วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 26 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2564
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 26 (No.2) May – August 2021
บทความวิจัย

การแจกแจงความน่าจะเป็นของการไหลกระแสน้ำรายวันและรายเดือนในลุ่มน้ำชี

The Probability Distribution of Daily and Monthly Streamflow in the Chi-River Basin

คณาธิป โมคทิพย์[1], จิตรานุช เฉยไธสง[1], ปิยภัทร บุษบาบดินทร์[1], พรรณรัตน์ ก้วยเจริญพานิชก์[2] และ ทศพล ภูผิวฟ้า[1*]

Kanathip Mokthip[1], Jittranuch Chaythaisong[1], Piyapatr Busababodhin[1],

Pannarat Guayjarernpanishk[2] and Tossapol Phoophiwfa[1*]

[1]*ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*

[2]*คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์และวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาเขตหนองคาย มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

[1]*Mathematics Department, Faculty of Science, Mahasarakham University*

[2]*Faculty of Applied Science and Engineering, Nong Khai Campus, Khon Kaen University*

Received : 29 May 2020

Revised : 21 July 2020

Accepted : 14 October 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสมของอัตราการไหลกระแสน้ำรายวันและรายเดือนในลุ่มน้ำชี และเพื่อสร้างโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow Duration Curve: FDC) และโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารอบการบันทึก (Flow Duration Curve period of record: FDC_{POR}) ในลุ่มน้ำชี โดยใช้ข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวัน ตั้งแต่ พ.ศ. 2555 ถึง พ.ศ. 2562 รวมทั้งหมด 8 ปี จากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชีกลาง และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชีล่างและเซบายล่าง ทั้งหมด 6 เขื่อน ได้แก่ เขื่อนชนบท เขื่อนมหาสารคาม เขื่อนวังยาง เขื่อนร้อยเอ็ด เขื่อนยโสธร และเขื่อนธาตุน้อย สำหรับข้อมูลรายวันจะใช้การแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไป การแจกแจงล็อกนอร์มัล และการแจกแจงล็อกลอจิสติก ในการวิเคราะห์ สำหรับข้อมูลรายเดือนจะใช้การแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไป การแจกแจงล็อกนอร์มัลและการแจกแจงล็อกลอจิสติก และประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด พร้อมทั้งหาระดับการเกิดซ้ำของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนทั้งข้อมูลรายวันและรายเดือน ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบโค้ง FDC กับโค้ง FDC_{POR} ที่ผ่านการแจกแจงของข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านทั้งรายวันและรายเดือน โดยวิธีการประเมิน Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) พบว่า เมื่อมองภาพรวมทั้งข้อมูลรายเดือนและรายวัน อัตราการไหลกระแสน้ำผ่านเขื่อนในลุ่มน้ำชีเหมาะสมกับการแจกแจงล็อกนอร์มัล รองลงมาคือการแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไป การแจกแจงล็อกลอจิสติก และการแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไป ตามลำดับ เมื่อพิจารณาระดับการเกิดซ้ำในรอบปีการเกิดซ้ำ 2, 5, 10, 15, 25, 50 และ 100 ปี ของข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านทั้งรายวันและรายเดือน พบว่า ระดับการเกิดซ้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรอบปีการเกิดซ้ำเพิ่มขึ้นทั้งหมด 6 เขื่อน

คำสำคัญ : โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา ; การไหลของกระแสน้ำ ; การแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไป ; การแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไป

Abstract

This research purposes to find the probability distribution of daily and monthly streamflow in the Chi river basin and to create Flow duration curve (FDC) and Flow duration curve period of record (FDC_{POR}) in the Chi river basin. By using data the daily drainage rate through the dam from 2012 to 2019 from Middle Chi Operation and Maintenance Project and Lower Chi, and Lower Saebai Operation and Maintenance Project. There are 6 dams, which consist of Chonabod dam, Mahasarakham dam, Wang-Yang dam, Roi-et dam, Yasothorn dam and Tadnoi dam. For monthly data, 3 distributions are used in the analysis: generalized pareto distribution, log-normal distribution and log-logistics distribution and for daily data, 3 distributions are used in the analysis: generalized extreme value distribution, log-normal distribution and log-logistics distribution. parameters of each distribution are estimated by maximum likelihood method (MLE). As well as, the daily and monthly data are using to estimate the return level at various times. The analysis results for comparing FDC curve and FDC_{POR} curve through the distribution of daily and monthly drainage flow data by method of Nash-sutcliffe efficiency (NSE), it was found that, log-nomal distribution was suitable for most dams and follow with generalized pareto distribution, log-logistics distribution and generalized extreme value distribution, respectively. Based on return level 2-years 5-years 10-years 15-years 25-years 50-years and 100-years, for daily and monthly drainage flow data showed that return level increased for each return period increasing all 6 dams.

Keywords : flow duration curve ; streamflow ; generalized pareto distribution ; generalized extreme value Distribution

***Corresponding author. E-mail** : tossapol.pho@msu.ac.th

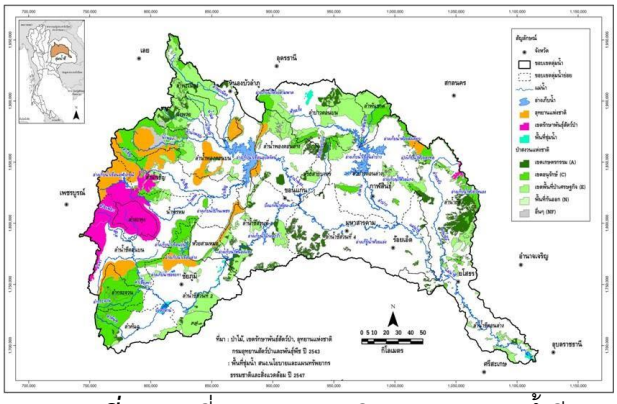
บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต ปัญหาเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำมีความหลากหลายและมีแนวโน้มทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น จากเหตุการณ์น้ำท่วมในภาคอีสานที่ผ่านมามีปัญหาทรายถมที่นาหลังน้ำลด ที่จังหวัดร้อยเอ็ด ที่เกิดจากน้ำที่ไหลในลำน้ำ (Streamflow) ในลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flows) ซึ่งเป็นลักษณะการไหลของน้ำทั่วไป ภายใต้สภาพท้องน้ำที่ไม่ราบเรียบ มีความขรุขระมาก การไหลจึงไม่สม่ำเสมอ มีการพัดพาตะกอนไปตามกระแสน้ำได้มากส่งผลให้เกิดปัญหาดังกล่าว

จากการศึกษารายงานผลการศึกษาโครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำชี กรมทรัพยากรน้ำ สิงหาคม 2549 พบว่า สภาพปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำชี โดยส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นปีละ 2-3 ครั้ง โดยสาเหตุของปัญหาเกิดจากการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ แหล่งเก็บกักน้ำและระบบชะลอน้ำหลากยังไม่เพียงพอ ลำน้ำธรรมชาติตื้นเขิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณทางตอนล่างของพื้นที่ลุ่มน้ำชีที่ปกคลุมจังหวัดร้อยเอ็ด และจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นที่ราบลุ่ม และมีลำน้ำหลายสายไหลมารวมกัน ทั้งยังเป็นจุดที่ลำน้ำชีบรรจบกับลำน้ำมูลก่อนไหลลงสู่ลำน้ำโขงทำให้เกิดปัญหาในการระบายน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำ หากน้ำในลำน้ำมูลและลำน้ำโขงมีระดับน้ำสูงและจากการศึกษางานวิจัยของนักวิจัยหลายท่าน เช่น Archfield *et al* ในปี 2017 และ Vogel and Fennessey ในปี 1994 โดยส่วนใหญ่ถ้าเป็นการไหลของกระแสน้ำรายวันสำหรับพื้นที่ในสหรัฐอเมริกา การแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา ได้แก่ การแจกแจงแคปปา (Kappa Distribution: KAP) การแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไป (Generalized Pareto Distribution: GPD) การแจกแจงล็อกนอร์มัล (Log-normal Distribution: LNORM) และ Piyapatr Busababodhin and Arun Kaewmun ในปี 2015 พบว่าข้อมูลรายเดือนหรือรายปี จะเหมาะสมกับการแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไป (Generalized Extreme Value Distribution: GEV)

ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาการแจกแจงความน่าจะเป็นของการไหลกระแสน้ำรายวันและรายเดือนในลุ่มน้ำชี โดยการประยุกต์ใช้กับข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และจากผลการศึกษางานวิจัยของ Archfield *et al* ในปี 2017 และ Piyapatr Busababodhin and Arun Kaewmun ในปี 2015 ผู้วิจัยจึงสนใจสร้างโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาด้วยการแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไป (Generalized Pareto Distribution: GPD) การแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไป (Generalized Extreme Value Distribution: GEV) การแจกแจงล็อกนอร์มัล (Log-normal Distribution: LNORM) การแจกแจงล็อกลอจิสติก (Log-Logistic Distribution: LLOGIS) และหาระดับการเกิดซ้ำ (Return Level) ของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนในรอบปีการเกิดซ้ำ 2, 5, 10, 15, 25, 50 และ 100 ปี

แผนที่ลักษณะทางภูมิประเทศของลุ่มน้ำชี แผนที่เขื่อนขนาดใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำชี และผังแสดงปริมาณน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำชีแสดงดังภาพที่ 1-3 ตามลำดับ

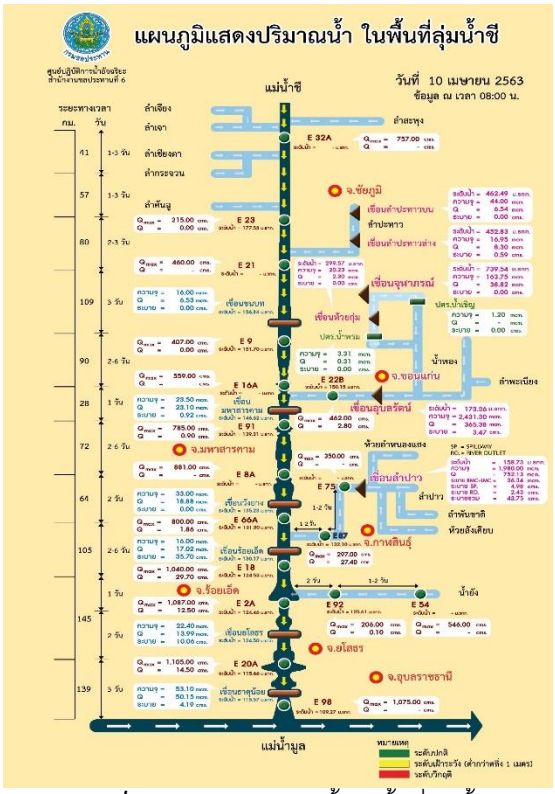


ภาพที่ 1 แผนที่ลักษณะทางภูมิประเทศของลุ่มน้ำชี

ที่มา : สนง.นโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ภาพที่ 2 แผนที่เขื่อนขนาดใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำชี

ที่มา : สำนักงานชลประทานที่ 6 กรมชลประทาน, 2563



ภาพที่ 3 ผังแสดงปริมาณน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำชี

ที่มา : สำนักงานชลประทานที่ 6 กรมชลประทาน, 2563

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการหาการแจกแจงความน่าจะเป็นของการไหลกระแสน้ำรายวันและรายเดือนในลุ่มน้ำชีครั้งนี้ ผู้วิจัยมีขั้นตอนการดำเนินการ 3 ขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมข้อมูล

1.1 การเตรียมข้อมูลในการวิเคราะห์มี 2 แบบ ดังนี้

1.1.1 ข้อมูลรายวัน เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวัน ได้แก่ เขื่อนชนบท เขื่อนมหาสารคาม เขื่อนวังยาง เขื่อนร้อยเอ็ด เขื่อนยโสธร และเขื่อนธาตุน้อย ตั้งแต่ วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2555 ถึง วันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ. 2562 จากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชีกลาง และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชีล่างและเซบายล่าง

1.1.2 ข้อมูลรายเดือน เป็นการนำข้อมูลแบบรายวัน มาปรับเป็นข้อมูลรายเดือน โดยจะนำค่า อัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวันสูงสุดของแต่ละเดือนมาคำนวณหาโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายเดือน

1.2 เมื่อมีข้อมูลสูญหาย (Missing Data) จะใช้หลักการสมการลูกโซ่ตัวแปรพหุ (Multivariate Imputation by Chained Equations: MICE) การจัดการกับข้อมูลสูญหาย ซึ่งทำได้โดยการนำข้อมูลที่มีค่าในวันที่ตรงกันกับข้อมูลที่สูญหายในทุกปีมารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ยนำมาแทนค่าใส่ในข้อมูลที่มี Missing ในวันที่เดียวกันของแต่ละปี และใช้แพคเกจ “missForest” และ “mice” ในโปรแกรม R ในการวิเคราะห์

2. วิเคราะห์ข้อมูล

2.1 หาการแจกแจงที่เหมาะสม จะใช้การแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไป การแจกแจงล็อกนอร์มัล และการแจกแจงล็อกลอจิสติก สำหรับข้อมูลรายวัน และใช้การแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไป การแจกแจงล็อกนอร์มัล และการแจกแจงล็อกลอจิสติก สำหรับข้อมูลรายเดือนในการวิเคราะห์ และประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation: MLE)

2.2 หาระดับการเกิดซ้ำ (Return Level) ของตัวแบบที่ได้จากการแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไปและการแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไปในข้อ 2.1

2.3 วิเคราะห์โค้งอัตราการไหล-แบบช่วงเวลา และประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองที่ได้จากข้อที่ 2.1 ด้วย Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

3. สรุปผล

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไป (Generalized Pareto Distribution: GPD)

ถ้ากำหนดให้ X เป็นตัวแปรสุ่มของการแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไป เขียนแทนด้วย $X \sim \mathrm{GPD}(\sigma,\xi)$ ซึ่งโดยปกติจะเห็นว่าเหตุการณ์ที่เกินค่าสุดขีด x ที่มีค่าสูงกว่าค่าเกณฑ์กำหนด หรือ u จะทำให้ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function: CDF) ของ $x-u$ มีเงื่อนไข คือ $x>u$ เป็นดังสมการที่ (1)

$$H(x)=1-\left(1+\frac{\xi x}{\tilde{\sigma}}\right)_0^{-\frac{1}{\xi}} \quad \text{เมื่อกำหนดให้ } x>0 \text{ โดยที่ } \tilde{\sigma}=\sigma+\xi(u-\mu) \tag{1}$$

