



## การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งสำหรับลุ่มน้ำมูลโดยวิธีจับคู่เชื่อมโยงการแจกแจงปกติสองตัวแปร

พงศ์พันธุ์ ไหมทอง พรรณพิมพ์ พุทธิรักษา มะเปี่ยม\* และ สุรชัย ลิปิวัฒนาการ

ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 2797 0999 ต่อ 1907 อีเมล: fengppm@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.12.09

รับเมื่อ 25 กรกฎาคม 2561 แก้ไขเมื่อ 24 ตุลาคม 2561 ตอรับเมื่อ 30 พฤศจิกายน 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 12 ธันวาคม 2561

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

ความแห้งแล้งนับเป็นภัยธรรมชาติที่สำคัญ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและสังคม ในการประเมินความแห้งแล้งนั้นมีตัวแปรที่สำคัญประกอบด้วยความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้ง ซึ่งโดยทั่วไปมักไม่พิจารณาร่วมกัน การศึกษาครั้งนี้ได้ประเมินลักษณะความแห้งแล้งแบบ 2 ตัวแปร ในพื้นที่ลุ่มน้ำมูล เพื่อหาค่าความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้ง และวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและรอบปีการเกิดซ้ำแบบ 2 ตัวแปร ระหว่างความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้งจากฟังก์ชันของ Clayton Copula ผลการวิเคราะห์หรือรอบปีการเกิดซ้ำแบบ 1 ตัวแปร และ 2 ตัวแปร พบว่าการแจกแจงแบบ 2 ตัวแปร จะให้ค่ารอบปีการเกิดซ้ำที่ต่ำกว่าการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร และการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งแบบรุนแรงในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลมีค่าอยู่ระหว่าง 1.8–2.9 ปี ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีโอกาสสูงที่จะเกิดความแห้งแล้งแบบรุนแรงในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลที่มีความถี่ค่อนข้างมาก โดยมีการกระจายตัวเชิงพื้นที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

**คำสำคัญ:** ความแห้งแล้ง, ดรรชนีหยาดน้ำฟ้ามาตรฐาน, การกระจายตัว 2 ตัวแปร, วิธีจับคู่เชื่อมโยง



## Spatial Distribution of Drought Return Periods for the Mun Basin Using a Bivariate Copula Method

Pongpan Maithong, Punpim Puttaraksa Mapiam\*, and Surachai Lipiwattanakarn

Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 0 2797 0999 Ext. 1907, E-mail: fengppm@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.12.09

Received 25 July 2018; Revised 24 October 2018; Accepted 30 November 2018; Published online: 12 December 2018

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

Droughts are major natural disasters with significant impacts on environment, economic and society. In the assessment of the drought, the important parameters are drought severity and drought duration which are rarely taken into consideration together. This study aimed to assess the bivariate droughts in the Mun basin, to identify drought severity and duration, and to analyze the bivariate probability distribution for these two drought characteristics from Clayton copula method. The results of univariate and bivariate analyses of return period showed that the bivariate return period for each characteristic was smaller than that of the relying univariate return period. The return period of spatial distribution of extreme drought in the Mun basin was between 1.8–2.9 years. This showed that there was high probability of extreme drought occurring in the Mun basin with high frequency and fairly uniform distribution.

**Keywords:** Droughts, Standardized Precipitation Index, Bivariate Distribution, Copula Method

Please cite this article as: P. Maithong, P. Puttaraksa Mapiam, and S. Lipiwattanakarn, "Spatial distribution of drought return periods for the Mun basin using a bivariate copula method," *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 2, pp. 189–198, Apr.–Jun. 2019 (in Thai).

## 1. บทนำ

ลุ่มน้ำมูล ตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย เป็นพื้นที่หนึ่งที่เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำและภัยแล้งเป็นประจำทุกปี ซึ่งมีสาเหตุมาจากฝนไม่ตกตามฤดูกาลและเกิดสภาวะฝนทิ้งช่วงที่ติดต่อกันเป็นเวลานานในพื้นที่ลุ่มน้ำ ประกอบกับระบบนิเวศของลุ่มน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป ผลจากการขยายตัวของชุมชน กิจกรรมทางเศรษฐกิจต่างๆ รวมทั้งการขยายพื้นที่การเกษตรทั้งในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน ทำให้มีความต้องการน้ำจืดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง ขณะที่ศักยภาพของพื้นที่ในการพัฒนาแหล่งเก็บกักน้ำต้นทุนมีจำกัด แหล่งเก็บกักน้ำและแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีอยู่เกิดการตื้นเขินไม่สามารถเก็บกักน้ำได้เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่และวิถีชีวิตของราษฎรในพื้นที่ลุ่มน้ำ [1] ดังนั้นการศึกษาสภาวะของความแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลจึงมีความน่าสนใจเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการจัดการและการบรรเทาปัญหาภัยแล้งได้ต่อไป

