การปรับเทียบแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS โดยใช้ข้อมูลความชื้นดินจากดาวเทียม SMAP ในลุ่มน้ำลำปลายมาศ

Calibration of HEC-HMS Hydrologic Model Using SMAP Soil Moisture Data in Lam Plai Mat Basin

สรรธาร พชสิทธิ์[1,2] และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย[1*]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม
[2] สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จ.บุรีรัมย์
**Corresponding author; E-mail address: ekasit.k@ku.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการใช้ข้อมูลความชื้นดินจากดาวเทียม SMAP สำหรับกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS ในลุ่มน้ำที่มีข้อมูลการตรวจวัดน้ำท่าจำกัด โดยเลือกลุ่มน้ำลำปลายมาศเป็นพื้นที่ศึกษา ลำปลายมาศเป็นลำน้ำสาขาแม่น้ำมูล พื้นที่รับน้ำส่วนใหญ่อยู่ในเขตจังหวัดบุรีรัมย์ มีขนาดประมาณ 4,900 ตร.กม. การศึกษาได้รวบรวมข้อมูลความชื้นดินของดาวเทียม SMAP ตั้งแต่เริ่มให้บริการข้อมูล (พ.ศ.2558) และข้อมูลตรวจวัดน้ำท่ารายวัน (สถานี M.185) ระหว่าง พ.ศ. 2558-2560 การจัดทำแบบจำลองแบบต่อเนื่องเลือกกระบวนวิธี Soil Moisture Accounting (SMA) ของ HEC-HMS การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองได้พิจารณาสมบัติทางกายภาพและทางชลศาสตร์ที่สอดคล้องกับสภาพดินและการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นค่าเริ่มต้น และปรับพารามิเตอร์โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินของ HEC-HMS กับข้อมูลจากดาวเทียม SMAP จนสอดคล้องกัน พารามิเตอร์ของแบบจำลองที่พิจารณาประกอบด้วย อัตราการซึมผ่านผิวดิน ปริมาณน้ำขังบนผิวดิน และปริมาณน้ำในดิน สมรรถนะของแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่าตรวจวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การใช้ข้อมูลความชื้นดินจากดาวเทียมสามารถนำไปใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอุทกวิทยาในลุ่มน้ำที่ไม่มีการตรวจวัดน้ำท่า

คำสำคัญ: น้ำท่า, การจำลองทางอุทกวิทยา, ความชื้นในดิน, ข้อมูลดาวเทียม

Abstract

The paper proposes the application of satellite soil moisture (Soil Moisture Active Passive, SMAP) for estimating parameters of hydrological model (HEC-HMS) in a basin with limited runoff observation. The Lam Plai Mat, a tributary of the Mun River, was selected. Most of drainage area of Lam Plai Mat (approximately 4,900 km2) is located in Buriram province. SMAP data was collected since available in 2015 and observed streamflow (M.185) from 2015 to 2017. The Soil Moisture Accounting (SMA) algorithm of HEC-HMS was configured for the continuous simulation. Model parameters were initially estimated using the physical and hydraulic properties corresponding to the basin soil and land use and further adjusted by comparing the simulated soil moisture by HEC-HMS with soil moisture from SMAP data. The selected model parameters included infiltration, surface storage, and soil storage. Model performance comparing with the observed runoff was satisfied. Satellite soil moisture data provide invaluable information for hydrologic modeling in ungauged basin.

Keywords: Runoff, Hydrologic modeling, Soil moisture, Satellite data

1. คำนำ

ปริมาณน้ำท่าผิวดินเป็นข้อมูลสำคัญในการบริหารจัดการน้ำและการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับชีวิตมนุษย์ เกษตรกรรม อุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อมตลอดจนระบบนิเวศ ซึ่งแบบจำลองทางอุทกวิทยาเป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์กระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า [1; 2] การจัดทำแบบจำลองทางอุทกวิทยาใช้ข้อมูลตรวจวัดทั้งปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าสำหรับการปรับเทียบพารามิเตอร์ [3] ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ไม่มีการตรวจวัดปริมาณน้ำท่า มีข้อมูลจำกัด หรือ ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ (อาทิ การสร้างเขื่อนเก็บน้ำหรือทดน้ำ) ทำให้มีข้อจำกัดให้การจัดทำแบบจำลองเพื่อจำลองการไหลในสภาพธรรมชาติอย่างน่าเชื่อถือ [4]

ปริมาณน้ำในดิน (soil water content) หรือ ความชื้นดิน เป็นปริมาณน้ำในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (vadose zone) [5] ความชื้นดินเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญในวัฏจักรอุทกวิทยาตั้งแต่ในระบบการเกษตรขนาดเล็กจนถึงการจำลองระบบพื้นผิวดิน-บรรยากาศในระดับโลก [6-8] การหาปริมาณความชื้นดินอาจหาโดยตรงได้จากการเก็บตัวอย่างดินจากภาคสนาม ในปัจจุบัน การใช้ข้อมูลดาวเทียมเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจ [9; 10] เนื่องจากสามารถทราบความชื้นดินครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่และมีความ

ต่อเนื่องของข้อมูล [6] ดาวเทียม Soil Moisture Active Passive (SMAP) ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (NASA) เป็นตัวอย่างหนึ่งซึ่งสำรวจเก็บข้อมูลและสังเกตการณ์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินบนพื้นผิวโลก [11]

