

การเตือนภัยจากระดับน้ำในทะเลสาบล่งหน้าด้วยข้อมูลการตรวจวัดฝนทั่วโลก:
กรณีศึกษาทะเลสาบหนองหาร

Early Warning of Lake Level Fluctuations using Global Precipitation Measurement Data: A Case Study Nong Han Lake

ประวิทย์ อ่วงอารีย์^{1*} ชัยณรงค์ เพียรภาณุ¹ และทรงพล ประโยชน์¹

Prawit Ung-aree^{1*} Chainarong Pianpailoo¹ and Songphon Prayochme¹

Received: April 30, 2019; Revised: July 12, 2019; Accepted: July 24, 2019

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ข้อมูลการตรวจวัดฝนทั่วโลก (จีพีเอ็ม) ในการเตือนภัยล่วงหน้าจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในทะเลสาบหนองหาร โดยทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างตัวแปรนำเข้า ได้แก่ ระดับน้ำในวันปัจจุบัน อัตราการระบายน้ำ อัตราการระเหย ปริมาณฝน และข้อมูลจีพีเอ็มกับตัวแปรเป้าหมาย คือ ดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้น อีกทั้งยังสร้างตัวแบบการทำนายด้วยการจัดการข้อมูลวิธีกลุ่มแบบเครือข่ายประสาท (GMDH-Type Neural Networks) ผลการศึกษาพบว่าการขึ้นลงของน้ำในทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นมีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับระดับน้ำในวันปัจจุบันและอัตราการระบายน้ำ มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางค่อนข้างต่ำกับอัตราการระเหย ปริมาณฝนและข้อมูลจีพีเอ็ม นอกจากนี้การประเมินผลลัพธ์การทำนายของตัวแบบที่ได้ด้วยข้อมูลที่ตัวแบบไม่เคยพบมาก่อน พบว่าตัวแบบนี้มีประสิทธิภาพในการทำนายค่อนข้างสูง โดยมีความเที่ยงตรงของการทำนายเท่ากับร้อยละ 90.5 แสดงให้เห็นว่าการใช้ข้อมูลจีพีเอ็มมีศักยภาพในการนำมาใช้งานเตือนภัยจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในทะเลสาบ

คำสำคัญ : การสำรวจระยะไกล; ทรัพยากรธรรมชาติ; การเปลี่ยนแปลงโลก; ภัยพิบัติ; จีเอ็มดีเอช

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

¹ Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University

* Corresponding Author E - mail Address: prawit@snru.ac.th

Abstract

This research investigated the possibility of using Global Precipitation Measurement Data (GPM) for early warning of Nong Han level fluctuations. The simple correlations between the input variables (such as the current lake level, the outflow rate, the evaporation rate, the daily precipitation, and the GPM data) and a target variable (the early-warning index of Nong Han lake level-fluctuations) were examined. Moreover, the early-warning model of level fluctuations hazard was developed, using GMDH-type neural networks. The results indicated that the correlations between of Nong Han level fluctuations with the current lake level and the outflow rate are high; and, the interrelationship between evaporation rate, the daily precipitation, and the GPM data is medium-low. The model evaluation, which uses blind data show the high ability of model with 90.5 % accuracy. The GPM data, thus, represents a helpful tool for early warning of lake level fluctuations.

Keywords: Remote Sensing; Natural Resources; Global Change; Disaster; GMDH

บทนำ

ภัยพิบัติทางธรรมชาติอย่างสุดซึ้งเป็นสภาวะการณ์ที่ทุกภูมิภาคของโลกกำลังเผชิญหน้า ทุกประเทศในทุกทวีป ต่างได้รับหรือเคยได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติทางธรรมชาติที่มีความรุนแรงทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยมีความถี่และรุนแรงมากขึ้นกว่าครั้งอดีต ภัยพิบัติทางธรรมชาติเหล่านี้ไม่ว่าจะเป็นอุทกภัย วาตภัย แผ่นดินไหว แผ่นดินถล่มหรือภัยแล้ง ต่างก็ส่งผลกระทบต่อมนุษย์อย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งภัยจากน้ำ ซึ่งสามารถทำลายทั้งชีวิต ทรัพย์สิน เศรษฐกิจและสังคมอย่างเป็นวงกว้าง เนื่องจากทุกอารยธรรมต่างมีน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงอยู่ทั้งสิ้น ยิ่งกว่านั้นประเทศด้อยพัฒนาและกำลังพัฒนามีแนวโน้มที่ได้รับผลกระทบที่สูงกว่าประเทศพัฒนาแล้ว เนื่องจากไม่สามารถปรับตัวหรือจัดการบริหารความเสี่ยงเพื่อรับมือกับภัยเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1]

การบริหารความเสี่ยงจากน้ำเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดผลกระทบจากภัยของน้ำที่มีต่อพื้นที่เสี่ยง แม้มนุษย์ไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำฝนที่ตกได้แต่สามารถบริหารจัดการความเสี่ยง โดยการเตรียมตัวรับมือกับภัยพิบัติเพื่อบรรเทาภัยจากหนักสู่เบา การบริหารจัดการความเสี่ยงจากน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเกิดปัจจัยสองปัจจัย คือ ข้อมูลที่เชื่อถือ เช่น ข้อมูลฝน ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น และเครื่องมือในการบริหารจัดการ เช่น แบบจำลองการไหลของน้ำในพื้นที่รับน้ำ และการทำนายการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ เป็นต้น สองสิ่งนี้เป็นปัจจัยสำคัญยิ่งยวดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจของผู้บริหารจัดการน้ำหรือผู้บริหารความเสี่ยงจากน้ำ ดังนั้นการบริหารความเสี่ยงจากน้ำจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญต่อการเตรียมรับมือจากภัยพิบัติต่าง ๆ จากน้ำ ซึ่งไม่ว่าจะคาดเดาได้ว่าจะเกิดขึ้นเมื่อใด ความเสี่ยงนี้มีความเสี่ยงด้านปริมาณ เช่น ภัยแล้ง หรืออุทกภัย และความเสี่ยงด้านคุณภาพ เช่น คุณภาพน้ำดื่ม หรือน้ำประปา เป็นต้น นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้ในภัยพิบัติอื่นเนื่องจากน้ำ เช่น ภัยแผ่นดินถล่ม อีกด้วย การบริหารความเสี่ยง

