-0.86, -1.02 (18.4%)	0.37, 0.49 (32.87%)	0.92, 0.91 (-0.4%)	-0.62, -0.58 (-5.49%)	0.94, 0.86 (-8.03%)	0.04, -0.15 (-488.74%)	0.79, 0.73 (-8.43%)	1.08, 1.14 (5.25%)	1.23, 1.18 (-4.04%)	-0.08, -0.17 (125.35%)	0.25, 0.21 (-31.78%)
แม่น้ำปิงส่วนที่ 3	-1.09, -1.14 (4.88%)	0.13, 0.09 (-26.7%)	-0.66, -0.71 (6.96%)	-0.34, -0.39 (13%)	0.53, 0.59 (12.85%)	-0.87, -0.88 (1.02%)	0.64, 0.65 (0.56%)	-0.12, -0.19 (60.87%)	0.55, 0.57 (4.43%)	0.9, 0.88 (-2.18%)	1, 1.01 (0.99%)	-0.04, -0.13 (213.92%)	0.05, 0.03 (24.22%)
น้ำแม่แจ่มตอนบน	-0.97, -0.92 (-4.96%)	0.52, 0.68 (31.91%)	-0.71, -0.69 (-3.01%)	1.09, 0.94 (-14.19%)	1.14, 1.03 (-9.41%)	-0.47, -0.57 (21.11%)	1.13, 1.02 (-9.6%)	0.21, 0.27 (26.13%)	0.86, 0.85 (-0.48%)	1.14, 1.25 (10.24%)	1.05, 1.13 (7.85%)	0.27, 0.23 (-14.48%)	0.44, 0.44 (3.43%)
น้ำแม่แจ่มตอนล่าง	-0.88, -0.8 (-8.87%)	0.09, 0.16 (67.8%)	-0.52, -0.55 (5.56%)	0.53, 0.53 (-0.33%)	0.96, 0.96 (-0.19%)	-0.57, -0.67 (16.49%)	0.96, 0.97 (1.09%)	0.48, 0.36 (-26.68%)	0.87, 0.77 (-11.36%)	1.01, 1.11 (9.97%)	1.08, 1.12 (3.68%)	0.35, 0.29 (-17.74%)	0.36, 0.35 (3.28%)
น้ำแม่หาด	-1.12, -1.19 (6.04%)	0.24, 0.16 (-34.27%)	-0.52, -0.54 (4.42%)	-0.93, -0.82 (-12.24%)	0.69, 0.7 (2.02%)	-1.1, -1.01 (-7.89%)	0.76, 0.72 (-5.05%)	-0.3, -0.26 (-12.55%)	0.65, 0.6 (-8.73%)	0.86, 0.83 (-4.16%)	0.9, 0.9 (0.31%)	-0.18, -0.25 (35.69%)	0, -0.01 (-3.03%)
น้ำแม่ตื่น	-1.03, -1.08 (4.72%)	0.4, 0.41 (2.27%)	-0.66, -0.64 (-2.03%)	-0.12, -0.3 (142.53%)	-0.12, 0.03 (-126.45%)	-0.96, -1.06 (9.96%)	0.38, 0.45 (17.31%)	-0.04, -0.09 (118.08%)	0.76, 0.75 (-0.35%)	0.98, 0.97 (-1.37%)	0.88, 0.88 (0.82%)	0.24, 0.2 (-18.67%)	0.06, 0.04 (12.23%)
ค่าเฉลี่ย	-1.07, -1.12 (4.29%)	0.48, 0.49 (-3.37%)	-0.7, -0.74 (5.9%)	0.35, 0.28 (3.87%)	0.72, 0.75 (-7.19%)	-0.73, -0.79 (9.61%)	0.78, 0.71 (-7.42%)	-0.12, -0.17 (-9.31%)	0.79, 0.77 (-1.82%)	1, 1.02 (2.2%)	1, 1.03 (3.11%)	0, -0.04 (59.74%)	0.21, 0.18 (4.97%)
ค่าสูงสุด	-0.88, -0.8 (16.11%)	0.96, 1.08 (67.8%)	-0.36, -0.48 (32.07%)	1.09, 0.94 (142.53%)	1.14, 1.08 (12.85%)	-0.45, -0.34 (26.32%)	1.13, 1.02 (17.31%)	0.48, 0.36 (118.08%)	1, 1.01 (7.82%)	1.16, 1.25 (10.24%)	1.23, 1.24 (9.84%)	0.35, 0.29 (213.92%)	0.57, 0.55 (56.24%)
ค่าต่ำสุด	-1.25, -1.36 (-8.87%)	0.09, 0.05 (-51.8%)	-0.92, -1.02 (-3.01%)	-0.93, -0.82 (-32.26%)	-0.12, 0.03 (-126.45%)	-1.1, -1.06 (-24.83%)	0.38, 0.38 (-20.68%)	-0.35, -0.43 (-488.74%)	0.55, 0.57 (-11.67%)	0.86, 0.83 (-4.16%)	0.81, 0.84 (-4.04%)	-0.18, -0.25 (-18.67%)	-0.18, -0.19 (-66.27%)

หมายเหตุ: -1.17, -1.36, (16.11%) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของดัชนี SPI โดยวิธี KG, WMA และ เปอร์เซนความแตกต่างตามลำดับ



รูปที่ 5 ค่าของดัชนี SPI รายเดือนที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามพื้นที่ของลุ่มน้ำปิงตอนบนในปี ค.ศ. 2001 สำหรับช่วงเวลา 1 เดือน ที่ประเมินได้จากวิธี KG (รูปบน) และ WMA (รูปล่าง)

