



การวิเคราะห์ปริมาณการไหลพื้นฐานของกลุ่มน้ำป่าสัก

Baseflow Analysis of the Pasak River Basin

วิชัยพงศ์ ปรางงาม^{1,2*} เกศวรา สิริโชค¹ และไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

1 หมู่ 6 ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

² ฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม ส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ 1 เชียงใหม่ กรมชลประทาน

27 สำนักงานชลประทานที่ 1 ถนนทุ่งโฮเต็ล ตำบลวัดเกต อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50000

Witchayaphong Prangngam^{1,2*}, Ketvara Sittichok¹ and Chaiyapong Theprasit¹

¹ Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University

Kamphaengsaen Campus

1 Moo 6, Kamphaengsaen, Kamphaengsaen, Nakhonpathom, 73140

² Engineering Inspection and Analysis Division, Engineering Management Division, Regional Irrigation Office 1,

Chiangmai, Royal Irrigation Department

27 Regional Irrigation Office 1 Chiangmai, TungHutan Street, Watkat, Muang, Chiang Mai, 50000

*ผู้รับผิดชอบบทความ: sakonrat.pr@ku.th เบอร์โทรศัพท์ 09-4478-3952

Received: 1 February 2024, Revised: 12 March 2025, Accepted: 24 March 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณการไหลพื้นฐานของกลุ่มน้ำป่าสัก และหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแยกการไหลพื้นฐาน โดยเลือกสถานีตรวจวัด S.33 และ S.4B ที่อยู่ทางตอนบนของกลุ่มน้ำป่าสักมาทำการวิเคราะห์ การศึกษานี้จะใช้ผลลัพธ์ของแบบจำลอง BFI+ เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและประเมินความแม่นยำของวิธีการที่คัดเลือกมาทั้ง 5 วิธี ได้แก่ วิธีตัวกรองดิจิทัลแบบทำซ้ำ 4 วิธี (Lynie & Hollick, Chapman, EWMA, Boughton two-parameter) และวิธีการฟิสิกส์ดิจิทัล 1 วิธี (Local Minimum) ภายใต้อัตราการสุ่มตัวอย่างรายวัน ผลการศึกษาพบว่า วิธีการทั้ง 5 วิธี สามารถแยกการไหลพื้นฐานของสถานีตรวจวัดทั้ง 2 แห่งในลุ่มน้ำป่าสักได้ดี โดยเฉพาะวิธี Lynie & Hollick ที่แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำสูงกว่าวิธีอื่น ๆ อีก 4 วิธี นอกจากนี้ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของทั้ง 2 สถานีตรวจวัดยังมีค่าใกล้เคียงกัน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกวิธีการแยกการไหลพื้นฐานที่เหมาะสมและการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์อย่างถูกต้อง เพื่อให้การวิเคราะห์การไหลพื้นฐานของน้ำในลุ่มน้ำป่าสักเป็นไปอย่างแม่นยำและเชื่อถือได้

คำสำคัญ การไหลพื้นฐาน ตัวกรองดิจิทัล กราฟิกดิจิทัล

Abstract

This research aims to determine the appropriate parameter values for baseflow analysis of the Pasak River Basin and to identify suitable methods for baseflow separation. The study focuses on monitoring stations S.33 and S.4B, located in the upper part of the Pasak River Basin. The BFI+ model was used to obtain suitable parameter values and to evaluate the accuracy of five selected methods. These methods include four iterative digital filter methods (Lynie & Hollick, Chapman, EWMA, and Boughton two-parameter) and one graphical digital



method (Local Minimum), based on daily hydrological data. The results indicate that all five methods effectively separate the baseflow at both monitoring stations in the Pasak River Basin. Among them, the Lynie & Hollick method demonstrated higher accuracy compared to the other four methods. Additionally, the optimal parameter values for both monitoring stations were found to be similar. This research highlights the importance of selecting appropriate baseflow separation methods and accurately calibrating parameters to ensure precise and reliable baseflow analysis in the Pasak River Basin.

Keywords: Baseflow, Digital Filter, Digital Graphic

1. บทนำ

ข้อมูลปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow) มีความสำคัญในการบริหารจัดการน้ำเนื่องจากเป็นแหล่งให้น้ำที่มีการไหลตลอดเวลาถึงแม้จะไม่มีฝนตกในพื้นที่ก็ตาม ซึ่งเห็นได้จากในฤดูแล้ง ปริมาณน้ำส่วนนี้ยังคงมีไหลอยู่ จะเห็นได้ว่าปริมาณการไหลพื้นฐานนั้นมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และระบบนิเวศตามธรรมชาติ นี่คือความจริงโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับแหล่งต้นน้ำที่ต้องพึ่งพาอาศัยกัน (Jung, Shin et al. 2016) ได้พัฒนาระบบ BFlow บนเว็บเพื่อแยกการไหลพื้นฐานออกจากน้ำท่า โดยใช้ข้อมูลน้ำท่าเป็นรายวันของแหล่งน้ำที่มีความสำคัญทั้ง 4 สายในประเทศเกาหลีใต้ ผลการศึกษาพบว่าสถานีที่มีค่าดัชนีพื้นฐานสูงนั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลต่ำ (Lim, Engel et al. 2005) ได้พัฒนาระบบ WHAT ขึ้นมาโดยใช้โมดูลการแยกของตัวกรองดิจิทัล 2 อย่างคือ BFlow และ Eckhardt โดยการศึกษาใช้ข้อมูลน้ำท่ารายวันของสถานีตรวจวัด 50 แห่ง ในรัฐอินเดียน่า ผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ Nash-Sutcliffe-Efficiency ของทั้ง 2 วิธีมีค่ามากกว่า 0.91 ทั้ง 50 สถานี แต่วิธี Eckhardt มีความถูกต้องใกล้เคียงกับการไหลพื้นฐานที่วัดได้มากกว่า (Indarto, Novita et al. 2016) การศึกษาใช้ Hydro Office เพื่อแยกการไหลพื้นฐานออกจากน้ำท่า โดยใช้ข้อมูลน้ำท่ารายวันจากแหล่งต้นน้ำ 8 แห่ง ในเขตการปกครองของ UPT PSDA Bondowoso ในชาวตะวันออก ผลการศึกษาพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดจากการสอบเทียบลุ่มน้ำสามารถนำมาใช้เพื่อแยกการไหลพื้นฐานในลุ่มน้ำอื่น ๆ ได้ และพบว่า 3 วิธีที่ทำได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ อีก 6 วิธี ได้แก่ วิธี EWMA, Lynie & Hollick และ Local Minimum