จากน้ำได้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในยุคแห่งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก เช่น การใช้รับมือผลกระทบของภัยแล้งและอุทกภัยในยุโรป [2] การบริหารความเสี่ยงน้ำท่วมในเนเธอร์แลนด์ [3] การประเมินความเสี่ยงของภัยแล้งในจีน [4] การจัดความเสี่ยงจากอุทกภัยในอังกฤษ [5] เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยเริ่มมีการให้ความสำคัญกับการบริหารความเสี่ยงมากขึ้นจากน้ำหลังเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่เมื่อปี พ.ศ. 2554 เนื่องจากพบว่าการบริหารความเสี่ยงจากน้ำของประเทศไทยไม่มีประสิทธิภาพและเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลกระทบให้ความเสียหายรุนแรงและเป็นวงกว้าง [6]

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแหล่งน้ำเป็นข้อมูลสำคัญในการบริหารแหล่งน้ำและการบริหารความเสี่ยงจากน้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่อาจก่อให้เกิดเหตุการณ์น้ำท่วม [7] เป็นสาเหตุของการพังทลายของดิน [8] ส่งเสริมให้การเสื่อมสภาพของดินโดยรอบแหล่งน้ำ [9] และยังสามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางนิเวศทางน้ำ [10] เช่น เป็นปัจจัยของการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชหรือพืชใต้น้ำ [11] - [12] หรือส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในระบบนิเวศ [13] เป็นต้น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำยังส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำประมงอีกด้วย [14] ดังนั้นข้อมูลและการทำนายการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแหล่งน้ำจึงมีความจำเป็นต่อการบริหารความเสี่ยงจากน้ำอย่างยิ่งเนื่องจากมีความเกี่ยวข้องในหลายมิติที่เป็นปัจจัยเสี่ยงจากน้ำทั้งทางด้านภัยพิบัติ สิ่งแวดล้อม และการเกษตร ปัจจุบันการประมาณค่าหรือการทำนายการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแหล่งน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้แบบจำลองอุทกวิทยาหรือการใช้แบบจำลองทางเหมืองข้อมูลจากข้อมูลอุทกวิทยา [15]

การวัดฝนทั่วโลก (Global Precipitation Measurement) หรือจีพีเอ็ม (GPM) เป็นข้อมูลการตรวจวัดหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ด้วยดาวเทียมจีพีเอ็มหลัก (GPM Core Satellite) ที่พัฒนาขึ้นจากความสำเร็จของโครงการตรวจวัดฝนในภูมิภาคเขตร้อน (Tropical Rainfall Measuring Mission) หรือทีอาร์เอ็มเอ็ม (TRMM) ดาวเทียมจีพีเอ็มหลักนี้ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำเมื่อปี พ.ศ. 2557 ซึ่งดำเนินการและบริหารจัดการโดยร่วมมือระหว่างองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) และองค์การวิจัยและพัฒนาการสำรวจอวกาศญี่ปุ่น (JAXA) ดาวเทียมนี้ได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับฝน 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องจับภาพด้วยไมโครเวฟจีพีเอ็ม (GPM Microwave Imager) และเรดาร์ตรวจจับฝนแบบสองความถี่ (Dual-Frequency Precipitation Radar) โดยทำการตรวจจับฝนที่ความละเอียดสูงสุด 0.1° ในช่วงละติจูด $60^\circ\text{N} - 60^\circ\text{S}$ นอกจากข้อมูลจากดาวเทียมจีพีเอ็มหลักแล้วโครงการจีพีเอ็มยังประสานข้อมูลจากดาวเทียมชาติพันธมิตรอื่น ได้แก่ ฝรั่งเศส อินเดีย และยุโรป เพื่อประมวลผลและทวนสอบข้อมูลฝน (Precipitation Processing and Validation) ก่อนเผยแพร่เป็นข้อมูลฝนสำหรับการใช้งานเร็วที่สุดคือประมาณ 4 ชั่วโมง และจะเผยแพร่ข้อมูลฝนที่ผ่านการปรับแก้ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลจากมาตรวัดฝนภาคพื้นดินจากจีพีซีซี (Global Precipitation Climatology Center: GPCC) ภายในระยะเวลา 2 เดือน [16]

ข้อมูลจีพีเอ็มได้ถูกนำไปใช้งานทางด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาอย่างกว้างขวาง เช่น การนำไปใช้ปรับแก้แบบจำลองสภาพภูมิอากาศ [17] การนำไปใช้ในแบบจำลองทางอุทกวิทยาเพื่อพยากรณ์น้ำท่วม [18] การตรวจจับปริมาณหิมะตก [19] การเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับฝนตกหนักในอินเดีย [20] การนำไปใช้วิเคราะห์ปัจจัยน้ำท่วมในจาการ์ตา [21] และการนำไปใช้วิเคราะห์ปริมาณฝนจากพายุเฮอริเคนที่ทำให้เกิดน้ำท่วมในรัฐเซาท์แคโรไลนา [22] เป็นต้น

