การใช้ข้อมูลอากาศจาก Climate Forecast System Reanalysis ประเมินปริมาณน้ำท่าและตะกอน ในลุ่มน้ำยมตอนบน

Using the Climate Forecast System Reanalysis Evaluate Water Discharge and Sediment Load in Upper Yom basin

จิรวัฒน์ ศุภโกศล[1],* กฤษณ์ ศรีวรมาศ[2] โกวิท บุญรอด[3]และ พานทอง ศุภโกศล[4]

[1,3] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลนีราชมงคลอีสาน จ.สกลนคร
[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี
[4] สาขาศิลปศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลนีราชมงคลอีสาน จ.สกลนคร
**Corresponding author; E-mail address: Jirawat.su@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

การใช้ข้อมูลสภาพอากาศเพื่อการประเมินปริมาณน้ำท่าและตะกอนด้วยแบบจำลองแบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) นั้นต้องการข้อมูลภูมิอากาศหลากหลายตัวแปร ซึ่งข้อมูลตรวจวัดดังกล่าวยังไม่ครอบคลุมและครบถ้วนโดยเฉพาะลุ่มน้ำขนาดเล็ก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนในลุ่มน้ำยมตอนบน ด้วยแบบจำลอง SWAT โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศจาก Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) และใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำ การสอบเทียบและการทวนสอบปริมาณน้ำท่าของแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า Y.20 Y.24 Y.31 และ Y.36 ในช่วงปีน้ำ 2534-2563 ได้ค่า PBIAS ทั้ง 4 สถานี มีค่าอยู่ในช่วง -34.43-1.06 และ -18.3-1.01 ค่า R^2 มีค่าอยู่ในช่วง 0.65-0.87 และ 0.59-0.86 ค่า NSE มีค่าอยู่ในช่วง 0.25-0.86 และ 0.32-0.85 สำหรับการสอบเทียบและการทวนสอบตามลำดับ ส่วนการสอบเทียบและการทวนสอบปริมาณตะกอนแขวนลอยที่สถานี Y.20 ในช่วงปี 2552-2563 และY.24 ในช่วงปี 2540-2563 ค่า PBIAS มีค่าอยู่ในช่วง -4.23-0.69 และ -1.74-30.00 ค่า R^2 มีค่าอยู่ในช่วง 0.59-0.83 และ 0.59-0.64 ค่า NSE มีค่าอยู่ในช่วง 0.57-0.78 และ 0.57-0.82 ของการสอบเทียบและการทวนสอบตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าความเชื่อมั่นที่เชื่อถือได้ ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ข้อมูลจาก CFSR เป็นอีกแนวทางหนึ่งซึ่งเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำขนาดเล็กที่ขาดแคลนข้อมูลภูมิอากาศสำหรับแบบจำลอง SWATได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: Climate Forecast System Reanalysis, ปริมาณตะกอน, ปริมาณน้ำท่า, แบบจำลอง SWAT, ลุ่มน้ำยมตอนบน

Abstract

Using climate data to estimate runoff and sediment loads with the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model requires relevant multivariable climate data. The measurement data is not comprehensive and complete, especially in small watersheds. The objective of this research is to calculate the water and sediment yield in the upper Yom River basin using the SWAT model with climate data from the Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) and rainfall data from the stations within the watershed. Calibration and verification of the runoff of the models of Y.20, Y.24, Y.31 and Y.36 in the water year 1991-2020, the PBIAS values of all 4 stations were in the range of -34.43-1.06 and -18.3-1.01, the R^2 value was in the range of 0.65-0.87 and 0.59-0.86, the NSE value was in the range of 0.25-0.86 and 0.32-0.85 of the calibration and verification, respectively. As for the calibration and verification of suspended sediment at Y.20 stations during 2009-2020 and Y.24 during 1997-2020, the PBIAS values were in the range of -4.23-0.69 and -7.74-30.00, the R^2 values were in the range of 0.59-0.83 and 0.59-0.83, the NSE values were in the range of 0.62-0.78 and 0.57-0.78 of the calibration and verification, respectively, which is a trustworthy value. Thus, it is shown that the application of data from CFSR is another approach, which is a suitable alternative for application to small watersheds where climate data is scarce for SWAT model as well.

Keywords: Climate Forecast System Reanalysis, Sediment, Runoff, SWAT Model, upper Yom River Basin

