

การประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงพันธุกรรม
สำหรับการพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลรายวัน
ของแม่น้ำตาปี ณ อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี
Application of Genetic Programming for
Daily Forecasting of Water Level and Discharge of
Thapi River at Phra Saeng District, Suratthani Province

ณัฐภัทร ขำแก้ว

หลักสูตรวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ตำบลไทยบุรี อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

ปกรณ์ ดิษฐกิจ*

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ตำบลไทยบุรี อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

Natthaphat Kamkeaw

Program in Civil and Environmental Engineering, School of Engineering and Technology,

Walailak University, Thai Buri, Tha Sala, Nakhon Si Thammarat 80160

Pakorn Ditthakit*

Civil Engineering Division, School of Engineering and Technology, Walailak University,

Thai Buri, Tha Sala, Nakhon Si Thammarat 80160

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงพันธุกรรมสำหรับการพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลในลำน้ำ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ การศึกษานี้ใช้โปรแกรม GPdotNET version 4 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิดในการศึกษา โดยเก็บรวบรวมข้อมูลน้ำฝนรายวัน ณ สถานี TD12 อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งตั้งอยู่ทางต้นน้ำ และข้อมูลน้ำฝน ระดับน้ำ และอัตราการไหลรายวัน ณ สถานี TD07 อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งตั้งอยู่ท้ายน้ำ ระยะเวลา 5 ปี (ปี พ.ศ. 2556-2560) เพื่อพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลในแม่น้ำตาปี ณ สถานี TD07 ล่วงหน้า 1 วัน โดยแบ่งชุดข้อมูลเป็น 2 ชุด ได้แก่ 70 %

แรกของชุดข้อมูลสำหรับขั้นตอนการเรียนรู้ และ 30 % ที่เหลือของชุดข้อมูลสำหรับขั้นตอนการทดสอบ การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองใช้ค่าทางสถิติ 3 ค่า ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ผลการศึกษาพบว่าผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 1 วัน ให้ผลการพยากรณ์อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยให้ค่า r , RMSE และ MAE สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้และการทดสอบ 0.988, 0.307 m, 0.127 m และ 0.984, 0.321 m, 0.144 m ตามลำดับ และการพยากรณ์อัตราการไหลล่วงหน้า 1 วัน ให้ผลการพยากรณ์อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยให้ค่า r , RMSE และ MAE สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้และการทดสอบ 0.986, 22.429 m³/s, 9.927 m³/s และ 0.982, 21.794 m³/s, 10.514 m³/s ตามลำดับ

คำสำคัญ : การพยากรณ์; แม่น้ำตาปี; โปรแกรมเชิงพันธุกรรม; ระดับน้ำ; อัตราการไหล

Abstract

This article presents the application of genetic programming for forecasting water level and river discharge, which is the most important task for water resources management. GPdotNET Version 4 as a free open source software was used in this study. The daily data of rainfall were collected at TD12 upstream station, located Thung Yai district, Nakhon Si Thammarat province, and the daily data of rainfall, water level, and river discharge were collected at TD07 upstream station, located Phra Saeng district, Surat Thani province for 5 years during 2013 and 2017 in order to forecast water level and river discharge at TD07 one day ahead. Those data were divided into two data sets, i.e. the first 70 % for training and the rest 30 % for testing. To evaluate the model performance, three statistical indices were analyzed, i.e. correlation coefficient (r), root mean squared error (RMSE), and mean absolute error (MAE). The study results were found that 1 day ahead water level forecasting gave the excellent performance with the values of r , RMSE, and MAE for training and testing processes as 0.988, 0.307 m, 0.127 m and 0.984, 0.321 m, 0.144 m, respectively. And 1 day ahead river discharge gave the excellent performance with the values of r , RMSE, and MAE for training and testing processes as 0.986, 22.429 m³/s, 9.927 m³/s and 0.982, 21.794 m³/s, 10.514 m³/s, respectively.

Keywords: forecasting; Thapi river; genetic programming; water level; discharge

1. บทนำ

แม่น้ำตาปีมีต้นกำเนิดอยู่ที่ภูเขาลวง อยู่ในเขตพื้นที่อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช ไหลผ่านอำเภอฉวาง อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช ผ่านอำเภอพระแสง อำเภอบ้านนาสาร อำเภอเคียนซา

อำเภอพุนพิน และไหลออกสู่อ่าวไทยที่อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นแม่น้ำสายยาวที่สุดของภาคใต้ โดยมีความยาวประมาณ 232 กิโลเมตร แม่น้ำตาปีเป็นแม่น้ำที่มีความสำคัญแก่การเพาะปลูก ในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีพบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำตาปีต้องประสบปัญหาอุทกภัย

เนื่องจากน้ำป่าไหลหลาก โดยมีสาเหตุจากพายุฝนตกหนัก ทำให้ไม่สามารถระบายน้ำได้ทันเวลา และปัญหาจากปัจจัยอื่น เช่น บริเวณพื้นที่ป่าเขาและลาดไหล่เขา ด้านเหนือน้ำถูกบุงกรุกไปเป็นสวนยางพารา สวนปาล์ม น้ำมัน และที่อยู่อาศัยของประชาชนเพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งปัญหาอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำตาป็นับว่าเกิดขึ้นมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน [1] การพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลล่วงหน้า เพื่อการเตือนภัยและเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมจึงมีความสำคัญมาก เป็นมาตรการที่ไม่ใช้สิ่งก่อสร้าง และใช้งบประมาณไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรการใช้สิ่งก่อสร้าง วิธีการที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับการเตือนภัยน้ำท่วม คือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำต้นน้ำ (หรือเรียกว่าสถานีเฝ้าระวัง) กับระดับน้ำท้ายน้ำ (หรือเรียกว่าสถานีเตือนภัยน้ำท่วม) ในลำน้ำ

การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการประยุกต์ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลสำหรับงานด้านอุทกวิทยา วิศวกรรมชลศาสตร์ วิศวกรรมชลประทาน และวิศวกรรมทรัพยากรน้ำจำนวนมาก เช่น การใช้โครงข่ายประสาทเทียม [2] และแบบจำลองต้นไม้การตัดสินใจ [3] เพื่อทำนายปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ การประยุกต์ใช้วิธีนิวโรเจนเนติกเพื่อการพยากรณ์ระดับน้ำแม่น้ำตาปี ณ อำเภอพระแสงและอำเภอเคียนซา จังหวัดสุราษฎร์ธานี [4] การใช้แบบจำลองต้นไม้สำหรับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในท่อ [5] การใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการประเมินการกัดเซาะบริเวณตอม่อสะพาน [6] การใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายน้ำป่าไหลหลาก [7] และการพยากรณ์ข้อมูลฝนรายวัน [8] สำหรับโปรแกรมเชิงพันธุกรรมเป็นหนึ่งในเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลและได้เลือกใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งเคยมีการประยุกต์ใช้งานด้านบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ

เช่น การจัดการอ่างเก็บน้ำ [9] การประมาณค่าข้อมูลน้ำฝนที่ขาดหายไป [10] การพยากรณ์อัตราการไหลในลำน้ำ [11] การพยากรณ์น้ำท่วม [12-14] กราฟน้ำทำกรณีเขื่อนพังทลาย [15] กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาตรเก็บกัก [16] การทำนายระดับน้ำใต้ดิน [17]

บทความวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงพันธุกรรมเพื่อพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลรายวันของแม่น้ำตาปี ณ อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ถือเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยบริหารจัดการน้ำ โดยใช้มาตรการไม่ใช้สิ่งก่อสร้าง เพื่อช่วยในการป้องกันอุทกภัยในช่วงน้ำหลาก ซึ่งสามารถช่วยลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในลุ่มน้ำตาปี

2. วิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำตาปีอยู่ระหว่างเทือกเขาถนนศรีธรรมราชและทิวเขาภูเก็ด พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบมีแม่น้ำสายสำคัญ ได้แก่ แม่น้ำตาปี และแม่น้ำพุมดวง โดยแม่น้ำตาปีมีต้นกำเนิดจากเขาช่องลมใต้ของเทือกเขาถนนศรีธรรมราช บริเวณอำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช ไหลไปทางเหนือผ่านอำเภอต่าง ๆ ในจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดสุราษฎร์ธานี ความยาวของแม่น้ำตาปีรวม 232 กิโลเมตร ส่วนแม่น้ำพุมดวงมีต้นกำเนิดจากเทือกเขาภูเก็ดในเขตอำเภอคีรีรัฐนิคมและอำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ไหลผ่านอำเภอต่าง ๆ มาบรรจบกับแม่น้ำตาปีที่อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี แล้วไปออกยังอ่าวไทย มีความยาวรวม 120 กิโลเมตร การแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำตาปีเป็นลุ่มน้ำย่อยดังที่เสนอในรายงาน “มาตรฐานลุ่มน้ำสาขา” นั้น แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำตาปีเป็น 8 ลุ่มน้ำย่อย ได้แก่ คลองจันดี แม่น้ำตาปีตอนบน คลองสินปุน คลองอิปัน แม่น้ำตาปีตอนล่าง คลองศก คลองแสง และคลองพุมดวง

ตอนล่าง มีพื้นที่รับน้ำทั้งหมด 12,224 ตารางกิโลเมตร พื้นที่อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี (TD07) และ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช (TD12) อยู่ในบริเวณลุ่มน้ำแม่น้ำตาปีตอนบน เป็นลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำตาปี ซึ่งน้ำไหลจากอำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรี

ธรรมราช มายังอำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 1,358 ตารางกิโลเมตร โดยมีที่ตั้งสถานีวัดปริมาณน้ำและระดับน้ำในเขตพื้นที่ศึกษาดังรูปที่ 1