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะประเมินปริมาณน้ำในช่วงฤดูแล้ง และหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแยกการไหลพื้นฐานของลุ่มน้ำในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณการไหลพื้นฐานของลุ่มน้ำป่าสัก และหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแยกการไหลพื้นฐาน พื้นที่ศึกษาอยู่ในเขตลุ่มน้ำป่าสัก โดยวิเคราะห์พื้นที่จากการเลือกสถานีตรวจวัดของลุ่มน้ำป่าสัก และให้ความสำคัญไปที่ตอนบนของลุ่มน้ำ ซึ่งอยู่เหนือเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ขึ้นไป หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกสถานีตรวจวัด ต้องมีข้อมูลต่อเนื่องมากกว่า 10 ปี ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา และด้านเหนือของสถานีวัดตรวจวัดจะต้องไม่มีโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ เช่น อ่างเก็บน้ำ ประตุนิคม และฝาย เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการบริหารจัดการน้ำ (Unregulated Flow)

การไหลในลำน้ำจะมีค่าสูงในฤดูฝน ปริมาณการไหลเกิดจากฝนโดยตรงหรือปริมาณน้ำท่าผิวดิน (Direct Runoff) ส่วนการไหลในฤดูแล้งเป็นการไหลพื้นฐาน (Baseflow) ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่มาจากน้ำใต้ดิน การไหลพื้นฐานนั้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกราฟน้ำท่า ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลในลำน้ำเทียบกับเวลา กราฟน้ำท้านับเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะสภาพการไหลและการให้น้ำของลุ่มน้ำ อันจะเป็นแนวทางที่มีความสำคัญต่อการบริหารจัดการน้ำทั้งในช่วงน้ำน้อยในฤดูแล้งและน้ำหลากในช่วงฤดูฝนได้ และงานวิจัยนี้สามารถแยกการไหลพื้นฐานออกจากน้ำท่ารายวันที่มีข้อมูลครบถ้วนต่อเนื่องกันหลาย ๆ ปีได้ โดยใช้แบบจำลอง BFI+ ช่วยในการคำนวณ และนำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลของพื้นที่ที่ทำการศึกษาต่อไป



2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การแยกการไหลพื้นฐานจากกราฟน้ำท่ามีวิธีการที่หลากหลาย แต่การวิเคราะห์ปริมาณการไหลพื้นฐาน โดยวิธีตัวกรองดิจิทัลแบบทำซ้ำ และวิธีการฟกติดิจิตอล เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง และง่ายต่อการนำไปใช้งานสำหรับแหล่งน้ำต่าง ๆ ทั่วโลก (Gregor, 2010, 2012)

2.1.1 วิธีตัวกรองดิจิทัลแบบทำซ้ำ (Recursive digital filter)

กลไกการทำงานของวิธีตัวกรองดิจิทัลแบบทำซ้ำ [1-10] คล้ายกับวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลสัญญาณ เพื่อแยกสัญญาณความถี่สูงออกมาจากสัญญาณความถี่ต่ำ ในการวิเคราะห์กราฟน้ำท่าได้นำวิธีนี้มาใช้เพื่อแยกการไหลพื้นฐานด้วย เนื่องจากคลื่นความถี่สูงสามารถเชื่อมโยงกับการไหลบ่าโดยตรง และคลื่นความถี่ต่ำสามารถเชื่อมโยงกับการไหลพื้นฐาน กระบวนการนี้ทำซ้ำตลอดช่วงเวลาของการบันทึกข้อมูล และในการศึกษานี้ได้คัดเลือกมา 4 วิธี เพื่อใช้ในงานวิจัย ดังนี้

1. Lynie & Hollick (Lynie & Hollick, 1979 ; Nathan & McMahon, 1990) สมการที่ (1)

$$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_{(i)} - q_{(i-1)}) \frac{1+\alpha}{2} \quad (1)$$

โดยที่ $q_{(i)}$ = อัตราการไหลทั้งหมด
ณ ช่วงเวลาที่ i (ลบ.ม./วินาที)

$q_{(i-1)}$ = อัตราการไหลทั้งหมด
ณ ช่วงเวลาที่ $i-1$ (ลบ.ม./วินาที)

$q_{f(i)}$ = อัตราการไหลโดยตรง
ณ ช่วงเวลาที่ i (ลบ.ม./วินาที)

$q_{f(i-1)}$ = อัตราการไหลโดยตรง
ณ ช่วงเวลาที่ $i-1$ (ลบ.ม./วินาที)

