



การประยุกต์ใช้วิธีฮาร์โมนีเชิร์ชเพื่อปรับปรุงโครงสร้างของอ่างเก็บน้ำ

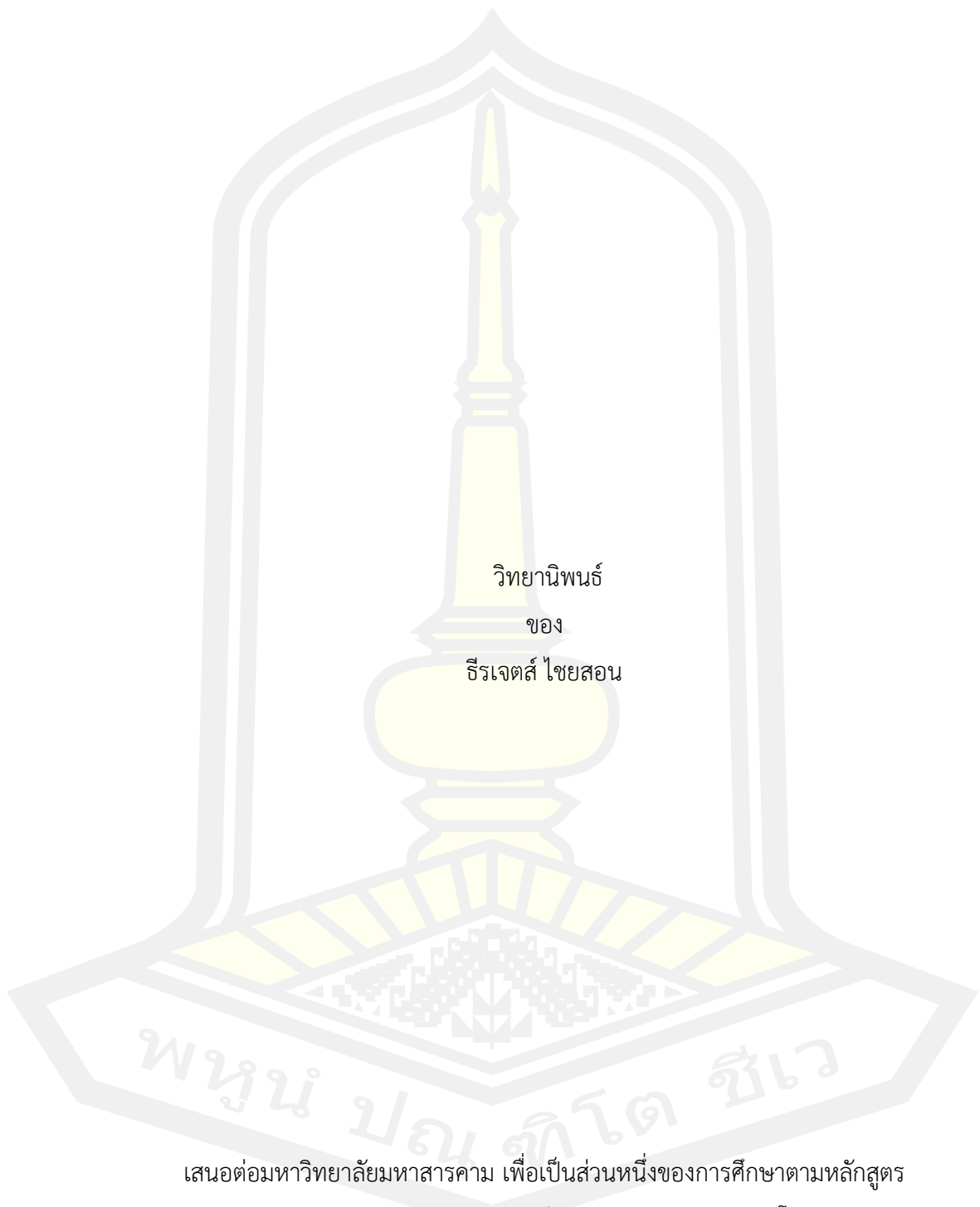
วิทยานิพนธ์
ของ
ธีรเจตส์ ไชยสอน

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

พฤษภาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การประยุกต์ใช้วิธีฮาร์โมนีเซอร์ชเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ



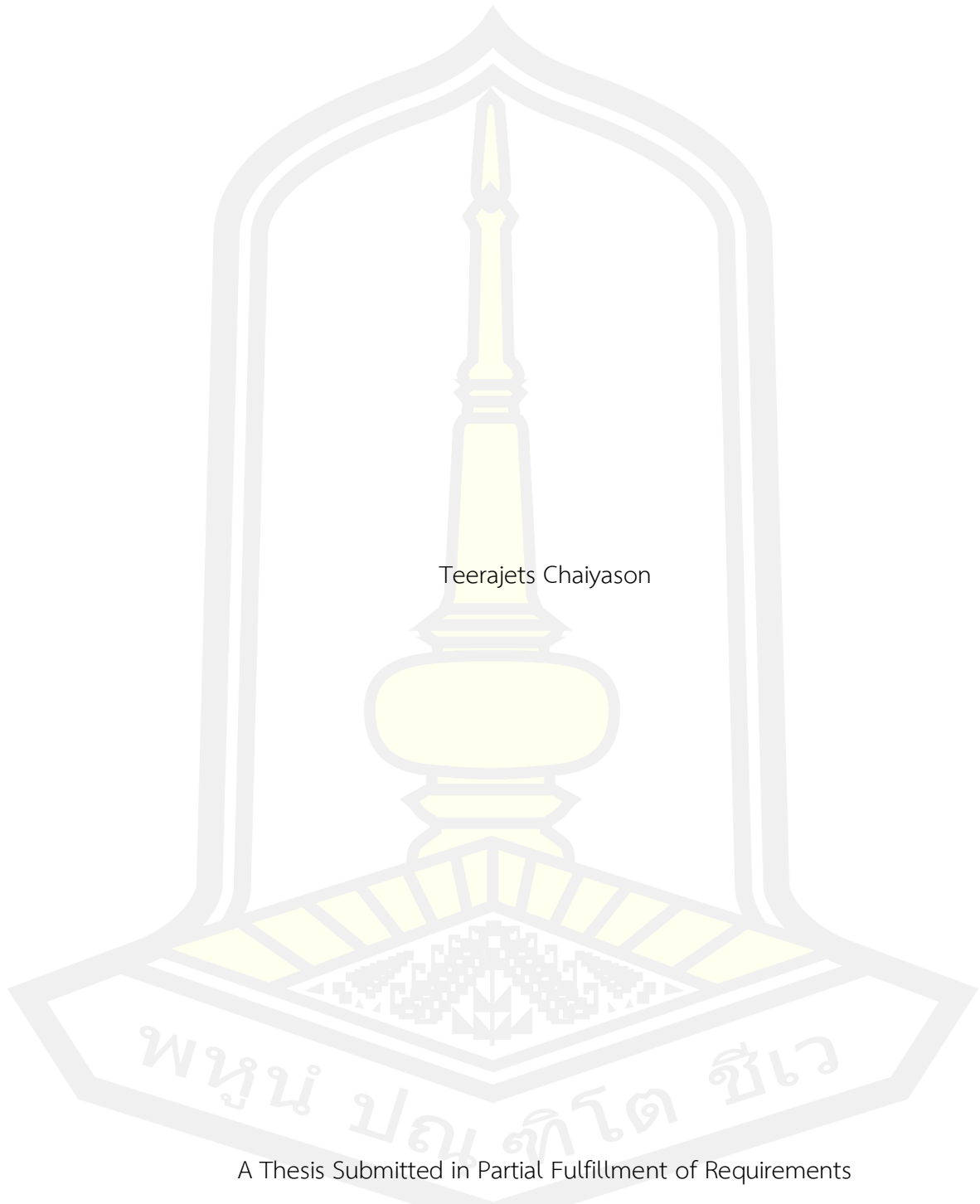
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

พฤษภาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Application of Harmony Search for Improvement Reservoir Rule Curves

Teerajets Chaiyason



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Civil Engineering)

November 2022

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายธีรเจตส์ ไชยสอน แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. หริส ประสารฉ่ำ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. ศีวา แก้วปลั่ง)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. รัตนา หอมวิเชียร)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การประยุกต์ใช้วิธีฮาร์โมนีเซิร์ชเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ
 ผู้วิจัย อธิเรตส์ ไชยสอน
 อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
 ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
 มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm) เชื่อมต่อกับแบบจำลองการเลียนแบบอ่างเก็บน้ำ เพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำภายใต้ข้อมูลแบบเปลี่ยนแปลงของอัตราการระเหย ความต้องการด้านอุปโภค-บริโภค และปริมาณฝนใช้การ อ่างเก็บน้ำที่ใช้เป็นกรณีศึกษาประกอบด้วย อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จังหวัดมหาสารคาม อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกและอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จังหวัดยโสธร โค้งควบคุมใหม่ที่ได้ถูกนำไปประเมินประสิทธิภาพด้วยการจำลองการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าสังเคราะห์จากข้อมูลอดีต จำนวน 100 ปี 500 ชุดข้อมูล พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค (Genetic Algorithm) และโค้งควบคุมเดิม ซึ่งแสดงผลในรูปของความถี่ ปริมาณ และช่วงเวลา ทั้งในสถานการณ์น้ำขาดแคลนและการไหลล้น

ผลการศึกษาพบว่า อัตราการระเหยแบบเปลี่ยนแปลงของแต่ละอ่างเก็บน้ำมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในแต่ละเดือน และมีความแตกต่างกับค่าคงที่แบบค่าเฉลี่ย สำหรับความต้องการน้ำอุปโภค-บริโภคที่ประเมินจากจำนวนประชากรรายปีในพื้นที่ชลประทาน มีค่าแตกต่างกับกรณีใช้ค่าคงที่แบบค่าเฉลี่ย ส่วนการประเมินปริมาณฝนใช้การแบบเปลี่ยนแปลง พบว่ามีทั้งค่ามากกว่าและค่าน้อยกว่าค่าคงที่แบบค่าเฉลี่ย สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่ พบว่าโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Harmony Search Algorithm มีค่าใกล้เคียงกับโค้งที่ได้จาก Genetic Algorithm และมีประสิทธิภาพดีกว่าโค้งควบคุมเดิมทั้งในกรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ยและกรณีใช้ข้อมูลแบบเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังพบว่าโค้งควบคุมที่ได้จากการใช้ข้อมูลแบบเปลี่ยนแปลงในกระบวนการค้นหาจะเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากกว่าโค้งควบคุมที่ได้จากการใช้ข้อมูลแบบเฉลี่ย

คำสำคัญ : อัตราการระเหย, ความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภค, ปริมาณฝนใช้การ, โค้งควบคุม

อ่างเก็บน้ำ, Harmony Search Algorithm, Genetic Algorithm



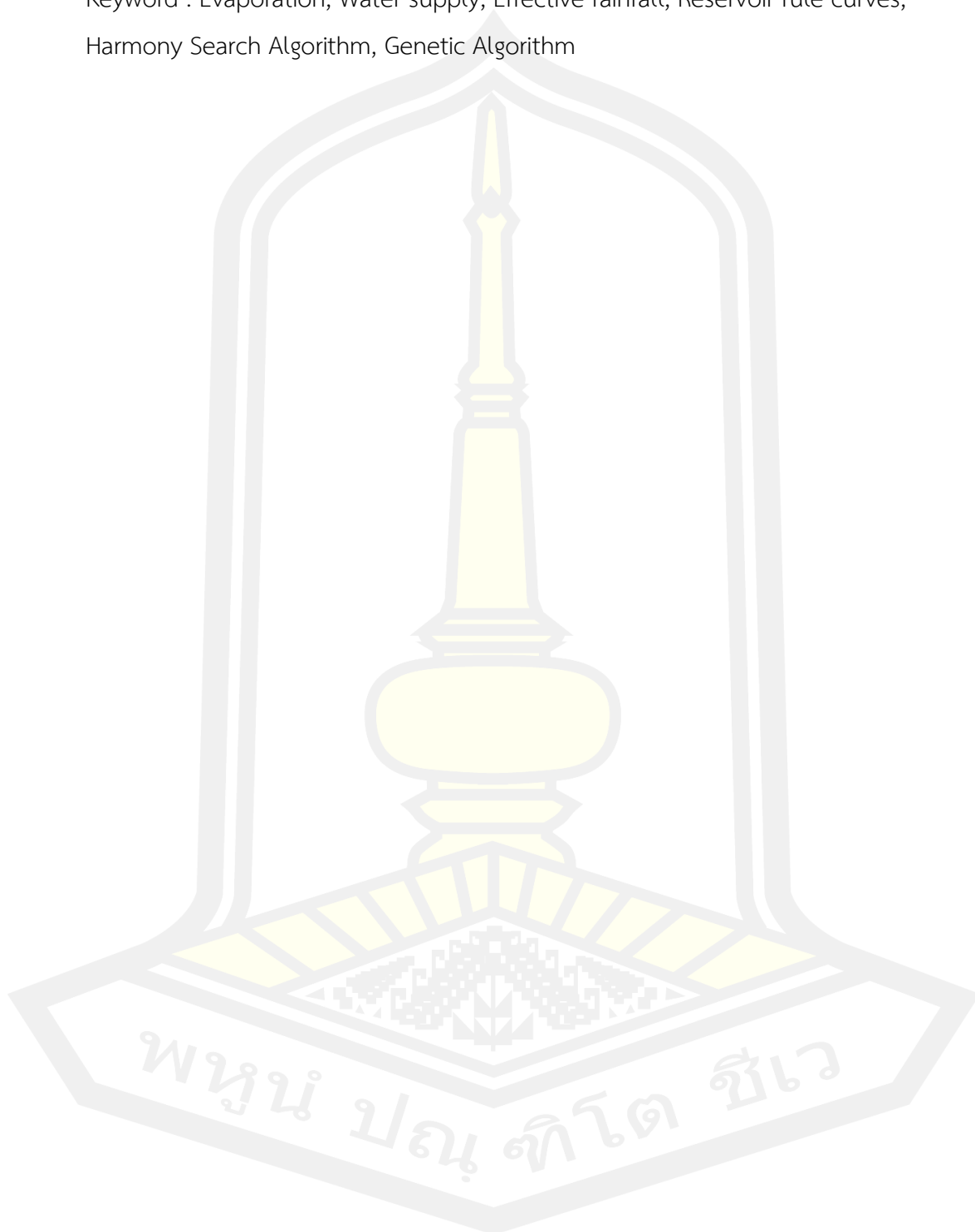
TITLE	Application of Harmony Search for Improvement Reservoir Rule Curves		
AUTHOR	Teerajets Chaiyason		
ADVISORS	Professor Anongrit Kangrang , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Civil Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2022

ABSTRACT

This research applied Harmony Search Algorithm with reservoir simulation model for improving rule curves of reservoir under dynamic data of evaporation, water supply and effective rainfall. The case study of reservoir consisted of Kang Leung Jan reservoir, Maharakham province, Huay Sabag and Huay Lingjone, Yasothon province. The new obtained rule curves were evaluated the efficiency by reservoir operation considering synthetic inflow data of 100 years 500 samples as well as compared with the obtained rule curves of Genetic Algorithm and existing rule curves. The results were displayed situations of water shortage and excess water in term of frequency, duration time, average water and the highest water.