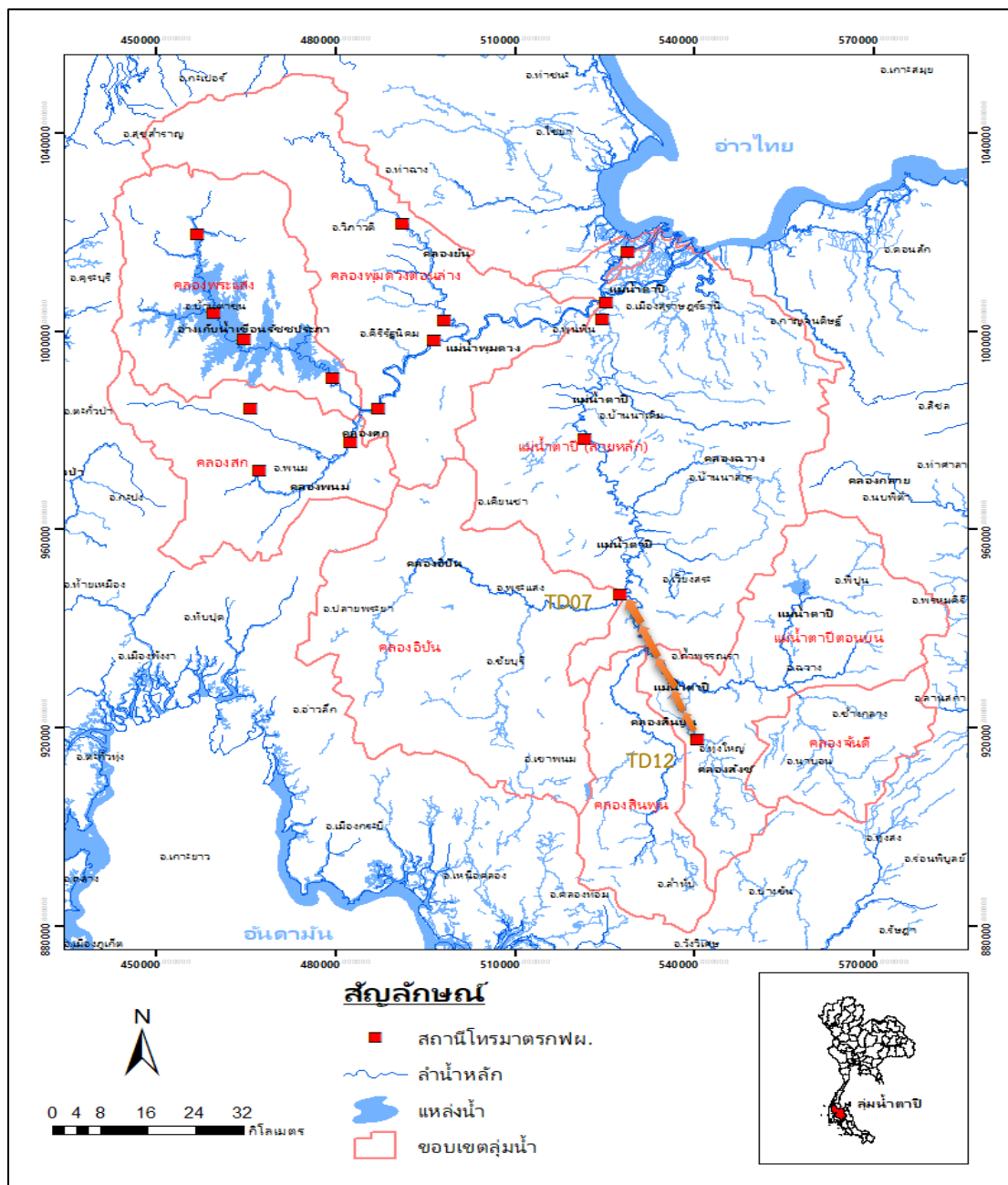


Figure 1 Locations of rainfall and runoff telemetering stations operated by EGAT

การศึกษารวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนระดับน้ำ อัตราการไหลรายวัน ที่สถานี TD07 อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ระยะเวลา 5 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560 จำนวน 1,109 ชุดข้อมูล แบ่งชุดข้อมูลเป็น 2 ชุด ได้แก่ 70 % แรกของชุดข้อมูล สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้ และ 30 % ที่เหลือของชุดข้อมูลสำหรับขั้นตอนการทดสอบ และรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ที่สถานี TD12 อำเภอทุ่งใหญ่

จังหวัดนครศรีธรรมราช ระยะเวลา 5 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560 จำนวน 1,109 ชุดข้อมูล แบ่งชุดข้อมูลเป็น 2 ชุด ได้แก่ 70 % แรกของชุดข้อมูล สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้ และ 30 % ที่เหลือของชุดข้อมูลสำหรับขั้นตอนการทดสอบ ที่สถานี TD12 อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช และข้อมูลที่ได้รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ สถานีในเขตพื้นที่ศึกษามีรายละเอียดดังตารางที่ 1

Table 1 The daily data of rainfall, water level, and river discharge in the study area

Stations	Codes	UTM		Rainfall (mm)			Water level (m)			River discharge (m ³ /s)		
		x	Y	max	min	average	max	min	average	max	min	average
Phra saeng	TD07	527,516	946,994	211	0	4.75	11.16	4.1	6.80	549.82	14.17	152.68
Thung yai	TD12	540,550	917,710	115	0	2.92	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

2.2 การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม

การโปรแกรมเชิงพันธุกรรม (genetic programming, GP) เป็นแนวทางการเขียนโปรแกรมที่คิดค้นขึ้นโดย Koza [18] เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1992 โดยใช้แนวคิดทางทฤษฎีวิวัฒนาการ GP เป็นรูปแบบหนึ่งของวิธีการค้นหา (searching technique) คำตอบ หรือกฎ หรือแนวทางการแก้ปัญหา โดยการแทนคำตอบ หรือกฎ หรือแนวทางการแก้ปัญหาด้วยหน่วยโครงสร้างที่เรียกว่าโครโมโซม และผ่านกระบวนการคัดเลือกพันธุทางธรรมชาติ เพื่อที่จะให้ได้โครโมโซมที่ดีที่สุด ในการที่จะบอกว่าโครโมโซมใดเป็นโครโมโซมที่ดีที่สุดนั้น ต้องอาศัยฟังก์ชันค่าความแข็งแรง (fitness function) มาเป็นกฎเกณฑ์ในการวัดความสามารถในการอยู่รอดของโครโมโซม ผู้คิดค้น GP ได้เลือกโครงสร้างแบบต้นไม้ในการแทนโครโมโซมเพื่อแก้ปัญหาที่กำหนดไว้ โดยลักษณะโครงสร้างต้นไม้แต่ละแบบจะแทนคำตอบ หรือกฎ หรือแนวทางการแก้ปัญหาแต่ละแนวทาง

