การประเมินระดับความแล้งทางอุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำอูน โดยใช้ค่าดัชนีความแล้งของน้ำท่า
Hydrological drought assessment in Nam Oon basin based on Streamflow Drought Index (SDI)

โกวิท บุญรอด[1,*] จิรวัฒน์ ศุภโกศล[2] และ ปริญญา ผาใต้[3]

[1,2] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จ.สกลนคร
[3] นักศึกษาสาขาวิศวกรรมโยธา คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จ.สกลนคร
**Corresponding author; E-mail address: kowit.bo@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

ภัยแล้งเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างกว้างขวาง ปริมาณน้ำท่าที่ใช้การได้ในพื้นที่ลุ่มน้ำ มีค่าแสดงแนวโน้มที่ลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยระหว่างปี ทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานและกระทบต่อการจัดการทรัพยากรน้ำของอ่างเก็บน้ำ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้มุ่งหมายเป้าถึงการเกิดภัยแล้งทางอุทกวิทยา ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำท่าโดยใช้ดัชนีความแล้งของน้ำท่า (Streamflow Drought Index, SDI) ของอ่างเก็บน้ำลำน้ำอูน จังหวัดสกลนคร ค่า SDI ใช้การพิจารณาคำนวณตามช่วงคาบ 3, 6, และ 9 เดือน โดยเปรียบเทียบพื้นที่ต้นน้ำเหนืออ่างเก็บน้ำและพื้นที่ปลายน้ำของอ่างเก็บน้ำกับการควบคุมการจัดสรรน้ำ ผลการวิเคราะห์ความแห้งแล้งทางอุทกวิทยาโดยใช้ SDI ในทั้งสองพื้นที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ที่สถานีตรวจวัดที่อ่างเก็บน้ำอูน และสถานีวัดน้ำท่า KH108, KH54 จำนวนเดือนของปรากฏการณ์ภัยแล้งสูง ณ สถานีวัดน้ำท่า KH108 อยู่ระหว่าง 55.32% -65.91% ของช่วงคาบ 6 เดือน ค่า SDI ส่วนใหญ่แสดงเป็นภัยแล้งไม่รุนแรง อยู่ระหว่าง 41.49%-53.41 % นอกจากนี้ SDI ที่บริเวณกลางลุ่มน้ำมีโอกาสเกิดภัยแล้งมากกว่าพื้นที่ต้นน้ำและปลายน้ำ จากการจัดการอ่างเก็บน้ำ วิธีการและผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้คาดว่าจะใช้เป็นข้อมูลสถิติสำหรับการตัดสินใจในการวางแผนบรรเทาภัยแล้งในช่วงระยะเวลาที่เกิดซ้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ

คำสำคัญ: ปริมาณน้ำท่า, ความแล้งทางอุทกวิทยา, ดัชนีความแล้งของน้ำท่า, อ่างเก็บน้ำอูน, การจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำ

Abstract

Drought is a widespread natural phenomenon throughout. It occurs at a time when streamflow availability in the watershed shows a trend that is lower than the annual average, causing insufficient demand and affecting the reservoir's water resource management. The objective of this study was to determine the occurrence of hydrologic drought related to streamflow using the Streamflow Drought Index (SDI) of the Nam Oon Reservoir in Sakon Nakhon Province. The SDI values were calculated over time periods of 3, 6, and 9 months, comparing the upstream area above the reservoir and the downstream area of the reservoir with regulating over water allocation. The results of hydrological drought analysis using SDI in both areas showed trends in the same direction. At site station of dam and station KH108, HK54. The number of months of drought-phenomena at station KH108 ranged between 55.32% -65.91% of time periods 6 months. The SDI values were mainly expressed in Mild Drought between 21.8%-33.9%. In addition, the SDI at the upstream area illustrates a higher chance of drought than the downstream area due to reservoir management. The methodology and results obtained from this study are expected to be used as statistical data for decision-making in drought mitigation planning during the recurrence period in the watershed area.

Keywords: Streamflow, Hydrological drought, Streamflow Drought Index, Nam Oon Reservoir, Watershed management.

1. คำนำ

ทรัพยากรน้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่เป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ได้มีการนำน้ำมาใช้ในด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม อุปโภค บริโภค นันทนาการและกิจกรรมต่างๆ รวมถึงด้านสิ่งแวดล้อม ในด้านสถานการณ์น้ำของประเทศไทยตลอดหลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยประสบปัญหาทางด้านน้ำทั้งปัญหาน้ำท่วมและปัญหาน้ำแล้ง บางพื้นที่เกิดปัญหาซ้ำซาก บางพื้นที่ทั้งประสบปัญหาทั้งท่วมและแล้งในที่เดียวกัน ซึ่งปัญหาเกิดขึ้นหลายปัจจัย โดยเฉพาะปัญหาน้ำแล้งที่ตลอดช่วงหลายปีที่ผ่านมาก็จะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ จากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลง การเกิดสภาวะโลกร้อน ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลกระทบโดยตรงต่อ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำท่าที่ลดลง การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนในทางลบ เป็นภาวะแล้งทาง

อุตุนิยมวิทยา (meteorological drought) สาเหตุจากความแปรปรวนของสภาพอากาศ ทั้งจากสาเหตุทางธรรมชาติ หรือจากการกระทำของมนุษย์ ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในดินลดลง ซึ่งจะมีอิทธิพลโดยตรงต่อปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้การได้โดยพืช ก่อให้เกิดภาวะแล้งทางการเกษตร (agricultural drought) จะส่งผลต่อองค์ประกอบของวัฏจักรน้ำอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ ปริมาณการไหลบนผิวดิน ปริมาณน้ำท่า และปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ชั้นน้ำบาดาล ที่เรียกว่า ปริมาณการเติมน้ำลงสู่ใต้ดิน ก่อให้เกิดภาวะแล้งทางอุทกวิทยา (hydrological drought) ท้ายที่สุดจะก่อให้เกิดผลกระทบทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เรียกว่า ภาวะแล้งทางเศรษฐกิจ-สังคม (socio-economic drought) [1]

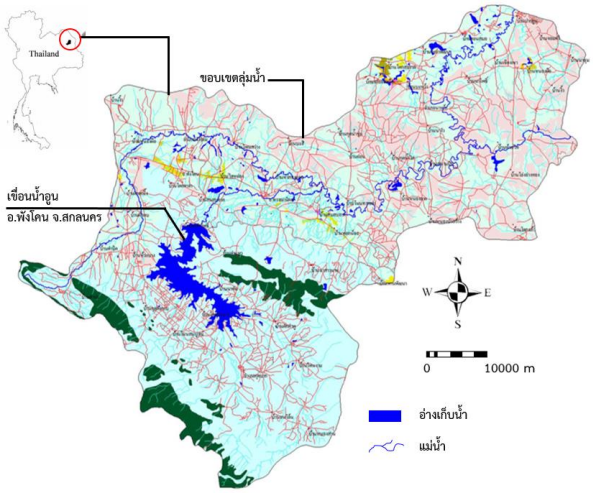
การศึกษาเหตุการณ์สภาวะแล้งทางอุทกวิทยาที่เกี่ยวข้องกับน้ำท่า โดยใช้ดัชนีความแล้งของน้ำท่า (Streamflow Drought Index - SDI) ค่า SDI เกิดจากความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำท่าที่มีผลกระทบสะสมเกิดขึ้นเป็นระยะเวลานานและมีความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าที่ลดลงและขาดแคลน ค่าดัชนีจะใช้ประโยชน์เพื่อกำหนดมาตรการวางแผนงานได้ตามลำดับความรุนแรงของสถานการณ์ภัยแล้งที่เกิดขึ้น