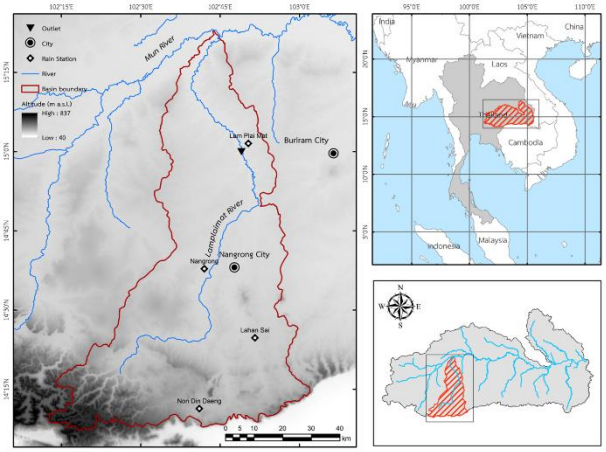
ลำปลายมาศเป็นลำน้ำสาขาสำคัญสายหนึ่งของแม่น้ำมูล ลำปลายมาศตอนบนมีต้นกำเนิดในเขตอุทยานแห่งชาติทับลาน จ.นครราชสีมา (อ.ครบุรี, อ.เสิงสาง) น้ำไหลลงสู่ที่ลุ่มต่ำทางทิศเหนือ ลำปลายมาศตอนล่างไหลผ่าน อ.ลำปลายมาศ จ.บุรีรัมย์ และไหลลงแม่น้ำมูลทางตอนเหนือของ อ.ชุมพวง จ.นครราชสีมา ประชาชนตั้งถิ่นฐานริมฝั่งลำน้ำลำปลายมาศ ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม (ข้าว พืชไร่) แต่น้ำในลำน้ำมีปริมาณน้ำน้อยในช่วงฤดูแล้งไม่เพียงพอต่อการทำการเกษตร [12] ลำปลายมาศมีพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ (4,900 ตร.กม.) และมีการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ธรรมชาติทั้งการสร้างอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ตอนบน บ่อน้ำและการกักน้ำในพื้นที่นาข้าวทางตอนล่าง นอกจากนี้ ในลำน้ำมีสถานีตรวจวัดน้ำท่าจำกัดและข้อมูลไม่ต่อเนื่อง การจัดทำแบบจำลองทางอุทกวิทยาเพื่อหาปริมาณน้ำท่าที่น่าเชื่อถือจึงเป็นงานที่ท้าทาย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะจัดทำแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS ในลุ่มน้ำลำปลามาศ จ.บุรีรัมย์ ที่มีข้อมูลตรวจวัดน้ำท่าจำกัด โดยใช้ข้อมูลความชื้นดินจากดาวเทียม SMAP ช่วยในการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

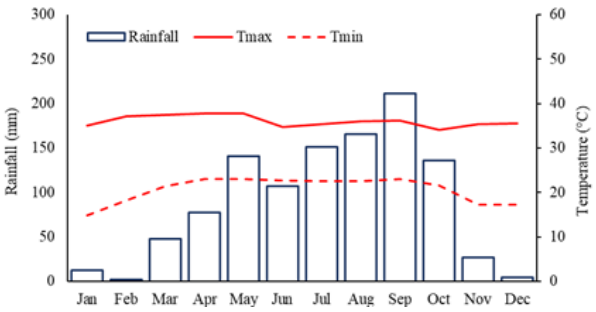
2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พื้นที่ศึกษา

ลำปลายมาศเป็นลำน้ำสาขาของแม่น้ำมูลตั้งอยู่ในเขต 2 จังหวัด คือ จ.บุรีรัมย์ และ จ.นครราชสีมา (รูปที่ 1) พื้นที่ลุ่มน้ำมี ขนาด 4,905.03 ตร.กม. อยู่ที่ละติจูดที่ 14°8'–15°22' เหนือ ลองจิจูดที่ 102°12"–103°2' ตะวันออก มีความสูงของพื้นที่เหนือระดับน้ำทะเล ระหว่าง 130 ม. ถึง 830 ม. ลำน้ำลำปลายมาศมีความยาวประมาน 195 กม. ต้นน้ำอยู่ที่เขื่อนลำปลายมาศ ในเขตพื้นที่อุทยานแห่งชาติทับลาน จ.นครราชสีมา แล้วจึงไหลผ่าน จ.บุรีรัมย์ มาลงแม่น้ำมูลในที่เขต อ.ชุมพวง จ.นครราชสีมา



รูปที่ 1 ขอบเขตลุ่มน้ำลำปลายมาศ และ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำฝนและน้ำท่า



รูปที่ 2 ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนเฉลี่ย (น้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด) พื้นที่ลุ่มน้ำลำปลายมาศ (พ.ศ.2558-2560)

ภูมิประเทศของลุ่มน้ำลำปลายมาศ มีลักษณะลาดจากทิศใต้ไปทิศเหนือ พื้นที่ส่วนต้นน้ำเป็นภูเขา ด้านท้ายน้ำเป็นลูกคลื่นและที่ราบขั้นบันได การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรม (ข้าว, พืชไร่) ลักษณะภูมิอากาศได้รับอิทธิพลจากมรสุม กล่าวคือ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดอากาศแห้งและเย็นจากประเทศจีนช่วงเดือนตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ และมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดพาอากาศชื้นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมทำให้มีฝนตกชุก ปริมาณฝนเฉลี่ยต่อปีประมาณ 1,000-1,200 มม. มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 22.2°C และสูงสุด 33°C (รูปที่ 2)

