

นิพนธ์ต้นฉบับ

ผลของการแปรผันของสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน
ต่อปริมาณน้ำท่า ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่สอย จังหวัดลำปาง

Effects of Climate Variability and Land Use Changes on Streamflow
in Mae Soi Sub-Watershed, Lampang Province

เบญญาภา สมเพระ^{1,2*}วันชัย อรุณประภารัตน์¹ปิยพงษ์ ทองดินอก¹Benyapa Somphor^{1,2*}Wanchai Arunpraparut¹Piyapong Tongdeenok¹¹คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

²สำนักจัดการป่าชุมชน กรมป่าไม้ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Community Forest Management office, Royal Forest Department, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author, E-mail: jjik119@gmail.com

รับต้นฉบับ 12 พฤษภาคม 2563

รับแก้ไข 7 กรกฎาคม 2563

รับลงพิมพ์ 8 กรกฎาคม 2563

ABSTRACT

The effects of climate variability and land use changes on streamflow was carried out in Mae Soi sub-watershed, Lampang province. The objectives were to find the land use changes and to predict land use. Using the CA-Markov Chain model, the streamflow was estimated and streamflow predicted under climate variability and greenhouse effect using the SWAT model (RCP 8.5), which is a hydrological process model. Hydrological limiting factors input into this model consisted of meteorological data (2007-2018), land use data in 2007 and 2018, Digital Elevation Model (DEM), and soil data.

The predicted land use in 2029 indicated that relative to year 2018, the forest area would decrease by 6.30%, while the area under agriculture and water would increase by 20.17% and 32.85%, respectively, with changes in other land uses would only increase slightly. The model could be used to analyze the change in average annual streamflow resulting from climate variability and could be efficiently used to estimate the streamflow. Model calibration results for the data collected from W.17 station indicated to an RMSE between 0.223-0.227 and NSE between 0.893-0.897 in 2018 and 2029, using the same set of climate data. Average annual streamflow was estimated at 168.71 and 170.87 mcm for 24.66% and 24.97% of rainfall respectively, while the ratio of dry to wet flow of 36.15% and 34.68%, respectively. Water yield was estimated at 0.23 mcm km⁻², with the streamflow in 2029 being 1.26% higher than that in 2018.

Prediction of streamflow under climate variability, greenhouse effect (RCP 8.5), and land use changes indicated that the average annual streamflow in 2050 and 2613 would be 344.86 and 372.65 mcm, the annual streamflow 39.12% and 40.39% of rainfall, respectively, higher than that in 2018 by 56.69% and 59.92%, respectively, with the ratio of dry to wet flow being 50.81% and 57.33%, respectively.

Keywords: Streamflow, Mae Soi Watershed, SWAT model, Land use, CA-Markov Chain model

บทคัดย่อ

การศึกษาของผลการแปรผันของสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าดำเนินการในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขแม่สอย จังหวัดลำปาง มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลของการแปรผันของสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า และประมาณค่าปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT รวมทั้งคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาวะก๊าซเรือนกระจกเข้มข้น (RCP 8.5) โดยอาศัยข้อมูลปัจจัยจำกัดทางอุทกวิทยา ได้แก่ ข้อมูลอุตุวิทยามหาวิทยาลัย (พ.ศ. 2550-2561) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2561 แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) และข้อมูลดิน

ผลการศึกษาพบว่า การคาดการณ์สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2572 มี พื้นที่ป่าไม้ลดลง พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 คิดเป็นร้อยละ 6.30, 20.17 และ 32.85 ตามลำดับ ในขณะที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองกระบวนการทางอุทกวิทยาที่ถูกลำเลียงมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีที่เกิดขึ้นจากสภาพภูมิอากาศ ซึ่งมีประสิทธิภาพระดับดีในการประมาณค่าปริมาณน้ำท่า ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า W.17 มีค่า RMSE เท่ากับ 0.223-0.227 และค่า N_{SE} เท่ากับ 0.893-0.897 โดยในปี พ.ศ. 2561 และพ.ศ. 2572 จากการใช้อัตราสภาพภูมิอากาศชุดเดียวกัน พบว่า มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 168.71 และ 170.87 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 24.66 และ 24.97 ของน้ำฝนเฉลี่ยรายปี และมีสัดส่วนปริมาณน้ำแล้งต่อปริมาณน้ำหลากร้อยละ 36.15 และ 34.68 ตามลำดับ โดยมีศักยภาพการให้น้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่ประมาณ 0.23 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2572 สูงกว่าปี พ.ศ. 2561 เล็กน้อย โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.26

การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศภายใต้ (RCP 8.5) กับการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน แสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในปี พ.ศ. 2593 และปี พ.ศ. 2613 มีค่าเท่ากับ 344.86 และ 372.65 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 39.12 และ 40.39 ของน้ำฝนเฉลี่ยรายปี มีค่ามากกว่าปี พ.ศ. 2561 อยู่ร้อยละ 56.69 และ 59.92 ตามลำดับ และมีสัดส่วนปริมาณน้ำแล้งต่อปริมาณน้ำหลาก สูงขึ้นเท่ากับร้อยละ 50.81 และ 57.33 ตามลำดับ

คำสำคัญ: น้ำท่า ลุ่มน้ำแม่สอย แบบจำลอง SWAT การใช้ประโยชน์ที่ดิน แบบจำลอง CA_Markov Chain

คำนำ

Ruangphanit (2014) กล่าวว่า น้ำท่า (streamflow) เป็นน้ำที่ไหลบ่าบนดินและใต้ดินไปตามภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำไหลรวมกันลงสู่แม่น้ำ ทะเล และมหาสมุทร หล่อเลี้ยงสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ได้ใช้ในการดำรงชีวิตโดยเฉพะมนุษย์มีความต้องการอย่างมาก เพื่อใช้อุปโภคบริโภค ทำการเกษตร อุตสาหกรรม พาณิชยกรรม และการคมนาคม ซึ่งแต่ละพื้นที่จะให้น้ำท่าที่แตกต่างกัน ตามสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในปัจจุบันประเทศไทยยังคงประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง และน้ำท่วมในฤดูฝนเกือบทุกปี และทวีความรุนแรงมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากขาดการจัดการลุ่มน้ำที่เหมาะสม ประกอบกับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น การขยายตัวของภาคเศรษฐกิจ ภาคการเกษตร และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน ทำให้มีความต้องการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ป่าต้นน้ำลำธารถูกบุกรุกเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่ป่าไม้ไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ชุมชน ทำให้ทรัพยากรป่าไม้ที่มีอยู่อย่างจำกัดลดลง จนก่อให้เกิดปัญหาต่อโครงสร้างการทำงาน และการบริการของระบบนิเวศต้นน้ำ เช่น การชะล้างพังทลายของดิน ศักยภาพของดินในการดูดซับน้ำและกักเก็บน้ำไว้ในชั้นใต้ดิน และการช่วยชะลอการไหลของน้ำ เป็นต้น อีกทั้งสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณและความถี่ฝนตกเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณน้ำท่า (Department of Water Resources, 2006)

ปัจจัยที่ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำท่าเปลี่ยนแปลง ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของพื้นที่ ความลาดชันของพื้นที่ การใช้ประโยชน์ที่ดินและความสามารถในการดูดซับน้ำของดิน (ปัจจัยที่ควบคุมได้) และลักษณะภูมิอากาศ (ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้) ซึ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศและสิ่งแวดล้อม (Tangtham, 2006) เพราะการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทมีผลต่อการใช้น้ำ และการคายระเหยของน้ำที่