ความแห้งแล้งในทางอุทกวิทยาโดยทั่วไปหมายถึงปรากฏการณ์ของการขาดน้ำฝนในช่วงระยะเวลายาวนานต่อเนื่องซึ่งทำให้เกิดความไม่พอเพียงของปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำใต้ดินอย่างมีนัยสำคัญ [2] และส่งผลกระทบต่อการเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และอุปโภคบริโภค เป็นสำคัญตามมา การวิเคราะห์ดรชนีความแห้งแล้งเป็นหนึ่งในเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการวางแผนการจัดการเพื่อลดความเสี่ยงของเหตุการณ์ภัยแล้ง ดรชนีที่ใช้วิเคราะห์ความแห้งแล้งมีอยู่หลายดรชนี เช่น ดรชนีความแห้งแล้งของพาล์มเมอร์ (Palmer Drought Severity Index; PDSI) ดรชนีหยาดน้ำฟ้ามาตรฐาน (Standardized Precipitation Index; SPI) ดรชนีความแห้งแล้งจากความชื้นที่พืชใช้ประโยชน์ (Crop Moisture Index; CMI) ดรชนีความชื้นในดิน (Soil Moisture Index; SMI) เป็นต้น [3] โดยดรชนีที่นิยมนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ดรชนีหยาดน้ำฟ้ามาตรฐาน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สภาวะความแห้งแล้งโดยพิจารณาจากปริมาณน้ำฝนสะสมในแต่ละช่วงเวลา เช่น 3, 6, 9 และ 12 เดือน เป็นต้น [4], [5]

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งส่วนใหญ่เป็นการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร (Univariate Distribution) อย่างไรก็ตาม ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาการวิเคราะห์ความแห้งแล้งแบบหลายตัวแปรมีความนิยมมากขึ้น โดยวิธีจับคู่เชื่อมโยง (Copula Method) เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เชื่อมโยงหลายตัวแปรเหล่านั้นเข้าด้วยกัน และสามารถอธิบายเหตุการณ์ภัยแล้งได้ดีกว่าการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร [6], [7] ทั้งนี้วิธีจับคู่เชื่อมโยงมีหลายฟังก์ชัน เช่น Clayton, Flank, Gumbel-Hougaard เป็นต้น [8] จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าฟังก์ชัน Clayton Copula มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งแบบ 2 ตัวแปร โดยสามารถเชื่อม 2 ตัวแปรได้เป็นอย่างดีและให้ผลที่ดีกว่าอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร [4], [9] สำหรับการวิเคราะห์การกระจายตัวของความแห้งแล้งเชิงพื้นที่ในกรณีใช้ 1 ตัวแปร จะอยู่ในรูปของแผนที่ความรุนแรง [10] ในขณะที่การพิจารณาแบบ 2 ตัวแปร จะอยู่ในรูปของแผนที่รอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งที่กำหนด [11]

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ที่จะวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและรอบปีการเกิดซ้ำร่วมของความแห้งแล้งแบบ 2 ตัวแปร (ความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้ง) ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีจับคู่เชื่อมโยง เพื่อนำมาวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำมูล ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำและภัยแล้งเป็นประจำทุกปี ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนในลุ่มน้ำมูลย้อนหลัง 30 ปี ถูกนำมาวิเคราะห์ดรชนีหยาดน้ำฟ้ามาตรฐาน (SPI) ที่ 3 เดือน และประมาณค่าความน่าจะเป็นและรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งแบบ 2 ตัวแปร โดยใช้ฟังก์ชัน Clayton Copula นอกจากนี้การประเมินความแห้งแล้งแบบ 1 ตัวแปร จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับแบบ 2 ตัวแปร เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการและการบรรเทาภัยแล้งได้ดียิ่งขึ้นต่อไป

## 2. พื้นที่และข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝน



รูปที่ 1 ที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำมูล

ของกรมชลประทานในพื้นที่ลุ่มน้ำมูล จำนวน 34 สถานี ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนย้อนหลัง 30 ปี สำหรับการวิเคราะห์ SPI ตามที่แนะนำโดย McKee et al. [12] ตั้งแต่เดือนเมษายน 2529 ถึงเดือนมีนาคม 2559

3. วิธีการวิจัย

3.1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลน้ำฝน

ข้อมูลน้ำฝนที่ผิดปกติเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากวิธีการและเครื่องมือในการเก็บข้อมูลรวมถึงตำแหน่งหรือสภาพแวดล้อมของสถานีวัดน้ำฝนในการศึกษานี้ได้ใช้วิธี Double-mass Curve ในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายสถานี โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสะสมของสถานีที่ต้องการตรวจสอบกับค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนสะสมของสถานีที่อยู่ข้างเคียงอย่างน้อย 3 สถานี กรณีข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนนั้นมีความน่าเชื่อถือ กราฟที่ได้จะแสดงเป็นเส้นตรงและมีความลาดชันคงที่

3.2 การวิเคราะห์ตัวแปรความแห้งแล้งด้วยตรรกะ SPI

ตัวแปรความแห้งแล้งสำหรับการศึกษานี้ประกอบด้วย 2 ตัวแปร คือ ระยะเวลาของความแห้งแล้ง (Drought Duration; D) และความรุนแรงของความแห้งแล้ง (Drought