2.2 แบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS

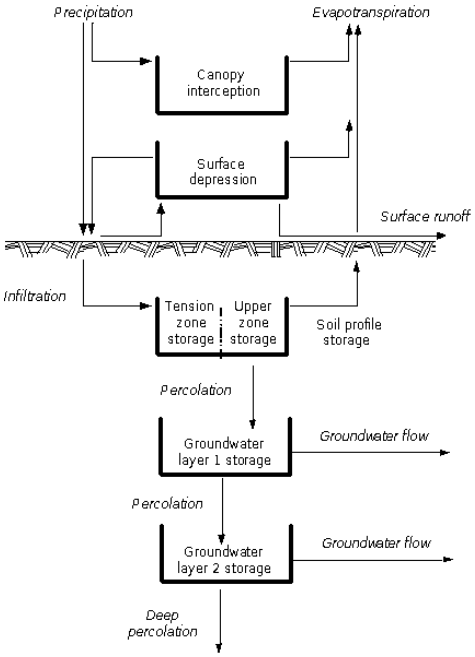
แบบจำลองอุทกวิทยา Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) [13; 14] พัฒนาโดย Hydrologic Engineering Center (HEC) เป็นหน่วยงานของ U.S. Army Corps of Engineers (USACE) แบบจำลอง HEC-HMS จำลองกระบวนการทางอุทกวิทยาของระบบลุ่มน้ำ [15] ประกอบด้วยโมดูลการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยา อาทิ การซึมผ่านผิวดิน กราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วย และการเคลื่อนตัวของน้ำหลาก รวมทั้งมีกระบวนการสำหรับการจำลองแบบต่อเนื่อง ได้แก่ การระเหยคายน้ำ การละลายหิมะ และปริมาณความชื้นดิน ซอฟต์แวร์มีการบูรณาการฐานข้อมูลและเครื่องมือช่วยงาน [16; 17] ทั้งการนำเข้าข้อมูล การคำนวณ การรายงานผล ส่วนติดต่อกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ข้อมูลของการจำลองเก็บไว้รูปแบบ Data Storage System (DSS) ของ HEC-DSS [16; 18] และสามารถนำไปใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์อื่นได้

แบบจำลอง HEC-HMS มีการนำมาใช้ในประเทศไทยในการศึกษาด้านน้ำท่วม [19-22], การประเมินผลกระทบ/ความปลอดภัยเขื่อน [23; 24], การประมาณน้ำต้นทุนอ่างเก็บน้ำ [25], ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ/การใช้ที่ดิน [25-28], และการทำนายน้ำท่าในลุ่มน้ำที่ไม่มีการตรวจวัด (prediction in an ungauged basin, PUB) [29]

2.3 วิธี Soil Moisture Accounting (SMA)

น้ำท่าผิวดิน (surface runoff) เกิดจากส่วนเกินของฝน (rainfall excess) หลังจากหักการสูญเสียออก วิธีการหาปริมาณน้ำที่หายไป (loss method) ของแบบจำลอง HEC-HMS สำหรับการจำลองแบบต่อเนื่อง [30-

33] ใช้กระบวนวิธีการสะสมความชื้นในดิน (Soil Moisture Accounting, SMA) [13; 34] (รูปที่ 3) โดยน้ำท่าผิวดิน (surface runoff) เท่ากับน้ำฝ่า (precipitation) ซึ่งเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปของน้ำฝน (rainfall) หักน้ำตกค้างบนพืชพรรณ (canopy interception) น้ำขังในแอ่งลุ่มบนผิวดิน (surface depression) และน้ำซึมผ่านผิวดิน (infiltration) โดยพิจารณาปริมาตรกักเก็บเป็นถังใส่น้ำพื้นที่หนึ่งหน่วย น้ำซึมผ่านผิวดินส่วนหนึ่งสะสมที่ชั้นหน้าตัดดิน (soil profile storage) อีกส่วนซึมผ่านดินไปสะสมที่ชั้นน้ำใต้ดิน (groundwater storage)



รูปที่ 3 แนวคิดการจำลองการเกิดน้ำท่าผิวดินด้วยรูปแบบการสะสมความชื้นในดิน (Soil Moisture Accounting, SMA) ในแบบจำลอง HEC-HMS สำหรับการจำลองทางอุทกวิทยาแบบต่อเนื่อง [13; 30]

2.4 ข้อมูลที่ใช้

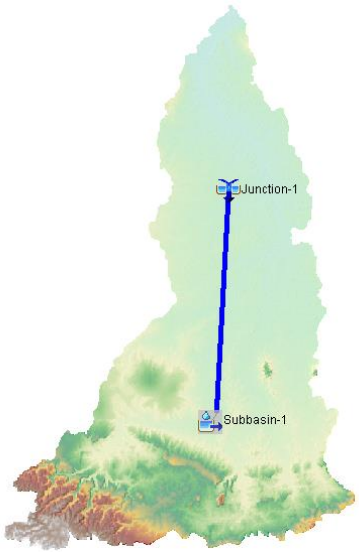
ปริมาณน้ำฝนใช้ข้อมูลฝนรายวันของกรมอุตุนิยมวิทยา ในพื้นที่ศึกษาจำนวน 4 สถานี คือ 1.สถานีอุตุนิยมวิทยานางรอง (บุรีรัมย์) 2.สถานีตรวจวัดน้ำฝนโนนดินแดง 3.สถานีตรวจวัดน้ำฝนลำปลายมาศ 4.สถานีตรวจวัดน้ำฝนละหารทราย ระหว่าง พ.ศ. 2558-2564 (2015-2021) โดยมีค่าถ่วงน้ำหนัก 0.36, 0.28, 0.24, และ 0.12 ตามลำดับ ปริมาณน้ำท่าใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของกรมชลประทาน สถานี M.185 ลำปลายมาศ อ.ลำปลายมาศ จ.บุรีรัมย์ ระหว่าง พ.ศ. 2558-2560 (2015-2018) การระเหยคายน้ำใช้ข้อมูลการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) รายเดือนเฉลี่ย [35] คำนวณตามสมการ FAO Penman-Monteith [36; 37] ของสถานีอุตุนิยมวิทยานางรอง (บุรีรัมย์) แผนที่ดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ข้อมูลระดับภูมิประเทศเป็นแผนที่ 3-arc-second SRTM DEM มีความละเอียดประมาณ 90 ม. ดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ srtm.csi.cgiar.org