โครงสร้างของ GP มีลักษณะเป็นต้นไม้ ซึ่งต้นไม้แต่ละต้นประกอบด้วยเซตของฟังก์ชัน $F = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_m\}$ และเซตของเทอร์มินอล (terminal) $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_m\}$ ฟังก์ชันที่ใช้มีได้หลายประเภทตามแต่ลักษณะของปัญหา ตัวอย่างของฟังก์ชันเหล่านี้ ได้แก่ การดำเนินการคำนวณ (arithmetic operation) เช่น $+$, $-$, $*$, $/$ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ (mathematical function) เช่น $\sin$, $\cos$, $\exp$, $\log$ การดำเนินการแบบมีเงื่อนไข (conditional branching operation) เช่น if-then-else ฟังก์ชันที่ทำให้เกิดการวนซ้ำ (iterative function) ได้แก่ For-Next, Do-While ฟังก์ชันที่ทำให้เกิดการเวียนเกิด (recursive function) ฟังก์ชันเฉพาะงานอื่น (domain-specific function) เป็นต้น ส่วนเทอร์มินอลนั้นแทนด้วยฟังก์ชันที่ไม่มีอาร์กิวเมนต์ (argument) หรือค่าแอททริบิวต์ (attribute) ที่กำหนดในผลลัพธ์แต่ละต้น ใน GP จะประเมินค่าความแข็งแรง/เหมาะสม (fitness value) จาก fitness function ที่กำหนดไว้ โดยการกำหนด

fitness function ไม่มีสูตรหรือหลักการที่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาและสภาพการณ์ที่กำหนดขึ้น

ขั้นตอนการทำงานของ GP ดังรูปที่ 2 ประกอบด้วย (1) การสุ่มเลือกประชากรเริ่มต้น (random initial population) (2) การประเมินค่าความแข็งแรง (fitness evaluation) และพิจารณาเงื่อนไขการหยุดทำงาน (3) การคัดเลือกกลุ่มประชากรที่ดี (selection) และ (4) การแลกเปลี่ยนทางพันธุกรรมและการกลายพันธุ์ (crossover and mutation) โดยกระบวนการทั้ง 4 ขั้นตอน จะดำเนินการ

วนซ้ำจนกระทั่งได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ทั้งนี้วิธี GP จะต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ population size, crossover probability, mutation probability, reproduction probability, max tree depth, function set และ generation number ซึ่งจะต้องทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับปัญหานั้น ๆ ทั้งนี้ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม GPdotNET version 4 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิดในการศึกษา สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://github.com/bhrnjica/gpdotnet>

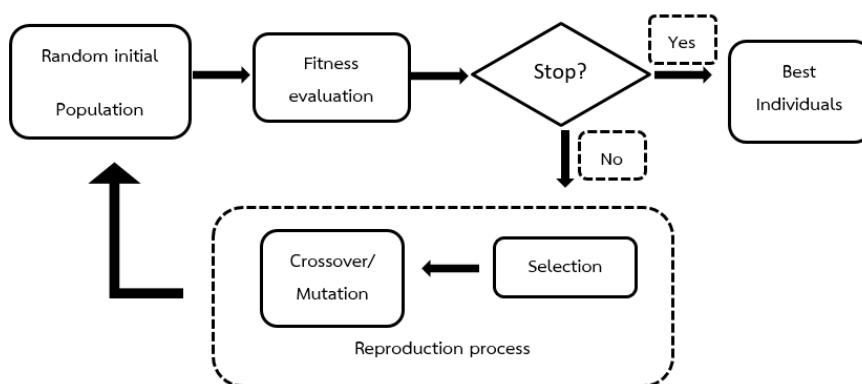


Figure 2 Flow chart of the genetic programming approach (Obiedat *et al.*, 2013)

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลเป็นรายวันจากสถานีโทรมาตรเขื่อนรัชชประภา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝน (rainfall) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) ข้อมูลระดับน้ำ (water level) มีหน่วยเป็นเมตร (m) และข้อมูลอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าแม่น้ำตาปี (discharge) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/s) ที่สถานี TD07 อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี และข้อมูลปริมาณน้ำฝน (rainfall) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) ที่สถานี TD12 อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช

ซึ่งเป็นข้อมูลปี พ.ศ. 2556-2560 สามารถดาวน์โหลดข้อมูลจากเว็บไซต์ <http://watertele.egat.co.th/rpb>

2.4 การคัดเลือกชุดข้อมูลนำเข้า

การคัดเลือกชุดข้อมูลนำเข้า โดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างชุดข้อมูลนำเข้าแต่ละตัวแปรกับชุดข้อมูลด้านออก สำหรับกรณีการพยากรณ์ระดับน้ำ ชุดข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนที่สถานี TD07 และสถานี TD12 และข้อมูลระดับน้ำที่สถานี TD07 ณ เวลาปัจจุบันและเวลาย้อนหลังต่าง ๆ ชุดข้อมูลนำออก คือ ข้อมูลระดับน้ำที่สถานี TD07 ล่วงหน้า 1 วัน สำหรับกรณีการพยากรณ์