Severity; S) โดยคณะวิจัยได้นำตรรกะนิยามน้ำฟ้ามาตรฐาน (SPI) ซึ่งพัฒนาขึ้นจากแนวคิดของ McKee et al. [12] มาใช้ประเมินตัวแปรความแห้งแล้งทั้งสองดังกล่าว ข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมในเวลา 3 เดือน ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินค่า SPI ในเวลา 3 เดือนสำหรับงานวิจัยนี้ ปกติแล้วปริมาณน้ำฝนโดยทั่วไปจะมีการกระจายในรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงแบบแกมมา (Gamma Distribution) แต่สำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาค่าตรรกะ SPI นั้นอาศัยค่าปริมาณน้ำฝนรวมสำหรับแต่ละช่วงเวลาเป็นหลัก จึงนิยมใช้ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นสะสมแกมมา (Gamma Cumulative Probability Density Function) ดังแสดงในสมการที่ (1)

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

เมื่อ  $\alpha$  คือ Shape Parameter,  $\beta$  คือ Scale Parameter,  $x$  คือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน และ  $\Gamma$  คือ ฟังก์ชันแกมมา การประมาณค่า Shape Parameter ( $\alpha$ ) และค่า Scale Parameter ( $\beta$ ) จะใช้วิธีความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากฟังก์ชันแกมมาจะหาค่าไม่ได้เมื่อ  $x = 0$  ซึ่งปริมาณน้ำฝนสามารถมีค่าเป็น 0 ได้เมื่อไม่มีฝนตก ดังนั้นจึงต้องแปลงฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นสะสม เป็นดังสมการที่ (2)

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (2)$$

เมื่อ  $q$  คือ ความน่าจะเป็นที่จะไม่มีฝนตก ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนเดือนที่ไม่มีฝนตก ( $m$ )หารด้วยจำนวนเดือนที่ศึกษา ( $n$ ) จากนั้นนำค่า  $H(X)$  มาแปลงเป็นค่าปกติมาตรฐาน ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1 ซึ่งค่าตรรกะนิยามน้ำฟ้ามาตรฐาน (SPI) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3) และ (4)

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

พงศ์พันธุ์ ไหมทอง และคณะ, “การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งสำหรับลุ่มน้ำมูลโดยวิธีจับคู่เชื่อมโยงการแจกแจงปกติสองตัวแปร.”

$$SPI = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right); 0.5 \leq H(x) \leq 1 \quad (4)$$

โดยที่

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{H(x)^2} \right)}; 0 \leq H(x) \leq 0.5 \quad (5)$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{1.0 - H(x)^2} \right)}; 0.5 \leq H(x) \leq 1 \quad (6)$$

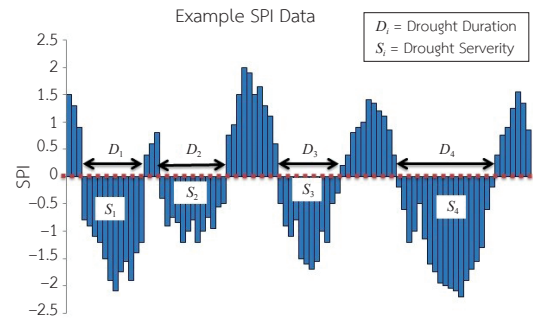
ค่าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์ในสมการที่ (3) และ (4) ตามคำแนะนำของ [12] คือ  $c_0 = 2.515517$ ,  $c_1 = 0.802853$ ,  $c_2 = 0.010328$ ,  $d_1 = 1.432788$ ,  $d_2 = 0.189269$  และ  $d_3 = 0.001308$

ผลการคำนวณค่า SPI จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์ตัวแปรความแห้งแล้ง ระยะเวลาความแห้งแล้ง และความรุนแรงของความแห้งแล้ง โดยอันดับแรกได้กำหนดค่า SPI ที่น้อยกว่า 0 เป็นจุดเริ่มต้นของความแห้งแล้ง [9] ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นพิจารณาระยะเวลาความแห้งแล้ง จากช่วงระยะเวลาต่อเนื่องที่ค่าตรวจนี้หยาดน้ำฟ้ามาตรฐาน SPI น้อยกว่า 0 และความรุนแรงถูกคำนวณจากค่าสะสมของตรวจนี้หยาดน้ำฟ้ามาตรฐานในช่วงระยะเวลาความแห้งแล้ง ดังแสดงในสมการที่ (7) และรูปที่ 2

$$S = - \sum_{i=1}^D SPI_i \quad (7)$$

ตารางที่ 1 เกณฑ์การแบ่งระดับความรุนแรงของตรวจนี้หยาดน้ำฟ้ามาตรฐาน (SPI)

ค่าตรวจนี้ (SPI)	ลักษณะ
มากกว่าหรือเท่ากับ 2.00	ฝนชุกมากที่สุด
1.50 ถึง 1.99	ฝนชุกมาก
1.00 ถึง 1.49	ฝนชุกปานกลาง
-0.99 ถึง 0.99	ฝนใกล้เคียงค่าปกติ
-1.00 ถึง -1.49	ฝนแล้งปานกลาง
-1.50 ถึง -1.99	ฝนแล้งมาก
น้อยกว่าหรือเท่ากับ -2.00	ฝนแล้งรุนแรงที่สุด



รูปที่ 2 การจำกัดความของลักษณะความแห้งแล้ง

### 3.3 วิธีจับคู่เชื่อมโยง (Copula Method)

วิธีจับคู่เชื่อมโยงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงแบบหลายตัวแปรซึ่งสามารถเชื่อมโยงฟังก์ชันของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเดี่ยวให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบหลายตัวแปรผ่านฟังก์ชันของคอปูลาในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกรูปแบบของฟังก์ชัน Clayton Copula เนื่องจากเป็นฟังก์ชันที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ความแห้งแล้งและเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลาย [4], [5] แสดงได้ดังสมการที่ (8)

$$C(u, v) = (u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1)^{-1/\theta}; \theta \geq 0 \quad (8)$$