2.5 ข้อมูลดาวเทียม SMAP

ดาวเทียม Soil Moisture Active Passive (SMAP) สร้างโดยองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) ปล่อยเมื่อวันที่ 31 ม.ค. 2558 มีสำหรับใช้สำรวจเก็บข้อมูลและสังเกตการณ์การเปลี่ยนแปลงความชื้นดินบนพื้นผิวโลก [11] งานวิจัยนี้ใช้ผลิตภัณฑ์ระดับ 4 (L4_SM) [11; 38] ดาวน์โหลดได้จาก www.earthdata.nasa.gov/SMAP ข้อมูลมีขนาดจุดภาพประมาณ 9 km ระยะเวลาที่รอประมวลผล (latency) น้อยกว่า 7 วัน การบันทึกข้อมูลเป็นราย 3 ชั่วโมง มีค่าปริมาณความชื้นดิน 3 ระดับชั้น คือ (1) ความชื้นดินที่พื้นผิว (surface soil moisture) 0-10 ซม. (2) ความชื้นดินในเขตราก (root zone soil moisture) 0-100 ซม. และ (3) ความชื้นทั้งหน้าตัดดิน (profile soil moisture) 0-200 ซม. [39] ในประเทศไทย ข้อมูลมีความสัมพันธ์ดีพอใช้เมื่อเทียบกับการตรวจวัดในสนาม [6; 10] การศึกษารวบรวมข้อมูลความชื้นดินของดาวเทียม SMAP ตั้งแต่เริ่มให้บริการข้อมูล (เมษายน พ.ศ.2558)

2.6 วิธีการดำเนินการ

ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลอง (model set-up) (รูปที่ 4) เลือกกระบวนวิธี SMA สำหรับการจำลองแบบต่อเนื่อง [33] โดยเลือกองค์ประกอบของลุ่มน้ำและวิธีการคำนวณดังสรุปในตารางที่ 1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของแบบจำลอง (parameter estimation) ใช้แนวทางที่ Ahbari et al. [40] เสนอไว้สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีข้อมูลจำกัด [40; 41] โดยใช้ข้อมูลจากแผนที่ดินและแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน [42] พิจารณาสมบัติทางกายภาพและทางชลศาสตร์ที่สอดคล้องกับเนื้อดิน [5] ในพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นค่าเริ่มต้นโดยพิจารณาดินมีความลึก 1 ม. (1,000 มม.) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูล root zone soil moisture ของ SMAP [39]



รูปที่ 4 การตั้งค่าแบบจำลอง HEC-HMS ใน Basin Model

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของลุ่มน้ำและวิธีการคำนวณ

Subbasin components and method	Parameter
Canopy method: Simple canopy	
Initial canopy storage: dry condition	0%
Max canopy storage: land use map [30; 40; 42]	2 mm
Surface method: Simple Surface	
Initial storage: dry condition	0%
Max storage: slope/land use map [30; 42]	60 mm
Loss method: Soil Moisture Accounting (SMA)	
Soil: default	50%
Groundwater1: dry condition	0%
Groundwater2: dry condition	0%
Max Infiltration: Ksat (based on soil texture) [5; 43]	1.8 mm/h
Impervious: based on land use map [40]	0%
Soil storage: porosity*soil depth [40]	0.45*1000 mm
Tension storage: field capacity*soil depth [40]	0.27*1000 mm
Soil percolation: 1-2 mm/day [44]	0.084 mm/h
GW1 storage:	0.45*500 mm
GW1 percolation: 1-2 mm/day [44]	0.084 mm/h
GW1 coefficient: default)	24 h
GW2 storage:	0.45*500 mm
GW2 percolation: 1-2 mm/day [44]	0.042 mm/h
GW2 coefficient: default	24 h
Transform method: SCS Unit Hydrograph	
Graph type: standard (PRF 484)	
Lag time: estimated (10 days)	14400 min
Baseflow method: Recession [42]	
Initial type: discharge	
Initial discharge: dry condition	0 m3/s
Recession constant: estimated	0.9
Threshold type: ratio to peak	
Ratio: estimated	0.5

ขั้นตอนการปรับเทียบและการทวนสอบแบบจำลอง (model calibration and validation) การปรับเทียบเลือกข้อมูลน้ำท่าโดยพิจารณาเป็นปีทางอุทกวิทยา (hydrological year) หรือปีน้ำ โดยเลือกปีน้ำ 2560 (1 เม.ย. 2560 (2017) ถึง 31 มี.ค. 2561 (2018)) เพื่อปรับเทียบกับข้อมูลน้ำท่าด้วยเครื่องมือ Optimization Trial ของ HEC-HMS ประกอบด้วย อัตราการซึมผ่านผิวดิน (max infiltration) และปริมาณน้ำขังบนผิวดิน (surface storage) ส่วนข้อมูลปีอื่นๆ ที่เหลือใช้สำหรับทวนสอบ จากนั้น การปรับพารามิเตอร์แบบละเอียดโดยเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินของ HEC-HMS กับข้อมูลจากดาวเทียม SMAP (ใช้ข้อมูลดาวเทียมปี 2558 ถึง 2560) ซึ่งขั้นตอนเปรียบเทียบความชื้นดินกับข้อมูล SMAP ต้องดึงผลลัพธ์มาวิเคราะห์ด้วย Excel เนื่องจาก HEC-HMS ไม่สามารถนำเข้าข้อมูลตรวจวัดความชื้นดิน