อัตราการไหล ชุดข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนที่สถานี TD07 และสถานี TD12 และข้อมูลระดับน้ำที่สถานี TD07 ณ เวลาปัจจุบันและเวลาย้อนหลังต่าง ๆ ชุดข้อมูลนำออก คือ ข้อมูลอัตราการไหลที่สถานี TD07 ล่วงหน้า 1 วัน ทั้งนี้พิจารณาความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ที่มีข้อมูลนำเข้าทั้งข้อมูลปริมาณน้ำฝนและข้อมูลระดับน้ำ

2.5 การทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ GP ที่เหมาะสม

การทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ GP ทั้ง 7 พารามิเตอร์นั้น เริ่มจากการกำหนดค่า population size = 500, crossover probability = 0.9, mutation probability = 0.05, reproduction probability = 0.2, max tree depth = 5, function set = +, -, *, / ซึ่งเป็นค่า default ของโปรแกรม GPdotNET เป็นค่าคงที่ และแปลค่า generation number ต่าง ๆ ได้แก่ 500, 1,000, 1,500, 2,000, 2,500, 3,000 โดยพิจารณาค่า generation number ที่เหมาะสม ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เข้าใกล้ 1 มากที่สุด และค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุด โดยดำเนินการในทำนองเดียวกันสำหรับพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ จนครบทั้ง 7 พารามิเตอร์

2.6 การพัฒนาแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลในแม่น้ำตาปี

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการประยุกต์ใช้โปรแกรม GPdotNET version 4 เพื่อพัฒนาแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลแม่น้ำตาปี โดยจัดเตรียมชุดข้อมูลไว้เป็นไฟล์ที่มีนามสกุล *.CSV และแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) ชุดข้อมูล 70 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกระบวนการเรียนรู้ และ (2) ชุดข้อมูล 30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดสอบแบบจำลองชุดข้อมูลระดับน้ำสำหรับขั้นตอนการเรียนรู้มีค่า 4.10-11.16 m และขั้นตอนการทดสอบมีค่า 4.10-11.03 m

ชุดข้อมูลอัตราการไหลสำหรับขั้นตอนการเรียนรู้มีค่า 14.17-535.01 m³/s และขั้นตอนการทดสอบมีค่า 14.17-549.82 m³/s

2.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองใช้ค่าทางสถิติ 3 ค่า ได้แก่ (1) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) (2) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) และ (3) ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เข้าใกล้ 1 มากที่สุด และค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุด

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ GP ที่เหมาะสม

พบว่าค่า generation number = 3,000, population size = 500, crossover probability = 0.9, mutation probability = 0.25, reproduction probability = 0.2, max tree depth = 5 และ function set = +, -, *, / โดยผลจากการปรับค่าทั้ง 7 พารามิเตอร์ ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ดังนี้ การพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 1 วัน สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้และทดสอบ = 0.988, 0.307 m, 0.127 m และ 0.984, 0.321 m, 0.144 m ตามลำดับ และการพยากรณ์อัตราการไหลล่วงหน้า 1 สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้และทดสอบ = 0.986, 22.429 m³/s, 9.927 m³/s และ 0.982, 21.794 m³/s, 10.514 m³/s ตามลำดับ รายละเอียดผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ GP ดังแสดงในตารางที่ 2

Table 2 Testing results of appropriate GP parameters

Parameters		Mean absolute errors (MAE)				Optimal values
		Water level (m)		Discharge (m³/s)		
		Training	Testing	Training	Testing	
Population size	500	0.127	0.144	9.927	10.514	500
	1000	0.130	0.156	9.410	10.555	
	1500	0.128	0.151	10.056	11.088	
Crossover probability	0.6	0.127	0.152	10.478	10.795	0.9
	0.7	0.138	0.163	9.865	10.013	
	0.8	0.131	0.153	10.251	10.760	
	0.9	0.127	0.144	9.927	10.514	
	0.95	0.131	0.152	11.074	11.648	
Mutation probability	0.05	0.127	0.144	9.927	10.514	0.25
	0.1	0.127	0.153	10.226	11.065	
	0.15	0.128	0.150	9.567	10.301	
	0.2	0.134	0.163	9.473	10.441	
	0.25	0.127	0.149	8.936	10.023	
	0.3	0.137	0.163	9.673	10.632	
Reproduction probability	0.2	0.127	0.144	9.927	10.514	0.2
	0.3	0.139	0.162	10.747	11.339	
	0.4	0.127	0.150	9.802	10.761	
	0.5	0.128	0.142	9.769	10.891	
Max tree depth	3	0.139	0.162	11.093	11.885	Initialize depth = 5
	5	0.127	0.144	9.927	10.514	Operation depth = 6
	7	0.136	0.162	11.600	11.590	
Function set	+, -, *, /	0.132	0.150	9.959	11.200	+, -, *, /
	+, -, *, /, sin, cos, tan	0.133	0.157	12.098	12.643	
	+, -, *, /, log	0.139	0.164	10.253	11.022	
	+, -, *, /, sinh, cosh, tanh	0.140	0.163	11.579	12.761	
Generation number	500	0.128	0.154	9.642	10.863	3000
	1000	0.128	0.150	9.980	11.070	
	1500	0.127	0.144	9.927	10.514	
	2000	0.128	0.153	9.378	10.409	
	2500	0.136	0.156	9.030	10.062	
	3000	0.122	0.143	9.049	10.031	