1. คำนำ

ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอน เป็นข้อมูลสำคัญในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ในการบริหารน้ำต้นทุน การควบคุมภัยแล้ง น้ำท่วม การออกแบบความจุอ่างเก็บน้ำตลอดจนการควบคุมการกัดเซาะในลุ่มน้ำ [1] การคำนวณปริมาณน้ำท่าและตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำมีความซับซ้อน จำเป็นต้องใช้แบบจำลองในการช่วยคำนวณ [2] แบบจำลองบางชนิดที่มีความแม่นยำก็มีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลนำเข้าหลายประเภท เช่น แบบจำลอง SWAT แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองน้ำฝน น้ำท่า เป็นที่นิยมใช้แพร่หลายทั่วโลก [3] มีความต้องการ การข้อมูลนำเข้าเป็นจำนวนมาก ข้อมูลอากาศเป็นข้อมูลหนึ่งที่จำเป็นต้องนำเข้าในแบบจำลอง SWAT ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และ ความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งแบบจำลอง SWAT ต้องการแบบข้อมูลรายวัน หรือถ้าจะสังเคราะห์ให้เป็นฐานข้อมูลก็ต้องใช้จากข้อมูลรายวัน ในประเทศไทยข้อมูลดังกล่าวจะตรวจวัดที่สถานีวัดอากาศซึ่งมีสถานีตรวจวัดอากาศน้อยมาก หรือมีสถานีตรวจวัดแต่พารามิเตอร์ดังกล่าวมีไม่ครบ ปัจจุบันมีแหล่งข้อมูลสภาพอากาศที่เปิดให้ใช้งานได้ทั่วโลกเช่น CFSR ซึ่งเป็นข้อมูลสภาพอากาศที่เกิดจากการวิเคราะห์ของ The National Centers for Environmental Prediction (NCEP) มีหลายงานวิจัยได้นำข้อมูล CFSR มาวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าเช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกามีการใช้ข้อมูล CFSR มาเปรียบเทียบสถานีวัดอากาศในพื้นที่ การคำนวณปริมาณน้ำท่าในหลายลุ่มน้ำพบว่าผลที่ได้จาก CFSR มีค่าที่ดีกว่าสถานีวัดในพื้นที่ [4] การศึกษาในลุ่มน้ำไนล์ ประเทศเอธิโอเปีย มีการศึกษาปริมาณน้ำท่าโดยใช้ข้อมูล CFSR เปรียบเทียบสถานีวัดอากาศในพื้นที่เช่นกันผลที่ได้พบว่าค่าที่ได้จาก CFSR มีค่าสูงกว่าสถานีวัดอากาศในพื้นที่ทุกพารามิเตอร์ แต่งานวิจัยยังสนับสนุนให้ใช้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูล [5] ในประเทศไทยมีการใช้ข้อมูลจาก CFSR ในการวิเคราะห์น้ำท่าที่ลุ่มน้ำอูนตอนบนพบว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้มีค่ามากกว่าที่ตรวจวัดถึง 5 เท่าเนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนที่สูงกว่า ถ้าจะใช้ข้อมูลต้องมีการปรับแก้ [6] ในประเทศไทยมีหลายหน่วยงานที่ทำการวัดปริมาณน้ำฝน เช่นกรมอุตุนิยมวิทยามีการวัดปริมาณน้ำฝนเป็นรายอำเภอ กรมชลประทานมีการวัดปริมาณน้ำฝนตามโครงการชลประทานต่างๆกระจายอยู่ทั่วประเทศและข้อมูลฝนของกรมทรัพยากรน้ำซึ่งจะมีครอบคลุมทั่วประเทศ ในแบบจำลอง SWAT สามารถนำเข้าข้อมูลอากาศเป็นพารามิเตอร์ต่างๆรายวันในแต่ละสถานี หรือนำเข้าแบบชุดข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นจากข้อมูลในอดีตของแต่ละสถานีได้ ข้อมูล CFSR มีทั้งข้อมูลอากาศรายวันและฐานข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นเป็น grid ครอบคลุมทั่วโลก ถ้าสามารถใช้ฐานข้อมูลอากาศที่สร้างขึ้นจาก CFSR ร่วมกับข้อมูลฝนในพื้นที่ที่มีสถานีวัดที่ครอบคลุมทั่วประเทศไทยได้ จะทำให้สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าได้ครอบคลุมทั่วประเทศไทย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนในลุ่มน้ำยมตอนบน ด้วยใช้แบบจำลอง SWAT โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศจาก CFSR และใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่

2. วิธีการศึกษา

2.1 พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำยมตอนบนตั้งอยู่บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย พิกัดระหว่าง 18°30 ถึง 19°30 N และ 100°00 ถึง 104°00 E มีเนื้อที่ประมาณ 3,622 ตร.กม. พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดพะเยา ดังแสดงใน**รูปที่ 1(ก)** สถิติอากาศ 30ปี (2535-2564) จังหวัดพะเยามีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32 °C อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 20.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75% ความเร็วลม 1.4 นอต ปริมาณการระเหย 1,362 มม./ปี และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,116 มม./ปี สภาพพื้นที่เป็นภูเขามีความสูงอยู่ระหว่าง 186-1729 ม.รทก. มีค่าเฉลี่ย 558 ม.รทก. ลักษณะการปกคลุมดิน 75% เป็นป่าและป่าปลูก 10% เป็นไร่ข้าวโพด ส่วนลักษณะดินจำแนกโดยกรมพัฒนาที่ดิน 77% เป็นกลุ่มดินที่ 62 ซึ่งเป็นพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนที่มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ มีประชากรในลุ่มน้ำประมาณ 90,000 คน

2.2 แบบจำลอง SWAT

แบบจำลอง The Soil and Water Assessment Tool เป็นแบบจำลองน้ำฝน น้ำท่าที่พัฒนามาจาก U.S. Department of Agriculture (USDA) Agricultural Research Service (ARS) [7] แบบจำลอง SWAT ได้ถูกพัฒนามาช่วยในการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำ แบบจำลองจะช่วยประเมินปริมาณน้ำท่า ตะกอน และคุณภาพน้ำได้แก่ สารอาหารและสารเคมีในลำน้ำ แบบจำลอง SWAT ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในระดับสากลและในประเทศไทย [8-9] การทำงานของแบบจำลองจะแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยตามสภาพพื้นที่ภูมิศาสตร์และนำค่าความสัมพันธ์การใช้ที่ดิน ชุดดิน และความลาดชันของพื้นที่เรียกว่า Hydrologic Response Units (HRUs) มาใช้ในการคำนวณ โดยมีหลักการคำนวณสมดุลน้ำดังสมการที่ 1

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seed} - Q_{gw}) \quad (1)$$

โดยที่ SW_t หมายถึงปริมาณน้ำในดินสุดท้าย SW_o คือปริมาณน้ำในดินเริ่มต้น R_{day} คือปริมาณฝนรายวัน Q_{surf} คือปริมาณน้ำท่าผิวดิน E_a คือศักย์การระเหย W_{seed} คือปริมาณน้ำที่ซึมลงดินลึกและ Q_{gw} คือปริมาณน้ำในดินที่ไหลกลับ