การประเมินสมรรถนะแบบจำลอง (performance evaluation) ใช้การพิจารณาเปรียบเทียบกราฟระหว่างผลการจำลองกับข้อมูลตรวจวัด [45-47] และพิจารณาดัชนีสมรรถนะ Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE, สมการ 1) [46; 48], percentage bias (%BIAS, สมการ 2) และ RMSE-observations SD ratio (RSR, สมการ 3) [47] สมรรถนะของแบบจำลองสำหรับการจำลองน้ำท่าในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อ NSE > 0.5, RSR ≤ 0.7 และ %BIAS ในช่วง ± 25% [47]

(1)

(2)

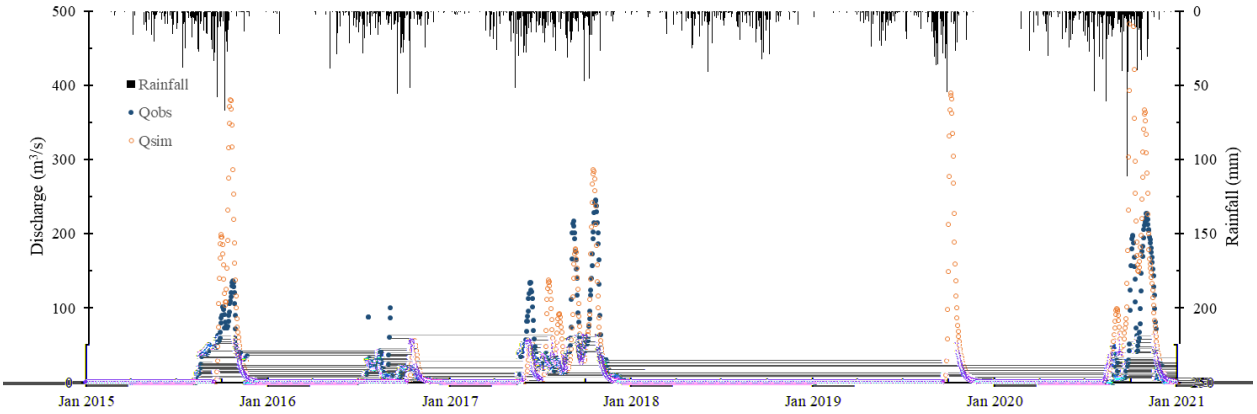
(3)

โดย คือ ข้อมูลจากการตรวจวัด (observed data), คือ ข้อมูลจากการจำลอง (simulated data), ¯ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการจำลอง, ¯ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการตรวจวัด

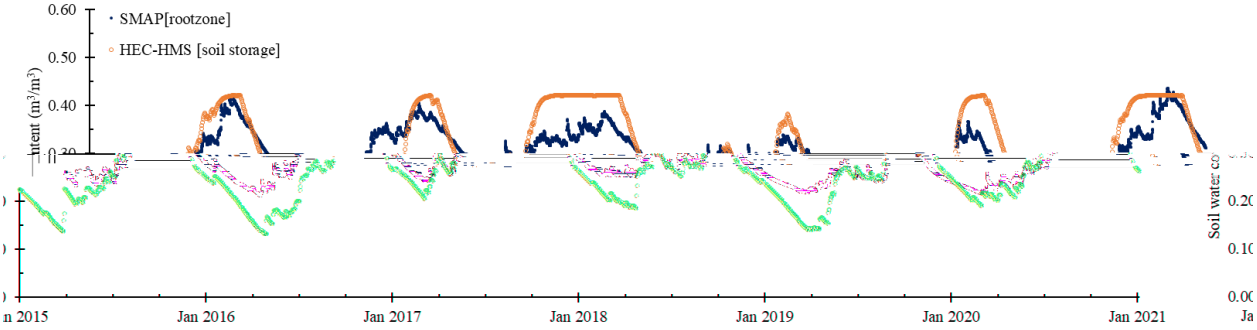
3. ผลและวิจารณ์

ในรูปที่ 5 แสดงปริมาณน้ำท่าที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า M.185 จากการจำลอง (จุดโปร่งสีส้ม) และการตรวจวัด (จุดทึบสีน้ำเงิน) ระหว่าง ม.ค. 2558 ถึง ธ.ค. 2563 (2015-2020) และรูปที่ 6 แสดงปริมาณความชื้นในดินโดยปริมาตร (m^3/m^3) ในช่วงเวลาเดียวกันโดยผลการจำลองใน soil storage แสดงเป็นจุดโปร่งสีส้ม ข้อมูลน้ำท่าช่วงปีน้ำ 2558-2560 (2015-2017) นำมาใช้ในการปรับเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ปีน้ำ 2561-2562 (2018-2019) ไม่มีข้อมูลตรวจวัด