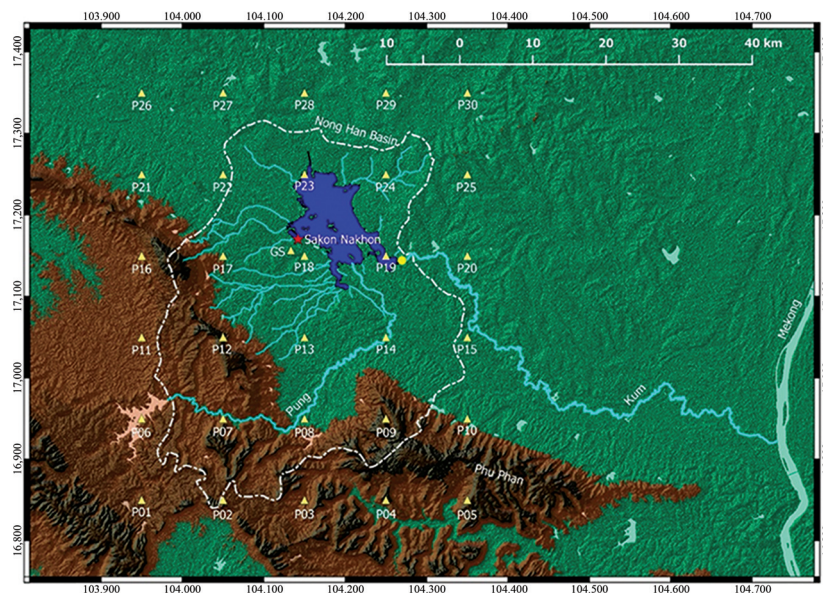
การบริหารความเสี่ยงจากน้ำเป็นเครื่องมือที่จำเป็นต่อการบรรเทาความเสียหายจากภัยพิบัติอันเกิดจากน้ำทั้งภัยแล้งและอุทกภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตพื้นที่ชุมชนที่ตั้งอยู่ใกล้กับทะเลสาบ

ซึ่งหากเกิดอุทกภัยหรือภัยแล้งก็อาจส่งผลกระทบต่อรุนแรงได้ เนื่องจากทะเลสาบอาจเป็นทั้งแหล่งรองรับน้ำหลากและแหล่งน้ำอุปโภคบริโภคเดียวของชุมชน กรณีศึกษานี้จึงได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ข้อมูลจีพีเอ็มในการเตือนภัยการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในทะเลสาบหนองหารด้วยการจัดการข้อมูลวิธีกลุ่ม (Group Method of Data Handling) หรือจีเอ็มดีเอช (GMDH) โดยใช้ข้อมูลจีพีเอ็มรวมกับข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยาพื้นฐานเพื่อเตือนภัยการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในทะเลสาบซึ่งมีชุมชนขนาดใหญ่ตั้งอยู่ริมน้ำล่งหน้าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

กรณีศึกษานี้เป็นการทดสอบความเป็นไปได้ของการใช้ข้อมูลจีพีเอ็มเพื่อเตือนภัยการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำของทะเลสาบหนองหารซึ่งเป็นทะเลสาบน้ำจืดขนาดใหญ่เป็นอันดับ 2 ของประเทศไทย ตั้งอยู่จังหวัดสกลนคร ณ ตำแหน่งละติจูด 17.20°N ลองจิจูด 104.18°E บนราบระหว่างเทือกเขาภูพานและแม่น้ำโขงที่รู้จักกันดีในชื่อแอ่งสกลนคร (Sakon Nakhon Basin) ทะเลสาบนี้มีความลึกเฉลี่ย 2 ม. โดยมีระดับต่อน้ำอยู่ที่ 151 - 153 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลางและมีระดับน้ำเปลี่ยนแปลงขึ้นลง 2 ม. โดยมีระดับน้ำที่ 157 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลางเป็นระดับน้ำเก็บกักสูงสุด ทะเลสาบมีพื้นที่ผิวน้ำที่ประมาณ 134×10^6 ตร.ม. และเก็บกักน้ำได้ 267×10^6 ลบ.ม. น้ำในทะเลสาบเป็นน้ำที่เกิดจากการไหลรวมตัวกันของลำน้ำขนาดน้อยใหญ่กว่า 21 สายที่ทอดตัวรับน้ำจากพื้นที่รับน้ำบนเทือกเขาภูพานและพื้นที่รับน้ำรอบข้าง เช่น ลำน้ำพุง ห้วยเคียก ห้วยทราย ห้วยลอง และห้วยลาก เป็นต้น มีจุดระบายน้ำออกเพียงตำแหน่งเดียวบริเวณทิศตะวันออกผ่านประตูน้ำและทางน้ำล้นฉุกเฉิน (จุดวงกลม •) ไหลลงสู่ลำน้ำก่ำก่อนจะไหลรวมตัวกับแม่น้ำโขง โดยมีพายุดีเปรสชันประจำฤดูกาลและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงต้นเดือนตุลาคมเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำไหลลงทะเลสาบดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา ตำแหน่งข้อมูลจีพีเอ็ม (P01 - P30) และตำแหน่งสถานีอุตุนิยมวิทยาภาคพื้น (GS)