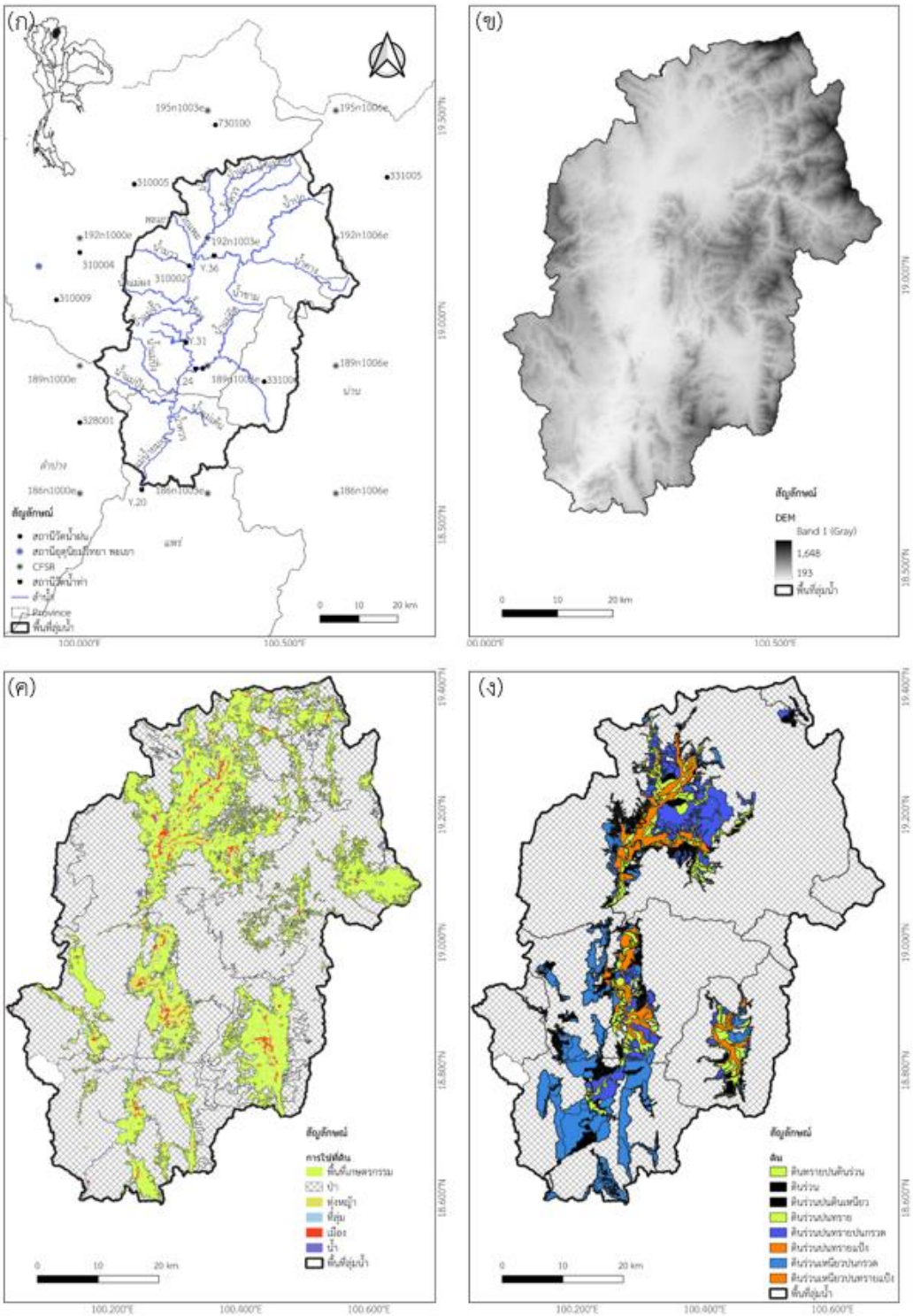
ส่วนการคำนวณปริมาณตะกอนแบบจำลอง SWAT คำนวณโดยวิธี MUSLE ดังสมการที่ 2

$$Sed = 11.8(Q_{surf} \cdot Q_{peak} \cdot area)^{0.86} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LU_{USLE} \cdot CFRG \quad (2)$$

โดยที่ Sed หมายถึง yield ของปริมาณตะกอน $area$ คือพื้นที่ K_{USLE} คือ ปัจจัยการกัดเซาะ C_{USLE} คือ ปัจจัยการใช้ดินและสิ่งปกคลุมดิน P_{USLE} คือ ปัจจัยการอนุรักษ์ดิน LU_{USLE} คือ ปัจจัยด้านภูมิประเทศ CFRG คือ ปัจจัยเศษส่วนย่อย

การจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของพื้นดิน หรือส่วนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยและส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำ ในส่วนของพื้นดินแบบจำลองแบ่งการคำนวณออกเป็น 8 ส่วนได้แก่ อุทกวิทยา สภาพประกอบอากาศ การตกตะกอน อุณหภูมิของดิน การเติบโตของพืช สารอาหารพืช ยาฆ่าแมลง

และ การจัดการทางการเกษตร ทำหน้าที่การจำลองปริมาณน้ำ การตกตะกอน แหล่งกำเนิดมลพิษ ในแต่ละ HRU และถูกรวมและส่งต่อลงในลำน้ำ และในส่วนของการเคลื่อนตัวในลำน้ำจะเป็นการคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านทางน้ำและการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำ การเคลื่อนตัวของตะกอนและธาตุอาหาร และการแพร่กระจายของสารเคมีปนเปื้อนชนิดต่างๆ ในลำน้ำ ปริมาณน้ำท่าคำนวณโดยวิธี Modified SCS Curve Number ขึ้นกับ ชนิดดิน การใช้ที่ดิน ปริมาณน้ำในลำน้ำคำนวณโดยใช้สมการของแมนนิ่ง การจำลอง kinematic wave ใช้วิธี Variable storage หรือ Muskingum[7]



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา

2.3 ข้อมูลที่ใช้ศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่ 1) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากข้อมูลของการสังเคราะห์ 32 ปีของข้อมูล CFSR สำหรับเป็นฐานข้อมูลของแบบจำลอง SWAT ประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดรายเดือน ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาณน้ำฝนรายเดือน สัมประสิทธิความเบ้ของฝนรายวัน โอกาศที่ฝนตกและไม่ตกรายเดือน ค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ฝนตกรายเดือน ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันในแต่ละรายเดือน และความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน 3) ข้อมูลน้ำฝนใช้ข้อมูลฝนรายวันของสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาและกรมชลประทาน 10 สถานีครอบคลุมทั้งลุ่มน้ำ ตำแหน่งสถานีแสดงใน **รูปที่ 1(ก)** รายละเอียดสถานีดัง**ตารางที่ 1** 2) ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนสำหรับตรวจสอบและตรวจทานแบบจำลอง ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและตะกอนจากสถานีวัดอุทกวิทยาในลุ่มน้ำยมตอนบนของกรมชลประทานจำนวน 4 สถานี โดยข้อมูลที่ใช้จะเป็นปีน้ำซึ่งจะเริ่มเดือนแรกคือเดือนเมษายน ตำแหน่งสถานีแสดงใน**รูปที่ 1(ก)** รายละเอียดดัง**ตารางที่ 2** และ 3) ข้อมูลเชิงพื้นที่ ได้แก่ข้อมูลความสูงของภูมิประเทศการศึกษานี้ใช้ข้อมูล SRTM DEM ความละเอียด 30x30 เมตรของ The National Aeronautics and Space Administration (NASA) and the National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) สามารถดาวน์โหลดจากโดยตรงจากโปรแกรม QGIS plugin SRTM DEM Downloader ดัง**รูปที่ 1(ข)** ข้อมูลการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินมาตราส่วน 1:50000 ปัจจุบันสามารถดาวน์โหลดจาก Open Government Data of Thailand (https://data.go.th/) รายละเอียดข้อมูลเชิงพื้นที่แสดงดัง**รูปที่ 1(ค)** และข้อมูลชุดดินมาตราส่วน 1:25000 จำแนกหน่วยแผนที่ในระดับกลุ่มชุดดินเป็นทั้งหมด 62 กลุ่มชุดดิน ดัง**รูปที่ 1(ค)**