ปริมาณน้ำท่าที่ใช้การได้ในพื้นที่ลุ่มน้ำ มีค่าแสดงแนวโน้มที่ลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยระหว่างปี ทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานและกระทบต่อการจัดการทรัพยากรน้ำของอ่างเก็บน้ำ การศึกษานี้ได้ทำประเมินระดับความแล้งทางอุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำตรวจสอบความแล้งของพื้นที่ต้นน้ำและท้ายน้ำ ที่มีอิทธิพลเนื่องจากการกักเก็บน้ำของเขื่อน โดยใช้ดัชนีความแล้ง SDI ที่คำนวนได้ ณ ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าที่อ่างเก็บน้ำ ใช้เป็นสถานีตัวแทนต้นน้ำ และใช้สถานีวัดน้ำท่าในลำน้ำ 2 สถานี เป็นตัวแทนท้ายน้ำ ที่ช่วงเวลา 3, 6, และ 9 เดือน วิธีการและผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้คาดว่าจะใช้เป็นข้อมูลสถิติสำหรับการตัดสินใจในการวางแผนบรรเทาภัยแล้งในช่วงระยะเวลาที่เกิดซ้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำได้

2. วิธีการศึกษา

2.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้พิจารณาลุ่มน้ำอูนเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำน้ำสงคราม มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 3,542.89 ตารางกิโลเมตร หรือ 2,214,306.43 ไร่ [2] ตั้งอยู่ในตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีต้นน้ำอยู่ในทิวเขาภูพานจังหวัดสกลนคร ไหลลงแม่น้ำสงครามที่จังหวัดนครพนม ที่ราบสองฝั่งแม่น้ำอูนมีลักษณะเป็นแอ่ง บริเวณที่ราบใกล้เคียงมีการเพาะปลูกมากทั้งข้าวและพืชอื่น ๆ ในเวลาช่วงฝนตกหนักจึงมักมีปัญหาอุทกภัย ทำให้พืชผลเสียหายบ่อยครั้ง และช่วงขาดฝนก็ประสบปัญหาภัยแล้ง ไม่เพียงพอในการเพาะปลูก กรมชลประทานจึงสร้างเขื่อนเก็บน้ำขึ้นที่บ้านหนองบัว อำเภอพังโคน และอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร เขื่อนน้ำอูนเป็นเขื่อนดินกั้นแม่น้ำอูน อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร ห่างจากตัวจังหวัดประมาณ 54 กิโลเมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2510 ตัวเขื่อนสร้างเสร็จ พ.ศ. 2517 งานระบบส่งน้ำเสร็จ พ.ศ. 2524 ตัวเขื่อนน้ำอูน มีความสูง 29.50 เมตร สันเขื่อนยาว 3,000 เมตร เก็บน้ำได้ 520 ล้านลูกบาศก์เมตร ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกในฤดูฝน 185,800 ไร่ ในฤดูแล้ง 63,000 ไร่ และช่วยบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำอูน อยู่ในความดูแลของกรมชลประทาน ตั้งอยู่ในเขตอำเภอพังโคน เป็นเขื่อนดินสร้างกั้นลำน้ำอูนซึ่งเป็นสายหนึ่งของแม่น้ำสงคราม ซึ่งมีต้นน้ำมาจากเทือกเขาภูพานลักษณะการใช้ประโยชน์ของเขื่อนเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ในการชลประทานบรรยากาศทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำอูน

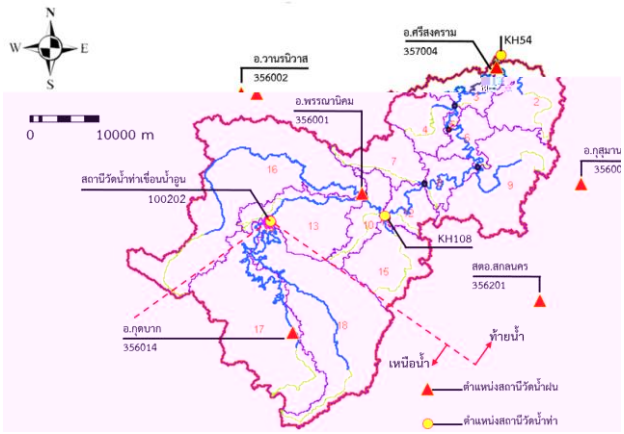
2.2 การรวบรวมข้อมูล

2.2.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลฝนรายวัน ในช่วงปี พ.ศ.2555 ถึง พ.ศ.2563 ที่รวบรวมได้จากสถานีตรวจวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 6 สถานี ได้แก่ สถานี 356001 อำเภอพรรณานิคม สถานี 356002 อำเภอวานรนิวาส สถานี 356004 อำเภอกุสุมาลย์ สถานี 356014 อำเภอกุดบาก สถานี 356201 สถานีตรวจวัดอากาศสกลนคร และสถานี 357004 อำเภอศรีสงคราม ส่วนข้อมูลอุทกวิทยาใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายเดือนที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำอูน รหัสโครงการ 100202 ที่ได้จากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูน อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร สถานีวัดน้ำท่าในลำน้ำอูน รหัส KH108 บ้านพอกใหญ่ อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร และสถานีวัดน้ำท่าในลำน้ำอูน รหัส KH54 อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม ในช่วงปี พ.ศ.2555 ถึง พ.ศ.2563 ดังแสดงในรูปที่ 2

2.2.2 ข้อมูลสภาพพื้นที่ของลุ่มน้ำที่ศึกษา

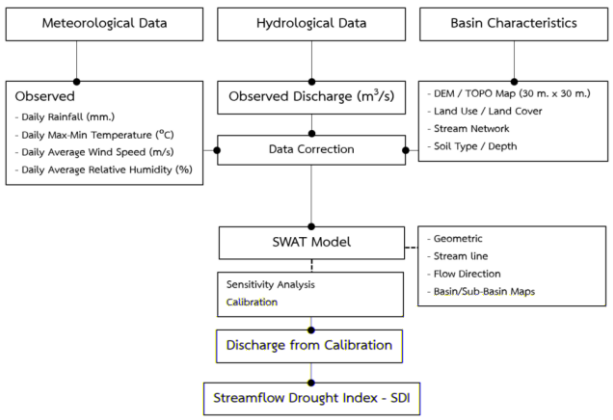
ข้อมูลสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยข้อมูลขอบเขตลุ่มน้ำและเส้นลำน้ำ ข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ความละเอียดในแนวราบขนาด 30 เมตร x 30 เมตร รวมถึงแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use map) และแผนที่กลุ่มชุดดิน (soil map) มาตราส่วน 1:25,000 ปี พ.ศ. 2558 ที่จัดทำขึ้นโดยกรมพัฒนาที่ดิน