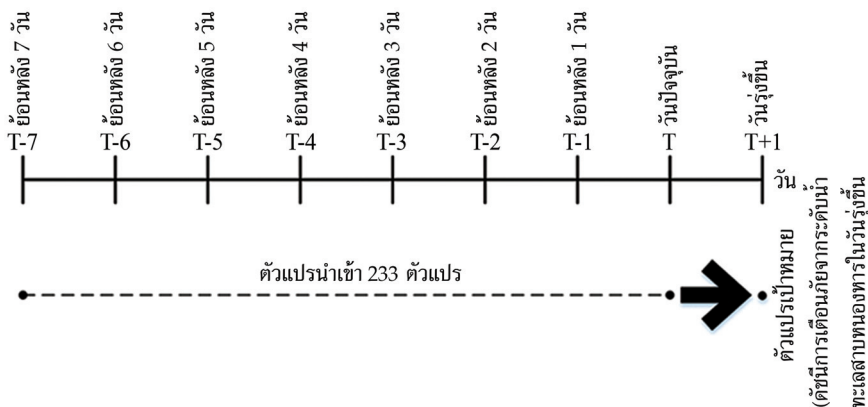
2. ขั้นตอนการศึกษา

การวิจัยนี้มีขอบเขตพื้นที่ในการดำเนินการวิจัยในพื้นที่ลุ่มน้ำพุง (ท้ายเขื่อนน้ำพุง) และลุ่มน้ำหนองหารซึ่งเป็นพื้นที่รับน้ำของหนองหารซึ่งครอบคลุมอำเภอภูพาน อำเภอเต่างอย และอำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร ดังแสดงในรูปที่ 1 มีขั้นตอนการศึกษา 4 ขั้นตอนคือ 1) การเตรียมข้อมูล 2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล 3) การสร้างตัวแบบการประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ และ 4) การทดสอบตัวแบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การเตรียมข้อมูล ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการเตรียมและจัดหาข้อมูลต่าง ๆ สำหรับการสร้างตัวแบบประกอบด้วย ตัวแปรนำเข้าจำนวน 233 ตัวแปร ได้แก่ ข้อมูลฝนจีพีเอ็มรายวันทั้ง 30 สถานี (P01 - P30) ข้อมูลฝนจีพีเอ็มเฉลี่ยรายวัน ข้อมูลระดับน้ำรายวัน ข้อมูลอัตราการระบายน้ำรายวัน ข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากสถานีอุคณิยมหาวิทยาลัยพื้น (GS) และข้อมูลการระเหยรายวันจากสถานีอุคณิยมหาวิทยาลัยพื้น โดยข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลย้อนหลัง 1 - 7 วัน (T-1 ถึง T-7) ยกเว้นข้อมูลระดับน้ำรายวัน และข้อมูลอัตราการระบายน้ำที่เป็นข้อมูลในวันปัจจุบัน (T) และเตรียมข้อมูลสำหรับใช้เป็นตัวแปรเป้าหมายจำนวน 1 ตัวแปร คือ ค่าดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำหนองหารในวันรุ่งขึ้น (T+1) ดังตารางที่ 1 ซึ่งสามารถแสดงเส้นเวลาการดำเนินงานได้ดังรูปที่ 2 โดยข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการวิจัยนี้ครอบคลุมระยะเวลาดังแต่วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 รวมทั้งสิ้น 1,365 ชุดข้อมูล ข้อมูลทุกชุดถูกตรวจสอบความครบถ้วนสมบูรณ์และสุ่มเลือกแบบไร้รูปแบบ (Uniformly) เพื่อแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นข้อมูลสำหรับตัวแบบเรียนรู้ (Model Learning) จำนวนร้อยละ 70 และกลุ่มที่ 2 เป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบตัวแบบ (Model Test) จำนวนร้อยละ 30

ตารางที่ 1 ดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้น

ระดับน้ำ (ม. รทก.)	ดัชนีการเตือนภัย	คำอธิบาย
< 155.499	1	ในวันรุ่งขึ้นมีความเสี่ยงสูงสุดที่ส่งผลกระทบต่อการใช้น้ำ
155.500 - 155.999	2	ในวันรุ่งขึ้นมีความเสี่ยงสูงที่ส่งผลกระทบต่อการใช้น้ำ
156.000 - 156.499	3	ในวันรุ่งขึ้นมีความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อการใช้น้ำ
156.500 - 156.749	4	ในวันรุ่งขึ้นต้องเฝ้าระวังผลกระทบต่อการใช้น้ำ
156.750 - 156.999	5	ในวันรุ่งขึ้นมีระดับน้ำในสภาวะปกติ
157.000 - 157.499	6	ในวันรุ่งขึ้นต้องเฝ้าอันตรายระวังภัยน้ำท่วม
157.500 - 157.999	7	ในวันรุ่งขึ้นมีความเสี่ยงอันตรายต่อภัยน้ำท่วม
158.000 - 158.299	8	ในวันรุ่งขึ้นมีความเสี่ยงอันตรายสูงต่อภัยน้ำท่วม
> 158.300	9	ในวันรุ่งขึ้นมีความเสี่ยงอันตรายสูงสุดต่อภัยน้ำท่วม



รูปที่ 2 เส้นเวลาของตัวแปรนำเข้าและตัวแปรเป้าหมาย

2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล ขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลนำเข้า กับข้อมูลเป้าหมายด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation Analysis) เพื่อตรวจสอบ และแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรเบื้องต้น นอกจากนี้จะทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลฝนจื๋อเอ็ม รายวันกับข้อมูลฝนรายวัน ณ สถานีตรวจวัดน้ำฝนที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกับตำแหน่งข้อมูลฝนจื๋อเอ็มมากที่สุด เพื่อแสดงค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลฝนจากการสำรวจระยะไกลและข้อมูลจากสถานภาคพื้น

3) การสร้างตัวแบบการประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ โดยข้อมูลนำเข้าจำนวนร้อยละ 70 ที่สุ่มเลือกไว้จะถูกนำเข้าเพื่อสร้างตัวแบบสำหรับการทำนายดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหาร ในวันรุ่งขึ้น ด้วยวิธีการจัดการข้อมูลแบบวิธีกุ่ม (Group Method of Data Handling: GMDH) ด้วยโปรแกรม GMDH Shell DS เวอร์ชัน 3.8 โดยข้อมูลนำเข้าจะถูกเรียงลำดับใหม่แบบคู่ - คี่ และ ใช้ขั้นตอนวิธีหลัก (Core Algorithm) แบบเครือข่ายประสาท (GMDH-Type Neural Networks) ที่มีฟังก์ชันแบบควอดราติกพหุนาม (Quadratic Polynomial) เป็นฟังก์ชันของเครือข่ายประสาท ขั้นตอนวิธีนี้เป็นที่นิยมและสามารถสร้างตัวแบบการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ได้มีประสิทธิภาพ แม้ว่าตัวแปรนำเข้าจะมีความสัมพันธ์เชิงสถิติต่ำ

4) การทดสอบตัวแบบ ขั้นตอนนี้อัลข้อมูลที่เหลือจำนวนร้อยละ 30 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ตัวแบบ ไม่เคยพบมาก่อนถูกใช้ทดสอบความเที่ยงตรงและความแม่นยำของตัวแบบที่ได้จากขั้นตอนที่แล้ว การทดสอบประสิทธิภาพจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบด้วยค่าความคลาดเคลื่อน กำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และร้อยละความถูกต้องของการทำนาย