The results shown that the dynamic data of evaporation of each reservoir depended on air temperature which were different from the constant ones. The dynamic water demand estimating from dynamic population quite differed from the constant data of average values. Whereas, the dynamic effective rainfall were both more and less than the constant ones. The new obtained rule curves from Harmony Search Algorithm were closed to the rule curves of Genetic Algorithm and having the efficiency higher than the existing rule curves in both considering constant data and dynamic data cases. In addition, the obtained rule curves using dynamic data were more suitable and more efficiency than the obtained rule curves using the constant data in searching procedure.

Keyword : Evaporation, Water supply, Effective rainfall, Reservoir rule curves,
Harmony Search Algorithm, Genetic Algorithm



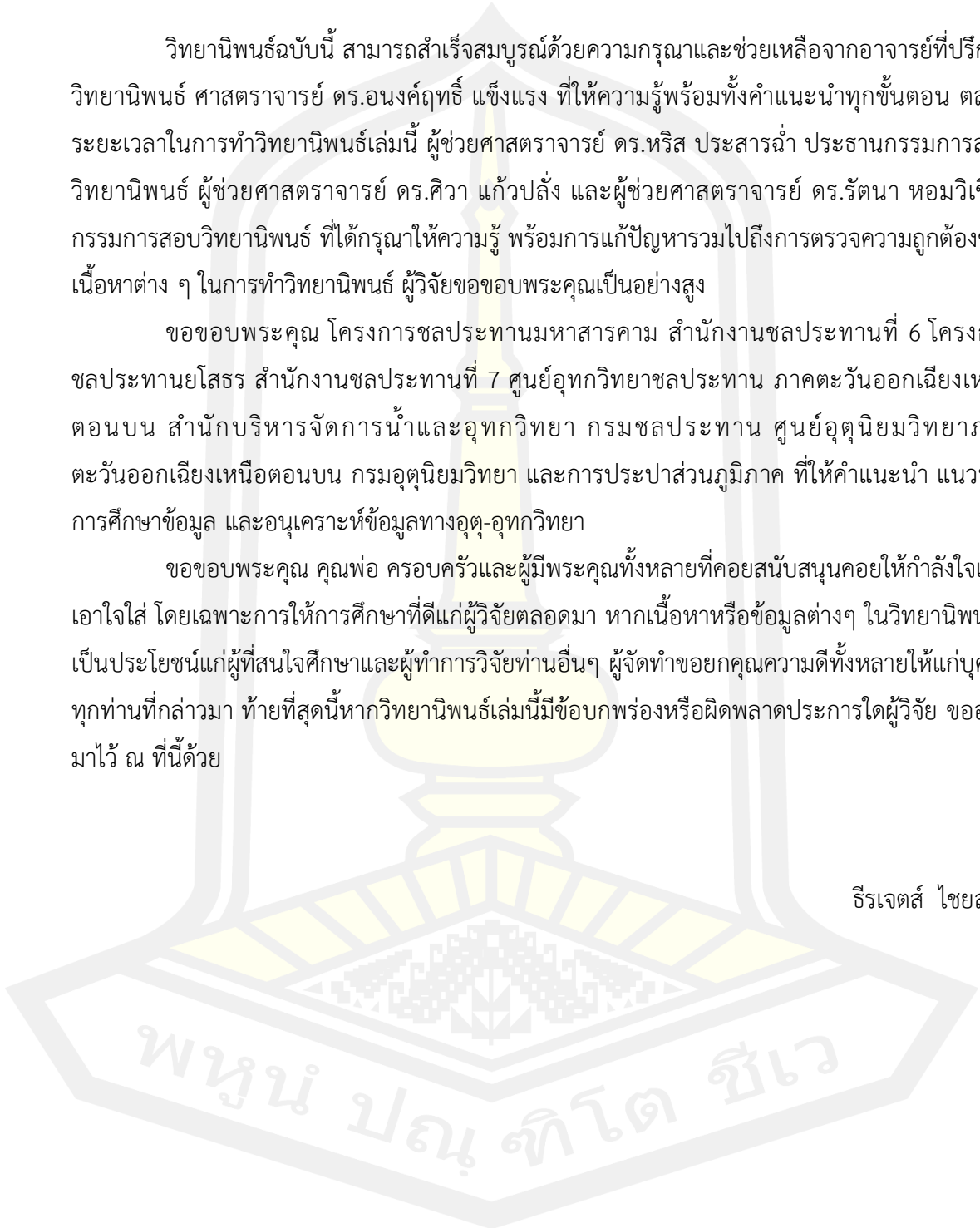
กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จสมบูรณ์ด้วยความกรุณาและช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง ที่ให้ความรู้พร้อมทั้งคำแนะนำทุกขั้นตอน ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หริส ประสารฉ่ำ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวิลา แก้วปลั่ง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนา หอมวิเชียร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ พร้อมการแก้ปัญหา รวมไปถึงการตรวจความถูกต้องของเนื้อหาต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ โครงการชลประทานมหาสารคาม สำนักงานชลประทานที่ 6 โครงการชลประทานยโสธร สำนักงานชลประทานที่ 7 ศูนย์อุทกวิทยาชลประทาน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน กรมอุตุนิยมวิทยา และการประสานส่วนภูมิภาค ที่ให้คำแนะนำ แนวทางการศึกษาข้อมูล และอนุเคราะห์ข้อมูลทางอุตุ-อุทกวิทยา

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ ครอบครัวและผู้มีพระคุณทั้งหลายที่คอยสนับสนุนคอยให้กำลังใจและเอาใจใส่ โดยเฉพาะการให้การศึกษาที่ดีแก่ผู้วิจัยตลอดมา หากเนื้อหาหรือข้อมูลต่างๆ ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษาและผู้ที่ทำวิจัยท่านอื่นๆ ผู้จัดทำขอขอบคุณความดีทั้งหลายให้แก่บุคคลทุกท่านที่กล่าวมา ท้ายที่สุดนี้หากวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใดผู้วิจัย ขออภัยมาไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ธีรเจตส์ ไชยสอน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ปรัชญาเอกสารข้อมูล.....	5
2.1 หลักการจัดการน้ำ.....	5
2.2 อัตราการระเหย.....	8
2.3 ความต้องการน้ำด้านอุปโภค-บริโภค.....	17
2.4 ปริมาณฝนใช้การ.....	18
2.5 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ.....	26
2.6 การค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม.....	30
2.7 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	33
2.8 วิธีฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm).....	36
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	57

3.1 พื้นที่ศึกษา.....	59
3.2 การประเมินอัตราการระเหย.....	73
3.3 การประเมินความต้องการน้ำด้านอุปโภค-บริโภค.....	73
3.4 การประเมินปริมาณฝนใช้การ.....	73
3.5 การค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm).....	74
3.6 การประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุม.....	77
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	80
4.1 ผลการประเมินอัตราการระเหย ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค และปริมาณฝนใช้การ..	80
4.2 ผลการศึกษาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่พัฒนาโดยเทคนิค Harmony Search Algorithm	118
4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพระหว่างโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่มีอยู่เดิมที่ใช้งานในปัจจุบันกับ โค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาด้วยเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm) .	148
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	158
5.1 สรุปผล.....	158
5.2 ข้อเสนอแนะ	161
บรรณานุกรม.....	163
ภาคผนวก.....	166
ภาคผนวก ก อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน	167
ภาคผนวก ข อัตราการระเหยรายเดือน.....	172
ภาคผนวก ค ปริมาณฝนรายเดือน.....	177
ภาคผนวก ง ประชากรในพื้นที่ศึกษา	182
ประวัติผู้เขียน.....	186