รูปที่ 2 ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝน สถานีวัดน้ำท่า ในพื้นที่ลุ่มน้ำอูน

2.3 กรอบแนวคิดในการศึกษา

การประเมินระดับความแล้งทางอุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำอูน โดยใช้ค่าดัชนีความแล้งของน้ำท่า มีกรอบแนวคิดดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กรอบแนวคิดในการศึกษา

การศึกษาจะใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ปริมาณฝน ร่วมกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกวิทยา SWAT สำหรับการคำนวณปริมาณน้ำท่าเป็นรายวันโดยใช้ข้อมูลน้ำท่าจากสถานีวัดในอ่างเก็บน้ำและในลำน้ำเป็นสถานีสังเกตุการณ์เพื่อสอบเทียบแบบจำลอง และทำการคำนวณค่าดัชนีความแล้งของน้ำท่า SDI เป็นรายเดือน ตรวจสอบค่าตามช่วงคาบ 3, 6, และ 9 เดือน ซึ่งเป็นผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้

2.4 แบบจำลองอุทกวิทยา SWAT

แบบจำลองอุทกวิทยา Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ใช้ข้อมูลทางกายภาพของลุ่มน้ำและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน [3] โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนของแบบจำลองดังนี้

1) เตรียมข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลสภาพพื้นที่ ได้แก่ ข้อมูล DEM ข้อมูลลำน้ำ ข้อมูลขอบเขตลุ่มน้ำ ความลาดชัน แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน กลุ่มชุดดิน และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ข้อมูลฝนและภูมิอากาศรายวัน ปี พ.ศ.2555 ถึง พ.ศ.2563

2) สร้างแบบจำลอง SWAT ทำการสร้างขอบเขตของลุ่มน้ำและเครือข่ายของลำน้ำโดยใช้ข้อมูล DEM กำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units, HRUs) จาก ประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน กลุ่มชุดดิน และความลาดชันของพื้นที่ นำเข้าข้อมูลภูมิอากาศ และประมวลผลข้อมูลนำเข้าทั้งหมดเพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำท่ารายวัน

3) สอบเทียบแบบจำลอง (model calibration) ทำการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวด้วยหลักการลองผิดลองถูก (Trial and error) เพื่อให้แบบจำลองคำนวณผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องและสอดคล้องกับสภาพของลุ่มน้ำ สำหรับการสอบเทียบจะใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันที่ไหลเข้าสู่สถานีตรวจวัดอ่างเก็บอูน 100202, สถานี KH108 และสถานี KH54 ในช่วงปี พ.ศ.2555 ถึง พ.ศ.2563 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2)

2.5 การวิเคราะห์ดัชนีความแล้งทางอุทกวิทยา

ดัชนีความแล้งของน้ำท่า (Streamflow Drought Index - SDI) เป็นดัชนีความแล้งตัวหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเพราะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้มีความเข้าได้ง่าย โดยอาศัยข้อมูลอัตราการไหลของน้ำท่า (Stream Flow) ของแต่ละสถานีหรือจากการทำแบบจำลองโดยพิจารณาเป็นแบบรายวัน รายสัปดาห์ และรายเดือน พัฒนาขึ้นโดย Nalbantis [4] เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณน้ำท่า ณ ช่วงเวลาต่างๆ โดยพิจารณา จากสูตรดังนี้

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad (1)$$

เมื่อ $V_{i,k}$ หมายถึงปริมาณน้ำท่าสะสมที่ช่วงเวลา k ปี i, Q คือ ปริมาณการไหลของน้ำท่า จากนั้นสร้างค่า SDI ขึ้น โดยค่าดัชนีความแล้ง (SDI) หาได้จากการนำค่าปริมาณน้ำท่า ณ เวลาที่สนใจ ลบด้วยประมานน้ำท่าเฉลี่ย จากนั้นหารด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลประมาณน้ำท่าสะสมของเวลาที่สนใจ ก็จะได้ค่าคะแนน SDI ตามลักษณ์ของข้อมูลโดยเทียบกับระยะเวลาที่เราสนใจ

$$S\,D_i I_{,\,k}\ \frac{V_{i\,,\,k} - \bar{V}_k}{S_k} \quad (2)$$

เมื่อ $SDI_{i,k}$ หมายถึงค่าดัชนีความแล้งน้ำท่าที่ช่วงเวลา k ปี i, $V_{i,k}$ คือปริมาณน้ำท่าที่ช่วงเวลา k ปี i, $\bar{V}_k$ คือปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของช่วงเวลา k, และ $S_{,k}$ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลประมาณน้ำท่าสะสมของเวลา k โดยแสดงช่วงเกณฑ์การแบ่งระดับภาวะแล้งในตารางที่ 1

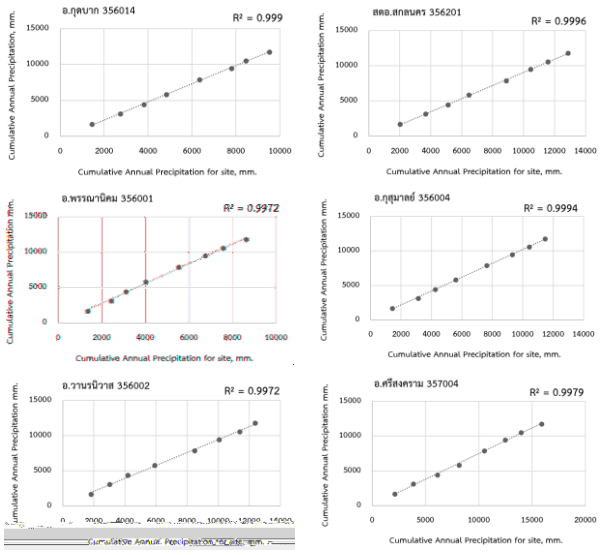
ตารางที่ 1 ช่วงเกณฑ์การแบ่งระดับภาวะแล้ง

ช่วงเกณฑ์การแบ่ง	ระดับภาวะแล้ง
มากกว่าหรือเท่ากับ 2.00	1.น้ำมากรุนแรงที่สุด (extremely wet)
1.50 ถึง 1.99	2.น้ำมากๆ (very wet)
1.00 ถึง 1.49	3.น้ำมากปานกลาง (moderate wet)
0.00 ถึง 0.99	4.น้ำมากเล็กน้อย (slightly wet)
-0.99 ถึง 0.00	5.น้ำแล้งเล็กน้อย (mild drought)
-1.49 ถึง -1.00	6.น้ำแล้งปานกลาง (moderate drought)
-1.99 ถึง -1.50	7.น้ำแล้งรุนแรง (severe drought)
น้อยกว่าหรือเท่ากับ -2.00	8.น้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought)