จากสมการที่ (1) เป็นการแจกแจงที่อยู่ในกลุ่มการแจกแจงเดียวกันกับการแจกแจงพาเรโต โดยค่า $\tilde{\sigma}$ เป็นพารามิเตอร์บ่งขนาด สำหรับค่าที่กำหนด $u>u_0$ จากสมการ พบว่า $\tilde{\sigma}=\sigma+\xi(u-u_0)$ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์บ่งขนาดจะเปลี่ยนไป ยกเว้นกรณี $\xi=0$ การปรับพารามิเตอร์บ่งขนาดจะปรับโดย $\sigma^*=\tilde{\sigma}-\xi u$ สำหรับค่า u_0 ถูกเลือกจากค่าต่ำสุดของ u โดยที่ตัวประมาณของ σ^* และ ξ เป็นค่าคงที่และหาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability distribution function: PDF) ได้ดังสมการที่ (2) (Piyapatr Busababodhin and Arun Kaewmun, 2015).

$$h(x)=1+\left[\xi\left(\frac{x-u}{\sigma}\right)\right]_0^{-\frac{1}{\xi}} \quad \text{เมื่อ } \sigma>0 \text{ และ } -\infty<\xi<\infty \tag{2}$$

เมื่อ σ แทนพารามิเตอร์บ่งขนาด (Scale parameter) และ ξ แทนพารามิเตอร์บ่งรูปร่าง (Shape parameter) ในกรณี $\xi\to 0$ เรียกว่า การแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไปว่า “การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง” (Exponential distribution) กรณี $\xi>0$ เรียกว่า “การแจกแจงพาเรโต” (Pareto Distribution) และกรณี $\xi<0$ เรียกว่า “การแจกแจงแกมมา” (Gamma Distribution) และระดับการเกิดซ้ำของการแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไป (Worravit Joonlakong, 2019) เป็นดังสมการที่ (3)

$$\hat{z}_P=\hat{\mu}+\frac{\hat{\sigma}}{\hat{\xi}}\left[\left(\frac{1}{T}\eta_y\lambda_\mu\right)^{\hat{\xi}}-1\right] \tag{3}$$

เมื่อ $\hat{z}_P$ คือ ระดับการเกิดซ้ำ (Return level)

$\hat{\mu}$ คือพารามิเตอร์บ่งตำแหน่ง

$\hat{\sigma}$ คือพารามิเตอร์บ่งขนาด

$\hat{\xi}$ คือพารามิเตอร์บ่งรูปร่าง

T คือ คาบเวลาการเกิดซ้ำ (Return period)

η_y คือ จำนวนวันเฉลี่ยต่อปี

λ_μ คือ ค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าเกินเกณฑ์

2. การแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไป (Generalized Extreme Value Distribution: GEV)

ถ้าให้ X_i เมื่อ $i=1,2,.....,n$ เป็นตัวแปรสุ่มที่อิสระต่อกันและมีฟังก์ชันการแจกแจงสะสม $F(x,\theta)$ แบบเดียวกัน กำหนดให้ค่าสูงสุดของตัวแปรสุ่ม คือ $X_{(n)}=\text{Max}(X_1,X_2,....,X_n)$ ซึ่งจะประยุกต์ใช้ในรูปแบบของการแจกแจงค่าสุดขีดวางนัยทั่วไปที่มีพารามิเตอร์ 3 ตัว ได้แก่ μ แทนพารามิเตอร์บ่งตำแหน่ง (Location parameter) σ แทนพารามิเตอร์บ่งขนาด (Scale parameter) และ ξ แทนพารามิเตอร์บ่งรูปร่าง (Shape parameter)

การแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไป เขียนแทนด้วย $X \sim \text{GEV}(\mu,\sigma,\xi)$ โดยฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของ GEV ดังสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$f(x;\mu,\sigma,\xi)=\frac{1}{\sigma}\left[1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{\left(-1/\xi\right)-1} exp\left\{-\left(1+\xi\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-1/\xi}\right\} \quad \text{เมื่อ } -\infty<x<\infty \tag{4}$$

$$F(x;\mu,\sigma,\xi)=exp\left\{-\left(1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)^{-1/\xi}\right\} \tag{5}$$

บนเงื่อนไข $\left\{x:1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)>0\right\}$ เมื่อ $-\infty<x<\infty,\ -\infty<\mu<\infty,\ \sigma>0$ และ $-\infty<\xi<\infty$

จากสมการข้างต้น จะได้ว่า กรณี $\xi=0$ เรียกการแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไปว่า “การแจกแจงกัมเบล (Gumbel distribution)” กรณี $\xi>0$ เรียกว่า “การแจกแจงฟรีเชท (Fréchet distribution)” และกรณี $\xi<0$ เรียกว่า “การแจกแจงไวบูล (Weibull distribution)” และระดับการเกิดซ้ำของการแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไป (Worravit Joonlakong, 2019) ได้ดังสมการที่ (6)

$$\hat{z}_P=\hat{\mu}+\frac{\hat{\sigma}}{\hat{\xi}}\left\{1-\left[-\ln\left(1-\frac{1}{T}\right)\right]^{-\xi}\right\} \tag{6}$$

3. การแจกแจงล็อกนอร์มัล (Log-normal Distribution: LNORM)

ให้ X เป็นตัวแปรสุ่มต่อเนื่องที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัล ที่มีพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ μ และ σ โดยสามารถเขียนแทนได้ด้วย $X \sim Lognormal(\mu,\sigma)$ (Thawat Nanon, 2017) ซึ่งฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นและฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงล็อกนอร์มัลเป็นดังสมการที่ (7) และสมการที่ (8) ตามลำดับ

$$f(x;\mu,\sigma)=\frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(\log x-\mu)^2}{2\sigma^2}},\ x>0,\ \sigma>0,\ -\infty<\mu<\infty \tag{7}$$

$$F(x;\mu,\sigma)=\int_0^x\frac{1}{x\sqrt{2\mu\sigma^2}}\exp\left\{-\frac{[\log x-\mu]^2}{2\sigma^2}\right\},\ x>0,\ \sigma>0,\ -\infty<\mu<\infty \tag{8}$$

4. การแจกแจงล็อกลอจิสติก (Log-Logistic Distribution: LLOGIS)

ให้ X เป็นตัวแปรสุ่มต่อเนื่องที่มีการแจกแจงแบบล็อกลอจิสติก ที่มีพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ พารามิเตอร์บ่งขนาด (α) และพารามิเตอร์บ่งรูปร่าง (β) จะได้ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นและฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมของของการแจกแจงล็อกลอจิสติก ดังสมการที่ (9) และสมการที่ (10) ตามลำดับ

$$f(x;\alpha,\beta)=\frac{\beta/\alpha(x/\alpha)^{\beta-1}}{(1+(x/\alpha)^{\beta})^{2}},\ x\geq 0 \quad (9)$$

$$F(x;\alpha,\beta)=\frac{1}{1+(x/\alpha)^{-\beta}},\ x\geq 0 \quad (10)$$

5. โค้งอัตราการไหล-แบบช่วงเวลา

ในการศึกษาความแปรปรวนของข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำวิธีการวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากคือวิธีโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow-Duration Curve: FDC) โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลาเป็นกราฟที่แสดงค่าอัตราการไหลกับความน่าจะเป็นที่ข้อมูลอัตราการไหลในลำน้ำมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด (Vogel and Fennessey,1994) ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของ FDC ดังสมการที่ (11)

$$F_Q(q)=P\{Q\leq q\} \quad (11)$$

เมื่อ $P\{Q>q_i\}=1-\frac{i}{365n+1}$

โดยที่ q แทน อัตราการไหลของกระแสน้ำ (streamflow) ที่สังเกตได้

i คือค่าอันดับของข้อมูลอัตราการไหลของกระแสน้ำ

n คือจำนวนปีในการบันทึกข้อมูล

6. การประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองด้วย Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

ในการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองด้วย Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) (Nash and Sutcliffe, 1970) เป็นดรรชนีที่นิยมใช้ในการบอกค่าความแม่นยำของแบบจำลอง (Model Accuracy) หรือประสิทธิภาพ-ประสิทธิผลของแบบจำลอง (Model Performance) โดยค่าดรรชนีคำนวณได้จากสมการที่ (12)

$$NSE=1-\frac{\sum_{x=1}^{N}\left(Q_x-Q_x^{pred}\right)^2}{\sum_{x}^{N}\left(Q_x-\bar{Q}_x\right)^2} \quad (12)$$

โดยที่ Q_x หมายถึง การไหลกระแสน้ำรายวันที่ตำแหน่งควอนไทล์ที่ x

Q_x^{pred} หมายถึง การไหลกระแสน้ำรายวันที่พยากรณ์ได้ที่ตำแหน่งควอนไทล์ที่ x

$\bar{Q}_x$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของการไหลกระแสน้ำรายวัน

N หมายถึง จำนวนข้อมูลการไหลกระแสน้ำรายวัน

ค่า NSE ที่คำนวณได้จะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ $-\infty$ ถึง 1 โดยการอธิบายความหมายของค่า NSE ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความหมายของค่า NSE (Varawoot Vudhivanich, 2010)

ค่า NSE	การแปลความหมายของความแม่นยำในการคาดคะเน (Model Accuracy)
1	แบบจำลองสามารถคาดคะเนโดยไม่มีข้อผิดพลาด (Perfect Fit)
0 < NSE < 1	แบบจำลองสามารถคาดคะเนโดยมีความแม่นยำมากกว่าการใช้ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean)
0	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำไม่ต่างจากการคาดคะเนโดยใช้ค่าเฉลี่ย
น้อยกว่า 0	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำน้อยกว่าการคาดคะเนโดยใช้ค่าเฉลี่ย

โดยที่ ถ้า NSE $\geq$ 0.75 หมายถึง Good prediction และถ้า 0.36 $\leq$ NSE $\leq$ 0.75 หมายถึง Satisfactory prediction

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์และการแจกแจงที่เหมาะสมของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวัน

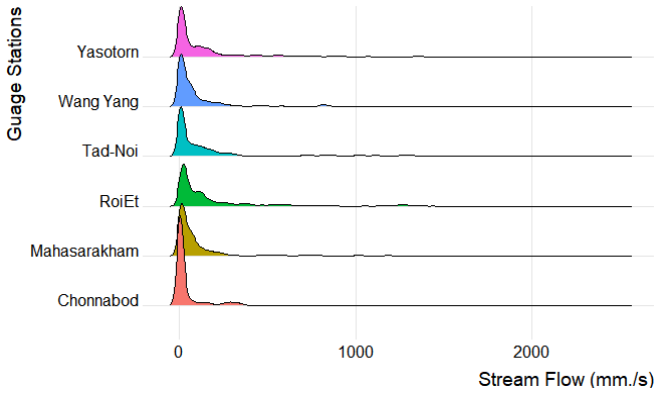
1.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวัน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น ความเบ้ และความโด่งของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวันทั้ง 6 เขื่อนแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลเบื้องต้น ความเบ้และความโด่งของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวัน (ลบ.ม/วินาที) จำแนกตามเขื่อน

เขื่อน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่ามัธยฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความเบ้	ความโด่ง
ชนบท	0.38	**817.83**	**44.13**	**1.80**	**98.86**	3.132	**14.926**
มหาสารคาม	**1.81**	1232.80	106.92	39.77	198.14	**3.342**	14.702
วังยาง	0.41	1221.88	121.49	39.97	221.80	2.838	10.906
ร้อยเอ็ด	1.40	1444.00	192.22	**72.57**	302.16	2.524	8.996
ยโสธร	0.24	**2514.80**	187.18	47.17	322.22	2.832	12.684
ธาตุน้อย	**0.02**	1911.03	**213.16**	58.12	**355.22**	**2.076**	**6.298**

จากตารางที่ 2 พบว่า อัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวันของเขื่อนทั้งหมด 6 เขื่อน มีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วง 0.022 ถึง 1.81 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 817.83 ถึง 2514.80 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.80 ถึง 72.57 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าความเบ้อยู่ในช่วง 2.076 ถึง 3.342 และมีค่าความโด่งอยู่ในช่วง 6.298 ถึง 14.926 และจากเกณฑ์การวัดการกระจายของข้อมูลในรูปของความเบ้ จะได้ว่าอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวันทั้ง 6 เขื่อน มีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ขวา โดยกราฟแสดงการกระจายของข้อมูลหรือความหนาแน่นของข้อมูลแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กราฟความหนาแน่นของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวันของ 6 เขื่อน

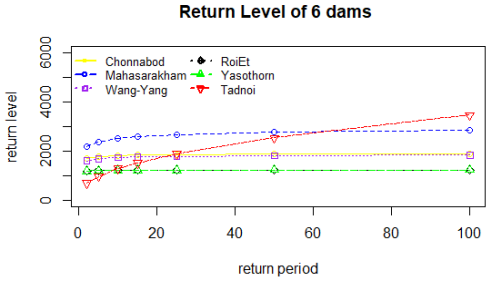
1.2 การหาแจกแจงที่เหมาะสมของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวัน

1.2.1 ค่าเกณฑ์ ค่าประมาณและช่วงความเชื่อมั่น 95% ของแต่ละพารามิเตอร์พร้อมทั้งการแจกแจงที่เหมาะสมของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวันของทั้ง 6 เขื่อน เมื่อใช้การแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไป (GPD) ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3 และระดับการเกิดซ้ำในคาบย้อนพินิจต่าง ๆ (2 ปี 5 ปี 10 ปี 15 ปี 25 ปีและ 50 ปี) จากการแจกแจงที่เหมาะสมในตารางที่ 3 แสดงในภาพที่ 5

ตารางที่ 3 ค่าเกณฑ์ ค่าประมาณและช่วงความเชื่อมั่น 95% ของพารามิเตอร์ การแจกแจงที่เหมาะสมของข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวัน (ลบ.ม/วินาที) เมื่อใช้ GPD ในการวิเคราะห์ จำแนกตามเขื่อน

เขื่อน	ควอนไทล์	ค่าเกณฑ์	ค่าประมาณพารามิเตอร์		การแจกแจงที่เหมาะสม
			$\hat{\sigma}$ (S.E) ช่วงความเชื่อมั่น 95%	$\hat{\xi}$ (S.E) ช่วงความเชื่อมั่น 95%	
ชนบท	95	293.87	388.229 (24.484) (340.24, 436.22)	-0.344 (0.030) (-0.40, -0.29)	แกมมา
มหาสารคาม	95	570.25	497.466 (56.088) (387.53, 607.40)	-0.193 (0.071) (-0.33, -0.05)	แกมมา
วังยาง	95	724.18	556.208 (51.129) (455.99, 656.42)	-0.337 (0.085) (-0.50, -0.17)	แกมมา
ร้อยเอ็ด	80	265.14	334.014 (37.896) (259.74, 408.29)	-0.643 (0.095) (-0.83, -0.46)	แกมมา
ยโสธร	95	876.56	504.498 (46.650) (413.06, 595.93)	-0.755 (0.076) (-0.90, -0.61)	แกมมา
ธาตุน้อย	90	838.50	42.755 (6.025) (30.94, 54.56)	0.479 (0.120) (0.24, 0.71)	พาเรโต