เมื่อกำหนดให้  $u = F(x) = P(X \leq x)$ ,  $v = F(y) = P(Y \leq y)$  และ  $C(u, v) = H(x, y) = P(X \leq x, Y \leq y)$

โดยที่  $\theta$  เป็นพารามิเตอร์ของฟังก์ชันคอปูลา ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบตำแหน่งเคนดอลล์ (Kendall's Coefficient of Correlation;  $\tau$ ) ระหว่างตัวแปร  $x$  และ  $y$  แสดงดังสมการที่ (9)

$$\tau = \frac{\theta}{\theta + 2} \text{ หรือ } \theta = \frac{\tau}{1 - \tau} \quad (9)$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบตำแหน่งเคนดอลล์ (Kendall's  $\tau$  (tau)) คือการหาค่าทางสถิติแบบไร้พารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร โดย  $\tau$  มีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์แบบผันตรง (Concordant Pairs; C)

$\tau$  มีค่าเป็นลบ แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์แบบผกผัน (Disconcordant Pairs; D) และ  $\tau$  มีค่าเป็นศูนย์ แสดงว่าตัวแปรเป็นอิสระต่อกัน

ในการคำนวณค่า Kendall's  $\tau$  (tau) เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะความสัมพันธ์ของการแปรผันของตัวแปรสุ่มแล้ว จะทำการคำนวณค่า Kendall's  $\tau$  (tau) จากกลุ่มตัวอย่าง แสดงในสมการที่ (10)

$$\tau = \frac{C - D}{\left[ \left( \frac{n(n-1)}{2} \right) - n_x \right] \cdot \left[ \left( \frac{n(n-1)}{2} \right) - n_y \right]} \quad (10)$$

เมื่อ  $C$  คือ จำนวนค่าของคู่ตัวแปรสุ่มที่มีความสัมพันธ์ผกผันตรง  $D$  คือ จำนวนค่าของคู่ตัวแปรสุ่มที่มีความสัมพันธ์ผกผัน  $n$  คือ จำนวนข้อมูลคู่ตัวแปร  $n_x$  คือ จำนวนของตัวแปรสุ่มที่  $x_i - x_j = 0$  และ  $n_y$  คือ จำนวนของตัวแปรสุ่มที่  $y_i - y_j = 0$  ในการศึกษานี้จะแทนตัวแปร  $x$  ด้วยความรุนแรงความแห้งแล้ง ( $S$ ) และแทนตัวแปร  $y$  ด้วยระยะเวลาความแห้งแล้ง ( $D$ ) และกำหนดให้  $u = FS(S)$  และ  $v = FD(D)$  คือฟังก์ชันการแจกแจงแบบสะสม (Cumulative Distribution Function; CDFs) ของความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้ง ทำให้ได้สมการที่ (11)

$$C(F_S(s), F_D(d)) = (F_S(s)^{-\theta} + F_D(d)^{-\theta} - 1)^{-1/\theta}; \theta \geq 0 \quad (11)$$

โดยฟังก์ชันที่ใช้จะเป็นฟังก์ชันการแจกแจงแบบสะสมของการกระจายตัวแบบแกมมา ซึ่งสามารถเข้ากันได้ดีกับความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้ง [6] แสดงดังสมการที่ (12)

$$F_{S,D}(s, d) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^{s,d} t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (12)$$

โดย  $s$  คือ ความรุนแรงความแห้งแล้ง  $d$  คือ ระยะเวลาความแห้งแล้ง  $\hat{\alpha}$  คือ Shape parameter,  $\hat{\beta}$  คือ Scale Parameter,  $\Gamma$  คือ ฟังก์ชันแกมมา และ  $t = x/\hat{\beta}$

### 3.4 การวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำร่วมของเหตุการณ์ความแห้งแล้ง (The Bivariate Return Period of Drought Events)

รอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งได้ถูกวิเคราะห์ใน 2 ลักษณะ คือแบบ 1 ตัวแปร และ 2 ตัวแปรร่วม สำหรับการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร รอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งเมื่อพิจารณาตัวแปรความรุนแรงความแห้งแล้ง ( $T_S$ ) และระยะเวลาความแห้งแล้ง ( $T_D$ ) จะถูกคำนวณอย่างอิสระต่อกัน ดังแสดงในสมการที่ (13) และ (14) ตามลำดับ

$$T_S = \frac{1}{\gamma P(S \geq s)} = \frac{1}{\gamma(1 - F_S(s))} \quad (13)$$

$$T_D = \frac{1}{\gamma P(D \geq d)} = \frac{1}{\gamma(1 - F_D(d))} \quad (14)$$

ในขณะที่การวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งแบบ 2 ตัวแปร ( $T_{SD}$ ) จะนำตัวแปรความรุนแรงและช่วงเวลาของความแห้งแล้งมาพิจารณาร่วมกัน ดังแสดงการคำนวณในสมการที่ (15)

$$T_{SD} = \frac{1}{\gamma(P(S \geq s \text{ or } D \geq d))} = \frac{1}{\gamma(1 - C_o(F_S(s), F_D(d)))} \quad (15)$$