ตารางที่ 1 ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ

ชื่อสถานี	ชื่อสถานี	หน่วยงาน	ปีข้อมูล	ค่าเฉลี่ยรายปี
310002	ที่ว่าการอำเภอปง จ.พะเยา	อต.	2523-2563	1150.9
310004	ที่ว่าการอำเภอดอกคำใต้ จ.พะเยา	อต.	2523-2563	1045.1
310005	ที่ว่าการอำเภอจุน จ.พะเยา	อต.	2523-2563	1191.3
310007	ที่ว่าการอำเภอเชียงม่วน จ.พะเยา	อต.	2523-2563	1210.6
310009	สถานีวิจัยทดสอบพันธุ์สัตว์ จ.พะเยา	อต.	2542-2563	1165.8
328001	ที่ว่าการอำเภอแจ้ห่ม จ.ลำปาง	อต.	2523-2563	988.0
331005	ที่ว่าการอำเภอเชียงกลาง จ.น่าน	อต.	2538-2563	1127.7
331006	ที่ว่าการอำเภอแม่จริม จ.น่าน	อต.	2523-2563	1096.5
331010	ที่ว่าการอำเภอบ้านหลวง จ.น่าน	อต.	2524-2563	1089.3
730100	บ้านฝายกวาง จ.พะเยา	ชป.	2541-2563	1152.6

หมายเหตุ อต. หมายถึงกรมอุตุนิยมวิทยา ชป. หมายถึงกรมชลประทาน

ตารางที่ 2 ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ

สถานี	ชื่อสถานี	ปีข้อมูลน้ำท่า	ปีข้อมูลตะกอน
Y.20	บ้านห้วยสัก จ.แพร่	2534-2563	2552-2558 2559-2563
Y.24	บานมาง จ.พะเยา	2539-2563	2540-2549 2550-2563
Y.31	บานทุงหนอง จ.พะเยา	2540-2563	-
Y.36	บานปาคา จ.พะเยา	2541-2563	-

2.4 การสอบเทียบแบบจำลองและปรับเทียบแบบจำลอง

เมื่อแบบจำลองคำนวณค่าปริมาณน้ำท่าและตะกอนมาได้แล้ว ต้องนำผลที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่วัดได้จริง ว่าผลที่ได้ตรงกันหรือใกล้เคียงกันหรือไม่ ถ้าไม่ตรงก็ต้องมีการปรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องในแบบจำลองจนผลการคำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัด โดยค่าทางสถิติที่นิยมใช้ทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางอุทกวิทยาได้แก่ สัมประสิทธิการตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) และ PIAS ดังสมการที่ 3-5

$$PBIAS(\%) = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2 \cdot 100}{\sum_{i=1}^{n} (Y_i^{obs})} \right] \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} (Y_i^{obs} - Y_{obs}^{mean})(Y_i^{sim} - Y_{sim}^{mean}) \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{n} (Y_i^{obs} - Y_{obs}^{mean})^2 (Y_i^{sim} - Y_{sim}^{mean})^2 \right)} \quad (4)$$

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^{n} (Y_i^{obs} - Y_{obs}^{mean})^2} \right] \quad (5)$$

เมื่อ i คือค่าลำดับข้อมูล n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด Y_{obs} คือ ค่าจากการตรวจวัด Y_{sim} คือ ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง Y_{obs} คือ เฉลี่ยค่าจากการตรวจวัด Y_{sim} คือ ค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากแบบจำลอง

โดย R^2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 ถ้าค่า R^2 เข้าใกล้1 แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมาก ถ้าค่า R^2 เข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มข้อมูลมีความสัมพันธ์กันน้อย ค่า NSE ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง -∞ ถึง 1 ถ้าค่า NSE= 1 หมายถึงแบบจำลองสามารถคาดคะเนได้แม่นยำ, น้อยกว่า 0 หมายถึงแบบจำลองสามารถคาดคะเนได้ความแม่นยำน้อยกว่าการคาดคะเนโดยใช้ค่าเฉลี่ย และค่า percent bias(PBIAS) เป็นการวัดค่าเฉลี่ยจากการคำนวณของแบบจำลองว่า มีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าการตรวจวัด ค่าที่ดีควรมีค่าใกล้ 0 ถ้าเป็นค่าบวกหมายถึงแบบจำลองคำนวณให้ผลต่ำกว่าค่าที่ตรวจวัด และถ้าค่าเป็นลบหมายถึงแบบจำลองที่ให้ค่าสูงกว่าค่าที่ตรวจวัด PBIAS ซึ่งการเปรียบเทียบทางอุทกวิทยารายเดือนที่ยอมรับได้ค่า $R^2 > 0.6$ และ NSE >

0.5 และค่า PBIAS ที่ยอมรับได้ไม่ควรมากกว่า 0.25 สำหรับปริมาณน้ำท่า และ 0.3 สำหรับปริมาณตะกอน [10-11]

3. ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลอากาศ

3.1.1 ข้อมูลสภาพอากาศจาก CFSR

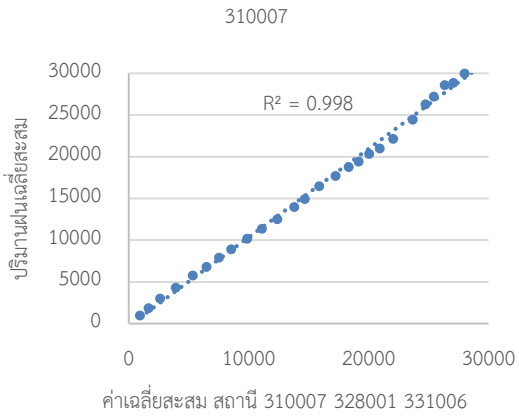
สถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำยมตอนบนคือสถานีตรวจวัดอากาศพะเยา มีข้อมูลเฉลี่ยรายปี 30 ปีตั้งแต่ปี 2535-2564 นำมาเปรียบเทียบข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยรายปีของ CFSR ซึ่งมีข้อมูล 32 ปี 2522-2557 พบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดข้อมูลจาก CFSR มีค่าน้อยว่าสถานีตรวจวัดในพื้นที่แต่ก็ไม่มากนัก อาจส่งผลต่อปริมาณการระเหยของน้ำในแบบจำลอง ขณะที่ปริมาณน้ำฝนข้อมูล CFSR มีปริมาณที่สูงกว่าสถานีตรวจวัดอากาศพะเยาถึงสองเท่า อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ใช้ข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่จึงไม่ได้ใช้ข้อมูลฝนจาก CFSR จากตารางจะเห็นได้ว่าไม่มีข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากสถานีตรวจวัดเพะเยาเนื่องจากมีการตรวจวัดน้อย จึงเป็นเหตุผลในการเลือกใช้ข้อมูลจาก CFSR