3.2 ผลการคัดเลือกชุดข้อมูลนำเข้าและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ผลการพยากรณ์ระดับน้ำในแม่น้ำตาปีล่วงหน้า 1 วัน ให้ผลการพยากรณ์ของตัวแบบอยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้ 0.988, 0.307 m และ 0.127 m ตามลำดับ และสำหรับขั้นตอนการทดสอบ 0.984, 0.321 m และ 0.144 m ตามลำดับ โดยมีชุดข้อมูลนำเข้าและสมการที่ได้จากแบบจำลอง $WL1(t+1) = (WL1(t) - (((WL1(t) - ((2.266 + WL1(t)) * (WL1(t-1) - WL1(t-2)))) + WL1(t)) * (((((9.478 - 7.150) * (WL1(t-1) - WL1(t))) - ((WL1(t-1) / 9.478) * (2.266 - 3.184))) / (((WL1(t-3) + 4.557) + (WL1(t-3) - 2.266)) + WL1(t-1))))))$ โดยจากสมการพบว่าข้อมูลที่จำเป็นต่อการพยากรณ์ในสมการนี้ คือ $WL1(t)$ = ระดับน้ำที่สถานี TD07 ของวันปัจจุบัน $WL1(t-1)$ = ระดับน้ำที่สถานี TD07 ของวันก่อนหน้า 1 วัน $WL1(t-2)$ = ระดับน้ำที่สถานี TD07 ของวันก่อนหน้า 2 วัน $WL1(t-3)$ = ระดับน้ำที่สถานี TD07 ของวันก่อนหน้า 3 วัน และสมการที่ได้จาก

แบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 3 จากกราฟการเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำรายวันที่ได้จากการตรวจวัดและจากการพยากรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3a และรูปที่ 3b สำหรับขั้นตอนเรียนรู้และทดสอบตามลำดับ พบว่าสมการที่ได้พัฒนาขึ้นจากโปรแกรมเชิงพันธุกรรมสามารถทำนายระดับน้ำล่วงหน้า 1 วันอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่มีระดับน้ำสูงสุดมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.02 m และต่ำสุดมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.20 m

ผลการพยากรณ์อัตราการไหลในแม่น้ำตาปีล่วงหน้า 1 วัน ให้ผลการพยากรณ์ของตัวแบบอยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้ 0.986, 22.429 m³/s และ 9.927 m³/s ตามลำดับ และสำหรับขั้นตอนการทดสอบ 0.982, 21.794 m³/s และ 10.514 m³/s ตามลำดับ โดยมีชุดข้อมูลนำเข้าและสมการที่ได้จากแบบจำลอง $Q1(t+1) = ((WL1(t) / 6.341) * (1.396 + ((WL1(t) + (WL1(t) - WL1(t-1))) * (4.787 + (R1(t-2) + (R2(t-3) / 1.396))))))$ โดยจากสมการพบว่าข้อมูลที่จำเป็นต่อการพยากรณ์ใน

Table 3 Explicit equation for forecasting of 1 day ahead water levels and its performance

Explicit equation	Statistical index
$WL1(t+1) = (WL1(t) - (((WL1(t) - ((2.266 + WL1(t)) * (WL1(t-1) - WL1(t-2)))) + WL1(t)) * (((((9.478 - 7.150) * (WL1(t-1) - WL1(t))) - ((WL1(t-1) / 9.478) * (2.266 - 3.184))) / (((WL1(t-3) + 4.557) + (WL1(t-3) - 2.266)) + WL1(t-1))))))$	$r = 0.988$ $RMSE = 0.307 \text{ m}$ $MAE = 0.127 \text{ m}$
	Testing
	$r = 0.984$ $RMSE = 0.321 \text{ m}$ $MAE = 0.144 \text{ m}$
	Training

$WL1(t)$ = present day water level data at TD07 station; $WL1(t-1)$ = previous 1 day water level data at TD07 station; $WL1(t-2)$ = previous 2 days water level data at TD07 station; $WL1(t-3)$ = previous 3 days water level data at TD07 station; $WL1(t+1)$ = 1 day ahead water level data at TD07 station.

Table 4 Explicit equation for forecasting of 1-day ahead river discharge and its performance

Explicit equation	Statistical index
$Q1(t+1) = ((WL1(t)/6.341)*(1.396+((WL1(t)+(WL1(t)-WL1(t-1)))*(4.787+(R1(t-2)+(R2(t-3)/1.396))))))$	$r = 0.986$ $RMSE = 22.429 \text{ m}^3/\text{s}$ $MAE = 9.927 \text{ m}^3/\text{s}$
	Training
	$r = 0.982$ $RMSE = 21.794 \text{ m}^3/\text{s}$ $MAE = 10.514 \text{ m}^3/\text{s}$
	Testing

WL1(t) = present day water level data at TD07 station; WL1(t-1) = previous 1 day water level data at TD07 station; WL1(t-2) = previous 2 days water level data at TD07 station; WL1(t-3) = previous 3 days water level data at TD07 station; WL1(t+1) = 1 day ahead water level data at TD07 station.