ผลการจำลองน้ำท่าในปีน้ำ 2560 (2017) ที่ปรับเทียบพารามิเตอร์ด้วยโมดูลของ HEC-HMS ได้ค่าดัชนีสมรรถนะของแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (NSE=0.66, %BIAS=6.33%, RSR=0.58) ในขณะที่ในภาพรวม 3 ปี (2558-2560) ค่าดัชนีสมรรถนะของแบบจำลองส่วนใหญ่ยังไม่อยู่ในเกณฑ์ (NSE=0.27, %BIAS=-1.83%, RSR=0.85) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างน้ำท่าจากผลการจำลองกับข้อมูลตรวจวัด (รูปที่ 5) เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของกราฟน้ำท่าในปีน้ำ 2560 (2017) มีความสอดคล้องกันยกเว้นในเดือนกรกฎาคมและสิงหาคม ผลการจำลองมีค่าอัตราไหลสูงสุดค่อนข้างสูงกว่าข้อมูลตรวจวัด แต่โดยรวมตลอดปีค่าดัชนีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อพิจารณาปีน้ำ 2558-2559 (2015-2016) กราฟน้ำท่ายังไม่สอดคล้องกันทำให้สมรรถนะของแบบจำลองลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความชื้นดินในปีน้ำ 2558-2559 (รูปที่ 6) พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นดินจากการจำลองมีความสอดคล้องกับข้อมูลดาวเทียม SMAP นอกจากนี้ ในปีน้ำ 2561 (2018) ซึ่งไม่มีข้อมูลน้ำท่าตรวจวัด ในขณะที่แบบจำลองให้ผลว่าไม่มีน้ำท่าในปีนั้น เมื่อพิจารณาจากความชื้นดินในปีเดียวกัน พบว่า ผลจากการจำลองและข้อมูลดาวเทียมให้ผลสอดคล้องกันโดยความชื้นดินมีค่าต่ำกว่าจุดอิ่มตัวด้วยน้ำ (~0.4 m^3/m^3) ตลอดทั้งปี 2561 ดังนั้น เมื่อฝนตกจึงอาจสูญเสียโดยซึมผ่านดินจนไม่มีส่วนเกินที่ทำให้เกิดน้ำท่า แบบจำลองจึงให้ผลลัพธ์ที่สมเหตุผล



รูปที่ 5 ปริมาณน้ำท่าที่สถานี M.185 ผลการจำลองปี 2558-2563 (2015-2020) เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด ช่วงปรับเทียบปี 2558-2560 (2015-2017) และช่วงทวนสอบ ปี 2563 (2020)



รูปที่ 6 ความชื้นดินคำนวณด้วยแบบจำลอง HEC-HMS เปรียบเทียบกับข้อมูลดาวเทียม SMAP ปี 2558-2563 (2015-2020)

ในขั้นตอนการจัดทำแบบจำลอง การกำหนดค่าตั้งต้นพารามิเตอร์ของแบบจำลองเป็นขั้นตอนที่สำคัญโดยการประมาณค่าตั้งต้นโดยใช้ข้อมูลจากแผนที่ดินและแผนที่การใช้ที่ดิน [40] ช่วยให้สามารถกำหนดค่าเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมซึ่งอาจต้องปรับเทียบแบบละเอียดเพิ่มเติมอีกเพียงเล็กน้อย พารามิเตอร์กลุ่มที่อ่อนไหว ได้แก่ กลุ่มเก็บกัก หรือ storage และกลุ่มการไหล หรือ percolation โดยกลุ่มแรก ได้แก่ soil storage [33; 42], tension storage [42], และ GW storage [49] ส่วนกลุ่มหลังรวมถึง max infiltration [33; 42], soil percolation [33], GW percolation [49; 50] อย่างไรก็ตาม พารามิเตอร์สองกลุ่มนี้ ไม่ควรปรับเทียบพร้อม ๆ กัน เนื่องจาก การเปลี่ยนค่าของกลุ่มหนึ่งมีผลให้อีกกลุ่มต้องปรับค่าโดยที่ค่านั้นอาจเป็นค่าที่เหมาะแล้ว แนวทางควรเลือกปรับเทียบทีละกลุ่ม โดยความจุน้ำของดิน (soil storage) อาจใช้แนวทางการประมาณค่าจากความพรุนของดินที่หน้าตัดลึก 1 m โดยมีค่าระหว่าง 300-500 mm ค่าในช่วงนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยหลายชิ้น [33; 40-42; 49; 51-53] สำหรับการจำลองทางอุทกวิทยาเป็นรายวัน (daily time step)

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP ช่วยในการกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS ในลุ่มน้ำลำปลายมาศ ระหว่าง พ.ศ. 2558-2563 การจำลองทางอุทกวิทยาแบบต่อเนื่องใช้กระบวนวิธี Soil Moisture Accounting (SMA) พารามิเตอร์ของแบบจำลองกำหนดค่าตั้งต้นจากข้อมูลดิน/การใช้ที่ดิน และปรับโดยเทียบกับความชื้นดินจากข้อมูลดาวเทียม SMAP แบบจำลอง HEC-HMS มีสมรรถนะในการจำลองน้ำท่าและความชื้นดินอยู่ในเกณฑ์เป็นที่ยอมรับได้น่าพอใจ

การใช้ข้อมูลความชื้นดินจากดาวเทียมมีศักยภาพสำหรับนำไปใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอุทกวิทยาในลุ่มน้ำที่ไม่มีการตรวจวัดน้ำท่า นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลการระเหยคายน้ำ (ET) จากดาวเทียมเป็นข้อมูลอีกแหล่งหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำมาใช้งาน ถึงแม้ว่าแบบจำลอง HEC-HMS สามารถปรับเทียบพารามิเตอร์แบบอัตโนมัติ แต่แบบจำลองยังไม่สามารถใส่ข้อมูลความชื้นดินเป็นข้อมูลตรวจวัดสำหรับการปรับเทียบได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน กรมพัฒนาที่ดิน และผู้พัฒนาโปรแกรม HEC ที่มอบลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์สำหรับการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Beven, K. J. and Alcock, R. E. (2012). Modelling everything everywhere: a new approach to decision-making for water management under uncertainty. Freshwater Biology, *57*, pp. 124-132.