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบข้อมูลอากาศระหว่างสถานีอุตุนิยมวิทยาพะเยากับสถานี CFSR

ข้อมูล	หน่วย	สถานีวัดอากาศ พะเยา	CFSR
อุณหภูมิสูงสุด	°C	32.0	29.37
อุณหภูมิต่ำสุด	°C	20.5	18.77
ความชื้นสัมพัทธ์	%	76	-
ความเร็วลม	ม./วินาที	0.7	1.5
รังสีแสงอาทิตย์	MJ/m2-day	-	17.75
ปริมาณน้ำฝน	มม.	1161	2109

3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลฝน

ข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ จำนวน 10 สถานี (**ตารางที่ 1**) มาตรวจสอบความเชื่อถือได้ของข้อมูลปริมาณฝนด้วยวิธี Double Mass Curve โดยใช้ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนสะสมของสถานีที่ทดสอบพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับสถานีใกล้เคียง กราฟที่ได้ควรมีลักษณะเส้นตรง จากการทดสอบทั้งหมด 10 สถานี พบว่าทุกสถานีเส้นแนวโน้มเป็นไปตามทฤษฎีที่น่าเชื่อถือได้ **รูปที่ 2** แสดงตัวอย่างการทำ Double Mass Curve ของสถานี 310007 การนำเข้าข้อมูลฝนในแบบจำลอง SWAT นั้นต้องนำเข้าในรูปแบบข้อมูลฝนรายวันและข้อมูลต้องครบ แต่ในการวัดปริมาณน้ำฝนโดยเฉพาะสถานีวัดน้ำฝนอำเภอ อาจมีข้อมูลที่ขาดหายไป การศึกษานี้จึงทำการต่อข้อมูลฝนที่หายไปด้วยวิธี Inverse Distance Weight (IDW) ในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลฝนรายวันในการคำนวณตั้งแต่ปี 2534-2563 ผลการคำนวณจากแบบจำลอง SWAT พบว่าลุ่มน้ำยมตอนบนมีปริมาณฝนเฉลี่ย 1133.625 มม./ปี



รูปที่ 2 ตัวอย่างการทำ Double Mass Curve ของสถานี 310007

3.2 การสอบเทียบและการทวนสอบแบบจำลอง

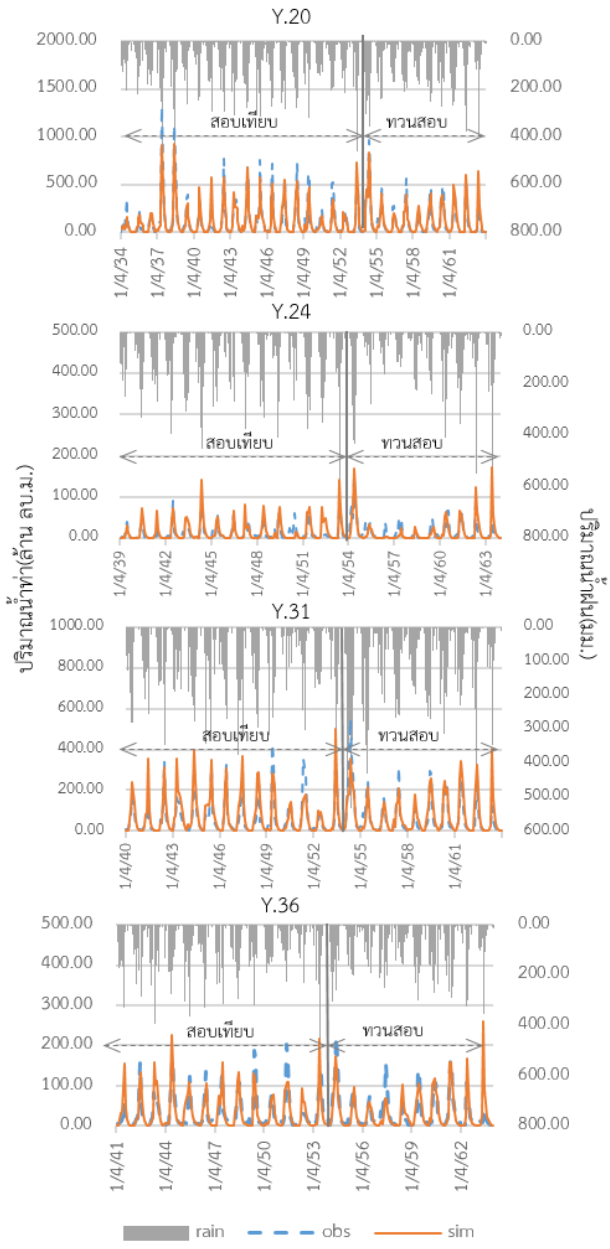
การสอบเทียบและการทวนสอบปริมาณน้ำท่า ในการศึกษานี้ใช้เปรียบเทียบข้อมูลที่คำนวณได้กับข้อมูลน้ำท่าที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำท่าของกรมชลประทาน 4 สถานี (ที่มีข้อมูลยาวนาน) ได้แก่ Y.20 Y.24 Y.31 และ Y.36 มีข้อมูลตรวจวัดในช่วงปี 2534-2563 2539-2563 2540-2563 และ 2541-2563 ตามลำดับ โดยการสอบเทียบจากปีที่มีการวัดถึงปี 2553 นำพารามิเตอร์ที่ปรับแก้จากการสอบเทียบไปคำนวณเพื่อการทวนสอบกับช่วง 10 ปีสุดท้าย การศึกษานี้ใช้การสอบเทียบโดยวิธี manual เนื่องจากผลการคำนวณครั้งแรกได้ค่า R^2 ที่สูง การปรับแก้ เริ่มต้นจากการปรับแก้ค่าปริมาณน้ำที่ดินสามารถเก็บไว้ได้ (SOL_AWC) แฟกเตอร์การไหลสำหรับการเก็บกักที่ตลิ่ง (ALPHA_BF) ความลึกของน้ำในชั้นน้ำตื้นที่ต้องการสำหรับการไหลกลับ (GWQMN) และค่าแฟกเตอร์ชดเชยการระเหยในดิน (esco) ผลการสอบเทียบและทวนสอบแสดงดัง**ตารางที่ 4** การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของการคำนวณและที่วัดได้แสดงใน**รูปที่ 3** มีรายละเอียดดังนี้ ที่สถานี Y.20 แม่น้ำยมบริเวณทางออกของลุ่มน้ำ มีค่า PBIAS R^2 และ NSE เท่ากับ 1.06 และ 1.10, 0.87 และ 0.86, 0.86 และ 0.85 ของการสอบเทียบและการทวนสอบตามลำดับ ถือว่าให้ค่าทางสถิติที่ดีมาก ที่สถานี Y.24 ลำน้ำปี้ มีค่า PBIAS R^2 และ NSE เท่ากับ -34.4 และ -0.87, 0.65 และ 0.59, 0.25 และ 0.32 ของการสอบเทียบและการทวนสอบตามลำดับ ถือว่าให้ค่าทางสถิติต่ำกว่าเกณฑ์ เนื่องจากค่า PBIAS และ NSE มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ สถานี Y.31 แม่น้ำยม มีค่า PBIAS R^2 และ NSE เท่ากับ -18.38 และ -18.38, 0.79 และ 0.72, 0.70 และ 0.70 ของการสอบเทียบและการทวนสอบตามลำดับ ถือว่าให้ค่าทางสถิติดีและ สถานี Y.36 ลำน้ำควร มีค่า PBIAS R^2 และ NSE เท่ากับ -7.40 และ -7.40, 0.74 และ 0.62, 0.67 และ0.55 ของการสอบเทียบและการทวนสอบตามลำดับ ถือว่าให้ค่าทางสถิติต่ำกว่าเกณฑ์ เนื่องจากค่า NSE น้อยกว่าเกณฑ์ เมื่อพิจารณาลักษณะลำน้ำพบว่าในลำน้ำย่อยค่าทางสถิติมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ในบางค่า แต่เมื่อพิจารณาลำน้ำสายหลักคือลำน้ำยม (Y.20 และ Y.31) ของการสอบเทียบและการทวนสอบจะอยู่ในเกณฑ์ที่ดีถึงดีมากเมื่อพิจารณาในภาพรวมถือว่าการสอบเทียบและการทวนสอบนี้ยอมรับได้ ในประเทศไทยมีการสอบเทียบและการทวนสอบโดย