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ

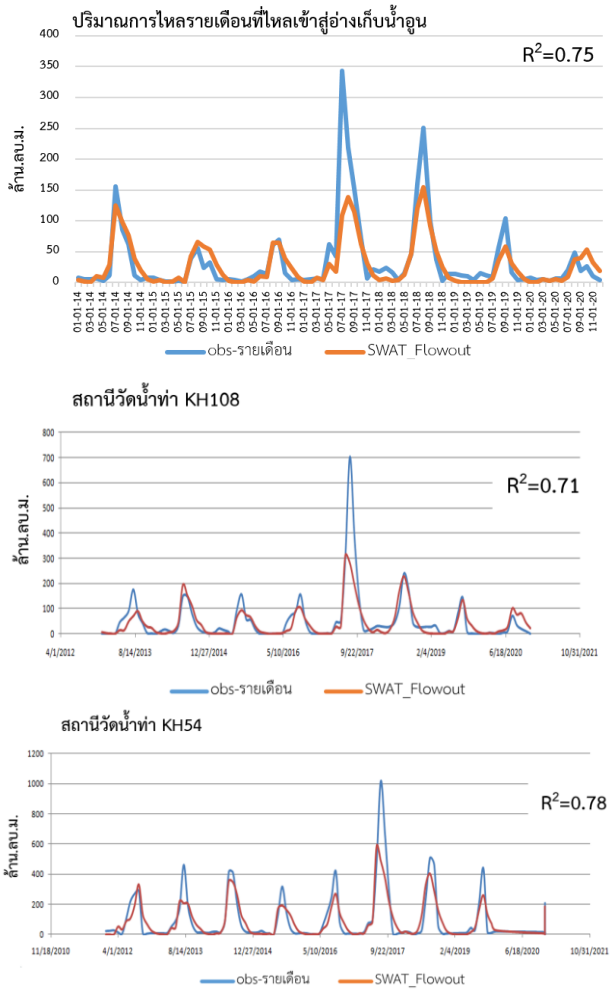
ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณฝน ที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่และข้างเคียง ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา จำนวน 6 สถานี ด้วยวิธี Double mass curve ได้ผลที่น่าเชื่อถือ ค่า R^2ในแต่ละสถานีเท่ากับ 0.99 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี สามารถนำไปใช้ในแบบจำลองทางอุทกวิทยาได้ ดังแสดงใน รูปที่ 4



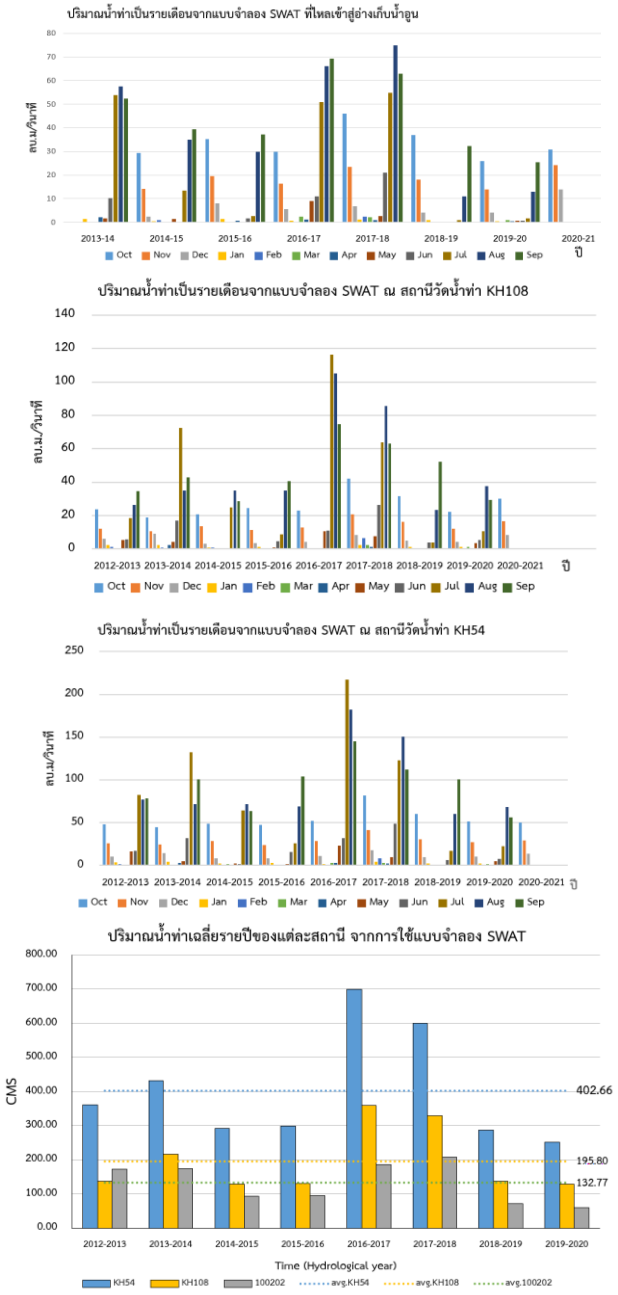
รูปที่ 4 ตรวจสอบข้อมูลฝน ด้วยวิธี Double mass curve

3.2 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง SWAT สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำอูน

ในการศึกษานี้ได้แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำอูนออกเป็น 18 ลุ่มน้ำย่อย เพื่อนำไปใช้ประเมินค่า SDI ที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย อีกทั้งการประเมินค่า SDI เทียบกับสถานีวัดน้ำท่าต้นน้ำ ที่ไหลลงในอ่างเก็บน้ำอูน ณ สถานีวัดน้ำท่าในอ่างเก็บน้ำ และสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่ด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ KH108 และ KH54 ตามลำดับ ช่วงปี พ.ศ.2555 ถึง พ.ศ.2563 (ค.ศ.2012 ถึง ค.ศ. 2020) ผลของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT จะถูกสอบเทียบด้วยวิธี coefficient of determination, R^2 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลรายเดือนที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอูน มีค่า R^2 เท่ากับ 0.75 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี จากข้อมูลจัดเก็บ เท่ากับ 2,826 ล้าน ลบ.ม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี จากแบบจำลองฯ เท่ากับ 2,354 ล้าน ลบ.ม. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลรายเดือนที่ไหลเข้าสถานี KH108 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.71 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี จากข้อมูลจัดเก็บ เท่ากับ 601.275 ล้าน ลบ.ม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี จากแบบจำลองฯ เท่ากับ 530.785 ล้าน ลบ.ม. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลรายเดือนที่ไหลเข้าสถานี KH54 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.78 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี จากข้อมูลจัดเก็บ เท่ากับ 1,141.6 ล้าน ลบ.ม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี จากแบบจำลองฯ เท่ากับ 1,083.61 ล้าน ลบ.ม. ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งผลที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทั้ง 3 สถานี สามารถนำผลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT ไปใช้จำลองสถานการณ์ต่างๆได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ ซึ่งนำไปประเมินค่า SDI ในพื้นที่ลุ่มน้ำต่อไป



รูปที่ 5 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง SWAT กับปริมาณการไหลรายเดือนที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอูน, สถานี KH108 และสถานี KH54



รูปที่ 6 ปริมาณน้ำท่าเป็นรายเดือนที่ได้จากแบบจำลอง SWAT และค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่ารายปี เพื่อเตรียมประเมินค่า SDI ในแต่ละสถานี