α = พารามิเตอร์ตัวกรอง

และ (i) ในที่นี้ หมายถึง ข้อมูลของน้ำท่ารายวัน

2. Chapman (Chapman, 1991; Mau & Winter, 1997) สมการที่ (2)

$$q_{f(i)} = \frac{3\alpha - 1}{3 - \alpha} q_{f(i-1)} + \frac{2}{3 - \alpha} (q_{(i)} - \alpha q_{(i-1)}) \quad (2)$$

โดยที่ $q_{(i)}$ = อัตราการไหลทั้งหมด
ณ ช่วงเวลาที่ i (ลบ.ม./วินาที)

$q_{(i-1)}$ = อัตราการไหลทั้งหมด
ณ ช่วงเวลาที่ $i-1$ (ลบ.ม./วินาที)

$q_{f(i)}$ = อัตราการไหลโดยตรง
ณ ช่วงเวลาที่ i (ลบ.ม./วินาที)

$q_{f(i-1)}$ = อัตราการไหลโดยตรง
ณ ช่วงเวลาที่ $i-1$ (ลบ.ม./วินาที)

α = พารามิเตอร์ตัวกรอง

และ (i) ในที่นี้ หมายถึง ข้อมูลของน้ำท่ารายวัน

3. EWMA (Tularam & Ilahie, 2008) สมการที่ (3)

$$q_{b(i)} = \alpha q_{(i)} + (1 - \alpha) q_{b(i-1)} \quad (3)$$

โดยที่ $q_{(i)}$ = อัตราการไหลทั้งหมด
ณ ช่วงเวลาที่ i (ลบ.ม./วินาที)

$q_{b(i)}$ = อัตราการไหลพื้นฐาน
ณ ช่วงเวลาที่ i (ลบ.ม./วินาที)

$q_{b(i-1)}$ = อัตราการไหลพื้นฐาน
ณ ช่วงเวลาที่ $i-1$ (ลบ.ม./วินาที)

α = พารามิเตอร์ตัวกรอง

และ (i) ในที่นี้ หมายถึง ข้อมูลของน้ำท่ารายวัน

4. Boughton two-parameter (Boughton, 1993 ; Chapman & Maxwell, 1996) สมการที่ (4)

$$q_{b(i)} = \frac{k}{1 + C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1 + C} q_{(i)} \quad (4)$$

โดยที่ $q_{(i)}$ = อัตราการไหลทั้งหมด
ณ ช่วงเวลาที่ i (ลบ.ม./วินาที)

$q_{b(i)}$ = อัตราการไหลพื้นฐาน
ณ ช่วงเวลาที่ i (ลบ.ม./วินาที)

$q_{b(i-1)}$ = อัตราการไหลพื้นฐาน
ณ ช่วงเวลาที่ $i-1$ (ลบ.ม./วินาที)

k = พารามิเตอร์ตัวกรอง

C = พารามิเตอร์ตัวกรอง

และ (i) ในที่นี้ หมายถึง ข้อมูลของน้ำท่ารายวัน

2.1.2 วิธีกราฟฟกติดิจิตอล (Digital Graphical Method)

กลไกการทำงานของวิธีกราฟฟกติดิจิตอล [3], [7-9] จะเป็นการค้นหาอัตราค่าอัตราการไหลต่ำสุดของแต่ละช่วงเวลา และช่วงเวลาของแต่ละวิธีจะมีหลักการคิดที่ต่างกันออกไปในการศึกษานี้ได้คัดเลือกมา 1 วิธี เพื่อใช้ในงานวิจัย ได้แก่ วิธี Local Minimum ดังนี้



วิธี Local Minimum สมการที่ (5)

$$[0.5 (2N^* - 1) \text{ day}] \quad (5)$$

โดยที่ $N = A^{0.2}$

และ $A =$ พื้นที่ของกลุ่มน้ำ (ตารางไมล์)

2.2 วิธีการศึกษา

2.2.1 พื้นที่ศึกษาและข้อมูลที่ใช้

ลุ่มน้ำป่าสัก [11] มีที่ตั้งอยู่ในเขตภาคกลางของประเทศไทย เป็นส่วนใหญ่ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ 15,603.33 ตารางกิโลเมตร พื้นที่บางส่วนตอนบนของลุ่มน้ำอยู่ในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขต 4 จังหวัด คือ เพชรบูรณ์ ลพบุรี สระบุรี และพระนครศรีอยุธยา ลักษณะลุ่มน้ำวางตัวตามแนวเหนือ-ใต้ บริเวณตอนบนของลุ่มน้ำมีเทือกเขาเพชรบูรณ์ล้อมรอบ ลักษณะสภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำมีลักษณะเป็นเนินเขาและมีที่ราบเพียงเล็กน้อย ส่วนตอนกลางในเขตจังหวัดลพบุรีและสระบุรีเป็นที่ราบสลับกับเนินเขา ตอนล่างของลุ่มน้ำบริเวณจุดบรรจบกับแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นที่ราบลุ่ม ลักษณะโดยรวมทั้งลุ่มน้ำจะถูกล้อมรอบด้วยภูเขาทั้ง 2 ด้าน และมีแม่น้ำป่าสักไหลอยู่ตรงกลางจากทิศเหนือลงทิศใต้ โดยมีต้นกำเนิดมาจากเทือกเขาเพชรบูรณ์ในเขตอำเภอด่านซ้ายซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของจังหวัดเลย จากนั้นไหลผ่านจังหวัดเพชรบูรณ์ ลพบุรี และสระบุรี จนมาบรรจบกับแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ความยาวรวมทั้งสิ้น 746 กิโลเมตร ลุ่มน้ำป่าสักมีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้