[2] Blair, G. S. et al. (2019). Models of everywhere revisited: A technological perspective. Environmental Modelling & Software, *122*.

[3] Beven, K. J. (2012). Rainfall-runoff modelling: the primer, 2nd ed. John Wiley and Sons, Chichester, UK.

[4] Terrier, M., Perrin, C., de Lavenne, A., Andréassian, V., Lerat, J. and Vaze, J. (2020). Streamflow naturalization methods: a review. Hydrological sciences journal, *66*, pp. 12-36.

[5] Hillel, D. (1998). Environmental Soil Physics. Academic Press, San Diego, CA.

[6] เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัยและคณะ. (2564). การศึกษาเปรียบเทียบความชื้นในดินจากข้อมูลดาวเทียม SMAP กับการตรวจวัดด้วย TDR ในพื้นที่นาข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ปีที่ 10, หน้า 9-24.

[7] Srivastava, P. K., Petropoulos, G. and Kerr, Y. H. (2016). Satellite Soil Moisture Retrieval: Techniques and Applications. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.

[8] Petropoulos, G. P., Ireland, G. and Barrett, B. (2015). Surface soil moisture retrievals from remote sensing: Current status, products & future trends. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, *83-84*, pp. 36-56.

[9] El Hajj, M., Baghdadi, N., Zribi, M., Rodríguez-Fernández, N., Wigneron, J., Al-Yaari, A., Al Bitar, A., Albergel, C. and Calvet, J.-C. (2018). Evaluation of SMOS, SMAP, ASCAT and Sentinel-1 Soil Moisture Products at Sites in Southwestern France. Remote Sensing, *10*.

[10] เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย, ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์, มารุต ราชมณี, บุญลือ คะเชนทร์ชาติ, มีชัย เชี่ยงหลิว และ อิศเรศ กะการดี. (2565). การจัดทำแผนที่ระดับประเทศสภาพการขาดน้ำในดินโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมแบบใกล้เวลาปัจจุบัน. ใน: การวิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศเชิงพื้นที่เพื่อการสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง (ปีที่ 2). สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์กรมหาชน), หน้า 4-49

[11] Reichle, R. (2018). SMAP L4 Global 3-hourly 9 km EASE-Grid Surface and Root Zone Soil Moisture Analysis Update, Version 4. In. NASA National Snow and Ice Data Center DAAC.

[12] กรมชลประทาน. (2553). จุลสาร 112 ปี สำนักงานบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา. กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

[13] USACE. (2000). HEC-HMS: Hydrologic Modeling System. Technical Reference Manual. Hydrologic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers (USACE), Davis, CA.

[14] USACE. (2022). HEC-HMS: Hydrologic Modeling System. User's Manual, version 4.9. Retrieved from https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.9

[15] Bhuiyan, H., McNairn, H., Powers, J. and Merzouki, A. (2017). Application of HEC-HMS in a cold region watershed and use of RADARSAT-2 soil moisture in initializing the model. Hydrology, *4*, pp. 9.

[16] USACE. (2021). HEC-DSSVue HEC Data Storage System Visual Utility Engine. User's Manual Version 3.2. Retrieved from https://www.hec.usace.army.mil/confluence/dssvuedocs/latest/hec-dssvue

[17] USACE. (2013). HEC-GeoHMS: Geospatial Hydrologic Modeling Extension. User's Manual, version 10.1. Hydrologic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers (USACE), Davis, CA.

[18] USACE. (2009). HEC-DSSVue HEC Data Storage System Visual Utility Engine. User's Manual Version 2.0. Hydrologic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers (USACE), Davis, CA.

[19] Jomvoravong, A., Putthividhya, A. and Vechpanich, E. (2015). A comparative study of stochastic and conventional deterministic flood frequency analysis for extreme events in Thailand. World Environmental and Water Resources Congress 2015: Floods, Droughts, and Ecosystems - Proceedings of the 2015 World Environmental and Water Resources Congress.

[20] Kuntiyawichai, K., Dau, Q. V., Sri-Amporn, W. and Suryadi, F. X. (2016). An assessment of flood hazard and risk zoning in the lower nam phong river basin, thailand. International Journal of Technology, *7*, pp. 1147-1154.

[21] Kuntiyawichai, K., Sri-Amporn, W., Wongsasri, S. and Chindaprasirt, P. (2020). Anticipating of potential climate and land use change impacts on floods: A case study of the lower Nam Phong river basin. Water (Switzerland), *12*.

[22] Lohpaisankrit, W., Hiranwattananon, T. and Tumma, N. (2021). Application of a rainfall-runoff model for flood generation in the Huai Sangka Catchment, Thailand. Engineering and Applied Science Research, *48*, pp. 121-130.

[23] Apichitchat, S. and Jung, K. (2015). Hydrological simulation for impact assessment of Kaeng Sue Ten dam in Thailand. KSCE Journal of Civil Engineering, *19*, pp. 2325-2332.

[24] Tingsanchali, T. and Tanmanee, S. (2012). Assessment of hydrological safety of Mae Sruai Dam, Thailand. Procedia engineering.