สมการนี้ คือ $R1(t-2)$ = ปริมาณน้ำฝนที่สถานี TD07 ของวันก่อนหน้า 2 วัน $R2(t-3)$ = ปริมาณน้ำฝนที่สถานี TD12 ของวันก่อนหน้า 3 วัน $WL1(t)$ = ระดับน้ำที่สถานี TD07 ของวันปัจจุบัน $WL1(t-1)$ = ระดับน้ำที่สถานี TD07 ของวันก่อนหน้า 1 วัน และสมการที่ได้จากแบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 4 จากกราฟการเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำรายวันที่ได้จากการตรวจวัดและจากการพยากรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3c และรูปที่ 3d สำหรับขั้นตอนเรียนรู้และทดสอบตามลำดับ พบว่าสมการที่ได้พัฒนาขึ้นจากโปรแกรมเชิงพันธุกรรมสามารถทำนายอัตราการไหลล่วงหน้า 1 วัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่มีอัตราการไหลสูงสุดมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า $17.00 \text{ m}^3/\text{s}$ และต่ำสุดมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า $5 \text{ m}^3/\text{s}$

ผลการพยากรณ์อัตราการไหลในแม่น้ำตาปีล่วงหน้า 1 วัน ให้ผลการพยากรณ์ของตัวแบบอยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้ 0.986 , $22.429 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $9.927 \text{ m}^3/\text{s}$

ตามลำดับ และสำหรับขั้นตอนการทดสอบ 0.982 , $21.794 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $10.514 \text{ m}^3/\text{s}$ ตามลำดับ โดยมีชุดข้อมูลนำเข้า และสมการที่ได้จากแบบจำลอง $Q1(t+1) = ((WL1(t)/6.341)*(1.396+((WL1(t)+(WL1(t)-WL1(t-1)))*(4.787+(R1(t-2)+(R2(t-3)/1.396))))))$ โดยจากสมการพบว่าข้อมูลที่จำเป็นต่อการพยากรณ์ในสมการนี้ คือ $R1(t-2)$ = ปริมาณน้ำฝนที่สถานี TD07 ของวันก่อนหน้า 2 วัน $R2(t-3)$ = ปริมาณน้ำฝนที่สถานี TD12 ของวันก่อนหน้า 3 วัน $WL1(t)$ = ระดับน้ำที่สถานี TD07 ของวันปัจจุบัน $WL1(t-1)$ = ระดับน้ำที่สถานี TD07 ของวันก่อนหน้า 1 วัน และสมการที่ได้จากแบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 4 จากกราฟการเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำรายวันที่ได้จากการตรวจวัดและจากการพยากรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3c และรูปที่ 3d สำหรับขั้นตอนเรียนรู้และทดสอบตามลำดับ พบว่าสมการที่ได้พัฒนาขึ้นจากโปรแกรมเชิงพันธุกรรมสามารถทำนายอัตราการไหลล่วงหน้า 1 วัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่มีอัตราการไหลสูงสุดมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า $17.00 \text{ m}^3/\text{s}$ และต่ำสุดมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า $5 \text{ m}^3/\text{s}$

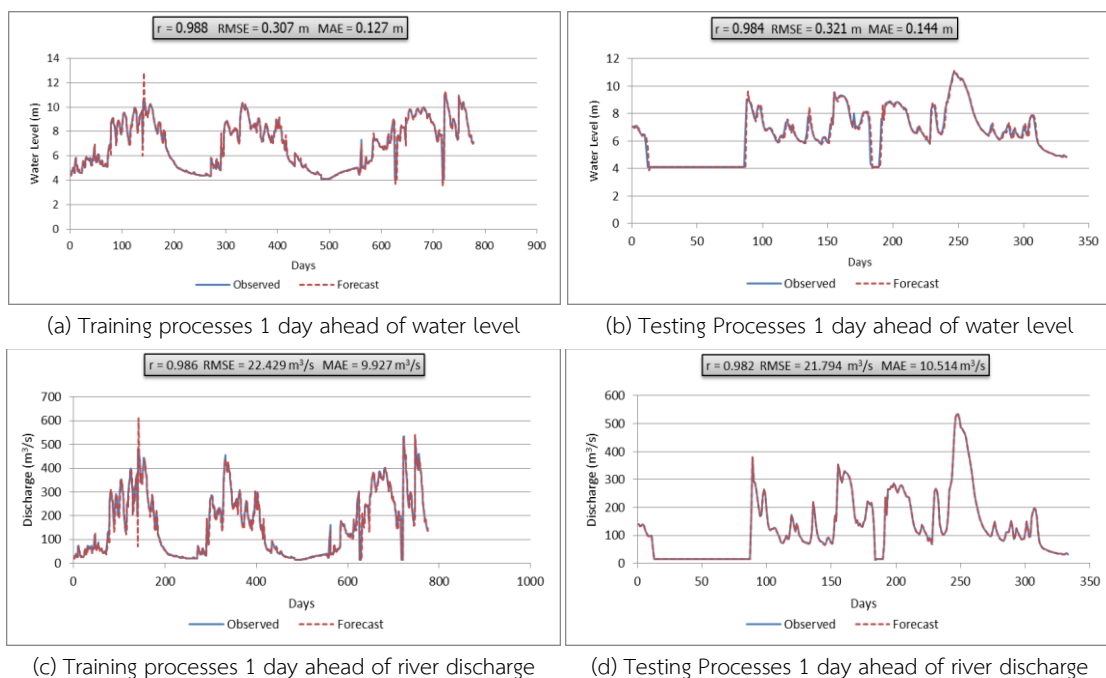


Figure 3 Comparison chart between the daily of water level and river discharge of observed and forecast