แตกต่างกัน การวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินจึงเป็นกระบวนการสำคัญอย่างหนึ่งของการจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม โดยเมื่อมีการใช้ประโยชน์ที่ดินให้ถูกต้องเหมาะสม (land suitability) ตามศักยภาพของที่ดิน (land capability) แล้วพื้นที่นั้นๆ จะเอื้ออำนวยให้มีปริมาณน้ำท่าอย่างเหมาะสม ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ที่ดินจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า โดยการประเมินค่าหาปริมาณน้ำท่าสามารถประเมินได้โดยวิธีการตรวจวัดโดยตรง ซึ่งเป็นวิธีการที่ดีที่สุดและให้ความถูกต้องแม่นยำสูงสุด การประมาณค่าโดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยามีตั้งแต่แบบง่ายไปจนถึงแบบซับซ้อน แบบจำลองสารสนเทศลิทธิอุทกวิทยา (Soil and Water Assessment Tool; SWAT) เป็นหนึ่งในหลายแบบจำลองที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยา สามารถทำนายผลจากการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า ให้ความถูกต้องสูง ใช้ได้ทั้งกับพื้นที่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ และมีค่าความถูกต้องแม่นยำเป็นที่ยอมรับ ยังสามารถใช้เป็นแนวทางการจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำให้มีปริมาณน้ำที่เหมาะสม มีน้ำไหลสม่ำเสมอ น้ำมีคุณภาพที่ดี และมีน้ำใช้อย่างยั่งยืน จึงจำเป็นต้องศึกษาและติดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตต่อไป

การวิจัยครั้งนี้เลือกศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขามะสอย จังหวัดลำปาง เป็นลุ่มน้ำสาขาที่มีขนาดเล็กที่สุดของกลุ่มน้ำวัง วางตัวอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เป็นลุ่มน้ำสาขาหนึ่งที่มีความสำคัญต่อลุ่มน้ำวัง เนื่องจากเป็นพื้นที่ต้นน้ำลำธารของลุ่มน้ำวัง กำเนิดมาจากดอยลังกา และดอยจิกจ้องบนเทือกเขาทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (ในเขตอุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อน) (Department of Water Resources, 2005) มีพื้นที่ร้อยละ 80 เป็นพื้นที่ป่าไม้ ซึ่งลุ่มน้ำสาขามะสอยประสบปัญหาด้านอุทกภัยสม่ำเสมอทุกปี โดยเฉพาะปัญหาการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง อันเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ กิจกรรมของมนุษย์ และความแปรปรวนของสภาพ

ภูมิอากาศเป็นต้น ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักในการวิจัย เพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตปี พ.ศ. 2572 โดยใช้แบบจำลอง CA-Markov Chain และหาปริมาณน้ำท่าโดยใช้แบบจำลอง SWAT

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

Institute of Water and Agricultural Resources Information (Public Organization) (2012) รายงานว่าลุ่มน้ำสาขแม่สอย เป็นลุ่มน้ำสาขาที่มีขนาดเล็กที่สุดของลุ่มน้ำวัง ตั้งอยู่ในจังหวัดลำปาง

มีเนื้อที่ประมาณ 733.02 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 458,138 ไร่ โดยมีต้นกำเนิดมาจากดอยลังกาและดอยจิกจ้องเทือกเขาทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของลุ่มน้ำวัง (ในเขตอุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อน) แนวเขตแดนจังหวัดลำปางกับเชียงใหม่ บริเวณบ้านปางตันหนูน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง สูงจากระดับทะเลปานกลาง 286-2,400 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ตอนบนเป็นภูเขาสูงสลับซับซ้อน ปกคลุมด้วยป่าไม้ ส่วนพื้นที่ตอนล่างเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำระหว่างหุบเขา มีลำน้ำยาวรวมทั้งสิ้นประมาณ 64 กิโลเมตร ประกอบด้วยลำน้ำย่อย 4 ลำน้ำ ได้แก่ น้ำแม่มอน น้ำแม่ปาน น้ำแม่เตี๊ยะ และน้ำแม่สุก ดัง Figure 1

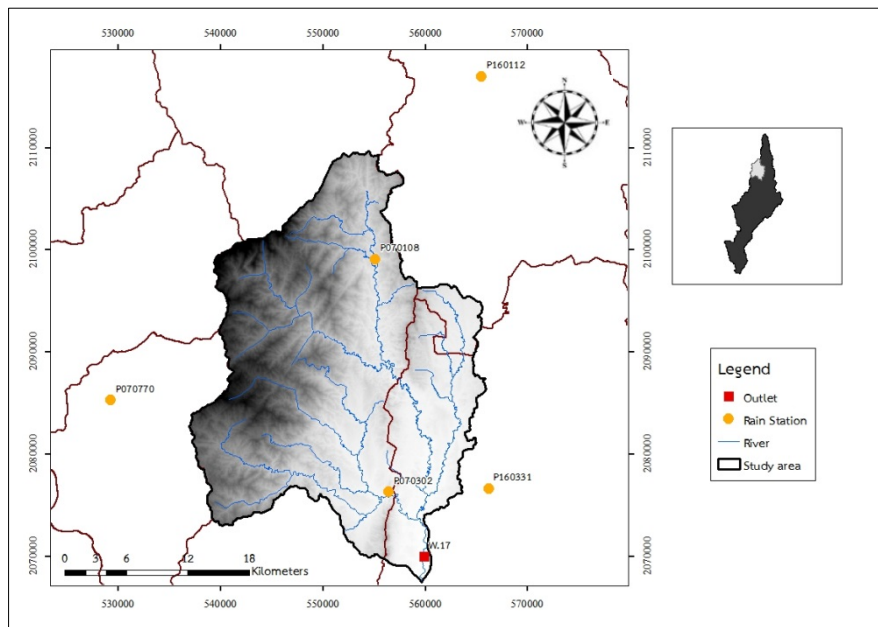


Figure 1 The study area in the Mae Soi sub-watershed, Lamphang province.

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พร้อมทั้งคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ด้วยแบบจำลอง CA-Markov Chain 2) การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT และ 3) การจำลองสถานการณ์หาปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินกับสภาพภูมิอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ข้อมูล

อุตุนิยมวิทยาจากการจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลไว้แล้วของหน่วยงานเป็นหลัก และใช้ข้อมูลปฐมภูมิเป็นข้อมูลประกอบ มีวิธีการวิจัยดังนี้

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง CA-Markov Chain

1. รวบรวมข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use map) ในปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2561

จากกรมพัฒนาที่ดินโดยจัดรวมกลุ่มข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินใหม่ ในระบบการจำแนกในระดับที่ 2 หรือการใช้ประโยชน์ที่ดินรายภาคให้เป็นตามแบบระดับ 1 จำแนกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ป่าไม้ (F) เกษตรกรรม (A) ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง (U) แหล่งน้ำ (W) และเบ็ดเตล็ด (M) จากนั้นเตรียมข้อมูลรูปแบบเวกเตอร์ (.shp) ให้เป็นรูปแบบแอสกีไฟล์ (ASCII File) โดยใช้คำสั่งโปรแกรมประมวลผลข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง CA-Markov Chain

2. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2550 กับปี พ.ศ. 2561 โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูล (overlay analysis) ด้วยโปรแกรมประมวลผลข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อให้ทราบพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง และมีการเปลี่ยนแปลงจากประเภทใดไปเป็นประเภทใด พร้อมทั้งคำนวณพื้นที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท

3. สร้างแบบจำลองคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตปี พ.ศ. 2572 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov Chain โดยนำชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2561 ที่เป็นไฟล์รูปแบบแอสกีไฟล์ (ASCII File) เรียบร้อยแล้ว ตามข้อที่ 1 นำเข้าแบบจำลอง CA-Markov Chain วิเคราะห์ค่าโอกาสความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท ในปี พ.ศ. 2572 แสดงในตารางเมตริกซ์โอกาสการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (transition probabilities) และตารางเมตริกซ์สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (transition areas) ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเป็นรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำทำด้วยแบบจำลอง SWAT

1. รวบรวมข้อมูลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่า และทำการจัดเตรียมรายละเอียดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน ประกอบด้วย ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข การใช้ประโยชน์ที่ดิน ชุดดิน สภาพภูมิอากาศ

ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจากสถานีอุทกวิทยา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ข้อมูลที่ต้องจัดเตรียม ได้แก่ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (digital elevation model; DEM) ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ (watershed data set) โคจรข่ายลำน้ำ (stream data base) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) (Land Development Department, 2018) และชุดดิน (soil series) (Land Development Department, 2010) ในรูปแบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

1.2 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (weather data) ข้อมูลที่ต้องจัดเตรียม ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝนรายวัน อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดรายวัน ความชื้นสัมพัทธ์รายวัน แสงแดดรายวัน และความเร็วลมรายวัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2561 พร้อมตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดอากาศมี 2 สถานี คือ สถานีอุตุนิยมหาวิทยาลัยราชภัฏ 328201 และสถานีอุตุนิยมหาวิทยาลัยราชภัฏกลุ่มงานอากาศเกษตรทางฉัตร รหัสสถานี 328301 (The Meteorological Department, 2018a) และตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำฝน 5 สถานี คือ สถานีบ้านช่วงกอม รหัสสถานี P070302 สถานีบ้านขาม รหัสสถานี P070108 (Department of Water Resources, 2018) สถานีอำเภอวังเหนือ รหัสสถานี P160112 สถานี W.16A รหัสสถานี P160331 และสถานีอนามย์ห้วยแก้ว อำเภอแม่ฮอน รหัสสถานี P070770 (Royal Irrigation Department, 2018) จัดเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์อักขระ (.txt)

1.3 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจากสถานีอุทกวิทยา (observed) รวบรวมเป็นข้อมูลรายวัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2561 จากกรมชลประทาน ซึ่งในพื้นที่ศึกษามี 1 สถานี คือ สถานี W.17 ณ บ้านหนองนาว ตำบลแจ้ห่ม อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง พร้อมตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดน้ำท่า มีพื้นที่รองรับน้ำ 733.02 ตารางกิโลเมตร ใช้มาเปรียบเทียบกับผลของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT

2. การประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำสาขาแม่สอย โดยใช้แบบจำลอง SWAT ประกอบด้วย 5

ขั้นตอน ได้แก่ 1) การกำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ (watershed delineate) โดยนำเข้าข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (digital elevation model; DEM) เพื่อคำนวณสภาพทางกายภาพทั่วไปของพื้นที่ เช่น ขอบเขตพื้นที่ศึกษา (watershed boundary) เส้นแนวลำน้ำ (stream line) ความลาดชัน (slope) ทิศทางการไหลของน้ำ (flow direction) ระบบโครงข่ายลำน้ำ และจุด outlet 2) การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (hydrological respond units; HRUs) โดยซ้อนทับชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชั้นข้อมูลชุดดิน และชั้นข้อมูลความลาดชัน และข้อมูลได้กำหนดรหัสตัวอักษรให้อยู่ในรูปแบบที่แบบจำลอง SWAT ต้องการ จากนั้นกำหนดหน่วยพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินข้อมูลชุดดิน และความลาดชัน ให้เหมาะสมตามลักษณะทางอุทกวิทยาของพื้นที่ที่แตกต่างกัน 3) การตั้งค่าคำนวณแบบจำลอง SWAT กำหนดลักษณะข้อมูลภูมิอากาศต่างๆ ประกอบด้วย น้ำฝน แสงแดด อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้น และความเร็วลม พร้อมด้วยไฟล์ฐานข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งสถานีที่เตรียมข้อมูลไว้ในรูปแบบข้อความ (.txt) จากนั้นทำการตั้งค่าโดยกำหนดช่วงเวลาในการคำนวณตั้งแต่ 1 มกราคม 2550 ถึง 31 ธันวาคม 2561 เพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นแบบรายวัน รายเดือน และรายปี ซึ่งจะคำนวณจากความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยนำเข้าต่อปริมาณน้ำท่า 4) การแสดงผลลัพธ์ (visualization) ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจะถูกบันทึกในรูปแบบของไฟล์ (.mdb) และ 5) การเปรียบเทียบแบบจำลอง SWAT เป็นขั้นตอนที่ทดสอบข้อมูลจากการตรวจวัดจากสถานีกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง เพื่อลดค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลให้เหลือน้อยที่สุด ถ้าไม่อยู่ในเกณฑ์ให้ทำการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลอง แล้วคำนวณซ้ำอีกด้วยพารามิเตอร์ที่ปรับค่าแล้ว เมื่อปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้ การทดสอบด้วยกราฟการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (time series plots) ใช้กราฟเส้นทแยงมุมสี่เหลี่ยมจตุรัส 45 องศา (45° linear regression line displayed) หรือเส้นของ

มุม 1:1 ค่า Nash-Sutcliffe Efficiency (N_{SE}) ดังสมการที่ 1 และค่าการตรวจสอบความถูกต้องความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง root mean square error (RMSE) ดังสมการที่ 2

$$N_{SE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{Avg})^2} \quad (1)$$

เมื่อ O_i = ค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ที่ i เมื่อ i มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง n

S_i = ค่าที่ได้จากแบบจำลองลำดับที่ i

O_{Avg} = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการวัดทั้งหมด

N_{SE} จะมีค่าอยู่ระหว่าง $-\infty$ ถึง 1 โดย $N_{SE} = 1$ คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลองเท่ากับค่าที่ได้จากการวัด $N_{SE} = 0$ คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการวัด และ $N_{SE} < 0$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการวัดดีกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}}{n-1} \quad (2)$$

โดยที่ RMSE = ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง

O_i = ค่าประมาณจากแบบจำลอง SWAT ค่าข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์

S_i = ค่าที่แท้จริงค่าข้อมูลจริงที่ได้จากการตรวจวัดจริง

n = จำนวนขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการประมาณแบบจำลอง

การจำลองสถานการณ์หาปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินกับสภาพภูมิอากาศ

1. กรณีที่ 1 วิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต (ปี พ.ศ. 2572) ที่ได้จากการคาดการณ์แบบจำลอง CA-Markov Chain กับข้อมูลสถิติฝนย้อนหลัง 12 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2561 เพื่อประมาณค่าหาปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2561 ที่ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศชุดเดียวกัน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์

ที่ดินที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า และทดสอบค่าทางสถิติ t-test เพื่อเปรียบเทียบว่าปริมาณน้ำท่ามีความสัมพันธ์กันหรือเป็นอิสระต่อกัน

2. กรณีที่ 2 วิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในปี พ.ศ. 2561 โดยกำหนดให้ใช้ข้อมูลปริมาณสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในภาวะก๊าซเรือนกระจกความเข้มข้น (RCP 8.5) ในปี พ.ศ. 2593 และปี พ.ศ. 2613 จากรายงานการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ฉบับที่ 5 ของ IPCC (The National Center for Atmospheric Research, 2011) จากนั้นนำปริมาณน้ำท่าในปีดังกล่าวเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2561 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำท่า และทดสอบค่าทางสถิติ t-test เพื่อเปรียบเทียบว่าปริมาณน้ำท่ามีความสัมพันธ์กันหรือเป็นอิสระต่อกัน

ผลและวิจารณ์

การศึกษาผลของการแปรผันของสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า ในลุ่มน้ำสาขาแม่สอยจังหวัดลำปาง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CA-Markov Chain ร่วมกับแบบจำลอง SWAT โดยนำปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่าเข้าแบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินกับสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า อธิบายผลการศึกษาดังนี้

สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินตั้งแต่ปี.พ.ศ..2550-2561

ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่สอย พบว่า มีสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับที่ 1 ตามการจำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน แบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ เกษตรกรรม ป่าไม้ ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และเบ็ดเตล็ด ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเชิงปริมาณตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2561 ดังนี้

1. การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2550 พบว่า ป่าไม้ มีเนื้อที่เท่ากับ 391,381 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 85.43 รองลงมาคือ พื้นที่เกษตรกรรม มีเนื้อที่เท่ากับ 55,274 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 12.06 ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีเนื้อที่เท่ากับ 8,834 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.93 แหล่งน้ำ มีเนื้อที่เท่ากับ 899 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.20 และเบ็ดเตล็ด มีเนื้อที่เท่ากับ 1,749 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.38

2. การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2561 พบว่า ป่าไม้ มีเนื้อที่เท่ากับ 363,767 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 79.40 รองลงมาคือ พื้นที่เกษตรกรรม มีเนื้อที่เท่ากับ 79,145 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 17.27 ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีเนื้อที่เท่ากับ 10,698 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.33 แหล่งน้ำ มีเนื้อที่เท่ากับ 3,007 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.66 และเบ็ดเตล็ด มีเนื้อที่เท่ากับ 1,520 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.33

จาก Table 1 ในระยะเวลา 11 ปี พบว่า ในปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2561 มีการใช้ประโยชน์ที่ดินครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด คือ ป่าไม้ รองลงมาได้แก่ เกษตรกรรม ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และเบ็ดเตล็ด ตามลำดับ ซึ่งป่าไม้ลดลง ส่วนเกษตรกรรม ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น โดยพื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิมมากที่สุด ร้อยละ 70.11 เนื่องจากลุ่มน้ำสาขาแม่สอยเป็นลุ่มน้ำขนาดเล็ก มีลักษณะทางกายภาพส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงสลับซับซ้อน ทำให้เมื่อฝนตกน้ำจะไหลบ่าลงสู่พื้นที่ทางตอนล่างอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่กักเก็บไว้ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้อย (Chaitham, 1987) รวมทั้งจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความต้องการใช้ที่ดินเพื่อปลูกสร้างที่อยู่อาศัย ขยายพื้นที่เพื่อทำการเกษตร และสร้างสาธารณูปโภคต่างๆ เพิ่มสูงตามแต่ด้วยพื้นที่ลุ่มน้ำมีพื้นที่ราบน้อยจึงมีการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรมและที่อยู่อาศัย ทำให้โครงสร้างของพื้นที่ลุ่มน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้งพื้นที่มีน้ำใช้เพื่ออุปโภค-บริโภค และใช้เพื่อเกษตรกรรมไม่เพียงพอ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงเข้ามาช่วยแก้ปัญหาและจัดหาแหล่งน้ำให้กับประชาชนได้นำมาใช้ (Institute of Water and Agricultural Resources Information (Public Organization), 2012)

Table 1 Land utilization and percentage change in area between 2007 and 2018 at the Mae Soi sub-watershed, Lampang province.

Land use type	2007		2018		2007 and 2018	
	Area (rai)	%	Area (rai)	%	Land use change (rai)	(%) Change in total area
Agriculture	55,273.94	12.06	79,144.81	17.27	+23,870.87	42.87
Forest	391,381.44	85.43	363,767.46	79.40	-27,613.98	49.59
Urban	8,834.40	1.93	10,698.53	2.33	+1,864.13	3.35
Water	898.59	0.20	3,006.59	0.66	+2,108.00	3.79
Miscellaneous	1,749.36	0.38	1,520.33	0.33	-229.03	0.41
Total	458,137.72	100.00	458,137.72	100.00	55,686.01	100.00

Remarks: Symbols (+ and -) indicate an increase and decrease in the area.

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากแบบจำลอง CA-Markov Chain คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตปี พ.ศ. 2572 โดยใช้ชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2561 เป็นข้อมูลฐานในการวิเคราะห์ พบว่า เมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ในปี พ.ศ. 2561 เป็นเกษตรกรรม ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และเบ็ดเตล็ด ในปี พ.ศ. 2572 มีค่าเท่ากับ 25,527, 1,088, 849 และ 206 ไร่ ตามลำดับ และยังคงสภาพเป็นป่าไม้เท่ากับ 336,099 ไร่ เกษตรกรรมในปี พ.ศ. 2561 ถูกเปลี่ยนเป็นชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และเบ็ดเตล็ด ในปี พ.ศ. 2572 มีค่าเท่ากับ 2,561, 1,573 และ 1,015 ไร่ ตามลำดับ คงสภาพเป็นป่าไม้เท่ากับ 2,561 ไร่ และยังคงเป็นเกษตรกรรม

เท่ากับ 72,357 ไร่ ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างในปี พ.ศ. 2561 ถูกเปลี่ยนเป็นแหล่งน้ำและเบ็ดเตล็ดในปี พ.ศ. 2572 มีค่าเท่ากับ 104 และ 78 ไร่ ตามลำดับ คงสภาพเป็นป่าไม้เท่ากับ 116 ไร่ และเกษตรกรรม เท่ากับ 402 ไร่ และยังคงเป็นชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเท่ากับ 9,991 ไร่ แหล่งน้ำในปี พ.ศ. 2561 ถูกเปลี่ยนเป็นเบ็ดเตล็ดในปี พ.ศ. 2572 มีค่าเท่ากับ 169 ไร่ คงสภาพเป็นป่าไม้เท่ากับ 19 ไร่ เกษตรกรรมเท่ากับ 204 ไร่ และชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเท่ากับ 11 ไร่ และยังคงเป็นแหล่งน้ำเท่ากับ 2,609 ไร่ สุดท้ายเบ็ดเตล็ดปี พ.ศ. 2561 คงเป็นสภาพป่าไม้ เกษตรกรรม ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และแหล่งน้ำ ในปี พ.ศ. 2572 มีค่าเท่ากับ 227, 646, 118 และ 116 ไร่ ตามลำดับ และยังคงเป็นเบ็ดเตล็ดเท่ากับ 421 ไร่ ดัง Table 2

Table 2 Transition land use area matrix between years 2018 to 2029 at the Mae Soi sub-watershed, Lampang province.

2018 \ 2029	Agriculture (rai)	Forest (rai)	Urban (rai)	Water (rai)	Miscellaneous (rai)
Agriculture	72,357.25	2,561.25	1,629.00	1,573.75	1,015.00
Forest	25,526.75	336,098.75	1,087.75	849.25	205.75
Urban	402.00	116.25	9,991.25	104.75	78.25
Water	204.00	19.25	10.75	2,609.50	168.75
Miscellaneous	645.75	227.25	118.00	115.50	421.00

ผลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต 11 ปีข้างหน้า (ปี พ.ศ. 2572) วิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง CA-Markov Chain พบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำแม่สาขแม่สอย มีเนื้อที่ป่าไม้เท่ากับ 340,858 ไร่ เกษตรกรรมเท่ากับ 99,136 ไร่ ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเท่ากับ 11,887 ไร่ แหล่งน้ำเท่ากับ 4,477 ไร่ และเบ็ดเตล็ดเท่ากับ 1,779 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 74.41, 21.64, 2.59, 0.98 และ 0.39 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2561 พบว่า ป่าไม้มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 22,909 ไร่ หรือร้อยละ 6.30 เกษตรกรรมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ

19,992 หรือร้อยละ 20.17 และประเภทอื่นๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2,917.55 หรือร้อยละ 6.37 ดัง Table 3 ซึ่งสอดคล้องกับ Tonsiri *et al.* (2018) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาวเพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในปี พ.ศ. 2566 พบว่า ในระยะเวลาอีก 11 ปีข้างหน้า จากปี พ.ศ. 2555-2566 พื้นที่ป่าไม้ลดลงร้อยละ 0.11 และพื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.07

Table 3 Land utilization changes between the years 2018 and 2029 at the Mae Soi sub-watershed, Lampang province.

Land use type	2018		2029		2018 and 2029	
	Area (rai)	%	Area (rai)	%	Land use change (rai)	(%) Change in total area
Agriculture	79,144.81	17.28	99,136.50	21.64	+19,991.69	43.63
Forest	363,767.46	79.40	340,858.22	74.40	-22,909.24	50.00
Urban	10,698.53	2.34	11,886.75	2.59	+1,188.22	2.59
Water	3,006.59	0.66	4,477.25	0.98	+1,470.66	3.21
Miscellaneous	1,520.33	0.33	1,779.00	0.39	+258.67	0.56
Total	458,137.72	100.00	458,137.72	100.00	45,818.48	100.00

Remarks: Symbols (+ and -) indicate an increase and decrease in area.