จากตารางที่ 3 พบว่า เมื่อใช้ค่าเกณฑ์ที่ได้คัดเลือกข้อมูลในการวิเคราะห์จะได้ ค่าประมาณ σ และ ξ อยู่ระหว่าง 42.755 ถึง 556.208 และ -0.755 ถึง 0.479 ตามลำดับ และได้ว่าช่วงความเชื่อมั่นของค่าประมาณ ξ ของเขื่อนส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบทั้งหมด ดังนั้นการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวันของเขื่อนเหล่านี้คือการแจกแจงแกมมา ยกเว้นเขื่อนธาตุน้อยที่มีการแจกแจงพาเรโต เนื่องจากช่วงความเชื่อมั่นของค่าประมาณ ξ มีค่าเป็นบวกทั้งหมด



ภาพที่ 5 กราฟระดับการเกิดซ้ำของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวัน

จากภาพที่ 5 พบว่า ค่าประมาณระดับการเกิดซ้ำของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวัน เมื่อมีรอบปีการเกิดซ้ำเพิ่มขึ้นทำให้ค่าประมาณระดับการเกิดซ้ำสูงขึ้นเช่นกันในทุก ๆ เขื่อน โดยจะได้ว่าเขื่อนธาตุน้อย มีระดับการเกิดซ้ำสูงกว่าสถานีอื่น ๆ ในคาบเวลา 100 ปี และเขื่อนมหาสารคาม สูงกว่าเขื่อนอื่น ๆ ในคาบเวลา 2 ปี 5 ปี 10 ปี 15 ปี 25 ปีและ 50 ปี

1.2.2 ค่าประมาณของแต่ละพารามิเตอร์ของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวันของทั้ง 6 เขื่อน เมื่อใช้การแจกแจงล็อกนอร์มัลในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4 และเมื่อใช้การแจกแจงล็อกลอจิสติกในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าประมาณของพารามิเตอร์เมื่อใช้การแจกแจงล็อกนอร์มัลในการวิเคราะห์ของข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวัน (ลบ.ม/วินาที) จำแนกตามเขื่อน

	เขื่อนชนบท	เขื่อนมหาสารคาม	เขื่อนวังยาง	เขื่อนร้อยเอ็ด	เขื่อนยโสธร	เขื่อนธาตุน้อย
$\hat{\mu}_{\text{LNORM}}$	3.716	3.690	4.222	3.260	3.521	1.565
$\hat{\sigma}_{\text{LNORM}}$	2.116	2.033	1.545	2.031	1.581	2.095

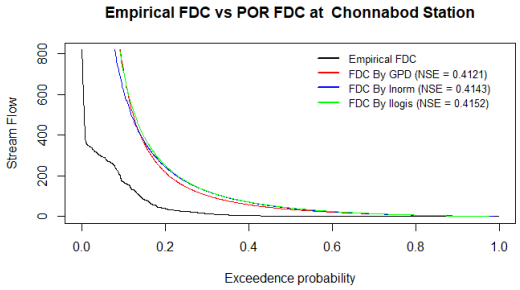
ตารางที่ 5 ค่าประมาณของพารามิเตอร์เมื่อใช้การแจกแจงล็อกลอจิสติกในการวิเคราะห์ของข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวัน (ลบ.ม/วินาที) จำแนกตามเขื่อน

	เขื่อนชนบท	เขื่อนมหาสารคาม	เขื่อนวังยาง	เขื่อนร้อยเอ็ด	เขื่อนยโสธร	เขื่อนธาตุน้อย
$\hat{\alpha}_{\text{LLOGIS}}$	42.539	41.772	69.027	28.149	34.084	3.650
$\hat{\beta}_{\text{LLOGIS}}$	0.781	0.815	1.114	0.827	1.069	0.815

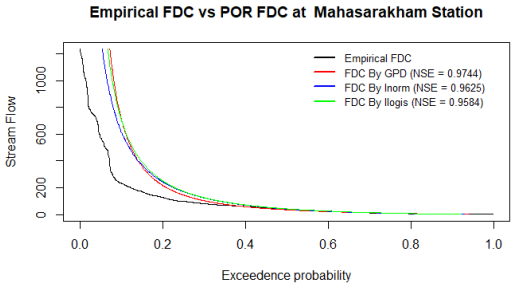
จากตารางที่ 4 พบว่าเมื่อใช้การแจกแจงล็อกนอร์มัลวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 6 เขื่อนจะได้ค่าประมาณของ μ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.565 ถึง 4.222 และค่าประมาณของ σ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.545 ถึง 2.116

จากตารางที่ 5 พบว่าเมื่อใช้การแจกแจงล็อกลอจิสติกในการวิเคราะห์ของข้อมูลจะได้ค่าประมาณของ α และ β ของทั้ง 6 เขื่อนมีค่าอยู่ระหว่าง 3.650 ถึง 69.027 และ 0.781 ถึง 1.114 ตามลำดับ

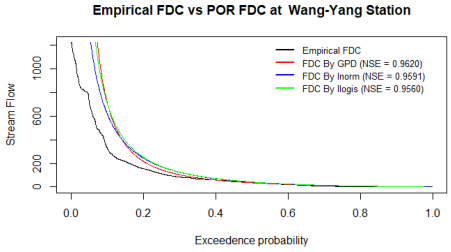
1.2.3 การเปรียบเทียบระหว่างโค้ง FDC กับโค้ง FDC_{POR} ที่ผ่านพารามิเตอร์และการแจกแจงจากข้อ 1.2.1 และ 1.2.2 โดยใช้วิธี Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) ในการประเมินจำแนกตามเขื่อน แสดงดังภาพ 6-11 ตามลำดับ



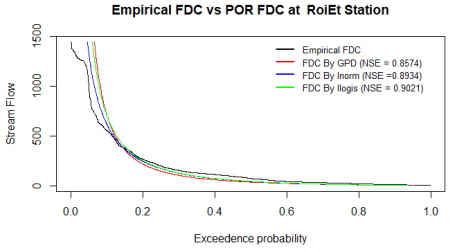
ภาพที่ 6 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายวันของเขื่อนชนบท



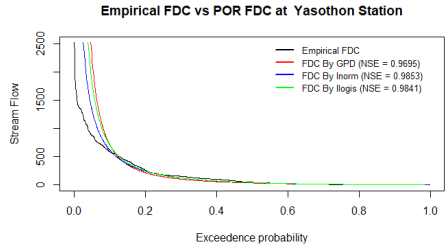
ภาพที่ 7 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายวันของเขื่อนมหาสารคาม



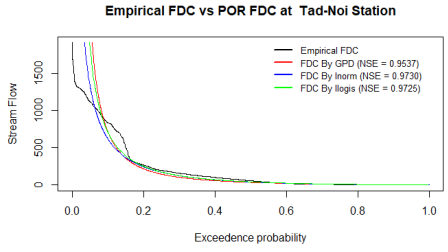
ภาพที่ 8 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายวันของเขื่อนวังยาง