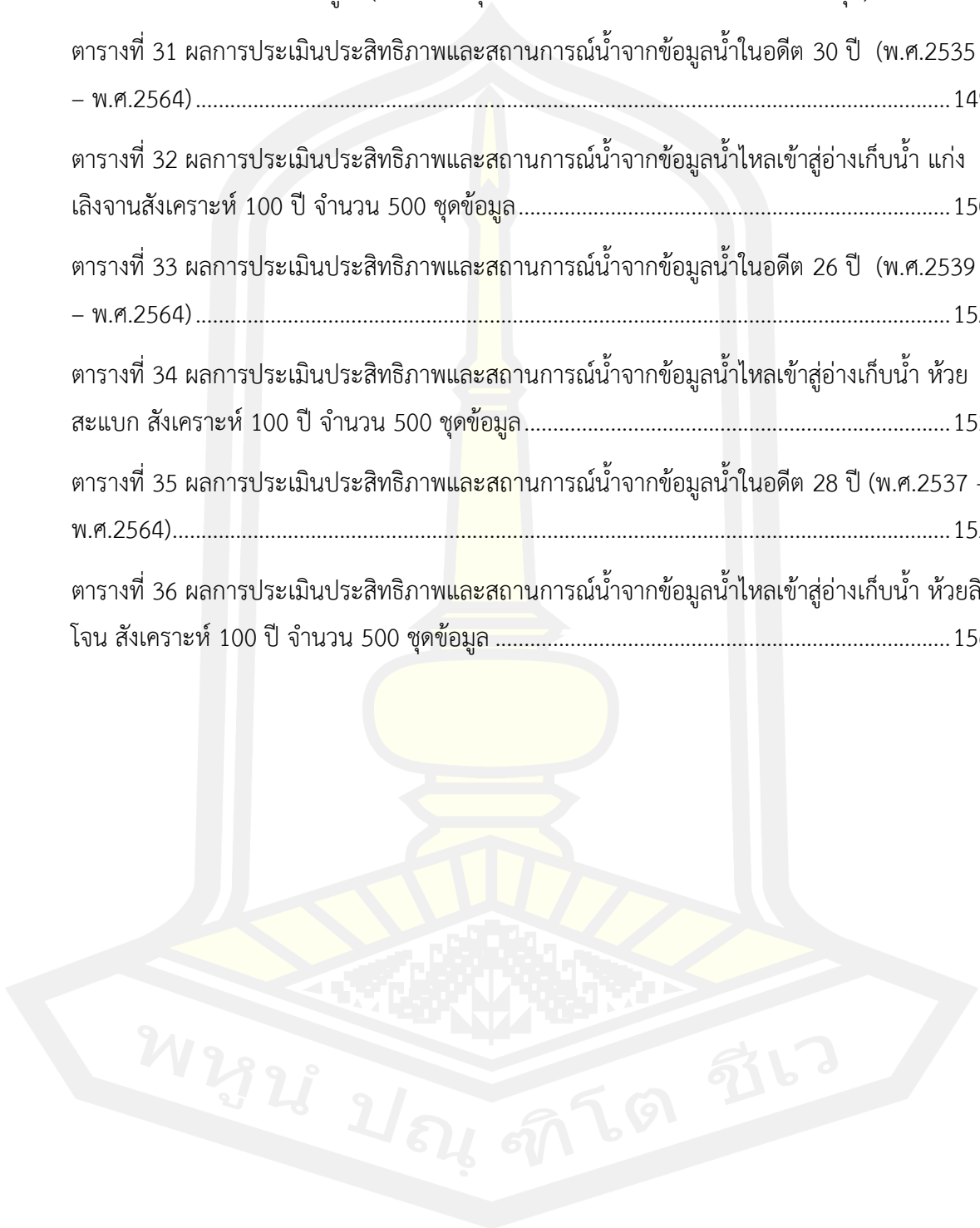
สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 อัตราการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค ตามปริมาณประชากร	18
ตารางที่ 2 Weighted rainfall (WRFL) และ Effective Rainfall ของปริมาณน้ำฝนรายเดือน	19
ตารางที่ 3 ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) ของพืชไร่ สำหรับฝนรายเดือนเฉลี่ยและอัตราการใช้น้ำของพืชขนาดต่างๆ ตัวเลขในตารางสำหรับกรณีที่ดินในเขตรากมีความสามารถอุ้มน้ำได้ 75 มิลลิเมตร.....	19
ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Penman-Monteith รายเดือน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	21
ตารางที่ 5 การศึกษาการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่ผ่านมา	51
ตารางที่ 6 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน	62
ตารางที่ 7 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก	66
ตารางที่ 8 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน	71
ตารางที่ 9 ค่า i ในแต่ละเดือนของปี 2564	81
ตารางที่ 10 ผลการประเมินอัตราการระเหยของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน.....	83
ตารางที่ 11 ผลการประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภคของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ลูกบาศก์เมตร).....	88
ตารางที่ 12 ผลการประเมินปริมาณฝนใช้การของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ล้านลูกบาศก์เมตร).....	91
ตารางที่ 13 ผลการประเมินอัตราการระเหยของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก (มิลลิเมตร)	96
ตารางที่ 14 ผลการประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภคของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก (ลูกบาศก์เมตร).....	99
ตารางที่ 15 ผลการประเมินปริมาณฝนใช้การของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก (ล้านลูกบาศก์เมตร).....	103
ตารางที่ 16 ผลการประเมินอัตราการระเหยของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน (มิลลิเมตร).....	108
ตารางที่ 17 ผลการประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภคของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน (ลูกบาศก์เมตร).....	111

ตารางที่ 18 ผลการประเมินปริมาณฝนใช้การของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน (ล้านลูกบาศก์เมตร).....	115
ตารางที่ 19 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน โดยเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด).....	119
ตารางที่ 20 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน โดยเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด)	121
ตารางที่ 21 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน โดยเทคนิค Genetic Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด)	123
ตารางที่ 22 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน โดยเทคนิค Genetic Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด).....	125
ตารางที่ 23 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก โดยเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด).....	129
ตารางที่ 24 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก โดยเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด)	131
ตารางที่ 25 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก โดยเทคนิค Genetic Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด)	133
ตารางที่ 26 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก โดยเทคนิค Genetic Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด).....	135
ตารางที่ 27 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน โดยเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การขาดแคลนนํ้าเฉลี่ยน้อยที่สุด)	139
ตารางที่ 28 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน โดยเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การขาดแคลนนํ้าเฉลี่ยน้อยที่สุด)	141
ตารางที่ 29 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน โดยเทคนิค Genetic Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การขาดแคลนนํ้าเฉลี่ยน้อยที่สุด).....	143

ตารางที่ 30 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน โดยเทคนิค Genetic Algorithm กรณี ประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การขาดแคลนน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุด)	145
ตารางที่ 31 ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำในอดีต 30 ปี (พ.ศ.2535 – พ.ศ.2564)	149
ตารางที่ 32 ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ แก่ง เลิงจานสังเคราะห์ 100 ปี จำนวน 500 ชุดข้อมูล.....	150
ตารางที่ 33 ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำในอดีต 26 ปี (พ.ศ.2539 – พ.ศ.2564)	152
ตารางที่ 34 ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ห้วย สะแบก สังเคราะห์ 100 ปี จำนวน 500 ชุดข้อมูล.....	153
ตารางที่ 35 ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำในอดีต 28 ปี (พ.ศ.2537 – พ.ศ.2564).....	155
ตารางที่ 36 ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ห้วยลิง โจน สังเคราะห์ 100 ปี จำนวน 500 ชุดข้อมูล	156