การประมาณค่าปริมาณน้ำทำด้วยแบบจำลอง SWAT

การประมาณค่าปริมาณน้ำทำจากแบบจำลอง SWAT บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่สอย โดยใช้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำทำได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ชุดดิน ปริมาณน้ำฝนรายวัน และสภาพภูมิอากาศ ทำการประมาณผลปริมาณน้ำทำในปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2561 จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของแบบจำลอง แล้วทำการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ แล้วนำค่าสัมประสิทธิ์ในแต่ละพารามิเตอร์มาทำการประมาณค่าปริมาณน้ำทำในแต่ละกรณีของเหตุการณ์จำลอง (scenario) โดยมีการจำลองเหตุการณ์ไว้ 2 กรณี ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ต่อปริมาณน้ำทำอธิบายผลการศึกษาดังนี้

1. พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อแบบจำลอง และทำการปรับเทียบข้อมูลปริมาณน้ำทำ

จาก Table 4 ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อแบบจำลอง SWAT พบว่า พารามิเตอร์ที่มีค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อปริมาณน้ำทำในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่สอยมากที่สุด ได้แก่ ค่า curve number (CN2) เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์

น้ำไหลบ่าบนผิวดินโดยตรง เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างความยากง่ายของน้ำในการซึมผ่านชั้นดิน (soil's permeability) กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน และสถานะของน้ำในดินที่มีอยู่เดิม (antecedent soil water conditions) จึงส่งผลต่อปริมาณน้ำทำมากที่สุด รองลงมา แบ่งเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับน้ำใต้ดิน ได้แก่ ค่าปัจจัยการไหลพื้นฐาน (ALPHA_BF) เป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงการไหลพื้นฐานในชั้นให้น้ำใต้ดิน ความล่าช้าของปริมาณน้ำใต้ดิน (GW_DELAY) เป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมจำนวนวันที่น้ำไหลออกจากใต้ดิน และค่าระดับความลึกของน้ำในชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น (GWQMN) เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ shallow aquifer ทำให้เกิดการไหลของน้ำใต้ดินที่ไหลจาก shallow aquifer เป็นปริมาณน้ำไหลกลับ (return flow) พารามิเตอร์เกี่ยวกับหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา ได้แก่ ค่าการกักเก็บน้ำสูงสุดบนผิวน้ำ (Canmx) และสุดท้ายพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับดิน ได้แก่ ค่าความสามารถการนำน้ำของดิน (Soil_K) เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกการไหลของน้ำใต้ดินที่มีความอิ่มตัวของน้ำ และค่าปริมาณน้ำที่ดินสามารถเก็บไว้ได้ (Soil_AWC) เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกปริมาณน้ำที่ดินสามารถเก็บน้ำไว้ได้ (ดินอุ้มน้ำ)

Table 4 Summary of the sensitivity analysis of the SWAT model parameters.

No.	Parameter	Definition	Default
1	CN2	the Curve number	-10 - 10
2	ALPHA_BF	the Baseflow alpha factor. (days)	0.01 - 1
3	GW_DELAY	the Groundwater delay. (days)	0 - 500
4	GWQMN	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur. (mm)	0 - 5,000
5	Canmx	Maximum canopy storage	0 - 15
6	Soil_K	Saturated hydraulic conductivity	0 - 2,000
7	Soil_AWC	the Available water capacity of the soil layer. (mm H ₂ O/mm Soil)	0 - 1

โดยผลการเปรียบเทียบด้วยกราฟการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (time series plots) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2561 พบว่า รูปของกราฟมีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน และปริมาณน้ำท่าขึ้นลงใกล้เคียงกัน ดัง Figure 2 และผลการทดสอบด้วยกราฟเส้นทแยงมุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส 45 องศา (45° linear regression line displayed) หรือเส้นของมุม 1:1 ดัง Figure 3 ส่วนค่า Nash-Sutcliffe Efficiency (N_{SE}) และค่าการตรวจสอบความถูกต้องความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง root mean

square error (RMSE) ซึ่งผลการทดสอบมีค่า N_{SE} เท่ากับ 0.893-0.897 และค่า RMSE เท่ากับ 0.223-0.227 โดยบ่งชี้ประสิทธิภาพของแบบจำลองว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ยอมรับได้สอดคล้องกับ Sangkhathanano *et al.* (2018) ที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT ในการจำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำวัง พบว่า แบบจำลองมีประสิทธิภาพในการจำลองปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำวังในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยเฉพาะในลุ่มน้ำย่อยที่ไม่มีเขื่อน

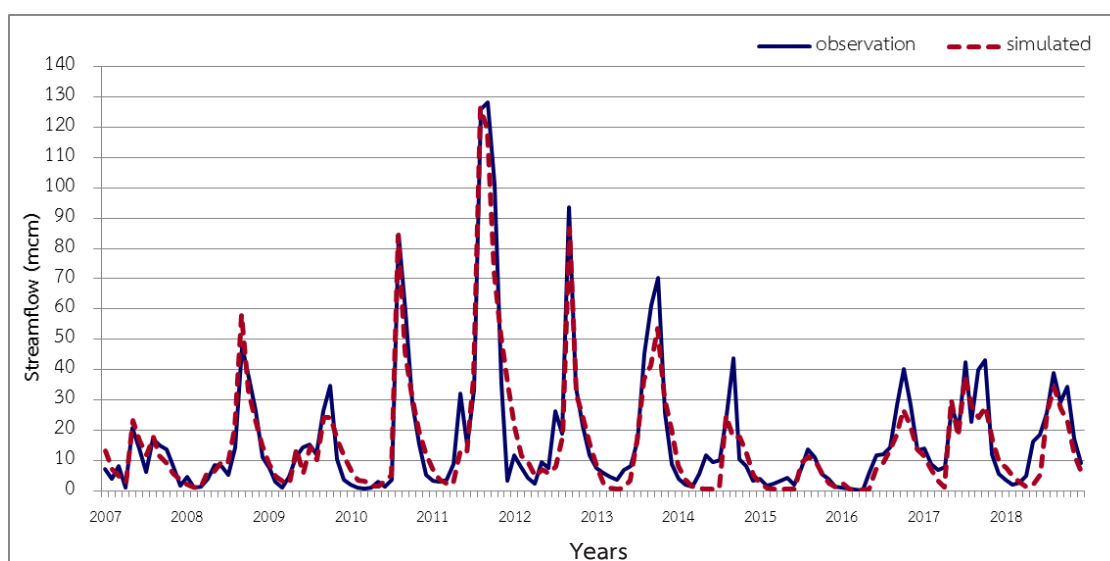


Figure 2 Streamflow variability simulated by the SWAT model and the respective measured data between 2007-2018.

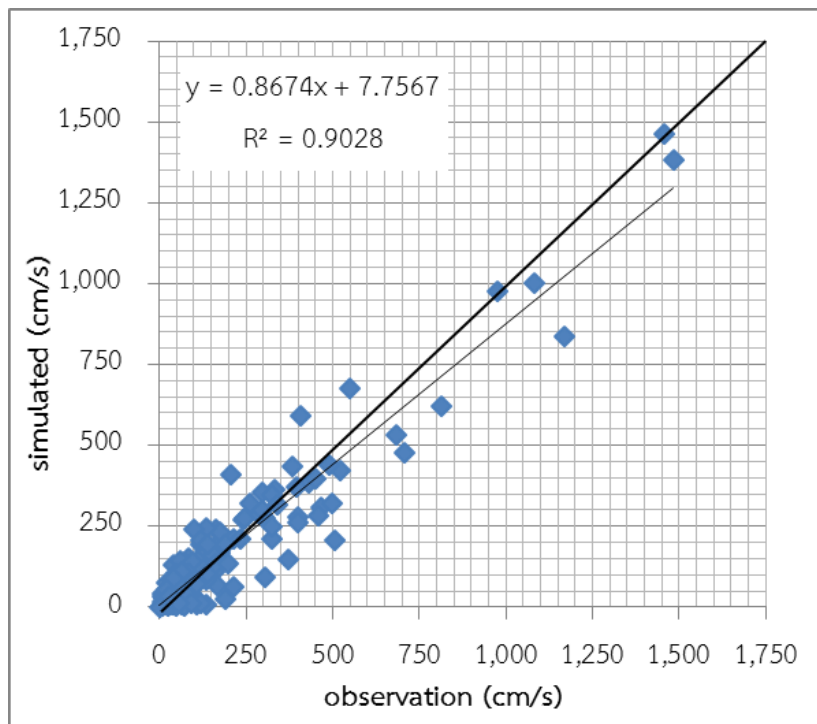


Figure 3 The relationship of streamflow between simulation by SWAT model and observation data during 2007-2018.

2. ปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่สอย ปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2561

ผลการศึกษาปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2561 พบว่า ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง (simulated) โดยรวมทั้งปีเท่ากับ 129.26 และ 151.41 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือ 176.34 และ 206.55 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 29.82 และ 27.05 ของน้ำฝนรายปี ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจริง (observation) พบว่า ในปี พ.ศ. 2550 มีค่ามากกว่า การตรวจวัดจริงเท่ากับ 12.57 ล้านลูกบาศก์เมตร และ ในปี พ.ศ. 2561 มีค่าน้อยกว่าการตรวจวัดจริงเท่ากับ 51.32 ล้านลูกบาศก์เมตร แตกต่างกันคิดเป็นร้อยละ 9.73 และ 25.31 ตามลำดับ โดยในปี พ.ศ. 2550 มี ปริมาณน้ำท่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคมเท่ากับ 22.60 ล้านลูกบาศก์เมตร และต่ำสุดในเดือนเมษายนเท่ากับ 2.74 ล้านลูกบาศก์เมตร ส่วนในปี พ.ศ. 2561 มี

ปริมาณน้ำท่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมเท่ากับ 34.32 ล้านลูกบาศก์เมตร และต่ำสุดในเดือนเมษายน เท่ากับ 1.17 ล้านลูกบาศก์เมตร เมื่อแบ่งเป็นปริมาณน้ำท่าฤดู น้ำหลาก (wet period) (พ.ค.-ต.ค.) พบว่า ปี พ.ศ. 2561 มีปริมาณน้ำท่าช่วงน้ำหลากมากที่สุดเท่ากับ 117.35 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งในปี พ.ศ. 2550 มีปริมาณน้ำท่า ฤดูน้ำหลากเท่ากับ 90.70 ล้านลูกบาศก์เมตร และมี ปริมาณน้ำท่าช่วงน้ำแล้ง (dry period) (พ.ย.-เม.ย.) ต่างกันเพียงเล็กน้อย เท่ากับ 38.56 และ 34.06 ล้าน ลูกบาศก์เมตร และทดสอบค่าทางสถิติโดยใช้วิธี t-test ทดสอบปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2561 และปี พ.ศ. 2572 ปริมาณน้ำท่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดัง Table 5

ทั้งนี้อธิบายได้ว่า ปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2561 มีปริมาณน้ำท่ามากกว่าปี พ.ศ. 2550 เนื่องจากในปี พ.ศ. 2561 เป็นปีที่มีปริมาณฝนตกสูงกว่าค่าปกติประมาณ

ร้อยละ 5 โดยเฉพาะช่วงเดือนมกราคมที่เป็นช่วงฤดูแล้ง นอกจากนั้น ในปีนี้ยังมีพายุไซร่อน (เบบินคา) เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยทางภาคเหนือ (The Meteorological Department, 2018b) ส่งผลให้ฝนตกหนักช่วงเดือนสิงหาคม ปริมาณน้ำท่าค่อยๆ สะสมเพิ่มสูงในเดือนนี้ ซึ่งส่วนใหญ่แนวโน้มปริมาณน้ำท่าจะแปรผันตามปริมาณน้ำฝนแต่ละเดือนที่ตกลงมา แต่เนื่องจากฝนตกลงมาในปริมาณที่มากกว่าการแทรกซึมลงสู่ดิน (Mishra and Singh, 2003) ทำให้ช่วงเดือนสิงหาคมมีปริมาณน้ำท่า

สูงเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในช่วงระยะเวลา 11 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ที่เปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรมถึงร้อยละ 50 ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลง การทำลายป่าธรรมชาติ ทำให้น้ำท่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งปริมาณและความรุนแรงในการไหล แต่ในทางตรงกันข้าม ช่วงระยะเวลาในการไหลของน้ำท่าจะมีค่าน้อยลง ทำให้ความแห้งแล้งยาวนานมากขึ้น (Witthawatchutikul and Jirasuktaveekul, 2001).

Table 5 Comparison of monthly streamflow between 2007 and 2018.

Months	2007		Rainfall (mm)	2018		Rainfall (mm)
	streamflow (mcm)			streamflow (mcm)		
	amount			amount		
	observation	simulated		observation	simulated	
January	7.33	13.63	8.40	3.60	7.64	32.06
February	3.82	7.32	22.42	1.96	4.80	9.40
March	8.08	4.84	9.74	2.59	2.84	8.96
April	1.03	2.74	73.12	4.93	1.16	82.80
May	20.92	22.60	212.94	16.38	2.04	223.68
June	13.99	16.23	115.98	18.38	5.38	164.84
July	6.30	12.45	0.00	25.68	25.95	118.82
August	17.11	17.58	131.94	38.86	34.32	133.60
September	14.81	12.07	129.36	29.34	27.21	119.18
October	13.79	9.77	77.70	34.52	22.45	120.14
November	7.85	6.14	25.10	17.30	11.52	19.30
December	1.67	3.89	0.00	9.18	6.09	9.04
Total Runoff	116.69	129.26	806.70	202.72	151.41	1,041.82
wet period	86.91	90.70	667.92	163.16	117.35	880.26
dry period	29.78	38.56	138.78	39.56	34.06	161.56
(%) dry period/wet period (Year)	34.24	42.51	79.22	24.24	29.02	81.65
(%) streamflow /Rainfall (Year)	19.73	21.86	-	26.54	27.05	-

3. การจำลองเหตุการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำท่า

3.1 กรณีที่ 1 ประเมินค่าปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต (ปี พ.ศ. 2572) ที่ได้จากการคาดการณ์แบบจำลอง CA-Markov Chain กับสภาพภูมิอากาศย้อนหลัง 12 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2561 พบว่า มีปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองรวมตลอดปีเท่ากับ 170.87 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือ 233.10 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 24.97 ต่อน้ำฝนรายปี มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดในเดือนกันยายนเท่ากับ 38.87 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำท่าต่ำสุดในเดือนเมษายน เท่ากับ 1.64 ล้านลูกบาศก์เมตร แบ่งเป็นปริมาณน้ำท่าช่วงฤดูน้ำหลาก (wet period) (พ.ค.-ต.ค.) เท่ากับ 126.87 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 74.25 ต่อปริมาณน้ำท่ารายปีและ

มีปริมาณน้ำท่าช่วงฤดูน้ำแล้ง (dry period) (พ.ย.-เม.ย.) เท่ากับ 44 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 25.75 ต่อปริมาณน้ำท่ารายปีเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2561 ซึ่งใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนชุดเดียวกัน พบว่า ในปี พ.ศ. 2572 มีปริมาณน้ำท่ามากกว่าปี พ.ศ. 2561 เท่ากับ 2.16 ล้านลูกบาศก์เมตร แสดงให้เห็นว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าเพียงเล็กน้อย แต่สามารถอธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าได้ว่า เมื่อป่าไม้ลดลงปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นและเกษตรกรรมเพิ่มปริมาณน้ำท่าก็จะเพิ่มตาม เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้สถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ปริมาณน้ำท่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดัง Table 6

Table 6 Monthly variation of streamflow during 2018 and 2029 at the Mae Soi sub-watershed, Lampang province.