ภาพที่ 9 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายวันของเขื่อนร้อยเอ็ด



ภาพที่ 10 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายวันของเขื่อนยโสธร



ภาพที่ 11 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายวันของเขื่อนธาตุน้อย

จากภาพที่ 6-11 เมื่อพิจารณาค่า NSE ของ FDC_{POR} ที่ผ่านแต่ละการแจกแจงที่ได้จากข้อ 1.2.1 และ 1.2.2 และจากการเปรียบเทียบโค้งแต่ละโค้งของแต่ละภาพพบว่า การแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไปเหมาะสมสำหรับเขื่อนมหาสารคามและเขื่อนวังยางเนื่องจากมีค่า NSE สูงสุด (0.9744 และ 0.9620) และการแจกแจงล็อกนอร์มัลเหมาะสมสำหรับเขื่อนยโสธร

และเขื่อนธาตุน้อย เนื่องจากมีค่า NSE สูงสุด (0.9853 และ 0.9730) ส่วนการแจกแจงล็อกลอจิสติกเหมาะสมสำหรับเขื่อนชนบทและเขื่อนร้อยเอ็ด เนื่องจากมีค่า NSE สูงสุด (0.4152 และ 0.9021)

2. การวิเคราะห์และการแจกแจงที่เหมาะสมของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายเดือน

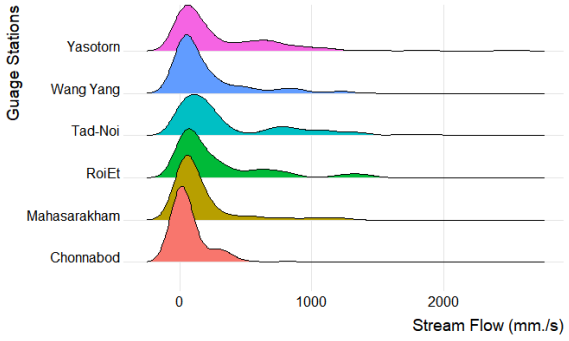
2.1 การวิเคราะห์อัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายเดือน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น ความเบ้ และความโด่งของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายเดือนทั้ง 6 เขื่อนแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลเบื้องต้นของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนสูงสุดรายเดือน (ลบ.ม/วินาที) จำแนกตามเขื่อน

เขื่อน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่ามัธยฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความเบ้	ความโด่ง
ชนบท	0.62	817.83	74.40	5.62	139.10	2.654	11.445
มหาสารคาม	2.70	1232.80	167.18	82.05	259.28	2.601	9.454
วังยาง	0.76	1221.88	197.65	80.42	276.01	2.020	6.575
ร้อยเอ็ด	2.31	1444.00	289.34	132.44	355.86	1.717	5.259
ยโสธร	1.59	2514.80	328.44	138.18	431.96	2.307	10.028
ธาตุน้อย	2.09	1911.03	374.96	196.02	435.90	1.451	4.346

จากตารางที่ 6 พบว่า อัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายเดือนของเขื่อนทั้งหมด 6 เขื่อน มีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วง 0.62 ถึง 2.70 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 817.83 ถึง 2514.80 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.62 ถึง 196.02 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าความเบ้อยู่ในช่วง 1.451 ถึง 2.654 และมีค่าความโด่งอยู่ในช่วง 4.346 ถึง 11.445 และจากเกณฑ์การวัดการกระจายของข้อมูลในรูปของความเบ้ จะได้ว่าอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายเดือนทั้ง 6 เขื่อน มีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ขวาโดยกราฟแสดงการกระจายความหนาแน่นของข้อมูลแสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 กราฟความหนาแน่นของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนสูงสุดรายเดือนของ 6 เขื่อน

2.2 การแจกแจงที่เหมาะสมของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายเดือน

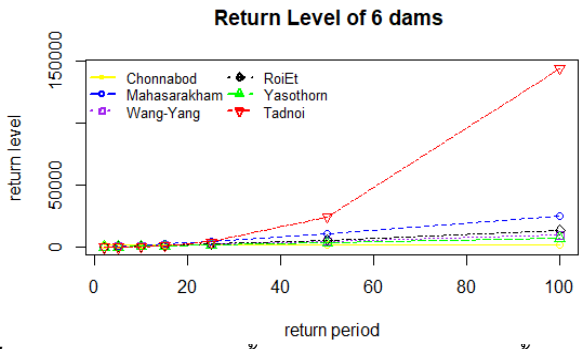
2.2.1 ค่าเกณฑ์ค่าประมาณและช่วงความเชื่อมั่น 95% ของแต่ละพารามิเตอร์พร้อมทั้งการแจกแจงที่เหมาะสมของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายเดือนของทั้ง 6 เขื่อน เมื่อใช้การแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไป (GEV)

ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 7 และระดับการเกิดซ้ำในคาบย้อนพินิจต่าง ๆ (2 ปี 5 ปี 10 ปี 15 ปี 25 ปีและ 50 ปี) จากการแจกแจงที่เหมาะสมในตารางที่ 7 แสดงในภาพที่ 13

ตารางที่ 7 ค่าประมาณและช่วงความเชื่อมั่น 95% ของพารามิเตอร์ การแจกแจงที่เหมาะสมของข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายเดือน (ลบ.ม/วินาที) เมื่อใช้ GEV ในการวิเคราะห์ จำแนกตามเขื่อน

เขื่อน	ค่าประมาณพารามิเตอร์			การแจกแจงที่เหมาะสม
	$\hat{\mu}$ (S.E) ช่วงความเชื่อมั่น95%	$\hat{\sigma}$ (S.E) ช่วงความเชื่อมั่น95%	$\hat{\xi}$ (S.E) ช่วงความเชื่อมั่น95%	
ชนบท	109.497 (19.480) (71.31, 147.67)	143.822 (22.263) (100.19, 187.46)	0.867 (0.180) (0.50, 1.21)	ฟรีเชท
มหาสารคาม	69.722 (16.367) (37.66, 101.78)	107.523 (22.070) (64.27, 150.78)	1.233 (0.267) (0.73, 1.74)	ฟรีเชท
วังยาง	78.814 (12.840) (53.65, 103.98)	99.687 (16.501) (67.34, 132.02)	0.992 (0.172) (0.65, 1.33)	ฟรีเชท
ร้อยเอ็ด	37.751 (8.495) (21.12, 54.38)	58.353 (11.453) (35.91, 80.80)	1.230 (0.255) (0.75, 1.71)	ฟรีเชท
ยโสธร	35.503 (6.997) (21.81, 49.20)	48.753 (8.924) (31.27, 66.24)	1.113 (0.224) (0.67, 1.55)	ฟรีเชท
ธาตุน้อย	1.873 (0.386) (1.14, 2.61)	3.207 (1.044) (1.15, 5.25)	2.531 (0.221) (2.10, 2.97)	ฟรีเชท

จากตารางที่ 7 พบว่าค่าประมาณ μ, σ และ ξ อยู่ระหว่าง 1.873 ถึง 109.497, 3.207 ถึง 143.822 และ 0.867 ถึง 2.531 ตามลำดับ และได้ว่าช่วงความเชื่อมั่นของค่าประมาณ ξ ของทุกเขื่อนมีค่าเป็นบวกทั้งหมด ดังนั้นการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายเดือนของทั้ง 6 เขื่อนนี้คือการแจกแจงฟรีเชท