เมื่อ  $\gamma$  คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนเหตุการณ์ความแห้งแล้งต่อจำนวนปีที่ศึกษา

### 3.5 การวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้ง

การวิเคราะห์นี้มีเป้าหมายเพื่อต้องการสร้างแผนที่แสดงรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งในกลุ่มน้ำมูลที่มีระดับความรุนแรงอยู่ในเกณฑ์มากที่สุด ดังนั้นการกำหนดค่าความรุนแรงและระยะเวลาของความแห้งแล้งที่ใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่นี้ ได้กำหนดจากค่าเฉลี่ยของค่าน้อยที่สุดของดรชนิหยาดน้ำฟ้ามาตรฐาน SPI ที่มีค่าน้อยกว่า -2.00 หรือระดับความรุนแรงฝนแล้งมากที่สุดเป็นเกณฑ์เริ่มต้นของการเกิดความแห้งแล้ง [11] และนำค่า

ดังกล่าวไปใช้ในการหาค่าความน่าจะเป็นและรอบปีการเกิดซ้ำแบบ 1 ตัวแปร และแบบ 2 ตัวแปร ของทุกสถานีวัดน้ำฝน แล้วนำมากระจายเชิงพื้นที่โดยอาศัยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) ในการเปลี่ยนผลลัพธ์รายสถานีที่ได้จากการวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่

#### 4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

##### 4.1 ความน่าเชื่อถือของข้อมูลน้ำฝน

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือข้อมูลโดยวิเคราะห์ Double-mass Curve พบว่า ข้อมูลน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษามีความน่าเชื่อถือทั้ง 34 สถานี โดยเส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความลาดชันคงที่

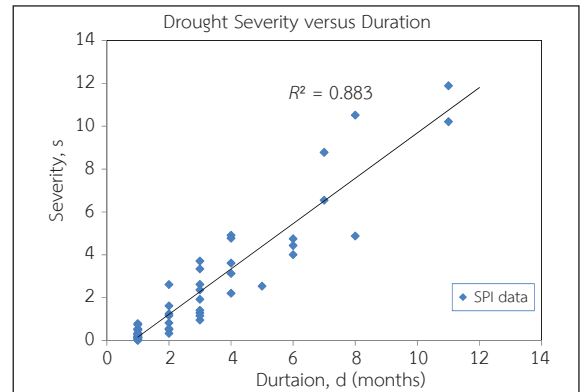
##### 4.2 ตัวแปรความรุนแรงและระยะเวลาของความแห้งแล้ง

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีหยาดน้ำฟ้ามาตรฐาน (SPI) ที่ 3 เดือน ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ตัวแปรความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้ง ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองของทุกสถานีพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) มีค่ามากกว่า 0.6 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.762 ดังแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ที่สถานีวัดน้ำฝน 020092 ในรูปที่ 3 ดังนั้นความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้งจึงมีความสัมพันธ์กันในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในทุกสถานีและมีความเหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์ความน่าจะเป็นร่วมได้ต่อไป

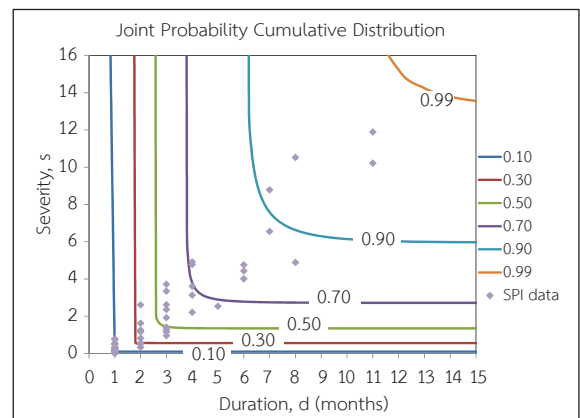
##### 4.3 ความน่าจะเป็นและรอบปีการเกิดซ้ำแบบ 1 และ 2 ตัวแปร

การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและรอบปีการเกิดซ้ำแบบ 2 ตัวแปร ได้ใช้ผลการศึกษาค่าความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้ง ที่ SPI 3 เดือน ดังกล่าวข้างต้น โดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน Clayton Copula และการแจกแจงแบบ 2 ตัวแปรร่วม ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างของสถานีวัดน้ำฝน 020092 ได้ดังแสดงในรูปที่ 4

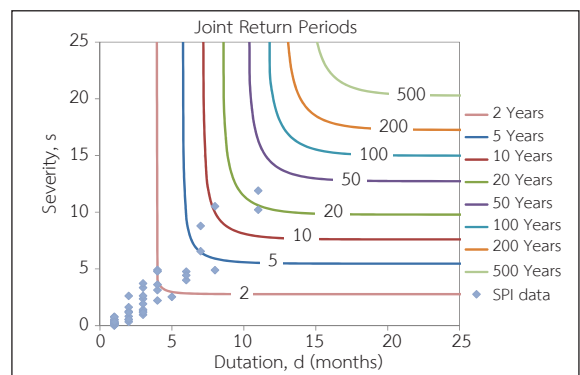
รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำที่ได้จากการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร และแบบ 2 ตัวแปร ของ SPI ที่ 3 เดือน โดยกำหนดค่าความรุนแรงและ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้งจากการวิเคราะห์ SPI 3 เดือน ที่สถานีวัดน้ำฝน 020092