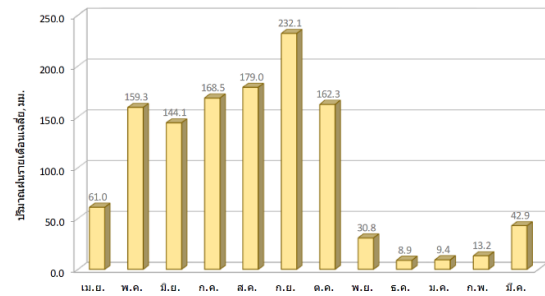
ทิศเหนือ ติดกับ ลุ่มน้ำโขงตะวันออกเฉียงเหนือ

ทิศใต้ ติดกับ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา

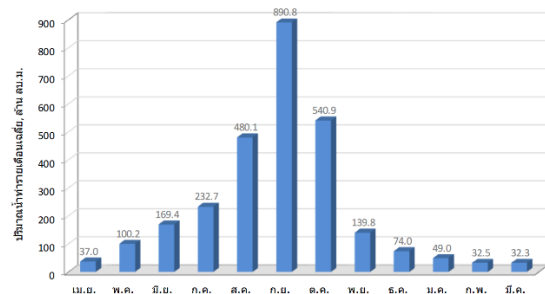
ทิศตะวันออก ติดกับ ลุ่มน้ำมูล และลุ่มน้ำชี

ทิศตะวันตก ติดกับ ลุ่มน้ำน่าน และลุ่มน้ำเจ้าพระยา

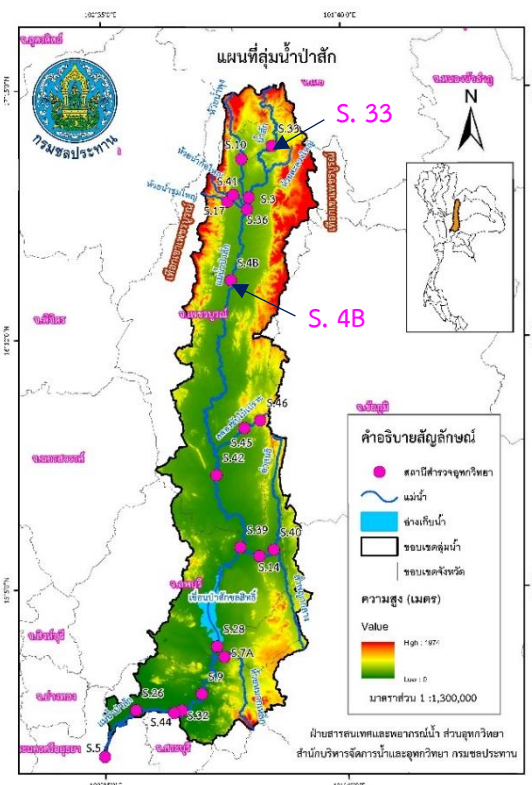
การศึกษานี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่า [11] แสดงดังรูปที่ 1 - 2 และได้รวบรวมข้อมูลอุทกนิยามวิทยารายวัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 ถึงปี พ.ศ. 2561 โดยขอวิเคราะห์ข้อมูลจากศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนล่าง ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า โดยให้ความสำคัญไปที่สถานีตรวจวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน และได้เลือกสถานีตรวจวัด S.33 และ S.4B มาทำการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 การกระจายปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยลุ่มน้ำป่าสัก



รูปที่ 2 การกระจายปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยลุ่มน้ำป่าสัก



รูปที่ 3 สภาพภูมิประเทศและตำแหน่งของสถานีตรวจวัด S.33 และ S.4B ในแผนที่ลุ่มน้ำป่าสัก

2.2.2 แบบจำลอง BFI+

Hydro office [3-4] เป็นซอฟต์แวร์สำหรับอุทกวิทยาอุทกนิยมนิยาม ธรณีศาสตร์และข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ โดย Milos Gregor เป็นผู้พัฒนาขึ้นมา และแบบจำลอง BFI+ ก็เป็นหนึ่งในซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแยกการไหลพื้นฐานออกมาจากกราฟน้ำท่า โดยตัวแบบจำลองมีวิธีการคำนวณเพื่อแยกการไหลพื้นฐานให้เลือกใช้ 11 วิธีด้วยกัน ประกอบไปด้วยวิธีตัวกรองดิจิทัลแบบทำซ้ำ 8 วิธี ได้แก่ Lynie & Hollick, Chapman, EWMA, Boughton two-parameter, One-parameter, IHACRES three-parameter, Eckhardt Filter, Furey & Gupta และวิธีการฟลักซ์ดิจิทัล 3 วิธี ได้แก่ Local Minimum, Fixed Interval, Sliding Interval

2.2.3 การประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง

กระบวนการในการประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง [3,4,6,7,9,12] จะทำโดยการพิจารณาความสอดคล้องกัน (Closeness หรือ Goodness of Fit) ของค่าจากการจำลอง (Simulated Result) และค่าสังเกตที่ได้มีการบันทึกไว้หรือค่าที่เกิดขึ้นจริง (Observations) ซึ่งมักจะทำการตรวจสอบกราฟที่พล็อตเปรียบเทียบค่าทั้งสองด้วยสายตา (Visual Inspection) และการคำนวณค่าความผิดพลาด (Error) ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตที่เกิดขึ้นจริง โดยใช้เกณฑ์การประเมินเชิงประสิทธิภาพ (Efficiency Criteria) ซึ่งในการศึกษานี้ได้คัดเลือกมา 3 วิธีเพื่อใช้ในการวิจัย ดังนี้

1. Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) (Nash and Sutcliffe, 1970)

คือ ตรรกะที่นิยมใช้ในการบอกค่าความแม่นยำของแบบจำลอง (Model Accuracy) หรือประสิทธิภาพประสิทธิผลของแบบจำลอง (Model Performance) ในการคาดคะเนค่าที่ต้องการ สูตรการคำนวณหา NSE แสดงอยู่ในสมการที่ (6)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{mean})^2} \quad (6)$$

โดยที่ Q_{obs} = ค่าสังเกต (Observed Value) ที่ i เมื่อ i มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง n

Q_{sim} = ค่าคาดคะเนจากแบบจำลองของค่า Q_{obs}

$$Q_{mean} = \text{ค่าเฉลี่ยของ } Q_{obs}$$

2. Root Mean Square Error (RMSE)

คือ ค่าเบี่ยงเบนกำลังสองเฉลี่ยรากหรือค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยราก เป็นหนึ่งในสองการวัดความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดและใช้บ่อยของการวัดความแตกต่างระหว่างค่าจริงหรือค่าที่ทำนายไว้ในมือข้างหนึ่งกับค่าที่สังเกตได้หรือตัวประมาณค่าในอีกด้านหนึ่ง สูตรการคำนวณหาค่า RMSE แสดงอยู่ในสมการที่ (7)

$$RMSE = 1 - \frac{\sqrt{\sum (Q_{obs} - Q_{sim})^2}}{n} \quad (7)$$

โดยที่ Q_{obs} = ค่าสังเกต (Observed Value) ที่ i เมื่อ i มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง n

Q_{sim} = ค่าคาดคะเนจากแบบจำลองของค่า Q_{obs}

3. Coefficient of Determination (R^2)

คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ หมายถึงสัดส่วนที่ตัวแปรอิสระ (X) สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (Y) ได้ โดย R^2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ถ้าค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่า X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y ได้มาก ถ้าค่า R^2 เข้าใกล้ 0 แสดงว่า X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y ได้น้อย สูตรการคำนวณหา R^2 แสดงอยู่ในสมการที่ (8)

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (8)$$

โดยที่ $SSE = \sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2$

$$SST = \sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{mean})^2$$

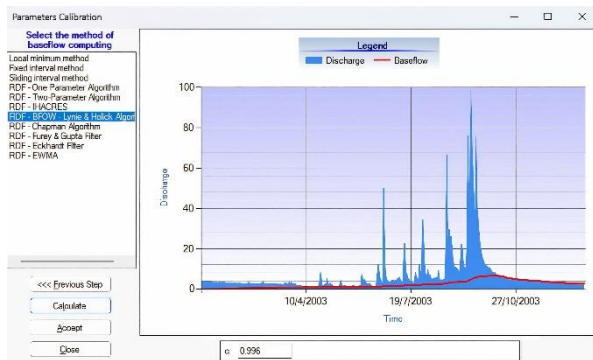
2.2.4 วิธีการ

1. รวบรวมข้อมูลสถานีตรวจวัดน้ำท่าทั้งหมดในกลุ่มน้ำป่าสักและคัดเลือกสถานีตรวจวัดน้ำท่ามาทำการวิเคราะห์

2. ทำการแบ่งข้อมูลจำนวนปีต่อเนื่องในแต่ละสถานีออกเป็นสองส่วน [3-4] โดยส่วนแรกใช้สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด (Calibration) ซึ่งคิดเป็น 70% ของจำนวนปีทั้งหมด และส่วนที่สองใช้สำหรับการตรวจพิสูจน์ค่าพารามิเตอร์ (Validation) ซึ่งคิดเป็น 30% ของจำนวนปีทั้งหมด



3. นำข้อมูลน้ำท่ารายวันของสถานีตรวจวัดที่ต้องการในส่วน Calibration ที่จัดเตรียมไว้มาคำนวณหาค่า Baseflow ในแบบจำลอง BFI+ โดยเลือกใช้วิธีการคำนวณ 5 วิธี ได้แก่ Lynie & Hollick, Chapman, EWMA, Boughton two-parameter และ Local Minimum หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละวิธี แสดงดังรูปที่ 4 – 5



รูปที่ 4 การปรับเทียบค่าพารามิเตอร์โดยแบบจำลอง BFI+

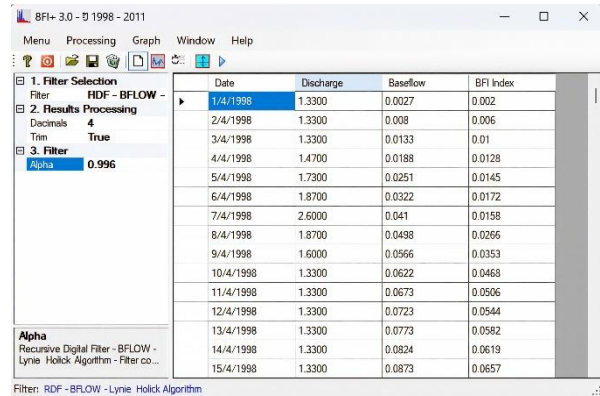
กระบวนการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ [3] นี้ได้เลือกข้อมูลช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคมในแต่ละปีมาวิเคราะห์เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ฝนตกน้อยหรือไม่มีฝนตกเลยดังแสดง ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย รายปีเฉลี่ย และช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคมซึ่งเป็นตัวแทนของปริมาณการไหลพื้นฐาน ได้ดังตารางที่ 1