ภาพที่ 13 กราฟระดับการเกิดซ้ำของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนสูงสุดรายเดือน

จากภาพที่ 13 พบว่า ค่าประมาณระดับการเกิดซ้ำของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนสูงสุดรายเดือน เมื่อมีรอบปีการเกิดซ้ำเพิ่มขึ้นทำให้ค่าประมาณระดับการเกิดซ้ำสูงขึ้นเช่นกันในทุก ๆ เขื่อน โดยจะเห็นได้ว่าเขื่อนธาตุน้อย มีระดับการเกิดซ้ำสูงกว่าสถานีอื่น ๆ ในคาบเวลา 50 ปี และ100 ปี เขื่อนมหาสารคาม มีระดับการเกิดซ้ำสูงกว่าเขื่อนอื่น ๆ ในคาบเวลา 10 ปี 15 ปี และ 25 ปี และเขื่อนชนบทมีระดับการเกิดซ้ำสูงกว่าเขื่อนอื่น ๆ ในคาบเวลา 2 ปี และ 5 ปี

2.2.2 ค่าประมาณของแต่ละพารามิเตอร์พร้อมของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายเดือนของทั้ง 6 เขื่อน เมื่อใช้การแจกแจงล็อกนอร์มัลในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 8 และเมื่อใช้การแจกแจงล็อกโลจิสติกในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 8 ค่าประมาณพารามิเตอร์เมื่อใช้การแจกแจงล็อกนอร์มัลในการวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายเดือน (ลบ.ม/วินาที) จำแนกตามเขื่อน

	เขื่อนชนบท	**เขื่อนมหาสารคาม**	**เขื่อนวังยาง**	**เขื่อนร้อยเอ็ด**	**เขื่อนยโสธร**	**เขื่อนธาตุน้อย**
$\hat{\mu}_{\text{LNORM}}$	4.980	4.681	4.835	4.119	4.111	2.208
$\hat{\sigma}_{\text{LNORM}}$	1.730	1.855	1.449	1.884	1.567	2.306

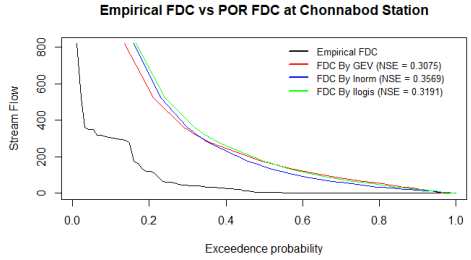
จากตารางที่ 8 พบว่าเมื่อใช้การแจกแจงล็อกนอร์มัลวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 6 เขื่อนจะได้ค่าประมาณของ μ มีค่าอยู่ระหว่าง 2.208 ถึง 4.980 และค่าประมาณของ σ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.449 ถึง 2.306

ตารางที่ 9 ค่าประมาณพารามิเตอร์สำหรับการแจกแจงล็อกโลจิสติก ของข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนสูงสุดรายเดือน (ลบ.ม/วินาที) จำแนกตามเขื่อน

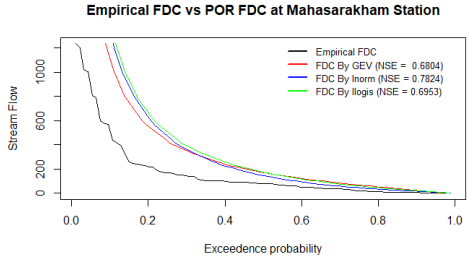
	เขื่อนชนบท	**เขื่อนมหาสารคาม**	**เขื่อนวังยาง**	**เขื่อนร้อยเอ็ด**	**เขื่อนยโสธร**	**เขื่อนธาตุน้อย**
$\hat{\alpha}_{\text{LLOGIS}}$	173.828	126.99	132.631	72.302	165.493	8.019
$\hat{\beta}_{\text{LLOGIS}}$	1.042	0.933	1.182	0.933	1.102	0.701

จากตารางที่ 9 พบว่าเมื่อใช้การแจกแจงล็อกโลจิสติกในการวิเคราะห์ของข้อมูลจะได้ค่าประมาณของ α และ β ของทั้ง 6 เขื่อนมีค่าอยู่ระหว่าง 8.019 ถึง 173.828 และ 0.701 ถึง 1.182 ตามลำดับ

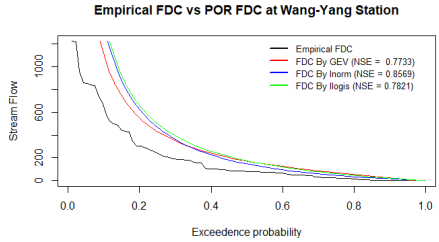
2.2.3 การเปรียบเทียบระหว่างโค้ง FDC กับโค้ง FDC_{POR} ที่ผ่านพารามิเตอร์และการแจกแจงที่ได้จากข้อ 2.2.1 และ 2.2.2 โดยใช้วิธี Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) ในการประเมินจำแนกตามเขื่อน แสดงดังภาพ 14-19 ตามลำดับ



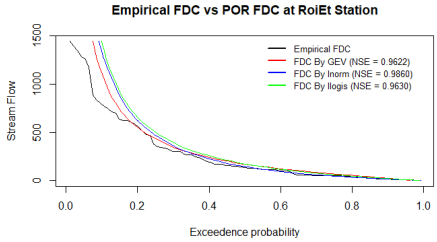
ภาพที่ 14 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายเดือนของเขื่อนชนบท



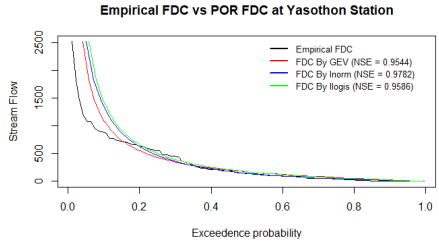
ภาพที่ 15 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายเดือนของเขื่อนมหาสารคาม



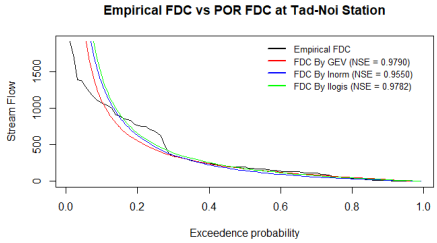
ภาพที่ 16 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายเดือนของเขื่อนวังยาง



ภาพที่ 17 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายเดือนของเขื่อนร้อยเอ็ด



ภาพที่ 18 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายเดือนของเขื่อนยโสธร



ภาพที่ 19 โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลารายเดือนของเขื่อนธาตุน้อย

จากภาพที่ 14-19 เมื่อพิจารณาค่า NSE ของ FDC_{POR} ที่ผ่านแต่ละการแจกแจงจากข้อ 2.2.1 และ 2.2.2 และจากการเปรียบเทียบโค้งแต่ละโค้งของแต่ละภาพพบว่า การแจกแจงล็อกนอร์มัลเหมาะสมสำหรับเขื่อนมหาสารคาม เขื่อนวังยาง เขื่อนร้อยเอ็ด และเขื่อนยโสธร เนื่องจากมีค่า NSE สูงที่สุด (0.7824, 0.8569, 0.9860 และ 0.9782 ตามลำดับ) การแจกแจงค่าสุดขีดนัยทั่วไปเหมาะสมสำหรับเขื่อนธาตุน้อย เนื่องจากมีค่า NSE สูงที่สุด (0.9790) สำหรับเขื่อนชนบท พบว่าค่า NSE ของ FDC_{POR} มีค่าต่ำกว่ากว่า 0.36 ทุกการแจกแจง ดังนั้นจะได้ว่าไม่มีการแจกแจงใดเหมาะสมสำหรับเขื่อนชนบท