3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากแบบจำลอง SWAT

ผลการคำนวนปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากแบบจำลอง SWAT ของสถานีตรวจวัดอ่างเก็บน้ำอูน, สถานี KH108 และสถานี KH54 ช่วงปี พ.ศ. 2555 ถึง พ.ศ.2563 (รวบรวมจาก 8 ปี) ได้แสดงในรูปที่ 6 พิจารณาข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีสำหรับสถานีตรวจวัดอ่างเก็บน้ำอูน พบว่ามีค่าเท่ากับ 132.77 ลบ.ม.ต่อวินาที สำหรับสถานี KH108 มีค่าเท่ากับ 195.80 ลบ.ม.ต่อวินาที และสถานี KH54 มีค่าเท่ากับ 402.66 ลบ.ม.ต่อวินาที ทั้งนี้พบว่าค่าปริมาณน้ำท่าด้านท้ายน้ำที่สถานี KH54 มีค่าสูงกว่าสถานีต้นน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอูน

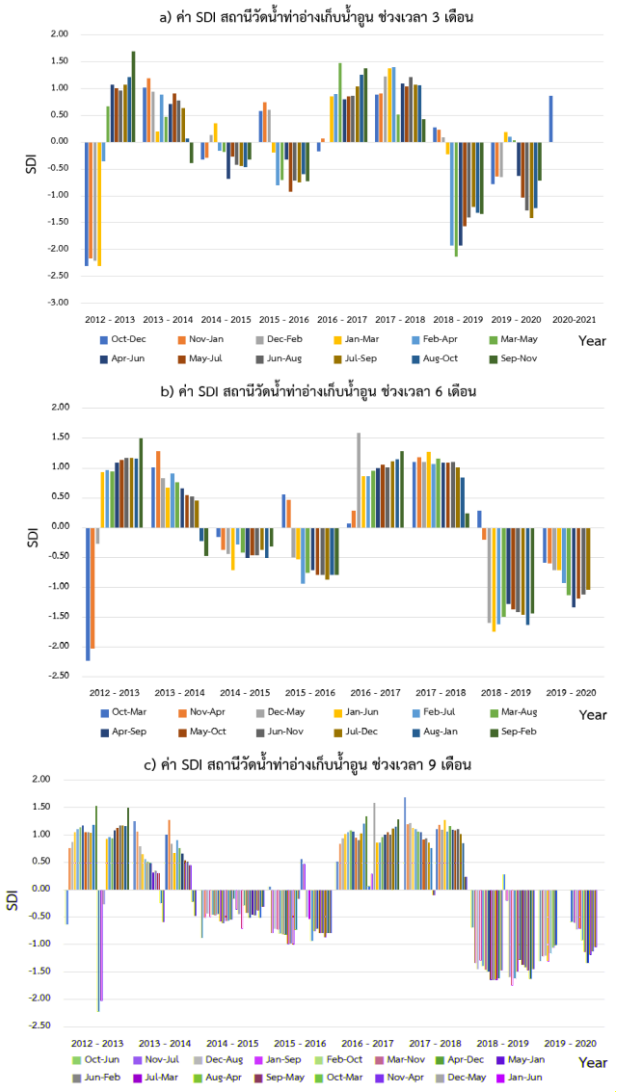
3.4 ผลการวิเคราะห์ดัชนีความแล้งทางอุทกวิทยา

ผลจากการคำนวนปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ได้จากแบบจำลอง SWAT ในแต่ละสถานี นำไปประเมินค่า SDI ตามช่วงเวลาที่ต้องการ ค่า SDI คำนวณโดยการใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากสถานีตรวจวัดพิจารณาในรูปแบบของข้อมูลเพื่อคำนวณค่า SDI จะเริ่มต้นจากเดือนตุลาคม ถึง กันยายน (ปีถัดไป) การคำนวณ SDI โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่ ชุด 3 เดือน ชุด 6 เดือน ชุด 9 เดือน และชุด 12 เดือน เป็นการกระจายตัวตามอนุกรมเวลา (Time series) และค่าระดับความแห้งแล้งของ SDI [5] ค่าดัชนีความแล้ง SDI ที่ถูกกำหนดค่าคะแนนตามระดับความรุนแรงของดัชนี 8 ระดับ ได้แก่ ระดับ 1 คือ ภาวะน้ำมากรุนแรงที่สุด (extremely wet), ระดับ 2 คือ ภาวะน้ำมากๆ (very wet), ระดับ 3 คือ ภาวะน้ำมากปานกลาง (moderate wet), ระดับ 4 คือ น้ำมากเล็กน้อย (slightly wet), ระดับ 5 คือ ภาวะน้ำแล้งเล็กน้อย (mild drought), ระดับ 6 คือ ภาวะน้ำแล้งปานกลาง (moderate drought), ระดับ 7 คือ ภาวะน้ำแล้งรุนแรง (severe drought) และระดับ 8 คือ ภาวะน้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought) สำหรับการศึกษานี้ทำการแบ่งช่วงเวลาคำนวณค่า SDI ออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ชุด SDI-3 เดือน ชุด SDI-6 เดือน และชุด SDI-9 เดือน

จากสถานีตรวจวัดอ่างเก็บน้ำอูน แสดงให้เห็นดังรูปที่ 7 ผลการคำนวณค่า SDI ชี้ให้เห็นว่าการคำนวณจากทั้ง 3 ช่วงเวลามีกลุ่มของการแสดงค่าที่เป็นไปในทิศทางที่คล้ายคลึงกัน เห็นได้จากการกระจายตัวของค่า SDI (ค่าลบ) ต่อเนื่องในช่วงปี ค.ศ.2012-2013 จากนั้นจะเกิดขึ้นอีกในปี ค.ศ.2014-2016 และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในปี ค.ศ.2018-2020 ในระดับ 7 ภาวะน้ำแล้งรุนแรง (severe drought) เมื่อประเมินจากชุด SDI-3 เดือน และ SDI-6 เดือน รูปที่ 7(a) และ7(b) พบว่าจะเกิดขึ้นสูงสุดในระหว่างปี ค.ศ.2012-2013 ระหว่างเดือนตุลาคม ถึง ธันวาคม ค่า SDI สูงสุดเท่ากับ -2.30 เกิดในระดับ 8 ภาวะน้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought) และเกิดสภาวะแล้งต่อเนื่องจำนวน 12 เดือน (ระหว่าง -0.23 ถึง -2.13) โดยในชุด SDI-6 เดือนจะมีทิศทางคล้ายชุด SDI-3 เดือน เกิดขึ้นสูงสุดในระหว่างปี ค.ศ. 2019-2020 ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ค่า SDI สูงสุดเท่ากับ -2.24 เกิดในระดับ 8 ภาวะน้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought) และเกิดสภาวะแล้งต่อเนื่องจำนวน 14 เดือน (ระหว่าง -0.16 ถึง -0.94) ในขณะที่ชุดการคำนวณ SDI-9 เดือน รูปที่ 7(c) เริ่มแสดงช่วงเวลาของเหตุการณ์ที่ยาวนาน ดังจะเห็นได้จากในช่วงปี ค.ศ.2018-2020 มีจำนวนเดือนที่เกิดเหตุการณ์ยาวนานถึง 20 เดือน อยู่ในระดับ 7 ภาวะน้ำแล้งรุนแรง (severe drought)