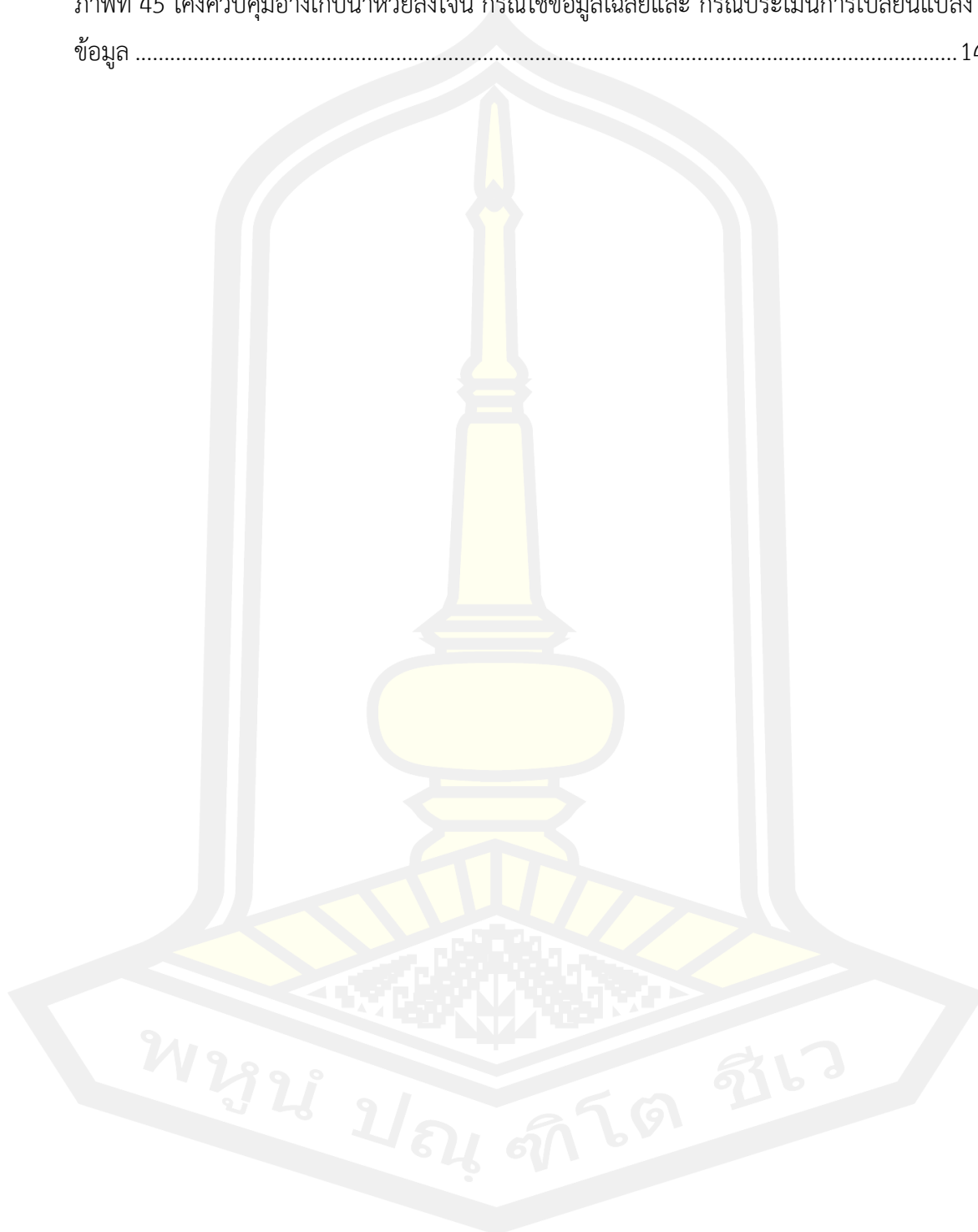
สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ทิศทางการจัดการน้ำ.....	7
ภาพที่ 2 ถาดวัดการระเหยของน้ำ	9
ภาพที่ 3 เทคนิคการสร้างรูปหลายเหลี่ยมทิสเสน	23
ภาพที่ 4 เทคนิคการวาดเส้นชั้นน้ำฝน.....	25
ภาพที่ 5 นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน	27
ภาพที่ 6 เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging	29
ภาพที่ 7 Pseudocode of HS method.....	39
ภาพที่ 8 แผนผังกระบวนการดำเนินงาน กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย	58
ภาพที่ 9 แผนผังกระบวนการดำเนินงาน กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล	58
ภาพที่ 10 ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน	60
ภาพที่ 11 รายละเอียดโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน	60
ภาพที่ 12 แผนผังการไหลของกลุ่มน้ำชี.....	61
ภาพที่ 13 ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก	65
ภาพที่ 14 รายละเอียดโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก	65
ภาพที่ 15 ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน.....	69
ภาพที่ 16 รายละเอียดโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน	69
ภาพที่ 17 แผนผังการไหลลุ่มน้ำลำเซบาย.....	70
ภาพที่ 18 แผนผังการทำงานหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยวิธีฮาร์โมนีเชิร์ช.....	76
ภาพที่ 19 อัตราการระเหยรายเดือนของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน.....	82
ภาพที่ 20 อัตราการระเหยรายปีของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน.....	82
ภาพที่ 21 ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค รายเดือน อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน.....	86

ภาพที่ 22 ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค รายปี อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน.....	86
ภาพที่ 23 ปริมาณฝนใช้การรายเดือน อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน.....	87
ภาพที่ 24 ปริมาณฝนใช้การรายปี อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน.....	87
ภาพที่ 25 อัตราการระเหยรายเดือน อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก.....	94
ภาพที่ 26 อัตราการระเหยรายปี อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก.....	95
ภาพที่ 27 ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค รายเดือน อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก.....	98
ภาพที่ 28 ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค รายปี อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก.....	98
ภาพที่ 29 ปริมาณฝนใช้การรายเดือน อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก.....	102
ภาพที่ 30 ปริมาณฝนใช้การรายปี อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก.....	102
ภาพที่ 31 อัตราการระเหยรายเดือน อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน	106
ภาพที่ 32 อัตราการระเหยรายปี อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน	107
ภาพที่ 33 ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค รายเดือน อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน	110
ภาพที่ 34 ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค รายปี อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน	110
ภาพที่ 35 ปริมาณฝนใช้การรายเดือน อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน	114
ภาพที่ 36 ปริมาณฝนใช้การรายปี อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน	114
ภาพที่ 37 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย	127
ภาพที่ 38 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล	127
ภาพที่ 39 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ยและ กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลง ข้อมูล	128
ภาพที่ 40 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย.....	137
ภาพที่ 41 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล	137
ภาพที่ 42 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ยและ กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลง ข้อมูล	138
ภาพที่ 43 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย	147

ภาพที่ 44 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล..... 147

ภาพที่ 45 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ยและ กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลง
ข้อมูล 148



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

น้ำ เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญและจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งมนุษย์นับเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการนำน้ำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆมากที่สุด เช่น การอุปโภค-บริโภค การอุตสาหกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้า และการเกษตรกรรม แต่ปริมาณน้ำที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ มีความแตกต่างกันตามฤดูกาล ในบางฤดูมีปริมาณน้ำให้ใช้อย่างจำกัดไปจนถึงขาดแคลน แต่ในบางฤดูกาลมีปริมาณน้ำให้ใช้มากไปจนถึงเกินความจำเป็น ซึ่งไม่ว่าจะน้อยเกินไปหรือมากเกินไป ย่อมส่งผลกระทบต่อกิจกรรมบางอย่างที่มนุษย์นำไปใช้ประโยชน์ ในปัจจุบันมีความไม่แน่นอนของสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือความไม่แน่นอนของรูปแบบของมรสุม ส่งผลให้เกิดปัญหาที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำ นั่นก็คือ ปัญหาภัยแล้งและอุทกภัย เป็นปัญหาที่รุนแรง ส่งผลกระทบต่อภาคการเกษตรเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นกิจกรรมหลักของประชาชนในบริเวณพื้นที่ศึกษา ทำให้เป็นอุปสรรคในการดำรงชีวิตของประชาชน และในอนาคตมีการเพิ่มขึ้นของประชากร มีแนวโน้มที่จะมีความต้องการน้ำที่เพิ่มมากขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการบริหารจัดการด้านทรัพยากรน้ำ ซึ่งอ่างเก็บน้ำถือเป็นหนึ่งในเครื่องมือสำคัญในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ

อ่างเก็บน้ำ เป็นกลไกที่มนุษย์สร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลมาตามธรรมชาติ โดยมีหน้าที่หลักสำคัญ 2 ประการคือ เก็บกักน้ำให้ได้ปริมาณมากที่สุดเพื่อป้องกันการเกิดภัยแล้ง และรองรับปริมาณฝนที่จะเกิดขึ้น เพื่อป้องกันการเกิดอุทกภัย โดยการปล่อยน้ำไปใช้เพื่อกิจกรรมต่างๆ เพื่อรองรับการมาของปริมาณฝน แต่อ่างเก็บน้ำเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบใช้สิ่งก่อสร้าง ซึ่งมีต้นทุนที่สูง ใช้ระยะเวลานาน และมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและยุ่งยาก ในปัจจุบันจึงไม่นิยมใช้การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ มาเพื่อบริหารจัดการด้านทรัพยากรน้ำ แต่จะใช้การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งเป็นการบริหารจัดการแบบไม่ใช้สิ่งก่อสร้างแทน เนื่องจากใช้ระยะเวลาไม่นาน และมีผลกระทบต่อด้านอื่นๆน้อย

การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ จะบริหารอยู่ภายใต้กฎการปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operating Rules) ซึ่งกฎนี้จะใช้ในช่วงเวลาการปฏิบัติงานตามปกติ ซึ่งกฎการปฏิบัติงานของอ่างเก็บน้ำมีหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันคือ โค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation Rule Curves) หรือบางครั้งเรียกว่าโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ (Rule Curves) ซึ่งประกอบไปด้วยเส้นกราฟสองเส้นคือ เส้นขอบบน (Upper Rule Curve, URC) และเส้นขอบล่าง (Lower Rule Curve, LRC) โดยกราฟสองเส้นนี้ เพื่อควบคุมปริมาณน้ำในอ่างไม่ให้สูงเกินกว่าเส้นขอบบนและไม่ให้

ต่ำกว่าเส้นขอบล่าง ในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่จะต้องระบายในแต่ละช่วงเวลา (รายเดือน หรือรายสัปดาห์) จะพิจารณาจากปริมาณน้ำใช้การที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นกับเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard Operating Rule) และโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลานั้นๆ รวมทั้งความต้องการใช้น้ำสุทธิจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาเดียวกัน

ในการคำนวณหาปริมาณน้ำใช้การที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำของแต่ละเดือน จะประกอบไปด้วยตัวแปรหลายตัวแปร เช่น ปริมาณฝน อัตราการระเหย เป็นต้น ส่วนการคำนวณหาความต้องการใช้น้ำสุทธิในแต่ละเดือนนั้นจะประกอบไปด้วย ตัวแปรของความต้องการด้านต่างๆ เช่น ความต้องการด้านอุตสาหกรรม ความต้องการด้านอุปโภค-บริโภค เป็นต้น โดยปกติตัวแปรเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีความแตกต่างกันตามปัจจัยประกอบและช่วงเวลาอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามค่าตัวแปรบางตัวยังนิยมนำค่าเฉลี่ยรายเดือนเหมือนกันทุกเดือนไปใช้ร่วมกับค่าอื่นที่เปลี่ยนแปลงทุกเดือน ซึ่งอาจจะทำให้การคำนวณปริมาณน้ำใช้การในแต่ละเดือนมีความคลาดเคลื่อน ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อพิจารณาหลายๆปีก็ยิ่งจะทำให้การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ระบายออกมาในแต่ละเดือนมีความคลาดเคลื่อนต่อไปอีก ซึ่งจะทำให้สถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นส่วนเกิดยังคงมีความรุนแรงอยู่เหมือนเดิม ดังนั้นหากตัวแปรเหล่านี้ซึ่งประกอบด้วย ค่าการระเหย (อารียา ฤทธิมา et al., 2013) ค่าความต้องการใช้น้ำอุปโภคบริโภค (สชิล สิลาชัย & สิตางค์ พิลัยหล้า, 2020) และ ปริมาณฝนใช้การ (ปรเมศร์ อมาตยกุล, 2549) มีการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลาเดียวกันจะทำให้การปฏิบัติการมีความแม่นยำมากขึ้น

ในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำเพื่อใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำนั้น ในช่วงเริ่มต้นได้ใช้การค้นหาแบบลองผิดลองถูก (Trial and error) ต่อมาได้มีการประยุกต์วิธีการค้นหาแบบพลวัต (Dynamic programming) ร่วมกับการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม (Chaleeraktragoon & Kangrang, 2007) หลังจากนั้นเทคนิคทางวิวัฒนาการ (Evolution Algorithm) ก็ได้ถูกประยุกต์ใช้เพื่อค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมเช่นกัน (Ahmadianfar et al., 2021) อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมจะต้องมีการประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือด้วย จึงได้มีการนำวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในกลุ่มเมตาดิวริสติกส์ (Metaheuristic) เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วย เช่น GA, DE, PSO, SA, ACO etc. (Ahmadianfar et al., 2021; Prasanchum & Kangrang, 2018; Teegavarapu & Simonovic, 2002) อย่างไรก็ตามยังมีเทคนิคใหม่ๆ ในกลุ่มที่น่าสนใจที่สามารถนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้เช่นกัน คือ Harmony Search Algorithm (ปกรณ ฦ ศิริ & ปกรณ ดิษฐกิจ, 2561)

วิธีฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm, HS) เป็นวิธีทางเลือกอีกวิธีหนึ่ง ที่ใช้ค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้หลักการของการแก้ปัญหาของนักดนตรี เพื่อค้นหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดของความสวยงามของการประสานเสียงเครื่องดนตรี (Perfect State of Harmony) โดยตัดสินใจ

จากมาตรฐาน หรือระดับของความสวยงามของคุณภาพเสียงที่เกิดขึ้น (Aesthesis Standard) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสมการวัตถุประสงค์ (Objective Function), (Geem et al., 2001) แต่อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าการประยุกต์วิธีฮาร์โมนิเซอร์ซกับการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย เมื่อเทียบกับเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพอื่นๆ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีจำนวนอ่างเก็บน้ำขนาดกลางมากที่สุดในประเทศไทย จำนวน 218 อ่าง โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลของกรมชลประทาน ซึ่งแต่ละอ่างเก็บน้ำจะเกิดสถานการณ์น้ำที่แตกต่างกันในแต่ละปี ในบางปีเกิดสถานการณ์น้ำขาดแคลน ในบางปีเกิดสถานการณ์น้ำไหลล้น จากการเกิดสถานการณ์เหล่านั้น ที่ผ่านมามีการศึกษาเพื่อปรับปรุงและค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพต่างๆ ร่วมกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ เช่น อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (Kangrang et al., 2011) อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน (Kangrang et al., 2019; Sriworamas et al., 2021) เป็นต้น ซึ่งแต่เดิมในการประยุกต์ใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยเลือกใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมิวิทยาแบบข้อมูลเฉลี่ย

ดังนั้น งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีฮาร์โมนิเซอร์ซ เพื่อค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำ 3 แห่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จังหวัดมหาสารคาม อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกและอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จังหวัดยโสธร ด้วยแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ ภายใต้การประเมินการเปลี่ยนแปลงของอัตราการระเหย ความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภค และปริมาณฝนใช้การ แทนการใช้ค่าคงที่แบบค่าเฉลี่ย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอัตราการระเหย ความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภค และปริมาณฝนใช้การ

1.2.2 การประยุกต์ใช้วิธีฮาร์โมนิเซอร์ซ เพื่อค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ

1.2.3 ศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของอัตราการระเหย ความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภค และปริมาณฝนใช้การ แทนการใช้ค่าคงที่แบบค่าเฉลี่ย ต่อการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 พื้นที่การวิจัย

1. อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จังหวัดมหาสารคาม

2. อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก จังหวัดยโสธร

3. อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จังหวัดยโสธร

1.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. โปรแกรม Matlab เวอร์ชัน R2020a

2. ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm)

1.3.3 ข้อมูลพื้นฐาน

1. ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ

2. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา-อุทกวิทยา

3. ข้อมูลปริมาณความต้องการใช้น้ำรายเดือนของพื้นที่ท้ายอ่างเก็บน้ำ

4. พื้นที่ชลประทานท้ายอ่างเก็บน้ำ

1.3.4 ข้อมูลช่วงปีฐานสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่า

1. อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จำนวน 30 ปี คือระหว่างปี พ.ศ. 2535 - พ.ศ. 2564

2. อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก จำนวน 26 ปี คือระหว่างปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2564

3. อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จำนวน 28 ปี คือระหว่างปี พ.ศ. 2537 - พ.ศ. 2564

1.3.5 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

1. ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด

2. ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้อยที่สุด

1.3.6 การประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

1. ประเมินอัตราการระเหย โดยวิธี Thornthwaite

2. ประเมินความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภค โดยพิจารณาจากจำนวนประชากรและอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย

3. ประเมินฝนใช้การ โดยพิจารณาช่วงของ Weighted rainfall (WRFL)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำความรู้ด้านทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานจริง

1.4.2 ประยุกต์ใช้วิธีฮาร์โมนีเซิร์ชเพื่อปรับปรุงโครงสร้างของอ่างเก็บน้ำ

1.4.3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปล่อยน้ำให้เป็นไปตามแนวโน้มของสถานการณ์ในปัจจุบัน

1.4.4 สามารถเป็นฐานข้อมูลวิจัยให้แก่ผู้ที่มีความสนใจที่จะนำไปต่อยอดในงานวิศวกรรมทางด้านการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

ในบทนี้เป็นการศึกษาถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงได้นำเสนอทฤษฎีต่างๆ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับหัวข้อต่อไปนี้

- (1) หลักการจัดการน้ำ
- (2) อัตราการระเหย
- (3) ความต้องการน้ำด้านอุปโภค-บริโภค
- (4) ปริมาณฝนใช้การ
- (5) การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ
- (6) การค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม
- (7) การหาค่าที่เหมาะสม
- (8) วิธีฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm)
- (9) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายละเอียดของแต่ละหัวข้ออธิบายดังต่อไปนี้

2.1 หลักการจัดการน้ำ

“การจัดการทรัพยากรน้ำเชิงบูรณาการ” มักได้ยินกันมากในช่วงที่ผ่านมา มีเป้าหมายเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) โดยที่ประชุมนานาชาติว่าด้วยน้ำและสิ่งแวดล้อม (The International Conference on Water and the Environment, ICWE 1992) ได้ให้ความหมายของการจัดการทรัพยากรน้ำเชิงบูรณาการ หรือ Integrated Water Resources Management (IWRM) ไว้ว่า “...เป็นกระบวนการซึ่งจะช่วยนานาชาติ แก้ไขปัญหาที่เกี่ยวกับน้ำให้เกิดความคุ้มค่าและตามแนวทางความยั่งยืน”

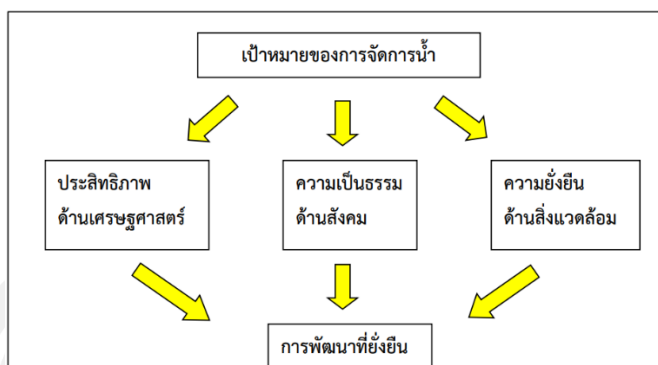
มีการกล่าวถึง IWRM ครั้งแรกเมื่อเดือนมกราคม ปี ค.ศ.1992 ที่เมืองดับบลิน ประเทศไอร์แลนด์ ซึ่งต่อมาเป็นที่ยอมรับกันในระดับนานาชาติในการประชุมสิ่งแวดล้อมโลกในเดือนมิถุนายน ปีเดียวกันที่เมืองริโอเดอจาเนโร ประเทศบราซิล ว่า IWRM เป็นกระบวนการจัดการทรัพยากรน้ำที่ถูกต้องและจำเป็นต่อโลกเพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน (ICWE, 1992) ที่ประชุม ICWE เห็นพ้องว่าถ้าน้ำจืดได้รับการจัดการและการพัฒนาอย่างถูกต้องตามแนวทางที่ยั่งยืน โลกก็จะมีน้ำที่เพียงพอที่จะผลิตอาหาร พลังงาน เศรษฐกิจ และความต้องการขั้นพื้นฐานได้ กล่าวคือ โลกทุกวันนี้ยังมีน้ำ

ใช้อย่างเพียงพอ แต่วิกฤตน้ำในปัจจุบันคือวิกฤตของการจัดการน้ำที่ดี ความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นและการจัดการน้ำที่ผิดวิธีก่อให้เกิดปัญหาต่อโลกอย่างรุนแรงและเป็นการคุกคามความยั่งยืนและการพิทักษ์สภาพแวดล้อม

แนวคิดเรื่องความยั่งยืน (Concept of Sustainability) กำหนดให้พิจารณาว่ากิจกรรมใดๆที่กำลังจะดำเนินการบนโลกใบนี้ต้องครอบคลุมประเด็นอื่นที่นอกเหนือไปจากประเด็นความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ กล่าวคือ ความคุ้มค่าทางสังคมและทางนิเวศต้องนำมาพิจารณาอย่างทั่วถึงด้วย ได้แก่ ทรัพยากรกายภาพและชีวภาพ ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ของแผนทางเลือกต่างๆ ความหมายของการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน ครอบคลุมไปถึงการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดของคนในรุ่นปัจจุบัน ในขณะที่เดียวกันก็ยังคงรักษาสภาพต่างๆ ไว้ที่จะใช้ได้ถึงลูกหลานในอนาคต แนวความคิดเรื่องความยั่งยืนของทรัพยากรน้ำจำเป็นอย่างยิ่งที่จะใช้แนวทางการมีส่วนร่วมของภาคประชาคมในลุ่มน้ำ (Participatory Ecosystem-based Management) บนพื้นฐานการจัดการทรัพยากรนิเวศในพื้นที่นั้นร่วมด้วย มิใช่การจัดการทรัพยากรน้ำเดี่ยวๆ โดยแยกส่วนกับตัวทรัพยากรอื่นๆในลุ่มน้ำ การหาน้ำมาใช้จึงมิได้หมายถึงเพียงว่าน้ำพอหรือไม่พอต่อความต้องการ ปัญหาของทรัพยากรน้ำต้องครอบคลุมไปถึงคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำและความสมดุลของระบบนิเวศลุ่มน้ำที่จะอำนวยน้ำมาให้ใช้ เพราะถ้าความแห้งแล้งเกิดขึ้น ระบบนิเวศไม่สมดุลจะมีน้ำที่ไหลล้นออกมาตลอดทั้งปีอย่างเคย