4. สรุป

การศึกษาพบว่าโปรแกรมเชิงพันธุกรรมสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลในแม่น้ำตาปี ณ อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ล่วงหน้า 1 วัน ให้ค่าการวัดประสิทธิภาพของตัวแบบอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มากกว่า 0.95 สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้และทดสอบ และค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยสามารถนำไปใช้ประยุกต์ในการพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลการดำเนินงานวิจัยดังกล่าวสอดคล้องและมีประสิทธิภาพที่ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยการประยุกต์ใช้วิธีนิวโรเจนติกเพื่อการพยากรณ์ระดับน้ำแม่น้ำตาปี ณ อำเภอพระแสง และอำเภอเคียนซา จังหวัดสุราษฎร์ธานี [4] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานที่ใช้พยากรณ์และช่วงข้อมูลที่ใกล้เคียงกันด้วย

โดยสามารถนำสมการที่ได้ไปใช้ในการพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลในพื้นที่ศึกษา

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา และสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร หน่วยวิจัยการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน (REMS) ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ สำหรับสถานที่และความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอขอบคุณ รศ.ดร.ชิตณรงค์ ศิริสถิตย์กุล และทีมงาน โครงการ 24: Secret Writers of Thasala และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่อนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยครั้งนี้

6. References

- [1] Hydro and Agro Informatics Institute, Thaiwater, Available Source: <http://www.thaiwater.net/web/index.php/archive.html>, Aug 17, 2018. (in Thai)
- [2] Sukka, P., 2005, Forecasting of Daily Inflow to Large Reservoir in Upper Ping River Basin Using Artificial Neural Network, Master Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)
- [3] Amloy, S., 2009, Reservoir Inflow Forecasting by Decision Tree Model: A Case Study of Huay Nam Sai Reservoir Nakhon Si Thammarat Province, Master Thesis, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- [4] Keawpachu, W., 2009, The Application of Neuro-Genetic Approach for Water Level Forecasting of Thapi River at Amphoe Phrasaeng and Amphoe Khian Sa, Suratthani Province, Master Thesis, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- [5] Najafzadeh, M., Shiri, J., Sadeghi, G. and Ghaemi, A., 2017, Prediction of the friction factor in pipes using model tree, *ISH J. Hydraulic Eng.* 24: 9-15.
- [6] Choi, S.U., Choi, B. and Choi, S., 2015, Improving predictions made by ANN model using data quality assessment: An application to local scour around bridge piers, *J. Hydroinform.* 17: 977-989.
- [7] Artigue, G., Johannet, A., Borrell, V. and Pistre, S., 2012, Flash flood forecasting in poorly gauged basins using neural networks: Case study of the Gardon de Mialet basin (southern France) , *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12: 3307-3324.
- [8] Weerasinghe, H.D.P., Premaratne, H.L. and Sonnadara, D.U.J., 2010, Performance of neural networks in forecasting daily precipitation using multiple sources, *J. Nat. Sci. Found. Sri Lanka* 38(3): 163-170.
- [9] Fallah-Mehdipour, E., Bozorg Haddad, O. and Marino, M. A. , 2013, Developing reservoir operational decision rule by genetic programming, *J. Hydroinform.* 15: 103-119.
- [10] Che Ghani, N.Z., Abu Hasan, Z. and Tze Liang, L. , 2014, Estimation of missing rainfall data using GEP: Case study of Raja River, Alor Setar, Kedah, *Adv. Artif. Intell.* 716398.
- [11] Watanabe, N., Fukami, K., Imamura, H., Sonoda, K. and Yamane, S., 2009, Flood forecasting technology with radar-derived rainfall data using genetic programming, *International Joint Conference on Neural Networks*, Atlanta, GA.
- [12] Mediero, L. , Garrote, L. and Chavez-Jimenez, A., 2012, Improving probabilistic flood forecasting through a data assimilation scheme based on genetic programming, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12: 3719-2012.
- [13] Ji, H., Songlin, W., Qinglin, W. and Xiaonan, C., 2012, Douhe reservoir flood forecasting

- model based on data mining technology, Proc. Environ. Sci. 12: 93-98.
- [14] Hakimzadeh, H., Nourani, V. and Amini, A. B., 2014, Genetic programming simulation of dam breach hydrograph and peak outflow discharge, J. Hydro. Eng. 19: 757-768.
- [15] Li, H. , Jiang, S. and Bao, X. , 2009, Application of genetic programming to identifying water- level and storage-capacity curve of the Xingxingshao Reservoir, Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, China.
- [16] Kasiviswanathan, K. S. , Saravanan, S. , Balamurugan, M. and Saravanan, K., 2016, Genetic programming based monthly groundwater level forecast models with uncertainty quantification, Model. Earth Syst. Environ. DOI: 10.1007/s40808-016-0083-0.
- [17] Obiedat, R., Alkasassbeh, M., Faris, H. and Harfoushi, O. , 2013, Customer churn prediction using a hybrid genetic programming approach, Acad. J. 8: 1289-1295.
- [18] Koza, J.R. and Rice, J.P., 1992, Automatic programming of robots using genetic programming, 10th National Conference on Artificial Intelligence, San Jose, CA.