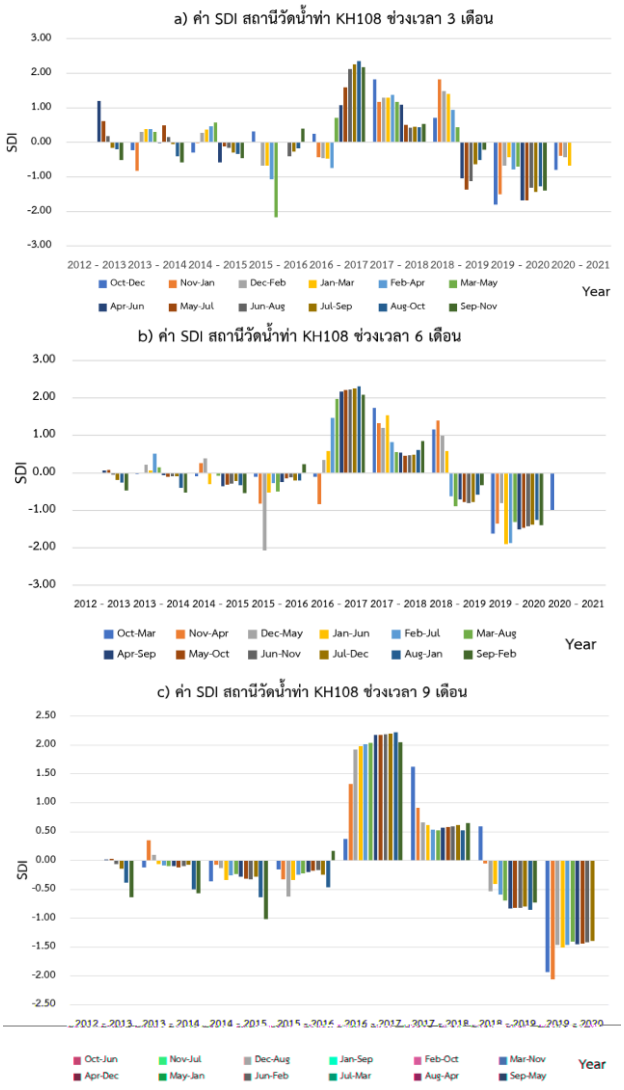
จากสถานีวัดน้ำท่า KH108 แสดงให้เห็นดังรูปที่ 8 ผลการคำนวณค่า SDI ชี้ให้เห็นว่าการคำนวณจากทั้ง 3 ช่วงเวลามีกลุ่มของการแสดงค่าที่เป็นไปในทิศทางที่คล้ายคลึงกัน เห็นได้จากการกระจายตัวของค่า SDI (ค่าลบ) ต่อเนื่องในช่วง ค.ศ.2019-2020 จากนั้นจะเกิดขึ้นสูงสุดในปี ค.ศ. 2016 และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในปี ค.ศ.2019-2020 ในระดับ 7 ภาวะน้ำแล้งรุนแรง (severe drought) รูปที่ 8(a) ช่วง SDI-3 เดือน พบว่าจะเกิดขึ้นสูงสุดในปี ค.ศ.2016 ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง พฤษภาคม ค่า SDI สูงสุด

เท่ากับ -2.16 เกิดในระดับ 8 ภาวะน้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought) และเกิดสภาวะแล้งต่อเนื่องในระหว่างปี ค.ศ.2018-2020 จำนวน 22 เดือน (ระหว่าง -0.22 ถึง -1.80)



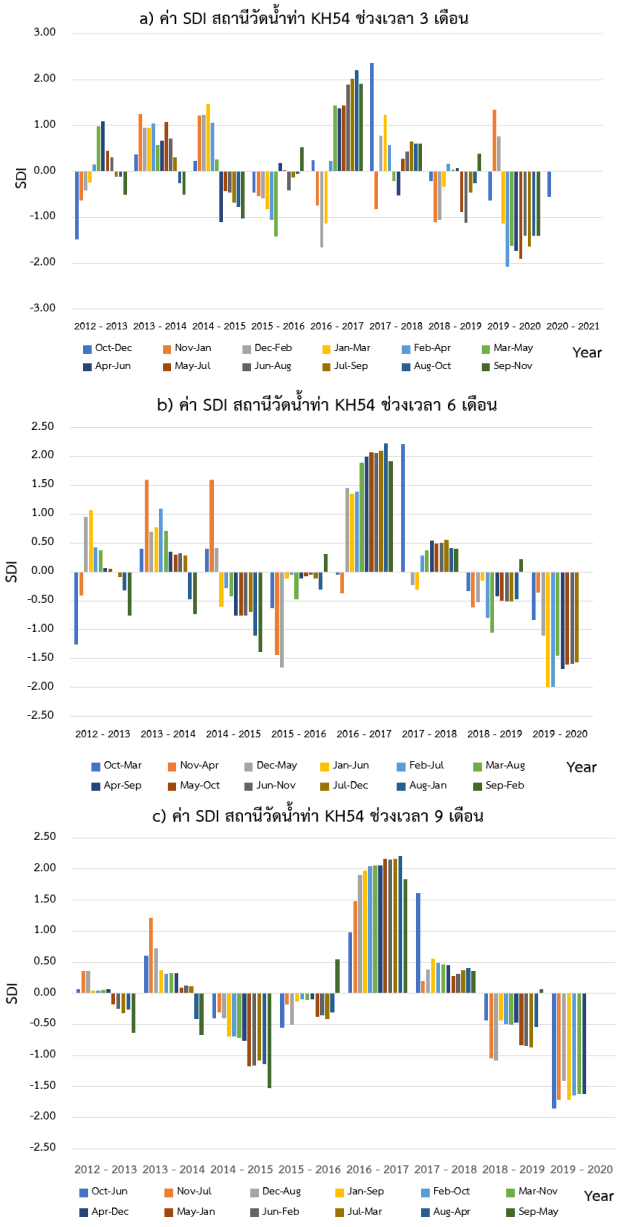
รูปที่ 7 การกระจายตัวตามอนุกรมเวลา (Time series) และค่าระดับความแล้ง SDI ของสถานีวัดน้ำท่าที่อ่างเก็บน้ำอูน

รูปที่ 8(b) ช่วง SDI-6 เดือน พบว่าจะเกิดขึ้นสูงสุดในปี ค.ศ.2015-2016 ระหว่างเดือนธันวาคม ถึง พฤษภาคม ค่า SDI สูงสุดเท่ากับ -2.07 เกิดในระดับ 8 ภาวะน้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought) และเกิดสภาวะแล้งต่อเนื่องในระหว่างปี ค.ศ.2018-2020 จำนวน 21 เดือน (ระหว่าง -0.32 ถึง -1.91) รูปที่ 8(c) เริ่มแสดงช่วงเวลาของเหตุการณ์ที่ยาวนาน ดังจะเห็นได้จากในช่วงปี 2014-2017 มีจำนวนเดือนที่เกิดเหตุการณ์ยาวนานถึง 31 เดือน โดยมีค่าเฉลี่ย -0.28 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับ 5 ภาวะน้ำแล้งเล็กน้อย (mild drought) รวมถึงการเกิดเหตุการณ์ในระดับ 8 ภาวะน้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought) ในช่วงปี 2018-2020 ระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนกรกฎาคม ค่า SDI สูงสุดเท่ากับ -2.06