ใช้ SWAT เช่นปิยวัฒน์ประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำแม่แจ่ม โดยใช้แบบจำลอง SWAT ได้ค่า PBIAS R^2 และ NSE เท่ากับ 2.44 และ 19.49, 0.73 และ 0.89, 0.71 และ0.83 ของการสอบเทียบและการทวนสอบตามลำดับ [12]

ตารางที่ 4 การสอบเทียบและทวนสอบปริมาณน้ำท่า

สถานี	ปี		PBIAS	R^2	NSE
Y.20	2534-2553	สอบเทียบ	1.06	0.87	0.86
Y.20	2554-2563	ทวนสอบ	1.10	0.86	0.85
Y.24	2539-2553	สอบเทียบ	-34.4	0.65	0.25
Y.24	2554-2563	ทวนสอบ	-0.87	0.59	0.32
Y.31	2540-2553	สอบเทียบ	-18.38	0.79	0.70
Y.31	2554-2563	ทวนสอบ	-18.38	0.72	0.70
Y.36	2541-2553	สอบเทียบ	-7.44	0.74	0.67
Y.36	2554-2563	ทวนสอบ	-7.44	0.62	0.55

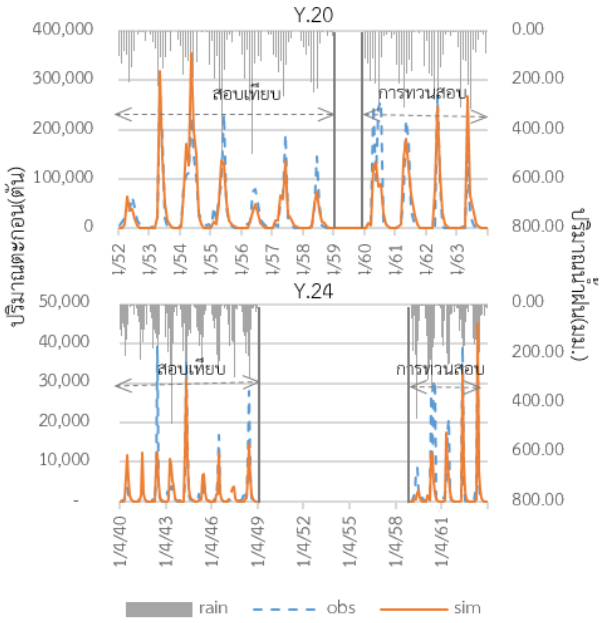
การสอบเทียบและการทวนสอบปริมาณตะกอน สถานีวัดตะกอนในลุ่มน้ำได้แก่ สถานี Y.20 มีข้อมูลตรวจวัดในช่วงปี 2552-2558 และ 2559-2563 และ Y.24 มีข้อมูลตรวจวัดในช่วงปี 2540-2549 และ 2559-2563 จึงใช้ช่วงที่มีการตรวจวัดช่วงแรกเป็นการสอบเทียบและช่วงที่ 2 เป็นการทวนสอบแบบจำลอง หลังจากปรับแก้พารามิเตอร์น้ำท่าเสร็จแล้วค่าทางสถิติของสอบเทียบปริมาณตะกอนให้ผลดี จึงไม่ต้องปรับแก้ค่าปริมาณตะกอน ผลการสอบเทียบและทวนสอบแสดงดัง**ตารางที่ 5** การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของการคำนวณและที่วัดได้แสดงใน**รูปที่ 4** มีรายละเอียดดังนี้ สถานี Y.20 แม่น้ำยมบริเวณทางออกของลุ่มน้ำ มีค่า PBIAS R^2 และ NSE เท่ากับ 0.69 และ -1.74, 0.83 และ 0.64, 0.78 และ 0.82 ของการสอบเทียบและการทวนสอบตามลำดับ ถือว่าให้ค่าทางสถิติที่ดี ที่สถานี Y.24 ลำน้ำปี้ มีค่า PBIAS R^2 และ NSE เท่ากับ -4.23 และ 30.00, 0.62 และ 0.59, 0.62 และ 0.57 ของการสอบเทียบและการทวนสอบตามลำดับ ถือว่าให้ค่าทางสถิติยอมรับได้ ลำน้ำหลักมีค่าทางสถิติที่ดีกว่าลำน้ำย่อยคล้อยกับปริมาณน้ำท่า ถือว่าการสอบเทียบและการทวนสอบปริมาณตะกอนนี้ยอมรับได้ ในประเทศไทยมีการสอบเทียบและการทวนสอบโดยใช้ SWAT เช่น ปิยวัฒน์ การประเมินปริมาณน้ำตะกอนแขวนลอยในลุ่มน้ำแม่แจ่ม โดยใช้แบบจำลอง SWAT ได้ค่า PBIAS R^2 และ NSE เท่ากับ 14.33 และ 21.07, 0.53 และ 0.84, 0.42 และ 0.80 ของการสอบเทียบและการทวนสอบตามลำดับ [13]