Months	2018	2029	Rainfall amount (mm)
	streamflow (mcm)	streamflow (mcm)	
January	7.08	7.05	19.37
February	3.40	3.28	6.23
March	2.18	2.13	24.24
April	1.59	1.64	68.91
May	7.84	8.41	177.94
June	6.06	6.22	113.17
July	12.19	12.77	119.53
August	31.61	32.55	148.06
September	37.88	38.87	166.65
October	28.34	28.05	83.41
November	18.82	18.57	5.12
December	11.71	11.32	0.76
Total Runoff	168.71	170.87	933.38
wet period	123.92	126.87	808.75
dry period	44.79	44.00	124.63
(%) wet period/dry period (Year)	36.15	34.68	15.41
(%) streamflow /Rainfall (Year)	24.66	24.97	-

3.2 กรณีที่ 2 ประมาณค่าปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน กรณีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จากรายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศฉบับที่ 5 (Intergovernment Panel on Climate Chang; IPCC) กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ (1) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ภาวะก๊าซเรือนกระจกความเข้มข้น (RCP 8.5) ช่วงเวลา: พ.ศ. 2593 (ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2584-2603) และ (2) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ภาวะก๊าซเรือนกระจกความเข้มข้น (RCP 8.5) ช่วงเวลา: พ.ศ. 2613 (ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2604-2624) อธิบายผลการศึกษาดังนี้

3.2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ภาวะก๊าซเรือนกระจกความเข้มข้น (RCP 8.5) ช่วงเวลา: พ.ศ. 2593 (ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2584-2603) จากการประมาณปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ในปีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศใน

อนาคต ภาวะก๊าซเรือนกระจก (RCP 8.5) ช่วงเวลา: พ.ศ. 2593 (ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2584-2603) พบว่า มีปริมาณน้ำท่าโดยรวมตลอดปีเท่ากับ 344.86 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือ 470.46 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 39.12 ต่อปริมาณน้ำฝน มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดในเดือนตุลาคมเท่ากับ 85.82 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำท่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 0.01 ล้านลูกบาศก์เมตร และเดือนที่ไม่มีน้ำท่าหรือมีน้ำท้าน้อย ได้แก่ เดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน แบ่งเป็นปริมาณน้ำท่าช่วงฤดูน้ำหลาก (wet period) (พ.ค.-ต.ค.) เท่ากับ 228.67 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 66.31 ต่อปริมาณน้ำท่ารายปี และปริมาณน้ำท่าช่วงน้ำแล้ง (dry period) (พ.ย.-เม.ย.) เท่ากับ 116.19 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 33.69 ต่อปริมาณน้ำท่ารายปี เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดจริงจากสถานีในปีปัจจุบัน (พ.ศ. 2561) มีปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 142.14 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือร้อยละ 41.22 ดัง Table 7

Table 7 Monthly variation of simulated streamflow and rainfall amount between the years 2018, 2050, and 2070 at the Mae Soi sub-watershed, Lampang province.

Months	2018		2050		2070	
	streamflow (mcm)	Rainfall amount (mm)	streamflow (mcm)	Rainfall amount (mm)	streamflow (mcm)	Rainfall amount (mm)
January	3.60	32.06	0.00	30.01	0.00	15.38
February	1.96	9.40	0.01	6.10	0.00	9.41
March	2.59	8.96	0.00	18.54	0.00	19.22
April	4.93	82.80	0.00	54.60	0.00	58.38
May	16.38	223.68	0.00	82.83	0.00	93.56
June	18.38	164.84	0.06	120.54	0.07	111.24
July	25.68	118.82	9.37	212.60	13.85	217.00
August	38.86	133.60	57.55	296.36	59.83	280.55
September	29.34	119.18	75.87	228.78	76.93	226.80
October	34.52	120.14	85.82	104.66	86.17	156.43
November	17.30	19.30	69.12	34.14	77.60	48.42
December	9.18	9.04	47.06	13.33	58.19	22.32
Total Runoff	202.72	1,041.82	344.86	1,202.49	372.65	1,258.70
wet period	163.16	880.26	228.67	1,045.77	236.86	1,085.57
dry period	39.56	161.56	116.19	156.72	135.79	173.12
(%) dry period/wet period (Year)	24.25	81.65	50.81	85.02	57.32	84.05
(%) streamflow /Rainfall (Year)	26.55	-	39.12	-	40.39	-

3.2.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
ในอนาคต ภาวะก๊าซเรือนกระจกความเข้มข้น (RCP 8.5)
ช่วงเวลา: พ.ศ. 2613 (ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2604-2624)

จากการประมาณปริมาณน้ำท่าด้วยแบบ
จำลอง SWAT ในปีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศใน
อนาคต ภาวะก๊าซเรือนกระจก (RCP 8.5) ช่วงเวลา: พ.ศ.
2613 (ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2604-2624) พบว่า มีปริมาณ
น้ำท่าโดยรวมตลอดปีเท่ากับ 372.65 ล้านลูกบาศก์เมตร

หรือ 508.38 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 40.39 ต่อ
ปริมาณน้ำฝน มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดในเดือนตุลาคม
เท่ากับ 86.17 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำท่าต่ำสุดใน
เดือนมิถุนายนเท่ากับ 0.07 ล้านลูกบาศก์เมตร และเดือน
ที่ไม่มีน้ำท่าหรือมีน้ำท้าน้อย ได้แก่ เดือนมกราคมถึง
เดือนพฤษภาคม แบ่งเป็นปริมาณน้ำท่าช่วงฤดูน้ำหลาก
(wet period) (พ.ค.-ต.ค.) เท่ากับ 236.86 ล้านลูกบาศก์
เมตร คิดเป็นร้อยละ 63.56 ต่อปริมาณน้ำท่ารายปี และ

ปริมาณน้ำท่าช่วงน้ำแล้ง (dry period) (พ.ย.-เม.ย.) เท่ากับ 135.79 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 36.44 ต่อปริมาณน้ำท่ารายปี เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดจริงจากสถานีในปีปัจจุบัน (พ.ศ. 2561) มีปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 169.93 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือร้อยละ 45.60 ดัง Table 7

ทั้งนี้อธิบายได้ว่า ปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปี พ.ศ. 2593 มีค่าน้อยกว่าปี พ.ศ. 2613 เท่ากับ 27.72 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือร้อยละ 7.46 โดยใช้การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2561 เป็นฐานในการวิเคราะห์ เนื่องจากในปี พ.ศ. 2613 มีฝนตกมากกว่าปี พ.ศ. 2593 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำท่าแปรผันตามปริมาณน้ำฝน มีปริมาณน้ำท่ารายปีเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 ร้อยละ 41.22 และ 45.60 ตามลำดับ และทดสอบค่าทางสถิติโดยใช้วิธี t-test ทดสอบปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2593 และปี พ.ศ. 2613 แตกต่างจากปี พ.ศ. 2561 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สังเกตได้ว่า ปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2593 กับปี พ.ศ. 2613 สูงกว่าปี พ.ศ. 2561 มาก เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลสถิติย้อนหลัง พบว่า ปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2593 กับปี พ.ศ. 2613 มีค่าใกล้เคียงปี พ.ศ. 2554 ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 483.25 ล้านลูกบาศก์เมตร เนื่องจากเป็นปีที่ฝนมาเร็วกว่าปกติ ทำให้ปริมาณน้ำฝนสะสมตั้งแต่เดือนมกราคมจนถึงเดือนตุลาคมสูงถึงร้อยละ 35 เป็นผลมาจากปรากฏการณ์ลานินญา ในช่วงครึ่งปีแรกค่อนข้างแรง โดยเฉพาะเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ฝนตกมีค่าสูงกว่าปกติมาก แล้วเริ่มกลับเข้าสู่ภาวะปกติในเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน และกลับมาอีกครั้งช่วงปลายปี รวมตลอดปีมีปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 1,270.68 มิลลิเมตร โดยปี พ.ศ. 2554 เป็นปีที่ประเทศไทยประสบปัญหาอุทกภัยอย่างรุนแรง ฉะนั้นถ้าหากเป็นเช่นนั้นในปี พ.ศ. 2593 และปี พ.ศ. 2613 อาจเกิดความเสียหายที่จะเกิดอุทกภัยครั้งรุนแรงอีกครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Prueksawan and Nimma (1999) ที่กล่าวว่า ในปีที่เกิดปรากฏการณ์ลานินญา ปริมาณน้ำฝน