ในขั้นตอนนี้จะทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ของแต่ละวิธีโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 2 [3] เป็นแนวทางในการทดลองปรับค่า (Trial and Error) และจะหยุดลงเมื่อเส้นโค้งของปริมาณการไหลพื้นฐานที่คำนวณได้ (เส้นสีแดง) ใกล้เคียงกันกับเส้นโค้งของปริมาณการไหลทั้งหมด (เส้นสีน้ำเงิน)

ตารางที่ 1 สัดส่วนปริมาณ Baseflow เทียบกับน้ำท่า

สถานีตรวจวัด	ปีที่ศึกษา	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย (CMS)												ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (CMS)	ปริมาณการไหลพื้นฐาน (พ.ย. ถึง มี.ค.) (CMS)	สัดส่วนปริมาณ Baseflow เทียบกับน้ำท่า (%)
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.			
S.33	2541 - 2560	43.92	97.52	177.83	305.27	571.90	840.23	382.56	137.92	96.08	74.53	55.78	48.91	2,832.45	413.22	14.59
S.4B	2546 - 2561	38.17	226.55	260.51	645.88	1,171.87	2,488.35	1,524.50	271.26	114.41	38.24	32.61	23.23	6,835.58	479.75	7.02

ตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคมเทียบกับน้ำท่ารายปีเฉลี่ยสำหรับสถานีตรวจวัด S.33 และ S.4B เนื่องจากการศึกษานี้ได้ทำการเลือกข้อมูลช่วงเวลาดังกล่าวมาใช้วิเคราะห์ เพื่อเป็นตัวแทนของช่วงที่เกิดปริมาณการไหลพื้นฐาน จะเห็นว่าปริมาณ Baseflow ของทั้ง 2 สถานีตรวจวัด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10 % ของปริมาณน้ำท่ารวมทั้งปี



รูปที่ 5 การแยกปริมาณการไหลพื้นฐานโดยแบบจำลอง BFI+ ด้วยวิธี Lynie & Hollick

4. ทำการวิเคราะห์ปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow) และประเมินค่าความแม่นยำของข้อมูล โดยใช้ปริมาณน้ำท่าของสถานีตรวจวัดในช่วงฤดูแล้ง (ในกรณีพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักกำหนดให้เป็นเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม) เปรียบเทียบกับปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow) ในช่วงเวลาเดียวกัน ด้วยวิธี Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Root Mean Square Error (RMSE) และ Coefficient of Determination (R^2)

5. นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้ทดสอบข้อมูลในส่วน Validation ที่เตรียมไว้ โดยการนำเข้าแบบจำลอง BFI+ และใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละวิธี จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow) และประเมินค่าความแม่นยำของข้อมูลอีกครั้ง

6. ทำการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดทั้ง 5 วิธี ของสถานีตรวจวัดน้ำท่าแล้วนำไปวิเคราะห์สรุปผลการศึกษา



ตารางที่ 2 ช่วงค่าของพารามิเตอร์

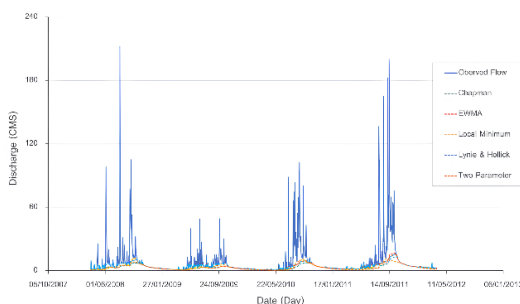
Filter names	Range of parameter values explored for each watershed				
	k	C	α	N	f
Lynlie & Hollick			0.961 - 0.985		
Chapman			0.988 - 0.993		
EWMA			0.011 - 0.015		
Two Parameter	0.961 - 0.989	0.017 - 0.022			
Local Minimum				4.0 - 14.0	0.90 - 0.95

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

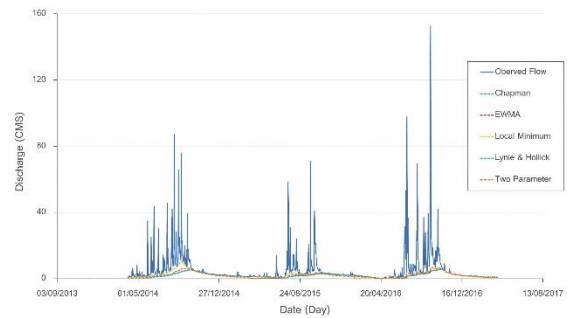
การศึกษานี้ได้ดำเนินการเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของทั้ง 5 วิธี โดยใช้ข้อมูลน้ำท่ารายวันในช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม) ในแต่ละปี ค่าพารามิเตอร์ถูกคำนวณจากกระบวนการทดลองปรับค่า (Trial and Error) และค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบในแต่ละปี (Calibration) ถูกใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ต่อไป

สำหรับลุ่มน้ำป่าสัก พบว่าทั้งสถานีตรวจวัด S.33 และ S.4B แต่ละวิธีของการวิเคราะห์ปริมาณการไหลพื้นฐาน มีค่าพารามิเตอร์ตัวกรองหลายชุดและแตกต่างกัน โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจะแสดงไว้ในตารางที่ 3 ผลการศึกษการวิเคราะห์ปริมาณการไหลพื้นฐานของสถานีตรวจวัด S.33 และ S.4B ซึ่งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน โดยใช้แบบจำลอง BFI+ ช่วยในการคำนวณ ผลลัพธ์ของทั้ง 5 วิธี ได้แก่ Lynlie & Hollick, Chapman, EWMA, Boughton two-parameter และ Local Minimum จะแสดงในรูปของกราฟน้ำท่า ดังนี้