รูปที่ 3 การสอบเทียบและทวนสอบปริมาณน้ำท่า

ตารางที่ 5 การสอบเทียบและทวนสอบปริมาณตะกอน

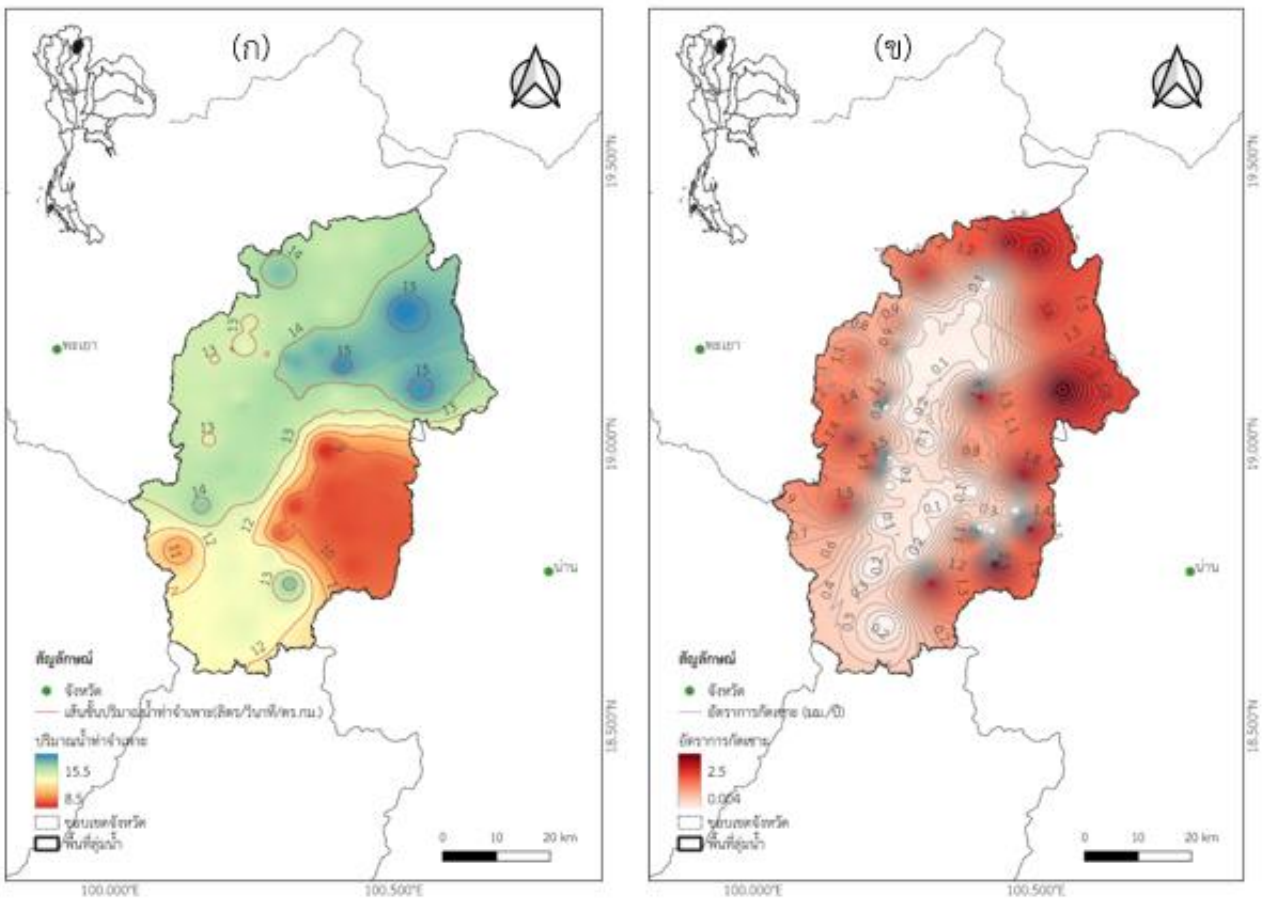
สถานี	ปี		PBIAS	R^2	NSE
Y.20	2552-2558	สอบเทียบ	0.69	0.83	0.78
Y.20	2559-2563	ทวนสอบ	-1.74	0.64	0.82
Y.24	2540-2549	สอบเทียบ	-4.23	0.62	0.62
Y.24	2559-2563	ทวนสอบ	30.00	0.59	0.57