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาอัตราการไหลของกระแสน้ำรายวันและรายเดือนในลุ่มน้ำชี พบว่า เขื่อนชนบท ที่ใช้ข้อมูลทั้งรายวันและรายเดือน มีความเหมาะสมค่อนข้างน้อยกับการแจกแจงทั้ง 4 การแจกแจงที่ผู้วิจัยได้ศึกษา และในเขื่อนอื่น ๆ พบว่าผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับงานวิจัยของ Archfield *et al* ในปี 2017 ซึ่งได้ศึกษาการแจกแจงการไหลของกระแสน้ำรายวัน พบว่าการแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไป ให้การประมาณค่าที่ดีในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของสหรัฐอเมริกา และสอดคล้องกับงานวิจัยของ LeBoutillier and Waylen ในปี ค.ศ. 1993 ซึ่งศึกษาแบบจำลองสุ่มของเส้นโค้งระยะเวลาการไหล พบว่าได้คำนวณโค้งอัตราการไหลแบบ FDC_{POR} ที่แสดงค่าการไหลของกระแสกับค่า Exceedance probability เช่นเดียวกัน และจากผลการวิเคราะห์ได้มีการเปรียบเทียบของโค้ง FDC_{POR} กับโค้ง FDC จากการประเมินแบบจำลองด้วย Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vogel and Fennessey ในปี 1994 ที่ศึกษาการไหลของกระแสน้ำรายวันที่แสดงโดยโค้งระยะเวลาการไหลของ FDCs การเปรียบเทียบของ FDC_{POR} กับ $FDC_{empirical}$ ใน 400 พื้นที่ของสหรัฐอเมริกาด้วยการแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไป และการแจกแจงล็อกนอร์มัล พบว่าการแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไปและการแจกแจงล็อกนอร์มัลเมื่อพิจารณาค่า LNSE ที่มีค่าค่อนข้างสูงจึงเหมาะสมอย่างยิ่งกับโค้ง $FDC_{empirical}$ ของการไหลกระแสน้ำรายวันในพื้นที่สหรัฐอเมริกา

สรุปผลการวิจัย

ในการวิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นและโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา FDC และ FDC_{POR} ของการไหลกระแสน้ำโดยใช้ข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อน สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์สำหรับข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวัน เป็นดังนี้

การวิเคราะห์โค้ง FDC_{POR} ที่ผ่านการแจกแจงเทียบกับโค้ง FDC ด้วยวิธี Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) พบว่า การแจกแจงพาเรโตนัยทั่วไปมีความเหมาะสมสำหรับเขื่อนมหาสารคามและเขื่อนวังยาง การแจกแจงล็อกนอล์มัลเหมาะสำหรับเขื่อนยโสธรและเขื่อนธาตุน้อย และการแจกแจงล็อกลอจิสติกเหมาะสำหรับเขื่อนชนบทและเขื่อนร้อยเอ็ด สำหรับค่าประมาณระดับการเกิดซ้ำในรอบปี 2, 5, 10, 15, 25, 50 และ 100 ปี ของข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนรายวันจะได้ว่าระดับการเกิดซ้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรอบปีการเกิดซ้ำเพิ่มขึ้นทั้งหมด 6 เขื่อน

2. ผลการวิเคราะห์สำหรับข้อมูลอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนสูงสุดรายเดือน เป็นดังนี้

การวิเคราะห์โค้ง FDC_{POR} ที่ผ่านการแจกแจงเทียบกับโค้ง FDC ด้วยวิธี Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) พบว่า การแจกแจงค่าสุดขีดนัยมีความเหมาะสมสำหรับเขื่อนเขื่อนธาตุน้อย และการแจกแจงล็อกนอล์มัลเหมาะสำหรับเขื่อนมหาสารคาม เขื่อนวังยาง เขื่อนร้อยเอ็ด และเขื่อนยโสธร ส่วนเขื่อนชนบทพบว่าทั้ง 4 การแจกแจงที่ทำการศึกษามีความเหมาะสมค่อนข้างต่ำเนื่องจากค่า NSE น้อยกว่า 0.36 ทุกการแจกแจง และได้ว่าระดับการเกิดซ้ำของอัตราการไหลระบายน้ำผ่านเขื่อนสูงสุดรายเดือน มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรอบปีการเกิดซ้ำเพิ่มขึ้นทั้งหมด 6 เขื่อน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชีกลาง โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชีล่างและเซบายล่าง และภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Annalise G. Blum, Stacey A. Archfield, and Richard M. Vogel. (2017). *On the probability distribution of daily streamflow in the United States.* Hydrology and Earth System Sciences (HESS).

Archfield, S. (2009). *A.Estimation of continuous daily streamflow at ungaged locations in southern New England,* PhD dissertation,Tufts University.

Areeya Rittima (2018). *EGCE 323 Hydrology*. Department of Civil and Environmental Engineering Faculty of Engineering Mahidol University. (in Thai)

Coles. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values.* Springer-Verlag London.

Data collection and data analysis operations 25 Basin Basin Information System Development Project and Drought Flood Modeling Project. Retrieved October 25, 2019, from http://mekhala.dwr.go.th/download/basin/04chee.pdf?fbclid=IwAR2yy 6NrEeX5Nyrt gxqitbIGAiVMvBXba__mfU3ZDyExYVQfCutbxD0k45Y. (in Thai)

Department of Local Administration Ministry of Interior.and Faculty of Engineering Kamphaeng Saen, Kasetsart University. (2005). *Standard for Water Resources Management.* (in Thai)

Department of Water Resources. (2006). Retrieved October 25, 2019, from http://mekhala.dwr.go.th/knowledge-basin-chee.php. (in Thai)

Elena Ridolfi, Hemendra Kumar,and András Bárdossy. (2018). *A methodology to estimate flow duration curves at partially ungauged basins.* Hydrology and Earth System Sciences (HESS).

LeBoutillier, D. V., and P. R. Waylen. (1993). *A stochastic model of flowduration curves*. Water Resour. Res, 29(10), 3535-3541.

Piyapatr Busababodhin and Arun Kaewmun. (2015). *Extreme Values Statistics*. The Journal of KMUTNB., Vol. 25, No. 2, May. - Aug. 2015. (in Thai)

Royal Irrigation Department. (2017). Retrieved October 27, 2019, from http://www.rid.go.th/main/_data/docs/60/RID-Annual-2017.pdf. (in Thai)

Thawat Nanon. (2017). *Using Value-Risk for Evaluating Business Capital: Case Study Of Non-Life Insurrance*. An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master Science (Applied Statistics) Department of Mathematics and Statistics Faculty of Science and Technology Thammasat University. (in Thai)

Varawoot Vudhivanich. (2010). *Accuracy analysis of models using Nash-Sutcliffe Efficiency and* R^2. Department of Irrigation Engineering Faculty of Engineering Kamphaeng Saen, Kasetsart University. (in Thai)

Vogel, R. M. and Fennessey, N. M. (1994). *Flow Duration Curves I: New Interpretation and Confidence Intervals*,J. Water Res. *PI.-ASCE,120*, 485-504.

Worravit Joonlakong. (2019). *Model of diabetic rates for treatment in Khon Kaen province*. Chiang Mai University. (in Thai)