ผลการวิจัย

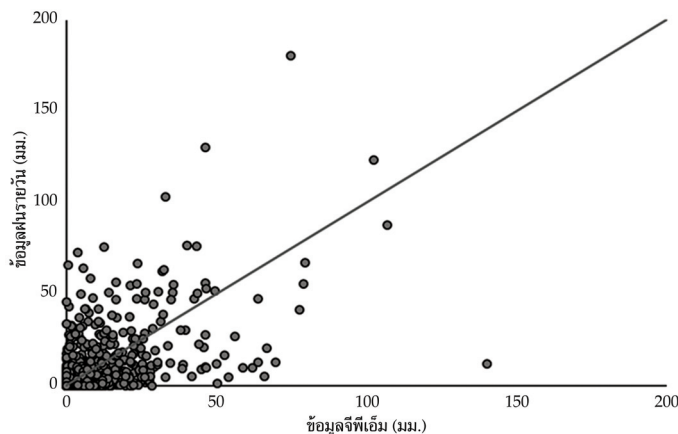
1. ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นกับข้อมูลนำเข้า จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation) ระหว่างตัวแปรนำเข้าจำนวน 233 ตัวแปร ที่ใช้ในการสร้างตัวแบบกับตัวแปรเป้าหมายคือ ดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหาร ในวันรุ่งขึ้น พบว่าข้อมูลระดับน้ำรายวันและข้อมูลอัตราการระบายน้ำรายวันมีความสัมพันธ์กับดัชนี

การเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นสูงที่สุดโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.95 และ 0.67 สำหรับกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ รองลงมาได้แก่ ข้อมูลการระเหยรายวันจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นที่ย้อนหลัง 1 - 7 วัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง -0.30 ถึง -0.33 สำหรับตัวแปรข้อมูลจีพีเอ็มและข้อมูลปริมาณฝนรายวัน ณ สถานีต่าง ๆ ย้อนหลัง 1 - 7 วันนั้น มีความสัมพันธ์กับดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นค่อนข้างต่ำคือ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.17 ถึง 0.28 ดังนั้นข้อมูลจีพีเอ็มและข้อมูลปริมาณฝนรายวันในบางวันและบางสถานีอาจไม่ถูกเลือกโดยเครือข่ายประสาทเทียมเนื่องจากมีตัวแปรมีความสัมพันธ์กันต่ำ อย่างไรก็ตามในขั้นนี้จะไม่ตัดตัวแปรนำเข้าที่ความสัมพันธ์ต่ำทิ้งเนื่องจากเครือข่ายประสาทจะทำการคัดเลือกตัวแปรที่มีค่าน้ำหนักสูงสุดในแต่ละชั้นของชั้นซ่อนตัว (Hidden Layer) โดยอัตโนมัติ

นอกจากนี้หากพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรนำและตัวแปรเป้าหมายจะสังเกตได้ว่าข้อมูลระดับน้ำรายวัน ข้อมูลอัตราการระบายน้ำรายวัน ข้อมูลปริมาณฝนและข้อมูลจีพีเอ็มมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับตัวแปรเป้าหมาย กล่าวคือเมื่อตัวแปรเหล่านี้เพิ่มขึ้นค่าดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นจะสูงขึ้น (ระดับน้ำสูงขึ้น) ในทางตรงข้ามตัวแปรข้อมูลการระเหยรายวันที่มีทิศทางความสัมพันธ์ในลักษณะตรงข้ามกับตัวแปรเป้าหมาย แสดงให้เห็นว่าเมื่อการระเหยรายวันสูงขึ้นดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นจะลดลง (ระดับน้ำลดลง) ทั้งนี้การพบว่าข้อมูลอัตราการระบายน้ำรายวันมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับตัวแปรเป้าหมาย ทั้งที่การระบายน้ำออกควรจะส่งผลในระดับน้ำลดลงและให้ลักษณะความสัมพันธ์แบบตรงกันข้ามนั้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากการระบายน้ำออกในการพยายามควบคุมให้ระดับน้ำอยู่ในโค้งของกฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) หรืออาจเกิดการไหลล้นออกทางระบายน้ำฉุกเฉิน ปริมาณน้ำที่ระบายออกจึงเป็นไปตามระดับความสูงของน้ำในทะเลสาบหนองหาร ตัวแปรทั้งสองจึงมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

2. ความสัมพันธ์ระหว่างฝนรายวันและข้อมูลจีพีเอ็มรายวัน

ข้อมูลจีพีเอ็มเป็นข้อมูลฝนที่ได้จากการตรวจวัดด้วยการสำรวจระยะไกลผ่านดาวเทียม จึงเหมาะในการนำมาใช้งานเชิงพื้นที่ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝนรายวันและข้อมูลจีพีเอ็มในหัวข้อนี้จึงเป็นการยืนยันระดับและทิศทางความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลกับข้อมูลฝนของสถานีภาคพื้น โดยทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลจีพีเอ็มสถานี P18 กับข้อมูลฝนสถานีอุคูนียมหาวิทยาลัยสกลนคร (GS) ด้วยสหสัมพันธ์เพียร์สันโปรดักส์โมเมนต์ พบว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันแบบมีทิศทางเดียวกันในระดับปานกลางโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ดังรูปที่ 3 แม้สถานีอุคูนียมหาวิทยาลัยสกลนครจะเป็นสถานีภาคพื้นที่อยู่ใกล้เคียงกับตำแหน่งข้อมูลจีพีเอ็มสถานี P18 มากที่สุดแต่ก็มีระยะทางที่ห่างกันถึง 2 กิโลเมตร ดังนั้นด้วยระยะทางที่ห่างกันนี้ข้อมูลฝนรายวันและข้อมูลจีพีเอ็มรายวันจึงอาจมีแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามข้อมูลฝนสถานีอุคูนียมหาวิทยาลัยสกลนครเป็นข้อมูลแบบจุดที่แสดงปริมาณฝน ณ ตำแหน่งการตรวจวัดเท่านั้น และไม่อาจบ่งบอกถึงปริมาณฝนที่ตกทั่วทั้งพื้นที่รับน้ำได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงนำเสนอการใช้ข้อมูลจีพีเอ็มซึ่งเป็นข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ที่สามารถพิจารณาฝนได้ครอบคลุมพื้นที่รับน้ำมาใช้ในการสร้างตัวแบบการทำนายการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ

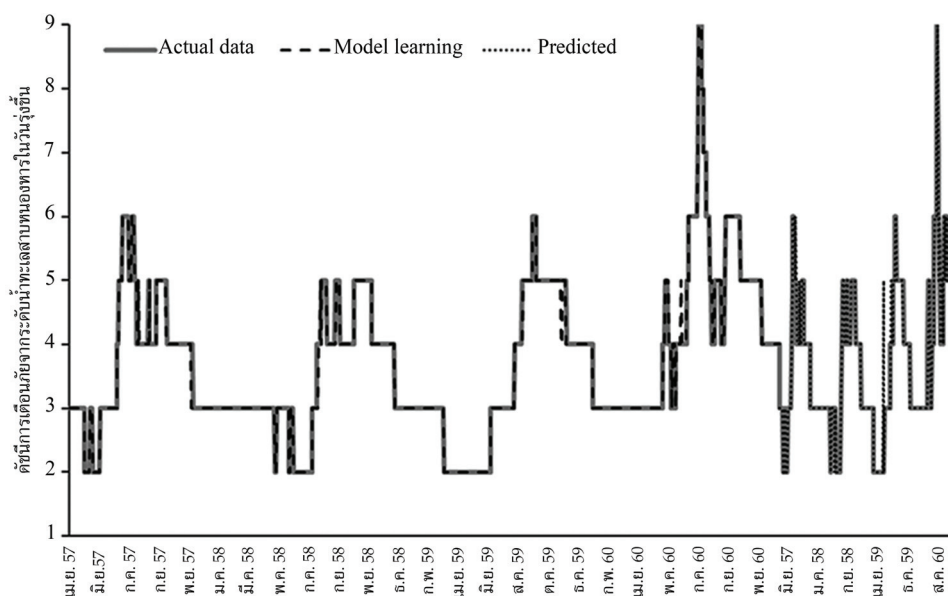


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลฝนรายวันกับข้อมูลจีพีเอ็ม

3. ตัวแบบทำนายดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้น

จากการนำเข้าข้อมูลตัวแปรนำเข้าทั้ง 233 ตัวแปรเพื่อสร้างตัวแบบทำนายดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้น พบว่าในขั้นตอนตัวแบบเรียนรู้ (Model Learning) มีการสุ่มชุดข้อมูลเพื่อใช้สร้างตัวแบบทั้งสิ้น 1,092 ชุดข้อมูลคิดเป็นร้อยละ 70 ของชุดข้อมูลทั้งหมด ตัวแบบเรียนรู้ที่ได้จากการจัดการข้อมูลแบบวิธีกลุ่มชนิดเครือข่ายประสาท (เส้นประในรูปที่ 4) มีความเที่ยงตรงร้อยละ 97.3 ซึ่งอยู่ในระดับที่สูงมาก โดยสามารถเรียนรู้ค่าดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นที่ระดับ 2 - 9 (เส้นทึบสีเทาในรูปที่ 4) ได้แม่นยำร้อยละ 100 98.4 95.1 95.2 100 100 100 และ 100 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าตัวแบบเรียนรู้ที่ได้จากข้อมูลนำเข้ามีความเที่ยงตรงและแม่นยำสูงเหมาะสำหรับการใช้ในการทำนายค่าตัวแปรเป้าหมาย

นอกจากนี้เมื่อทำการทดสอบตัวแบบเรียนรู้ด้วยชุดข้อมูลที่ตัวแบบไม่เคยพบมาก่อน (จุดไข่ปลาในรูปที่ 4) พบว่าตัวแบบมีความเที่ยงตรงในการทำนายค่าดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นสูงถึงร้อยละ 90.5 กล่าวคือสามารถทำนายค่าได้ถูกต้องเที่ยงตรงเป็นจำนวน 247 ครั้ง จาก 273 ครั้ง ซึ่งอยู่ในระดับเที่ยงตรงที่สูงโดยมีความแม่นยำในการทำนายค่าดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นที่ระดับ 2 - 9 เท่ากับร้อยละ 96.7 95.5 92.1 81.1 78.6 - 0.0 และ 0.0 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 และสังเกตได้ว่าจำนวนครั้งที่ตัวแบบทำนายผิดไปจากค่าจริงเกินกว่า ± 1 ระดับ มีจำนวนเพียง 2 ครั้งหรือคิดเป็นร้อยละ 0.73 ของการทำนายทั้งหมด ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ข้อมูลจีพีเอ็มร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลระดับภาคสนามสามารถสร้างตัวแบบในการทำนายค่าดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นระบบเตือนภัยจากระดับน้ำในทะเลสาบหนองหารได้ล่วงหน้า 24 ชั่วโมง ด้วยความเที่ยงตรงและแม่นยำสูง อย่างไรก็ตามเพื่อให้ตัวแบบมีความเที่ยงตรงสูงขึ้นและลดความคลาดเคลื่อนในการทำนายให้ต่ำลงควรมีการเก็บข้อมูลและปรับปรุงตัวแบบอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ตัวแบบมีการปรับตัวต่อสถานการณ์สิ่งแวดล้อมที่อาจเปลี่ยนไป อีกทั้งควรศึกษาความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นเพิ่มเติม เช่น อัตราการใช้ไฟฟ้า อัตราการซึม และอัตราน้ำไหลเข้า เป็นต้น