รูปที่ 8 การกระจายตัวตามอนุกรมเวลา (Time series) และค่าระดับความแล้ง SDI ของสถานีวัดน้ำท่า KH108

จากสถานีวัดน้ำท่า KH54 แสดงให้เห็นดังรูปที่ 9 ผลการคำนวณค่า SDI ชี้ให้เห็นว่าการคำนวณจากทั้ง 3 ช่วงเวลามีกลุ่มของการแสดงค่าที่เป็นไปในทิศทางแบบกระจายความแล้ง เห็นได้จากค่า SDI (ค่าลบ) ต่อเนื่องในช่วง ค.ศ.2019-2020 และเกิดขึ้นสูงสุดในปี ค.ศ. 2020 ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ 7 ภาวะน้ำแล้งรุนแรง (severe drought) รูปที่ 9(a) ช่วง SDI-3 เดือน พบว่าจะเกิดขึ้นสูงสุดในปี ค.ศ.2020 ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เมษายน ค่า SDI สูงสุดเท่ากับ -2.08 เกิดในระดับ 8 ภาวะน้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought) และเกิดสภาวะแล้งต่อเนื่องในระหว่างปี ค.ศ.2015-2016 จำนวน 12 เดือน (ระหว่าง -0.42 ถึง -1.42)



รูปที่ 9 การกระจายตัวตามอนุกรมเวลา (Time series) และค่าระดับความแล้ง SDI ของสถานีวัดน้ำท่า KH54

รูปที่ 9(b) ช่วง SDI-6 เดือน จะเกิดขึ้นสูงสุดในปี ค.ศ.2019-2020 ระหว่างเดือนมกราคม ถึง มิถุนายน ค่า SDI สูงสุดเท่ากับ -1.99 เกิดในระดับ 7 ภาวะน้ำแล้งรุนแรง (severe drought) และเกิดสภาวะแล้งต่อเนื่องในระหว่างปี ค.ศ.2014-2016 จำนวน 21 เดือน (ระหว่าง -0.11 ถึง -1.66) รูปที่ 9(c) เริ่มแสดงช่วงเวลาของเหตุการณ์ที่ยาวนาน ดังจะเห็นได้จากในช่วงปี 2014-2016 มีจำนวนเดือนที่เกิดเหตุการณ์ยาวนานถึง 25 เดือน มีค่าเฉลี่ย -0.57 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับ 5 ภาวะน้ำแล้งเล็กน้อย (mild drought)

ตารางที่ 2 เป็นการสรุปจำนวนเดือนที่เกิดสถานการณ์ความแห้งแล้ง ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดทั้ง 3 สถานี เมื่อวิเคราะห์จาก 3 ช่วงที่ทำการคำนวณ ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดอ่างเก็บน้ำอูน ซึ่งเป็นพื้นที่ต้นน้ำอ่างเก็บน้ำอูน พบว่ามีจำนวนเดือนที่เกิดสภาวะความแห้งแล้งรวมสูงอยู่ที่ 51.06% ของช่วงเวลาพิจารณา SDI-6 เดือน ค่า SDI ส่วนใหญ่อยู่ในระดับ 5 ภาวะน้ำแล้งเล็กน้อย (mild drought) สำหรับค่า SDI-3 เดือน ในระดับ 8 ภาวะน้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought) มีค่า 5.15%

ตารางที่ 2 สรุปจำนวนเดือนที่เกิดสภาวะแล้ง ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัด

ระดับภาวะแล้ง สถานีวัดน้ำท่าที่อ่างเก็บน้ำอูน	SDI-3		SDI-6		SDI-9	
	เดือน	%	เดือน	%	เดือน	%
1.น้ำมากรุนแรงที่สุด (extremely wet)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.น้ำมากๆ (very wet)	1.00	1.03	2.00	2.13	2.00	2.20
3.น้ำมากปานกลาง (moderate wet)	18.00	18.56	23.00	24.47	23.00	25.27
4.น้ำมากเล็กน้อย (slightly wet)	33.00	34.02	21.00	22.34	20.00	21.98
5.น้ำแล้งเล็กน้อย (mild drought)	29.00	29.90	31.00	32.98	27.00	29.67
6.น้ำแล้งปานกลาง (moderate drought)	8.00	8.25	11.00	11.70	15.00	16.48
7.น้ำแล้งรุนแรง (severe drought)	3.00	3.09	4.00	4.26	4.00	4.40
8.น้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought)	5.00	5.15	2.00	2.13	0.00	0.00
รวม	97.00	100.0	94.00	100.0	91.00	100.0
ระดับภาวะแล้ง สถานีวัดน้ำท่า KH108	SDI-3		SDI-6		SDI-9	
	เดือน	%	เดือน	%	เดือน	%
1.น้ำมากรุนแรงที่สุด (extremely wet)	4.00	4.26	6.00	6.59	8.00	9.09
2.น้ำมากๆ (very wet)	3.00	3.19	3.00	3.30	3.00	3.41
3.น้ำมากปานกลาง (moderate wet)	10.00	10.64	5.00	5.49	1.00	1.14
4.น้ำมากเล็กน้อย (slightly wet)	25.00	26.60	21.00	23.08	18.00	20.45
5.น้ำแล้งเล็กน้อย (mild drought)	39.00	41.49	44.00	48.35	47.00	53.41
6.น้ำแล้งปานกลาง (moderate drought)	9.00	9.57	7.00	7.69	8.00	9.09
7.น้ำแล้งรุนแรง (severe drought)	3.00	3.19	4.00	4.40	2.00	2.27
8.น้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought)	1.00	1.06	1.00	1.10	1.00	1.14
รวม	94.00	100.0	91.00	100.0	88.00	100.0
ระดับภาวะแล้ง สถานีวัดน้ำท่า KH54	SDI-3		SDI-6		SDI-9	
	เดือน	%	เดือน	%	เดือน	%
1.น้ำมากรุนแรงที่สุด (extremely wet)	3.00	3.09	5.00	5.32	7.00	7.69
2.น้ำมากๆ (very wet)	2.00	2.06	5.00	5.32	4.00	4.40
3.น้ำมากปานกลาง (moderate wet)	13.00	13.40	5.00	5.32	2.00	2.20
4.น้ำมากเล็กน้อย (slightly wet)	30.00	30.93	25.00	26.60	30.00	32.97
5.น้ำแล้งเล็กน้อย (mild drought)	30.00	30.93	40.00	42.55	34.00	37.36
6.น้ำแล้งปานกลาง (moderate drought)	13.00	13.40	7.00	7.45	7.00	7.69
7.น้ำแล้งรุนแรง (severe drought)	5.00	5.15	7.00	7.45	7.00	7.69
8.น้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought)	1.00	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00
รวม	97.00	100.0	94.00	100.0	91.00	100.0