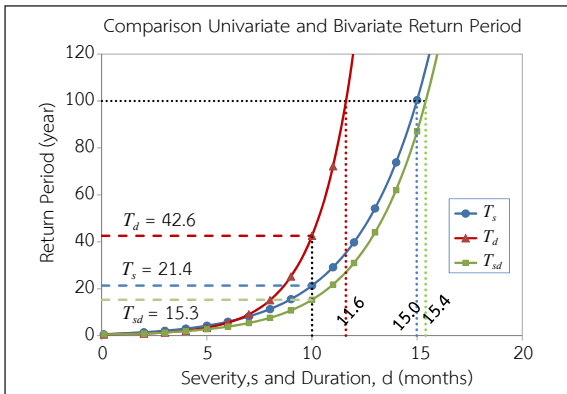


(ก) ความน่าจะเป็นแบบ 2 ตัวแปร



(ข) รอบปีการเกิดซ้ำแบบ 2 ตัวแปร

รูปที่ 4 การแจกแจงแบบ 2 ตัวแปร ระหว่างความรุนแรงและระยะเวลา



รูปที่ 5 เปรียบเทียบรอบปีการเกิดซ้ำแบบ 1 ตัวแปร และรอบปีการเกิดซ้ำแบบ 2 ตัวแปร

ระยะเวลาเหตุการณ์ภัยแล้งในแกนเดียวกัน (แกน  $x$ ) กับรอบปีการเกิดซ้ำ (แกน  $y$ ) สำหรับการวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำแบบ 2 ตัวแปรนั้น จะกำหนดให้ค่าความรุนแรงและระยะเวลาการเกิดเหตุการณ์ความแห้งแล้งมีค่าเท่ากัน จากรูปพบว่าเมื่อพิจารณาที่ความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้งเดียวกัน ที่รอบปีการเกิดซ้ำแบบ 2 ตัวแปร จะมีขนาดเล็กกว่าหรือมีโอกาสเกิดได้ถี่กว่าการวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำแบบ 1 ตัวแปร หรือเมื่อพิจารณาที่รอบปีการเกิดซ้ำเดียวกัน พบว่าการแจกแจงแบบ 2 ตัวแปร แสดงค่าความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้งมากกว่าการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยด้านการวิเคราะห์ความแห้งแล้งโดยวิธีจับคู่เชื่อมโยง [4]–[9], [14] ที่พบว่า การแจกแจงแบบ 2 ตัวแปร จะให้ค่าความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้งมากกว่าการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร

#### 4.4 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้ง

จากการพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าที่น้อยที่สุดของค่าดัชนีหยาดน้ำฟ้ามาตรฐาน SPI ที่ 3 เดือน ที่มีค่าน้อยกว่า -2.00 ของทุกสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำมูล เพื่อใช้เป็นเกณฑ์เริ่มต้นของความแห้งแล้งแบบรุนแรงนั้น พบว่ามีค่าความรุนแรงมากกว่าหรือเท่ากับ 5 และระยะเวลาความแห้งแล้งมากกว่าหรือเท่ากับ 4 เดือน ผลการคำนวณนี้ถูกนำไปวิเคราะห์รอบปี

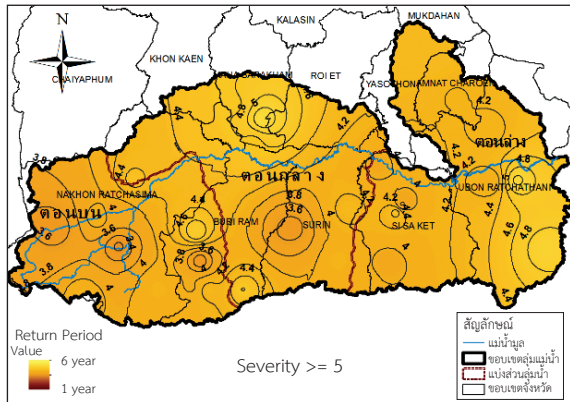
การเกิดซ้ำของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนและวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ทั้งแบบ 1 ตัวแปร และ 2 ตัวแปร ดังแสดงผลการศึกษาในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นแผนที่แสดงโอกาสการเกิดความแห้งแล้งแบบรุนแรงมากในพื้นที่ลุ่มน้ำมูล