รูปที่ 4 ตัวแบบเรียนรู้และการทดสอบตัวแบบ

ตารางที่ 2 การประเมินผลลัพธ์การทำนายจากตัวแบบ

	Predicted class								Total	Recall
	2	3	4	5	6	7	8	9		
Actual class	2	29	1	0	1	0	0	0	31	0.935
	3	1	106	1	0	0	0	0	108	0.981
	4	0	4	58	5	0	0	0	67	0.866
	5	0	0	4	43	3	0	0	50	0.860
	6	0	0	0	3	11	0	0	14	0.786
	7	0	0	0	1	0	0	0	1	0.000
	8	0	0	0	0	0	0	1	1	0.000
	9	0	0	0	0	0	1	0	1	0.000
Total	30	111	63	53	14	0	1	1	273	
Precision	0.967	0.955	0.921	0.811	0.786	-	0.000	0.000		
Accuracy	0.989	0.974	0.949	0.938	0.978	0.996	0.993	0.993	0.905	

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบตัวแบบที่มีการใช้ข้อมูลจีพีเอ็มกับตัวแบบที่ไม่มีการใช้ข้อมูลจีพีเอ็มด้วยขั้นตอนแล้ววิธีการเดียวกัน พบว่าตัวแบบที่ไม่มีการใช้ข้อมูลจีพีเอ็มมีความเที่ยงตรงในการทำนายค่าดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นเท่ากับร้อยละ 76.9 หรือทำนายได้ถูกต้องเพียง 210 ครั้งจาก 273 ครั้งเท่านั้น ซึ่งให้ผลที่แตกต่างกับตัวแบบที่มีการใช้ข้อมูลจีพีเอ็มที่ให้ผลความเที่ยงตรงของการทดสอบสูงถึงร้อยละ 90.5

ข้อมูลจีพีเอ็มจึงเป็นข้อมูลการสำรวจระยะไกลหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นข้อมูลเปิดที่ผู้ใช้งานสามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ค่าใช้จ่าย และยังมีค่าความละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่ถึง 0.1 องศา จึงเหมาะต่อการนำมาใช้งานทั้งในระดับภูมิภาคและในระดับท้องถิ่น

สรุป

ระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นมีการขึ้นลงตามระดับน้ำในวันปัจจุบัน ปริมาณน้ำฝน อัตราการระเหย และอัตราการระบายน้ำ โดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในวันรุ่งขึ้นมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำในวันปัจจุบัน อัตราการระบายน้ำ และปริมาณฝนในระดับสูง ปานกลางและต่ำในทิศทางเดียวกัน ตามลำดับ และมีความสัมพันธ์กับอัตราการระเหยในระดับปานกลางในทิศทางตรงกันข้าม

ข้อมูลจีพีเอ็มรายวันมีความสัมพันธ์กับข้อมูลฝนรายวันที่ตรวจวัด ณ สถานีภาคพื้นในระดับปานกลาง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ทั้งนี้การที่ข้อมูลจีพีเอ็มรายวันมีความแตกต่างกับข้อมูลฝนรายวันที่ตรวจวัด ณ สถานีภาคพื้นนั้น เป็นผลอันเนื่องมาจากสถานีภาคพื้นและตำแหน่งข้อมูลฝนจีพีเอ็มในพื้นที่ศึกษาที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันมากที่สุดมีระยะทางห่างกันถึง 2 กิโลเมตร ดังนั้นจึงเป็นผลให้ข้อมูลฝนซึ่งเป็นข้อมูลแบบจุดมีความแตกต่างกันกับข้อมูลจีพีเอ็มซึ่งเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ อย่างไรก็ตามข้อมูลทั้งสองมีทิศทางความสัมพันธ์ในทางเดียวกัน

การใช้งานข้อมูลจีพีเอ็มซึ่งเป็นการสำรวจระยะไกลร่วมกับข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยาสามารถสร้างตัวแบบในการทำนายค่าดัชนีการเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหารในวันรุ่งขึ้นมีประสิทธิภาพสูง โดยตัวแบบที่ได้มีความเที่ยงตรงในขั้นการประเมินผลลัพธ์จากการทำนายสูงถึงร้อยละ 90.5 และมีการทำนายค่าผิดพลาดเกินกว่า ± 1 ระดับ เพียงร้อยละ 0.73 ของการทดสอบทั้งหมด อีกทั้งการใช้ข้อมูลจีพีเอ็มในการสร้างตัวแบบยังให้ผลความเที่ยงตรงของตัวแบบสูงกว่าการไม่ใช้ แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้สูงในการใช้ข้อมูลจีพีเอ็มเพื่อเตือนภัยจากระดับน้ำทะเลสาบหนองหาร อย่างไรก็ตามเพื่อให้ตัวแบบมีความเที่ยงตรงและแม่นยำสูงขึ้นควรเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ตัวแบบเรียนรู้และปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าข้อมูลจีพีเอ็มมีศักยภาพในการนำมาใช้งานในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในระดับท้องถิ่นได้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 นอกจากนี้ยังได้รับการสนับสนุนข้อมูลทุติยภูมิที่การตรวจวัด ณ สถานีภาคพื้นจากสถานีอุตุนิยมวิทยาสกลนคร กรมอุตุนิยมวิทยา และศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสกลนคร กรมประมง