สำหรับการวิเคราะห์ ณ ตำแหน่งสถานี KH108 และ KH54 ช่วงท้ายอ่างเก็บน้ำอูน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ได้รับอิทธิพลการการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ พบว่ามีจำนวนเดือนที่เกิดสถานการณ์แห้งแล้งมากกว่าที่ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดอ่างเก็บน้ำอูน จำนวนเดือนที่เกิดสภาวะความแห้งแล้งรวมอยู่ที่ 55.32% ของสถานี KH108 และ 50.52% ของสถานี KH54 ในช่วงเวลาพิจารณา SDI-3 เดือน ค่า SDI ระดับ 5 ภาวะน้ำแล้งเล็กน้อย

(mild drought) เป็นระดับที่มีความถี่มากที่สุด รองลองมาคือระดับ 6 น้ำแล้งปานกลาง (moderate drought) ในทำนองเดียวกันความถี่ของการเกิดค่า SDI ในระดับ 8 ภาวะน้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought) จะเกิดในช่วงสั้นๆ อยู่ที่ 1.03% ช่วงเวลาพิจารณา SDI-3 เดือน ของสถานี KH54 และ 1.14% ช่วงเวลาพิจารณา SDI-9 เดือน ของสถานี KH108 สำหรับจำนวนเดือนที่เกิดสภาวะความแห้งแล้งรวมสูงสุดอยู่ที่ 65.91% ช่วงเวลาพิจารณา SDI-9 เดือน ของสถานี KH108

4. บทสรุป

การศึกษาถึงดัชนีความแห้งแล้งทางอุทกวิทยาโดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง SWAT ของสถานีตรวจวัดน้ำท่าอ่างเก็บน้ำอูน สถานีวัดน้ำท่า KH108 และสถานีวัดน้ำท่า KH54 แล้วทำการคำนวณค่าดัชนีความแล้ง SDI เพื่อวิเคราะห์และประเมินถึงสถานการณ์ภัยแล้งในพื้นที่ต้นน้ำและท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำอูน ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ที่สำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การคำนวณออกเป็น 3 ช่วงและการกระจายตัวตามอนุกรมเวลา (Time series) ผลลัพธ์ที่ได้สามารถชี้ให้เห็นถึงสภาวะภัยแล้งที่เกิดขึ้นในระดับความรุนแรงที่แตกต่างกัน สำหรับการสรุปในภาพรวมเมื่อประเมินในระดับรายเดือนพบว่าช่วงเวลาการเกิดภัยแล้งสูงสุดอยู่ที่ 65.91% เมื่อเทียบกับจำนวนช่วงเวลา SDI-9 เดือน และเกิดขึ้นในกลางช่วงฤดูแล้งถึงต้นฤดูฝน ค่า SDI ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในระดับ 5 ภาวะน้ำแล้งเล็กน้อย (mild drought) และในระดับ 6 น้ำแล้งปานกลาง (moderate drought) เป็นลำดับถัดมา สำหรับช่วงเวลาที่แสดงค่าในระดับ 8 ภาวะน้ำแล้งรุนแรงสุด (extreme drought) นั้นพบว่ามีช่วงเวลาที่เกิดขึ้นสูงสุด 5.15% ของจำนวนช่วงเวลา SDI-3 เดือน การพิจารณาเปรียบเทียบ ณ ช่วงเวลาเดียวกันที่ SDI-9 เดือน จากตำแหน่งที่ตั้งของตำแหน่งสถานีตรวจวัดอ่างเก็บน้ำอูน ซึ่งเป็นพื้นที่ต้นน้ำอ่างเก็บน้ำอูน พบว่าสถานการณ์ภัยแล้งมีระยะเวลาที่ยาวนาน 50.55% ตำแหน่งสถานี KH108 และ KH54 ช่วงท้ายอ่างเก็บน้ำอูน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ได้รับอิทธิพลการการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ สถานการณ์ภัยแล้งมีระยะเวลาที่ยาวนาน 65.91% และ 52.75% ตามลำดับ ผลจากการศึกษาจึงเสนอแนะให้พิจารณาถึงปริมาณน้ำท่าที่ตำแหน่งทั้งสองสถานีนี้จำเป็นต้องได้รับการควบคุมจากอ่างเก็บน้ำเพื่อจัดสรรต่อพื้นที่ท้ายน้ำให้เกิดการขาดแคลนปริมาณน้ำในแม่น้ำน้อยที่สุด ในช่วงของเดือนที่เกิดความรุนแรงของภัยแล้ง ในทางตรงกันข้าม ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่ลำน้ำในพื้นที่ต้นน้ำของอ่างเก็บน้ำ ขึ้นตรงต่ออิทธิพลของสภาพการเปลี่ยนแปลงด้านอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่เป็นหลัก

ในการศึกษานี้ จำเป็นต้องนำผลศึกษาระดับความรุนแรงของดัชนีไปกระจายค่าเพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับความรุนแรงของภัยแล้งเชิงพื้นที่ ด้วยวิธีระยะทางกลับโดยน้ำหนัก (Inverse Distance Weight, IDW) [6] ซึ่งเป็นการกระจายค่าของข้อมูลลงพื้นที่โดยอยู่บนพื้นฐานของตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันสร้างความสัมพันธ์ในเชิงพื้นที่ นอกจากนี้ การศึกษาในปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อภัยแล้งในด้านอื่น ๆ เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความต้องการน้ำเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาในการศึกษานี้ ระเบียบวิธีและผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้คาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำรอบบริเวณอ่างเก็บน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูน กรมชลประทาน สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่อนุเคราะห์ให้ข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (2564). Drought Indicators กำหนดภาวะปกติและภาวะวิกฤติ. *โครงการนำร่องศึกษาวิเคราะห์ความเชื่อมโยงการบริหารจัดการน้ำกับระบบการประเมินด้านเศรษฐกิจและสังคมและพัฒนาระบบบัญชาการการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในภาวะวิกฤติ,* หน้า 3-2.

[2] สำนักงานทรัพยากรน้ำ ภาค 3 (2565). *ข้อมูลลุ่มน้ำ*, http://water.dwr.go.th/wrro3/index.php/th/2018-05-04-04-13-04.

[3] Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, *Williams JR. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009.* Texas: Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service and Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station,Temple, Texas. USA; 2011.

[4] Nalbantis, I. and Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management.* 23(5), 881-897.

[5] Jahangir, M.H. and Yarahmadi, Y. (2020). Hydrological drought analyzing and monitoring by using Streamflow Drought Index (SDI) (case study: Lorestan, Iran). *Arabian Journal of Geosciences.* 13:110.

[6] กิ่งเก้า พรหมโคตร, กิตติเวช ขันติยวิชัย, เฉลิมชัย พาวัฒนา และฉัตรชัย โชติษฐยางกูร (2563). การประเมินระดับความรุนแรงของภัยแล้งในเขตพื้นนที่ลุ่มน้ำพองตอนบน. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.*, ปีที่ 14 ฉบับที่ 3, หน้า 47-62.