รูปที่ 6 (ก) แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของรอบปีการเกิดซ้ำแบบ 1 ตัวแปร ที่ความรุนแรงมากกว่าหรือเท่ากับ 5 พบว่ามีค่ารอบปีการเกิดซ้ำอยู่ระหว่าง 2.7–4.6 ปี โดยมีการกระจายตัวไม่แตกต่างกันมาก แต่บริเวณลุ่มน้ำมูลตอนล่างจะมีโอกาสเกิดความแห้งแล้งน้อยกว่าพื้นที่อื่นเล็กน้อย รูปที่ 6 (ข) แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของรอบปีการเกิดซ้ำแบบ 1 ตัวแปร ที่ระยะเวลามากกว่าหรือเท่ากับ 4 เดือน พบว่ามีรอบปีการเกิดซ้ำอยู่ระหว่าง 1.9–3.0 ปี โดยมีการกระจายตัวไม่แตกต่างกันมาก แต่จะมีความถี่ของโอกาสการเกิดสูงกว่าการใช้ตัวแปรความรุนแรง 1 เท่า ส่วนรูปที่ 6 (ค) แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของรอบปีการเกิดซ้ำแบบ 2 ตัวแปร ที่ความรุนแรงมากกว่าหรือเท่ากับ 5 และระยะเวลามากกว่าหรือเท่ากับ 4 เดือน พบว่ารอบปีการเกิดซ้ำอยู่ระหว่าง 1.8–2.9 ปี จากผลการศึกษาข้างต้นบ่งชี้ว่าโอกาสการเกิดความแห้งแล้งแบบรุนแรงมากในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลมีค่อนข้างสูงมาก (เนื่องจากรอบปีการเกิดซ้ำต่ำ) โดยการแจกแจงแบบ 2 ตัวแปร จะให้ค่ารอบปีการเกิดซ้ำน้อยกว่าประมาณ 1 เท่าหรือมีโอกาสเกิดถี่กว่า 1 เท่าของการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร ของความรุนแรง แต่จะมีความใกล้เคียงการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร ของระยะเวลา ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากค่ารอบปีการเกิดซ้ำต่ำส่งผลให้ระยะเวลาของความแห้งแล้งจะมีอิทธิพลต่อการแจกแจงแบบ 2 ตัวแปรมากกว่าความรุนแรง

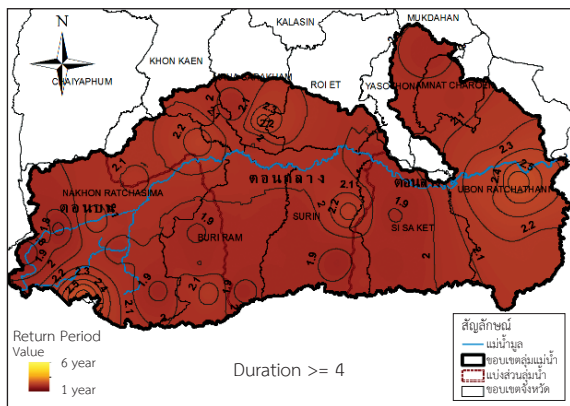
เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของรอบปีการเกิดซ้ำพบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในเชิงพื้นที่ ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าเนื่องมาจากลักษณะของฝนในลุ่มน้ำมูลมีการกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอเชิงพื้นที่ และพื้นที่ทั้งหมดอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมแบบเดียวกัน ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Liu *et al.* [11] ที่ทำในประเทศจีนและพบความแตกต่างในเชิงพื้นที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากพื้นที่ประเทศจีนมีขนาดใหญ่มากกว่าลุ่มน้ำมูลมาก ทำให้พื้นที่ประเทศจีนอยู่ภายใต้อิทธิพลของฝนหลายรูปแบบ

พงศ์พันธุ์ ไหมทอง และคณะ, “การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งสำหรับลุ่มน้ำมูลโดยวิธีจับคู่เชื่อมโยงการแจกแจงปกติสองตัวแปร.”

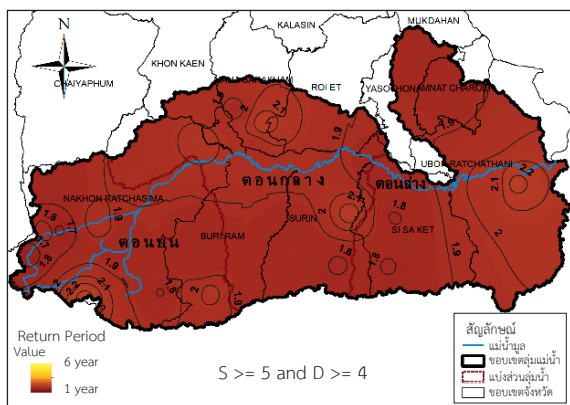




(ก) รอบปีการเกิดซ้ำ 1 ตัวแปร ของความรุนแรง



(ข) รอบปีการเกิดซ้ำ 1 ตัวแปร ของระยะเวลา



(ค) รอบปีการเกิดซ้ำ 2 ตัวแปร ของความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้ง