[25] Promping, T. and Tingsanchali, T. (2022). Effects of Climate Change and Land-use Change on Future Inflow to a Reservoir: A Case Study of Sirikit Dam, Upper Nan River Basin, Thailand. GMSARN International Journal, *16*, pp. 366-376.

[26] Deb, P., Babel, M. S. and Denis, A. F. (2018). Multi-GCMs approach for assessing climate change impact on water resources in Thailand. Modeling Earth Systems and Environment, *4*, pp. 825-839.

[27] Gunathilake, M. B., Amaratunga, Y. V., Perera, A., Chathuranika, I. M., Gunathilake, A. S. and Rathnayake, U. (2020). Evaluation of Future Climate and Potential Impact on Streamflow in the Upper Nan River Basin of Northern Thailand. Advances in Meteorology, *2020*.

[28] Sharma, D. and Babel, M. S. (2018). Assessing hydrological impacts of climate change using bias-corrected downscaled precipitation in Mae Klong basin of Thailand. Meteorological Applications, *25*, pp. 384-393.

[29] Piman, T. and Babel, M. S. (2013). Prediction of rainfall-runoff in an ungauged basin: Case study in the mountainous region of Northern Thailand. Journal of Hydrologic Engineering, *18*, pp. 285-296.

[30] Bennett, T. H. (1998). Development and application of a continuous soil moisture accounting algorithm for the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), MS thesis. University of California, Davis, CA.

[31] Bennett, T. H. and Peters, J. C. (2000). Continuous Soil Moisture Accounting in the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). Building Partnerships, pp. 1-10.

[32] Chu, X. and Steinman, A. (2009). Event and Continuous Hydrologic Modeling with HEC-HMS. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, *135*, pp. 119-124.

[33] Singh, W. R. and Jain, M. K. (2015). Continuous Hydrological Modeling using Soil Moisture Accounting Algorithm in Vamsadhara River Basin, India. Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering, *4*, pp. 398-408.

[34] Wardhana, P. N. and Kusumawijaya, L. P. (2021). Gajahwong River Continuous Flow Simulation by Using Soil Moisture Accounting (SMA) of HEC HMS. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, *930*, pp. 012032.

[35] วราวุธ วุฒิวณิชย์. (2539). การคำนวณ ETo ของประเทศไทยโดยวิธี Penman - Monteith. วิศวกรรมสาร มก, ปีที่ 10, หน้า 91-105.

[36] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization (fAO) of the United Nations, Rome, Italy.

[37] เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. (2557). การใช้น้ำของพืช: ทฤษฎีและการประยุกต์. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

[38] Reichle, R. H. et al. (2019). Version 4 of the SMAP Level 4 Soil Moisture Algorithm and Data Product. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, *11*, pp. 3106-3130.

[39] Reichle, R., Koster, R., De Lannoy, G., Crow, W. and Kimball, J. (2014). Level 4 Surface and Root Zone Soil Moisture (L4_SM) Data Product. In GMAO Office Note No. 6 (Initial Version 1.3) (pp. 99).

[40] Ahbari, A., Stour, L., Agoumi, A. and Serhir, N. (2018). Estimation of initial values of the HMS model parameters: application to the basin of Bin El Ouidane (Azilal, Morocco). Journal of Materials and Environmental Sciences, *9*, pp. 305-317.

[41] El Mansouri, B. et al. (2021). Estimation of the HEC-HMS model parameters in data-scarce regions. Application to the Ouergha watershed (Sebou, Morocco). E3S Web of Conferences, *314*.

[42] Fleming, M. and Neary, V. (2004). Continuous Hydrologic Modeling Study with the Hydrologic Modeling System. Journal of Hydrologic Engineering, *9*, pp. 175-183.

[43] Hillel, D. (1971). Soil and water: physical principles and processes. Academic Press.

[44] ดิเรก ทองอร่าม. (2526). ความต้องการน้ำชลประทานและค่าชลภาระในการออกแบบระบบส่งน้ำ. ใน: เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำงานชลประทาน, สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูถัมภ์, กรุงเทพฯ, หน้า 7-103.

[45] ASCE Task Committee. (1993). Criteria for Evaluation of Watershed Models. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, *119*, pp. 429-442.

[46] Legates, D. R. and McCabe, G. J. (1999). Evaluating the use of "goodness-of-fit" Measures in hydrologic and

hydroclimatic model validation. Water Resources Research, *35*, pp. 233-241.

[47] 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 simulations. Transactions of the ASABE, *50*, pp. 885-900.

[48] Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. Journal of Hydrology, *10*, pp. 282-290.

[49] Chea, S. and Oeurng, C. (2017). Flow simulation in an ungauged catchment of Tonle Sap Lake Basin in Cambodia: Application of the HEC-HMS model. Water Utility Journal, *17*, pp. 3-17.

[50] Ouédraogo, W., Raude, J. and Gathenya, J. (2018). Continuous Modeling of the Mkurumudzi River Catchment in Kenya Using the HEC-HMS Conceptual Model: Calibration, Validation, Model Performance Evaluation and Sensitivity Analysis. Hydrology, *5*.

[51] Edijatno, De Oliveira Nascimento, N., Yang, X., Makhlouf, Z. and Michel, C. (1999). GR3J: a daily watershed model with three free parameters. Hydrological sciences journal, *44*, pp. 263-277.

[52] Perrin, C., Michel, C. and Andréassian, V. (2001). Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments. Journal of Hydrology, *242*, pp. 275-301.

[53] Perrin, C., Michel, C. and Andréassian, V. (2002). Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. La Houille Blanche, *88*, pp. 84-91.