รูปที่ 6 - 7 แสดงให้เห็นถึงการแยกปริมาณการไหลพื้นฐานทั้ง 5 วิธี ของสถานีตรวจวัด S.33 สำหรับช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2554 (Calibration) และ พ.ศ. 2557 ถึง พ.ศ. 2559 (Validation)

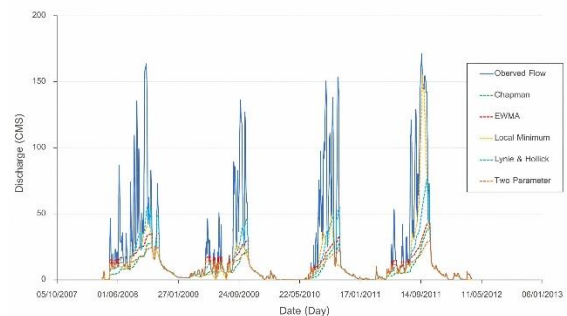


รูปที่ 6 ผลการศึกษการแยกปริมาณการไหลพื้นฐานทั้ง 5 วิธี ของสถานีตรวจวัด S.33 (Calibration)

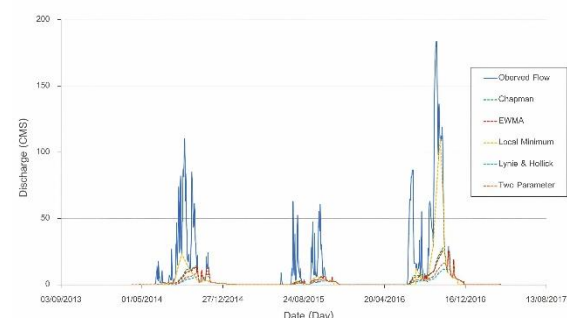


รูปที่ 7 ผลการศึกษการแยกปริมาณการไหลพื้นฐานทั้ง 5 วิธี ของสถานีตรวจวัด S.33 (Validation)

รูปที่ 8 - 9 แสดงให้เห็นถึงการแยกปริมาณการไหลพื้นฐานทั้ง 5 วิธี ของสถานีตรวจวัด S.4B สำหรับช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2554 (Calibration) และ พ.ศ. 2557 ถึง พ.ศ. 2559 (Validation)



รูปที่ 8 ผลการศึกษการแยกปริมาณการไหลพื้นฐานทั้ง 5 วิธี ของสถานีตรวจวัด S.4B (Calibration)



รูปที่ 9 ผลการศึกษการแยกปริมาณการไหลพื้นฐานทั้ง 5 วิธี ของสถานีตรวจวัด S.4B (Validation)



ตารางที่ 3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสถานีตรวจวัด S.33 และ S.4B ของแต่ละวิธีการจะเห็นว่าค่าพารามิเตอร์ของทั้ง 2 สถานีตรวจวัดมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

สถานีตรวจวัด	Lynlie & Hollick	Chapman	EWMA	Boughton two parameter	Local Minimum		
	α	α	α	k	C	N	f
S.33	0.996	0.995	0.004	0.985	0.01	6	0.94
S.4B	0.986	0.993	0.005	0.999	0.003	5	0.81

ตารางที่ 4 - 5 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Root Mean Square Error (RMSE) และ Coefficient of Determination (R^2) สำหรับสถานีตรวจวัด S.33 เพื่อใช้ตรวจสอบความแม่นยำของแต่ละวิธีการทั้ง Calibration และ Validation

ตารางที่ 4 ค่า NSE, RMSE และ R^2 ของสถานีตรวจวัด S.33 (Calibration)

Metode	Lynlie & Hollick	Chapman	EWMA	Boughton two-parameter	Local Minimum
NSE	0.9974	0.9649	0.9975	0.7288	0.8546
RMSE	0.0264	0.1719	0.0264	0.5732	0.4166
R^2	0.9978	0.9681	0.9978	0.9056	0.8965

ตารางที่ 5 ค่า NSE, RMSE และ R^2 ของสถานีตรวจวัด S.33 (Validation)

Metode	Lynlie & Hollick	Chapman	EWMA	Boughton two-parameter	Local Minimum
NSE	0.9922	0.9437	0.9922	0.6630	0.4780
RMSE	0.1279	0.2796	0.1277	0.5855	0.9166
R^2	0.9941	0.9684	0.9941	0.9152	0.7505

ตารางที่ 6 - 7 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่า Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Root Mean Square Error (RMSE) และ Coefficient of Determination (R^2) สำหรับสถานีตรวจวัด S.4B เพื่อใช้ตรวจสอบความแม่นยำของแต่ละวิธีการทั้ง Calibration และ Validation

ตารางที่ 6 ค่า NSE, RMSE และ R^2 ของสถานีตรวจวัด S.4B (Calibration)

Metode	Lynlie & Hollick	Chapman	EWMA	Boughton two-parameter	Local Minimum
NSE	0.9960	0.9518	0.9848	0.9613	0.7831
RMSE	0.2507	0.9212	0.4758	0.8095	1.9687
R^2	0.9974	0.9726	0.9930	0.9816	0.8529

ตารางที่ 7 ค่า NSE, RMSE และ R^2 ของสถานีตรวจวัด S.4B (Validation)