รูปที่ 6 รอบปีการเกิดซ้ำแบบ 1 ตัวแปร และ 2 ตัวแปร ที่ SPI 3 เดือน

## 5. สรุป

ความแห้งแล้งนับเป็นภัยคุกคามอย่างหนึ่งสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำมูล โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรม การวิเคราะห์ความแห้งแล้งสามารถนำมาใช้สนับสนุนการบริหารจัดการลุ่มน้ำในสภาวะภัยแล้ง รวมถึงการเตรียมความพร้อมรับมือสภาวะดังกล่าว ตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแห้งแล้งคือ ความรุนแรงและระยะเวลาของความแห้งแล้ง ผลการศึกษาเห็นได้ชัดว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ต่อกันในระดับที่ดี ซึ่งสนับสนุนได้ว่าการนำตัวแปรทั้งสองมาร่วมพิจารณาในรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งจะสามารถสะท้อนพฤติกรรมความแห้งแล้งได้อย่างสมเหตุสมผลมากกว่าการพิจารณาแบบ 1 ตัวแปร เพียงอย่างเดียว ซึ่งผลการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์ความแห้งแล้งแบบพิจารณาทั้ง 2 ตัวแปร ด้วยวิธี Clayton Copula ให้ผลการวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำที่มีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร (ทั้งของตัวแปรความรุนแรงและระยะเวลาความแห้งแล้ง) ดังนั้นเมื่อศึกษาที่ความรุนแรงหรือระยะเวลาความแห้งแล้งเดียวกัน รอบปีการเกิดซ้ำแบบ 2 ตัวแปร จะมีโอกาสเกิดขึ้นได้บ่อยกว่ารอบปีการเกิดซ้ำแบบ 1 ตัวแปร สำหรับผลการวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของความแห้งแล้งระดับรุนแรงในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลสรุปได้ว่า การกระจายตัวของรอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งค่อนข้างมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำมูล แต่ค่าของรอบปีการเกิดซ้ำจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับวิธีการที่นำมาใช้วิเคราะห์ กล่าวคือการประยุกต์ใช้การแจกแจงแบบ 2 ตัวแปร ให้ค่ารอบปีการเกิดซ้ำในลุ่มน้ำมูลมีค่าอยู่ระหว่าง 1.8–2.9 ปี ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร ของระยะเวลาการเกิดภัยแล้ง แต่มีค่าต่ำกว่าการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร ของความรุนแรงถึง 1 เท่า ดังนั้นถ้าประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแห้งแล้งแบบ 2 ตัวแปร เพื่อการบริหารจัดการลุ่มน้ำในสภาวะภัยแล้ง จะเป็นประโยชน์ต่อการเตรียมความพร้อมรับมือกับสภาวะภัยแล้งได้ทันทั่วทั้งมากกว่าการแจกแจงแบบ 1 ตัวแปร อย่างไรก็ตาม รอบปีการเกิดซ้ำของความแห้งแล้งในลุ่มน้ำมูลที่ประเมินได้จากการศึกษานี้ เป็นเพียงตรรกะเชิงป้องกันซึ่งความรุนแรงของความแห้งแล้งเชิงพื้นที่เพื่อนำไปวางแผนรับมือกับภัยแล้งเท่านั้น การตรวจสอบ



ความถูกต้องของดรชชนิดดังกล่าวต้องอาศัยข้อมูลความแห้งแล้งจริงเชิงตัวเลขที่มีการเก็บข้อมูลต่อเนื่องในระยะเวลา ยาวนาน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการคัดเลือกวิธีการประเมินความแห้งแล้งได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้ต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมชลประทานและกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย สำหรับข้อมูลต่างๆ ในการศึกษา

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Hydro and Agro Informatics Institute, "Database system of 25 basins in Thailand and flood-drought modeling: Moon basin," ASDECON Corporation Co., Ltd., Bangkok, Thailand, 2012 (in Thai).
- [2] WMO, *Guide to Hydrological Practices*, WMO-No. 168, 6th ed., Switzerland: World Meteorological Organization, 2009, pp. 302.
- [3] A. K. Mishra and V. P. Singh, "Drought modeling—A review," *Journal of Hydrology*, vol. 403, no. 1–2, pp. 157–175, 2011.
- [4] J. Almedej, "Drought analysis for kuwait using standardized precipitation index," *The Scientific World Journal*, pp. 1–9, 2014.
- [5] J. T. Shiau, S. Feng, and S. Nadarajah, "Assessment of hydrological droughts for the Yellow River China, using copulas," *Hydrological Processes*, vol. 21, no. 16, pp. 2157–2163, 2007.
- [6] E. M. R. S. B. Ekanayake and K. Perera, "Analysis of drought severity and duration using copulas in anuradhapura, Sri Lanka." *British Journal of Environment & Climate Change*, vol. 4, no. 3, pp. 312–327, 2014.
- [7] M. Naresh Kumar, C. S. Murthy, M. V. R. S. S. Sai, and P. S. Roy, "On the use of Standardized Precipitation Index (SPI) for drought intensity assessment," *Meteorological Applications*, vol. 16, no. 3, pp. 381–389, 2009.
- [8] J. T. Shiau, "Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas," *Water Resources Management*, vol. 20, no. 5, pp. 798–815, 2006.
- [9] F. Yusof, F. Hui-Mean, J. Suhaila, and Z. Yusof, "Characterisation of drought properties with bivariate copula analysis," *Water Resources Management*, vol. 27, no. 12, pp. 4183–4207, 2013.
- [10] D. Rajsekhar, V. P. Singh, and A. Mishra, "Hydrological drought atlas for the state of texas," *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 20, no. 7, 2014.
- [11] X. Liu, S. Wang, Y. Zhou, F. Wang, G. Yang, and W. Liu, "Spatial analysis of meteorological drought return periods in china using copula," *Natural Hazards*, vol. 80, no. 1, pp. 367–388, 2016.
- [12] T. B. McKee, N. J. Doelsken, and J. Kleist, "The relationship of drought frequency and duration to time scales," in *Proceedings of Eighth Conference on Applied Climatology*, 1993, pp. 179–184.
- [13] M. Karabulut, "Drought analysis in Antakya - Kahramanmaraş graben, Turkey," *Journal of Arid Land*, vol. 7, no. 6, pp. 741–754, 2015.
- [14] R. Mirabbasi, A. Fakheri-Fard, and Y. Dinpashoh, "Bivariate drought frequency analysis using the copula method," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 108, no. 1–2, pp. 191–206, 2011.