References

- [1] Mal, S., Singh, R.B., Huggel, C. and Grover, A. (2018). **Introducing Linkages Between Climate Change, Extreme Events, and Disaster Risk Reduction**. Climate Change, Extreme Events and Disaster Risk Reduction : Springer International Publishing
- [2] Lehner, B., Döll, P., Alcamo, J., Henrichs, T., and Kaspar, F. (2006). Estimating the Impact of Global Change on Flood and Drought Risks in Europe: A Continental, Integrated Analysis. **Climatic Change**. Vol. 75, Issue 3, pp. 273-299. DOI: 10.1007/s10584-006-6338-4
- [3] Wiering, M. and Winnubst, M. (2017). The Conception of Public Interest in Dutch Flood Risk Management: Untouchable or Transforming?. **Environmental Science & Policy**. Vol. 73, pp. 12-19. DOI: 10.1016/j.envsci.2017.03.002
- [4] Zhang, Q., Zhang, J., and Wang, C. (2017). Risk Assessment of Drought Disaster in Typical Area of Corn Cultivation in China. **Theoretical and Applied Climatology**. Vol. 128, Issue 3-4, pp. 533-540. DOI: 10.1007/s00704-015-1723-4
- [5] Reynard, N. S., Kay, A. L., Anderson, M., Donovan, B., and Duckworth, C. (2017). The Evolution of Climate Change Guidance for Fluvial Flood Risk Management in England. **Physical Geography**. Vol. 41, Issue 2, pp. 222-237. DOI: 10.1177/0309133317702566
- [6] Singkran, N. (2017). Flood Risk Management in Thailand: Shifting from a Passive to a Progressive Paradigm. **International Journal of Disaster Risk Reduction**. Vol. 25, pp. 92-100. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2017.08.003
- [7] Stratford, C., Brewin, P., Acreman, M., and Mountford, O. (2015). A Simple Model to Quantify the Potential Trade-Off Between Water Level Management for Ecological Benefit and Flood Risk. **Ecohydrology & Hydrobiology**. Vol. 15, Issue 3, pp. 150-159. DOI: 10.1016/j.ecohyd.2015.06.002
- [8] Sun, G., Zheng, H., Huang, Y., and Li, C. (2016). Parameter Inversion and Deformation Mechanism of Sanmendong Landslide in the Three Gorges Reservoir Region Under the Combined Effect of Reservoir Water Level Fluctuation and Rainfall. **Engineering Geology**. Vol. 205, pp. 133-145. DOI: 10.1016/j.enggeo.2015.10.014
- [9] Zhao, Q., Liu, S., Deng, L., Dong, S., and Wang, C. (2014). Soil Degradation Associated with Water-Level Fluctuations in the Manwan Reservoir, Lancang River Basin. **CATENA**. Vol. 113, pp. 226-235. DOI: 10.1016/j.catena.2013.08.007
- [10] Mettrop, I. S., Rutte, M. D., Kooijman, A. M., and Lamers, L. P. M. (2015). The Ecological Effects of Water Level Fluctuation and Phosphate Enrichment in Mesotrophic Peatlands are Strongly Mediated by Soil Chemistry. **Ecological Engineering**. Vol. 85, pp. 226-236. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.09.077
- [11] Qian, K., Liu, X., and Chen, Y. (2016). Effects of Water Level Fluctuation on Phytoplankton Succession in Poyang Lake, China - A Five Year Study. **Ecohydrology & Hydrobiology**. Vol. 16, pp. 175-184. DOI: DOI: 10.1016/j.ecohyd.2016.08.001

- [12] Wang, P., Zhang, Q., Xu, Y.-S., and Yu, F. H. (2016). Effects of Water Level Fluctuation on the Growth of Submerged Macrophyte Communities. **Flora**. Vol. 223, pp. 83-89. DOI: 10.1016/j.flora.2016.05.005
- [13] Grabas, G. P. and Rokitnicki-Wojcik, D. (2015). Characterizing Daily Water-Level Fluctuation Intensity and Water Quality Relationships with Plant Communities in Lake Ontario Coastal wetlands. **Journal of Great Lakes Research**. Vol. 41, Issue 1, pp. 136-144. DOI: 10.1016/j.jglr.2014.12.019
- [14] Menouer, M. A. and Moussaoui, A. (2016). Effects of Consecutive Water Level Fluctuations and Harvesting on Predator-Prey Interactions. **Chaos, Solitons & Fractals**. Vol. 91, pp. 434-442. DOI: 10.1016/j.chaos.2016.07.001
- [15] Yadav, B. and Eliza, K. (2017). A Hybrid Wavelet-Support Vector Machine Model for Prediction of Lake Water Level Fluctuations Using Hydro-Meteorological Data. **Measurement**. Vol. 103, pp. 294-301. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.03.003
- [16] Tapiador, F. J., Turk, F. J., Petersen, W., Hou, A. Y., García-Ortega, E., Machado, L. A. T., Angelis, C. F., Salio, P., Kidd, C., Huffman, G. J., and de Castro, M. (2012). Global Precipitation Measurement: Methods, Datasets and Applications. **Atmospheric Research**. Vol. 104, pp. 70-97
- [17] Tapiador, F. J., Navarro, A., Levizzani, V., García-Ortega, E., Huffman, G. J., Kidd, C., Kucera, P. A., Kummerow, C. D., Masunaga, H., Petersen, W.A., Roca, R., Sánchez, J.-L., Tao, W. -K., and Turk, F. J. (2017). Global Precipitation Measurements for Validating Climate Models. **Atmospheric Research**. Vol. 197, pp. 1-20. DOI: 10.1016/j.atmosres.2017.06.021
- [18] Wang, Z., Zhong, R., Lai, C., and Chen, J. (2017). Evaluation of the GPM IMERG Satellite-based Precipitation Products and the Hydrological Utility. **Atmospheric Research**. Vol. 196, pp. 151-163. DOI: 10.1016/j.atmosres.2017.06.018
- [19] Casella, D., Panegrossi, G., Sanò, P., Marra, A. C., Dietrich, S., Johnson, B. T., and Kulie, M. S. (2017). Evaluation of the GPM-DPR Snowfall Detection Capability: Comparison with CloudSat-CPR. **Atmospheric Research**. Vol. 197, pp. 64-75. DOI: 10.1016/j.atmosres.2017.06.018
- [20] Prakash, S., Mitra, A. K., Pai, D. S., and AghaKouchak, A. (2016). From TRMM to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space?. **Advances in Water Resources**. Vol. 88, pp. 1-7. DOI: 10.1016/j.advwatres.2015.11.008
- [21] Siswanto, van der Schrier, G., Jan van Oldenborgh, G., van den Hurk, B., Aldrian, E., Swarinoto, Y., Sulistya, W., and Eka Sakya, A. (2017). A Very Unusual Precipitation Event Associated with the 2015 Floods in Jakarta: An Analysis of the Meteorological Factors. **Weather and Climate Extremes**. Vol. 16, pp. 23-28. DOI: 10.1016/j.wace.2017.03.003
- [22] Case, J. L. (2016). From Drought to Flooding in Less Than a Week Over South Carolina. **Results in Physics**. Vol. 6, pp. 1183-1184. DOI: 10.1016/j.rinp.2016.11.012