Metode	Lynlie & Hollick	Chapman	EWMA	Boughton two-parameter	Local Minimum
NSE	0.9986	0.9628	0.9784	0.9329	0.6475
RMSE	0.0659	0.3427	0.2552	0.5493	1.5873
R^2	0.9989	0.9801	0.9863	0.9628	0.7436

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเส้นกราฟของปริมาณการไหลพื้นฐานในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคมมีค่าใกล้เคียงกับกราฟน้ำท่ารายวันที่นำมาใช้วิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลานี้น่าจะเป็นปริมาณการไหลพื้นฐานทั้งหมด และจากตารางผลการวิเคราะห์ทางสถิติวิธี Lynlie & Hollick กับ วิธี EWMA มีความแม่นยำใกล้เคียงกันในสถานีตรวจวัดที่ S.33 ทั้ง Calibration และ Validation แต่ วิธี Lynlie & Hollick มีความแม่นยำมากกว่า วิธี EWMA ในสถานีตรวจวัดที่ S.4B ทั้ง Calibration และ Validation

4. บทสรุป

จากผลการศึกษาข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า วิธีการทั้งหมด 5 วิธี ทั้งวิธีตัวกรองดิจิทัลแบบทำซ้ำและวิธีการฟิสิกส์ดิจิทัล สามารถแยกการไหลพื้นฐานออกมาจากน้ำท่ารายวันได้ และวิธี Lynlie & Hollick สามารถแยกการไหลพื้นฐานได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ อีก 4 วิธี ทั้ง 2 สถานีตรวจวัดเนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบความแม่นยำของแต่ละวิธีให้ค่าออกมาดีที่สุดที่สถานีตรวจวัด S.33 และ S.4B ตามลำดับ ดังนี้ ค่า Nash-Sutcliffe Efficiency เท่ากับ 0.9922, 0.9986 ค่า Root Mean Square Error เท่ากับ 0.1279, 0.0659 และ ค่า Correlation Coefficient เท่ากับ 0.9941, 0.9989

จากงานวิจัยนี้ การที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณการไหลพื้นฐานได้นั้น ทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำป่าสักรบริเวณสถานีตรวจวัดที่เลือกมาทำการวิเคราะห์ ว่าในฤดูแล้งหรือช่วงที่มีฝนตกอยู่น้อยมาก มีปริมาณน้ำท่าอยู่เท่าไร สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในเรื่องของการบริหารจัดการน้ำช่วงฤดูแล้งในเขตพื้นที่ได้ โดยการวางแผนการจัดสรรน้ำและกักเก็บน้ำไว้ใช้เพื่อการเกษตรและกิจการอื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลน้ำท่าที่ได้มาใช้ประโยชน์ในเรื่องของการวางแผนควบคุมการไหลของ



ปริมาณน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศได้อีกด้วย สุดท้ายนี้ คาดหวังว่าจะสามารถนำข้อมูลที่ได้จากกลุ่มน้ำป่าสักไปใช้กับ กลุ่มน้ำอื่นในประเทศไทยได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือ ตอนล่าง กรมชลประทาน ที่ให้การช่วยเหลือด้านการ อนุเคราะห์ข้อมูลอุทกวิทยางานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jung Y, Shin Y, Won N-I, Lim K. Web-Based BFlow System for the Assessment of Streamflow Characteristics at National Level. *Water*. 2016;8(9):384.
- [2] Lim KJ, Engel BA, Tang Z, Choi J, Kim K-S, Muthukrishnan S, et al. AUTOMATED WEB GIS BASED HYDROGRAPH ANALYSIS TOOL, WHAT. *Journal of the American Water Resources Association*. 2005:1407-16.
- [3] Indarto, Novita E, Wahyuningsih S. Preliminary Study on Baseflow Separation at Watersheds in East Java Regions. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2016;9:538-50.
- [4] Indarto I, Novita E, Wahyuningsih S, Herlinda ND, Hidayah E. Application of recursive digital filter (RDF) methods for baseflow separation: study at Brantas watershed. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*. 2019;9(3):626-40.
- [5] Kang T, Lee S, Lee N, Jin Y. Baseflow Separation Using the Digital Filter Method: Review and Sensitivity Analysis. *Water*. 2022;14(3).
- [6] He S, Yu K, Tang Z, Yan Y, Zhang F. Impacts of parameter uncertainty on baseflow separation by a two - parameter recursive digital filter. *Hydrological Processes*. 2022;36(3).
- [7] Cheng S, Tong X, Illman WA. Evaluation of baseflow separation methods with real and synthetic streamflow data from a watershed. *Journal of Hydrology*. 2022;613.
- [8] Xie J, Liu X, Wang K, Yang T, Liang K, Liu C. Evaluation of typical methods for baseflow separation in the contiguous United States. *Journal of Hydrology*. 2020;583.
- [9] Mao B, Wang X, Jia S, Liu Z. Multi-methods to investigate the baseflow: Insight from watershed scale spatiotemporal variety perspective. *Ecological Indicators*. 2024;158.
- [10] Li L, Maier HR, Partington D, Lambert MF, Simmons CT. Performance assessment and improvement of recursive digital baseflow filters for catchments with different physical characteristics and hydrological inputs. *Environmental Modelling & Software*. 2014;54:39-52.
- [11] Office of the National Water Resources. Basic database development project for 22 river basins: Summary report on the basic information of the Pasak River Basin. Bangkok: Office of the National Water Resources; 2020.Thai.
- [12] Vudhivanich V, Chuchat W. Analysis of model accuracy using Nash-Sutcliffe Efficiency and R^2 [Internet]. 2010. p. 77-87. Available from: <https://online.anyflip.com/awhu/ialr/mobile/>. Thai