รูปที่ 4 การสอบเทียบและทวนสอบปริมาณตะกอน

3.3 ปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอน

เมื่อผลการสอบเทียบและการทวนสอบให้ผลเป็นที่น่าพอใจแล้วก็สามารถนำผลการคำนวณมาใช้งานได้ พบว่าค่าเฉลี่ย 30 ปี (2534-2563) ลุ่มน้ำยมตอนบนมีปริมาณน้ำท่า 1438.92 ล้านลบ.ม./ปี หรือมีปริมาณน้ำท่าจำเพาะ (specific yield) เท่ากับ 12.60 ลิตร/วินาที/ตร.กม. สามารถจัดทำแผนที่ปริมาณน้ำท่าจำเพาะของลุ่มน้ำยมตอนบนดัง**รูปที่ 5(ก)** จะพบว่าค่าปริมาณน้ำท่าจำเพาะสูงสุดจะอยู่ด้านทิศตะวันเฉียงเหนือของลุ่มน้ำบริเวณลำน้ำปุก ลำน้ำคาง และลำน้ำควร ปริมาณน้ำท่าจำเพาะ(specific yield) 11-15 ลิตร/วินาที/ตร.กม. ค่าปริมาณน้ำท่าจำเพาะต่ำสุดจะอยู่ด้านทิศตะวันออกของลุ่มน้ำบริเวณลำน้ำปี้ ปริมาณน้ำท่าจำเพาะ(specific yield) 8-11 ลิตร/วินาที/ตร.กม ในส่วนปริมาณตะกอนแขวนลอยลุ่มน้ำยมตอนบนที่ค่าเฉลี่ย 30 ปีมีค่าเท่ากับ 427,370 ตันต่อปี เมื่อคิดปริมาณตะกอนท้องน้ำ 30 % ของตะกอนแขวนลอยและหน่วยน้ำหนักของตะกอนเท่ากับ 1.30 สามารถคิดอัตราการกัดเซาะได้เท่ากับ 0.01 มม./ปี ซึ่งมีความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินน้อย จากการจัดชั้นระดับรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย **รูปที่ 5(ข)** แสดงอัตราการกัดเซาะในลุ่มน้ำยมตอนบนจะเห็นได้ว่าในพื้นที่ลาดชันจะมีความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินปานกลาง



รูปที่ 5 ปริมาณน้ำท่าจำเพาะและอัตราการกัดเซาะ

3.4 ข้อจำกัด ปัญหาและอุปสรรค

ด้วยแบบจำลอง SWAT มีความต้องการพารามิเตอร์ในการคำนวณเป็นจำนวนมาก หลายพารามิเตอร์ยังไม่ได้มีการตรวจวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ ดังนั้นการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจำเป็นต้องมีการตรวจสอบช่วงการปรับแก้ให้ใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษา

สำหรับปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นเรื่องการจัดฐานให้ตรงกับฐานของมูลของแบบจำลอง SWAT เช่นข้อมูลการใช้ที่ดิน และข้อมูลดิน

4. บทสรุป

การศึกษาปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนในลุ่มน้ำยมตอนบน ด้วยใช้แบบจำลอง SWAT โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศจาก CFSR และใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ ผลการสอบเทียบและการทวนสอบแบบจำลองปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนให้ผลที่ยอมรับได้ ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 30 ปี (2532-2563) เท่ากับ 1438.92 ล้านลบ.ม. ให้ค่า Yield 12.6 ลิตร/วินาที/ตร.กม. ปริมาณตะกอน 427,370 ตันต่อปีคิดเป็นการกัดเซาะ 0.10 มม./ตร.กม./ปี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กรมพัฒนาที่ดิน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน The National Aeronautics and Space Administration (NASA) and the National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) Open Government Data of Thailand website swat.tamu.edu และ บริษัท ดีไวลพลัสจำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูล และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่ให้ทุนในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] อนิรุจน์ คำนล (2564). การประเมินน้ำต้นทุนและความต้องการใช้น้ำเกษตรกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำยม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม), สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

[2] ชาญชัย เพชรพงศ์พันธุ์, ชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์, ดวงฤดี โฆษิตกิตติวงศ์ และ Kwan Tun Lee (2560). การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองอุทกวิทยา KW-GIUH และ BTOPMC ในการจำลองน้ำท่าในลุ่มน้ำยมตอนบน. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.,* ปีที่ 10, ฉบับที่ 2 หน้า 74-84

[3] Tan, M.L., Gassman, P.W., Srinivasan, R. Arnold, J.G. and Yang, X. (2019). A Review of SWAT Studies in Southeast Asia: Applications, Challenges and Future Directions. *Water,* 11(5), 914. MDPI AG. Retrieved from http://dx.doi.org/10.3390/w11050914

[4] Fuka, D.R., Walter, M.T., Macalister, C., Degaetano, A.T., Steenhuis, T.S. and Easton, Z.M. (2014) Using the Climate Forecast System Reanalysis as Weather Input Data for Watershed Models. *Hydrologic Process*, 28, pp. 5613-5623.

[5] Dile, Y. T., and Srinivasan, R. (2014). Evaluation of CFSR Climate Data for Hydrologic Predic- tion in Data-Scarce Watersheds: An Application in the Blue Nile River Basin. *Journal of the American Water Resources Association*, 50(5), pp. 1226-1241

[6] จิรวัฒน์ ศุภโกศล และหริส ประสารฉ่ำ (2562). การประยุกต์อย่างง่ายในการใช้ข้อมูลอากาศจาก Climate Forecast System Reanalysis เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำอูน. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโธาแห่งชาติครั้งที่ 24,* อุดรธานี, 10-12 กรกฎาคม หน้า 2337-2347

[7] Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R. (2009) Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation—Version 2009. Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Temple.

[8] Srinivasan, R., Arnold, J. G., and Jone, C. A. (1998). Hydrologic Modelling of United States with the Soil and Water Assessment Tool. *Water Resources Development*, 14, pp. 315-325.

[9] Krysanova, V. and White, M. (2015). Advances in water resources assessment with SWAT—an overview. *Hydrological Sciences Journal,* 60 (5), pp. 771-783

[10] Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T.L. (2007) Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50, pp. 885-900.

[11] Santhi, C., Arnold, J., Williams, J.R., Dugas, W.A., Srinivasan, R. and Hauck, L.M. (2001) Validation of the SWAT Model on a Large River Basin with Point and Nonpoint Sources. *Journal of the American Water Resources Association*, 37, pp. 1169-1188.

[12] ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ และ เจริญ สารตัน (2556). การประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำแม่แจ่ม โดยใช้แบบจำลอง SWAT. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 5*, เชียงราย, 5–6 กันยายน 2556.

[13] ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ และ นรินทร์ แก้วฝั้น (2557). การประเมินปริมาณตะกอนแขวนลอย ในลุ่มน้ำแม่แจ่ม โดยใช้แบบจำลอง SWAT. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 19*, ขอนแก่น, 14–16 พฤษภาคม 2557.