ของประเทศไทยส่วนใหญ่สูงกว่าค่าปกติ และปรากฏการณ์ลานินญาที่มีขนาดปานกลางถึงรุนแรง ส่งผลให้ปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยสูงกว่าปกติมากขึ้น

สรุป

พื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่สอย จังหวัดลำปาง มีเนื้อที่ 458,137 ไร่ หรือ 733.02 ตารางกิโลเมตร มีการใช้ประโยชน์ที่ดินแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ เกษตรกรรม ป่าไม้ ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และเบ็ดเตล็ด ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ คิดเป็นร้อยละ 81.90 เนื่องจากสภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูงสลับซับซ้อนและที่ราบหุบเขา อยู่ในเขตพื้นที่อุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อน ซึ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2561 พบว่า แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่มากที่สุดเพิ่มขึ้น ร้อยละ 70.11 รองลงมาคือ เกษตรกรรมเพิ่มขึ้นร้อยละ 30.16 และชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 17.42 ส่วนเบ็ดเตล็ดลดลง ร้อยละ 13.09 และป่าไม้ลดลง ร้อยละ 7.06 โดยเฉพาะในช่วง 7 ปีแรก (พ.ศ. 2550-2556) จำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้น และด้วยลักษณะทางกายภาพของพื้นที่มีขนาดเล็กเป็นภูเขาสูง จึงเกิดการกัดเซาะพื้นผิวดินเป็นร่องน้ำขนาดต่างๆ รวมทั้งมีการจัดหาแหล่งน้ำเพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ให้เพียงพอต่อความต้องการในทุกกิจกรรมของการใช้น้ำ และเมื่อทำการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2572 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov Chain พบว่า ป่าไม้มีพื้นที่เท่ากับ 340,858 ไร่ หรือร้อยละ 74.40 ของพื้นที่ทั้งหมด ลดลงจากปี พ.ศ. 2561 คิดเป็นร้อยละ 6.30 ส่วนเกษตรกรรมมีพื้นที่เท่ากับ 99,137 ไร่ หรือร้อยละ 21.64 ของพื้นที่ทั้งหมด เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 คิดเป็นร้อยละ 20.17 และอื่นๆ มีพื้นที่เท่ากับ 18,143 ไร่ หรือร้อยละ 3.96 ของพื้นที่ทั้งหมด เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 คิดเป็นร้อยละ 16.08

จากแบบจำลอง SWAT ในปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2561 มีปริมาณน้ำท่ารวมตลอดทั้งปี เท่ากับ

129.26 และ 151.41 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือ 0.18 และ 0.21 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 21.86 และ 19.83 ของน้ำฝนรายปี ตามลำดับ โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 806.70 และ 1,041.82 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณน้ำท่าจะแปรผันตามปริมาณน้ำฝน กล่าวคือ เมื่อน้ำฝนเพิ่มน้ำท่าก็เพิ่มขึ้นตาม เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด โดยใช้ค่า Nash-Sutcliffe Efficiency (N_{SE}) มีค่าเท่ากับ 0.893-0.897 และค่าการตรวจสอบความถูกต้องความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง root mean square error (RMSE) มีค่าเท่ากับ 0.223-0.227 บ่งชี้ว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพดียอมรับได้ แสดงว่าเหมาะสมที่จะใช้เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่สอยได้ จากนั้นจึงจำลองเหตุการณ์ 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 ปริมาณค่าปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2561 และปี พ.ศ. 2572 กับสภาพภูมิอากาศย้อนหลัง (พ.ศ. 2550-2561) พบว่า ในปี พ.ศ. 2572 มีปริมาณน้ำท่าสูงกว่าปี พ.ศ. 2561 เท่ากับ 2.16 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 1.26 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อธิบายได้ว่า เมื่อป่าไม้ลดลงปริมาณน้ำท่ารายปีเพิ่มขึ้น และเกษตรกรรมเพิ่มปริมาณน้ำท่าก็จะเพิ่มตาม ส่วนในกรณีที่ 2 ได้แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ภาวะก๊าซเรือนกระจกความเข้มข้น (RCP 8.5) ช่วงเวลา: พ.ศ. 2593 (ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2584-2603) และช่วงเวลา: 2613 (ค่าเฉลี่ยปี พ.ศ. 2604-2624) พบว่าปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2613 มีค่าสูงกว่าปี พ.ศ. 2593 ร้อยละ 7.46 และเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 ร้อยละ 41.22 และ 45.60 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปี พ.ศ. 2561 โดยในปี พ.ศ. 2593 และปี พ.ศ. 2613 มีปริมาณน้ำท่าใกล้เคียงกับปี พ.ศ. 2554 ซึ่งเป็นปีที่เกิดอุทกภัยครั้งรุนแรงในประเทศไทย เป็นปีที่เกิดจากปรากฏการณ์ลานินญา จึงคาดการณ์ได้ว่าทั้ง 2 ปีดังกล่าวในอนาคตอาจจะประสบปัญหาอุทกภัย

ดังกล่าวได้อีกครั้ง หากยังมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่อย่างไม่เหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ และไม่มีการจัดการบริหารน้ำที่ดี

REFERENCES

- Chaitham, W. 1987. **Hydrology**. 2nd Ed. Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen. (in Thai)
- Department of Water Resources. 2005. **Study and Survey on Hydrological Station Design 25 Watershed of Thailand Project**. Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok. (in Thai)
- _____. 2006. **Integrated Water Resources Management Plan Project in the Wang Watershed**. Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok. (in Thai)
- _____. 2018. **Meteorology Data and Rain Station**. Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok. (in Thai)
- Institute of Water and Agricultural Resources Information (Public Organization). 2012. **Data Collection and Analysis data Project of 25 Basin and Flood Drought Model, Wang River Basins**. Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok. (in Thai)
- Land Development Department. 2010. **Soil Group Data**. Soil Resources Survey and Research Division, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai)
- _____. 2018. **Land Use Data**. Land Policy and Planning Division, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai)

- Mishra, S.K. and V.P. Singh. 2003. **Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Prueksawan, M. and S. Nimma. 1999. **The Influence of La Nina Events on Rainfall and Temperature Patterns over Thailand**. Meteorological Department Ministry of Transport, Bangkok. (in Thai)
- Ruangphanit, N. 2014. **Watershed Management**. 4th ed. Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Royal Irrigation Department. 2018. **Rainfall Data and Rain Station**. Available Source: <https://www.hydro-1.net/main/3-RAIN.php>, May 25, 2018. (in Thai)
- Sangkhatananon, P., C. Chotamonsak and P. Dhanasin. 2018. Performance of SWAT hydrologic model for runoff simulation in Wang River Basin. **The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok** 28(4): 869-880.
- Tangtham, N. 2006. **Watershed Management and Environment System Modeling**. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- The Meteorological Department. 2018a. **Weather station in Thailand**. Ministry of Information and Communication Technology. Bangkok. (in Thai)
- _____. 2018b. **Tropical storm "Bebinca"**. Available Source: <https://www.thaiwater.net/current/2018/bebinca/bebinca2018.html>, April 20, 2019. (in Thai)
- The National Center for Atmospheric Research. 2011. **Visualize Possible Temperature and Precipitation Changes**. Available Source: gisclimatechange.ucar.edu, April 10, 2019. (in Thai)
- Tonsiri, S., W. Arunpraparut and W. Khunrattanasiri. 2018. Application of CA-Markov model to predict land use changes in Khao Soi Dao wildlife sanctuary, Chanthaburi province. **Thai Journal of Forestry** 37(2): 138-150. (in Thai)
- Witthawatchutikul, P. and W. Jirasuktaveekul. 2001. Synthetic hydrograph of disturbed watershed. **Journal of Thai Forestry Research** 3(2): 130-138.