หมายเหตุ: -1.07 หมายถึง ค่าเฉลี่ยรายเดือนของดัชนี SPI

3 สรุปผลการศึกษา

ในงานวิจัยนี้เป็นการนำข้อมูลความลึกฝนรายเดือนของสถานีตรวจวัดฝนจำนวน 38 สถานี ที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบนและบริเวณโดยรอบ มาใช้เพื่อการวิเคราะห์ค่าของดัชนี SPI สำหรับช่วงเวลา 1, 3, 6, 9 และ 12 เดือน จากผลการศึกษาพบว่า ค่าของดัชนี SPI เป็นค่าที่เป็นอิสระสำหรับสถานีวัดน้ำฝนที่พิจารณา ดังนั้น ในการวิเคราะห์หว่าที่จุดตรวจวัดฝนใดจะมีความแห้งแล้งหรือไม่และมีระดับความแห้งแล้งอยู่ในระดับใดนั้น จะเป็นการวิเคราะห์ในลักษณะของการเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนแปลงของฝนที่สถานีตรวจวัดนั้น ๆ ทุ เวลาต่าง ๆ กับค่าทางสถิติของความลึกฝนที่เคยเกิดขึ้น ณ สถานีตรวจวัดเดียวกัน ดังนั้น จึงเป็นการยากที่จะนำสภาพความแห้งแล้งของต่างสถานีมาเปรียบเทียบกัน อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่สถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ใกล้เคียงกันจะมีแนวโน้มที่ความลึกฝนจะใกล้เคียงกันรวมทั้งจะมีการผันแปรของความลึกฝนที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้น จึงมีความสมเหตุสมผลพอที่จะทำการเฉลี่ยเชิงพื้นที่สำหรับค่าของดัชนี SPI ที่คำนวณได้ที่จุดตรวจวัดทั้ง 38 จุด เพื่อนำมาประกอบการสร้างแผนที่ภัยแล้ง ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ประยุกต์ใช้วิธี WMA และวิธี KG เพื่อการเฉลี่ยค่าของดัชนี SPI เชิงพื้นที่สำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน ผลการศึกษาพบว่า วิธี KG สามารถนำมาใช้เพื่อการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ได้อย่างถูกต้องมากกว่าวิธี WMA โดยแบบจำลอง Gaussian ให้ผลการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ที่ได้ถูกต้องมากกว่าแบบจำลองอื่น ๆ และสำหรับในกรณีของวิธี WMA นั้น พบว่า กรณีที่จำนวนสถานีที่เหมาะสมที่ควรนำมาประกอบการเฉลี่ยนั้นเท่ากับ 7 สถานี และตัวเลขกำลังของระยะทางระหว่างจุดพิจารณากับจุดของสถานีที่ใช้เฉลี่ยมีค่าเหมาะสมที่สุดเท่ากับ 1 จากการศึกษาจึงสรุปได้ว่าวิธี KG โดยแบบจำลอง Gaussian มีความเหมาะสมมากที่สุดที่จะนำมาใช้ในการเฉลี่ยเชิงพื้นที่เพื่อการสร้างแผนที่ติดตามภัยแล้งสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการการตรวจสอบภัยแล้งและการเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับประเทศไทย และ ขอขอบคุณ คุณสรยุทธ ฐิติชัยโรจน์กริช นิสิตปริญญาเอกแห่งภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยให้คำแนะนำการใช้โปรแกรมประกอบการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณกรมชลประทานสำหรับข้อมูลน้ำฝนรายวันซึ่งนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] A.K. Mishra, V.P. Singh. "A Review of Drought Concepts". *Journal of Hydrology*, 391, pp. 202-216, 2010.

[2] W.C. Palmer. "Meteorological Drought". U.S. Weather Bureau Research Paper 45, Office of Climatology, U. S. Department of Commerce, Washington D.C., pp. 58, 1965.

[3] W.J. Gibbs, J.V. Maher. *Rainfall Deciles as Drought Indicators Bureau of Meteorology Bulletin*. Commonwealth of Australia Melbourne, 1967, pp. 29.

[4] T.B. McKee, N.J. Doesken, J. Kleist. "The Relationship of Drought Frequency and Duration to time scales". *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17-22 January, 1993*, pp. 179-184.

[5] นุชนารถ และคณะ, "โครงการตรวจสอบภัยแล้งและการเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับประเทศไทย", รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1, สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กทม, พ.ศ. 2555.

[6] E.H. Issaaks, R.M. Srivastava. *Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, 1989.

[7] X. Zheng, R. Basher. "Thin-plate Smoothing Spline Modeling of Spatial Climate data and its Application to mapping South Pacific Rainfalls". *Journal of Monthly Weather*, pp. 3086-3102, 1995.

[8] P. Goovaert. "Geostatistical Approaches for Incorporating Elevation into the Spatial Interpolation of Rainfall". *Journal of Hydrology*, pp. 113-129, 2000.

[9] M. Borga, A. Vizzaccaro. "On the Interpolation of Hydrologic Variables: Formal Equivalence of Multiquadric Surface Fitting and Kriging". *Journal of Hydrology*, 195(1-4), pp. 160-171, 1997.

[10] K.N. Driks, J.E. Hay, C.D. Stow, D. Harris. "High Resolution Studies of Rainfall on Norfolk Island". *Journal of Hydrology*, 208 (3-4), pp. 187-193, 1998.

[11] A. Rouhangiz, M. Saeed, M. Mohammad, S. Vladimir. "Assessment of Areal Interpolation Methods for Spatial Analysis of SPI and EDI Drought Indices". *International Journal of Climatology*, pp. 135-145, 2009.

[12] H.C.S Thom. *Some Methods of Climatological Analysis*. WMO Technical Note Number 81, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, pp. 53, 1966

[13] M. Abramowitz, I.A. Stegun (edso). *Handbook of Mathematical Functions with Formulas*. New York, 1965, pp. 1046.