ในปี ค.ศ.1996 ได้มีการจัดตั้งองค์กรอิสระระหว่างประเทศ (Independent Agency) เรียกว่า Global Water Partnership หรือ GWP มีผู้ให้ภาษาไทยว่า “หุ้นส่วนน้ำโลก” ซึ่งเป็นองค์กรระหว่างประเทศที่สนับสนุนภาระกิจหลักในแนวทาง IWRM องค์กรนี้ได้เผยแพร่ความรู้ด้านการจัดการน้ำเชิงบูรณาการออกไปในรูปการฝึกอบรมในประเทศต่างๆ ทั่วโลก การเผยแพร่แนวคิดผ่านทางอินเทอร์เน็ตและทางแผ่นซีดีชื่อ “GWP Tool Box for IWRM” ประกอบไปด้วยกรณีศึกษาด้าน IWRM ในระดับนานาชาติ ทั้งกรณีที่ประสบความสำเร็จและความล้มเหลว เพื่อแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ประสบการณ์และแนวปฏิบัติซึ่งกันและกัน โดยจัดเผยแพร่ไว้ถึง 3 ภาษา ได้แก่ ภาษาอังกฤษ ภาษาสเปน และภาษาฝรั่งเศส

ด้วยเหตุผลความจำเป็นข้างต้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง, 2563)



ภาพที่ 1 ทิศทางการจัดการน้ำ

ที่มา: องค์กรอุทธี แข็งแรง (2552)

2.1.1 การจัดการด้านน้ำต้นทุน (Supply Management)

การจัดการน้ำต้นทุน คือ การพยายามหาน้ำมาเพิ่มหรือมาเติมให้กับกลุ่มน้ำ เช่น การทำฝนหลวง การผันน้ำจากกลุ่มน้ำข้างเคียงมาเติม อีกทั้งการเพิ่มปริมาตรเก็บกักโดยการพัฒนาและปรับปรุงแหล่งเก็บกักน้ำ ไม่ว่าจะเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ขนาดกลาง หรือแหล่งน้ำในชุมชน และการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพในการเก็บกักน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยเหลือปริมาณน้ำไหลหลากท่วมพื้นที่ตอนล่างด้วย เมื่อสามารถเก็บกักน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ต่อไปคือพัฒนาระบบแจกจ่ายและจัดส่งน้ำจากแหล่งน้ำต้นทุนไปยังพื้นที่เกษตรกรรมให้เพียงพอและทั่วถึง ทั้งด้วยการลำเลียงผ่านแม่น้ำ ลำคลอง คลองส่งน้ำ ชลประทาน ระบบท่อส่งน้ำและสูบน้ำตามความเหมาะสมของพื้นที่ เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำต้นทุนมีเสถียรภาพมากขึ้น

2.1.2 การจัดการด้านความต้องการน้ำ (Demand Management)

การจัดการด้านความต้องการน้ำ คือ การจัดการที่พิจารณาความต้องการใช้น้ำในภาคส่วนต่างๆ ประกอบ เช่น ภาคการอุปโภค-บริโภค ภาคการเกษตร ภาคอุตสาหกรรม ภาคการคมนาคม และภาคการรักษาระบบนิเวศน์ เป็นต้น ตลอดจนการปรับปรุงรูปแบบการให้น้ำแบบต่างๆ ทั้งระบบน้ำหยด ระบบมินิสปริงเกลอร์ และระบบสปริงเกลอร์ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทาน อีกทั้งการเปลี่ยนไปปลูกพืชชนิดอื่นที่ใช้น้ำน้อยกว่า แต่ให้ผลตอบแทนต่อพื้นที่ในปริมาณใกล้เคียงกัน เป็นต้น

2.2 อัตราการระเหย

ในแต่ละวันน้ำบนโลกจากแหล่งต่างๆ เช่น คู คลอง หนอง บึง แม่น้ำ และมหาสมุทร จะมีการระเหยไปในอากาศ ซึ่งการระเหยในแต่ละวันนั้นจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาวะของอากาศในขณะนั้น เช่น ถ้าวันใดในเวลากลางวันท้องฟ้าโปร่งใสปราศจากเมฆบดบังแสงอาทิตย์จะส่องผ่านมายังโลกได้มาก วันนั้นก็จะทำให้มีการระเหยของน้ำมากตามไปด้วย หรือถ้าวันใดในอากาศมีความชื้นมาก การระเหยของน้ำก็จะน้อยไปตามด้วยเช่นกัน ดังนั้นองค์การอุตุนิยมวิทยาโลกจึงได้ใช้สถานีอุตุนิยมวิทยาวัดค่าการระเหยของน้ำโดยให้ได้ค่าของการระเหยจากผิวดินและการระเหยจากพืช (Transpiration) การวัดการระเหยจากผิวดินและผิวน้ำมีความสำคัญมากสำหรับวิศวกรอุทก (Water Engineer) จำนวนน้ำที่ระเหยไปจากผิวดินโลกมากเท่าใด จำนวนน้ำฟ้า (Precipitation) ที่ตกลงมายังผิวโลกก็มากเท่านั้น วัตถุประสงค์ในการวัดอัตราการระเหยของน้ำก็เพื่อที่จะได้ทราบรายละเอียดของกรรมวิธีเหล่านี้ รวมทั้งใช้ข้อมูลอ้างอิงสำหรับการคำนวณทางอุทกวิทยา เพื่อใช้ประโยชน์ในทางการเกษตรกรรมด้วย โดยการวัดการระเหยทั่วไป เราไม่สามารถวัดการระเหยของน้ำได้ในธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องวัดจากปริมาณน้ำที่ระเหยจากเครื่องมือโดยการเทียบเคียงกับค่าระดับน้ำหรือน้ำหนักที่หายไปในแต่ละวัน ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการระเหยของน้ำ ดังนี้

1. ลมผิวดิน
2. ความชื้นของอากาศที่ผิวดิน
3. อุณหภูมิของอากาศที่ผิวดิน
4. อุณหภูมิของผิวดินที่ระเหย (Evaporating surface)
5. จำนวนของความชื้น ณ ผิวดินที่ระเหย
6. ธรรมชาติของผิวดิน

2.2.1 เครื่องมือที่ใช้วัดการระเหย

เครื่องมือที่ใช้วัดการระเหยของน้ำ แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. แบบใช้ถังขนาดใหญ่ (Evaporation tanks) เป็นถังเหล็กขนาดใหญ่ หรือ อาจหล่อเป็นถังคอนกรีตก็ได้ ฝังลงไปใต้ดิน หรือถ้าในทะเลสาบจะใช้ถังลอย (Pontoon) ก็ได้ โดยที่ให้ระดับน้ำในถังนั้นใกล้เคียงกับระดับผิวดินโดยรอบ ต้องวัดความลึกของน้ำในถังตามช่วงระยะเวลาเป็นประจำ (ปกติวันละ 1 ครั้ง) และข้างๆถังต้องมีเครื่องวัดฝนติดตั้งไว้ด้วย เพื่อว่าจะได้ทราบค่าของปริมาณฝนที่ตกลงมา (ถ้ามีฝนตก) แล้วจึงคิดคำนวณหาอัตราการระเหยของน้ำได้

2. แบบใช้แผ่นผ้าแบนเล็ก (Small evaporation pans) มีทั้งแบบที่อ่านค่าของจำนวนน้ำที่ระเหยไป หรือการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ หรือน้ำหนักของน้ำที่หายไป

3. แบบที่ใช้พอร์ซเฟสเลน (Porous porcelain bodies) วิธีนี้ใช้วัดจำนวนของน้ำที่หายไปโดยพอร์ซเฟสเลนทรงกลม ทรงกระบอก หรือเป็นแผ่นซึ่ง ชุมน้ำอยู่ตลอดเวลา

4. แบบที่ใช้กระดาษชุมน้ำ (Instrument using wet paper surface) วิธีนี้ใช้วัดน้ำที่หายไปโดยการใช้กระดาษกรอง (Filter paper) ที่ชุมน้ำปล่อยให้ถูกกับอากาศในตู้สุกริน ปัจจุบันนิยมใช้แบบที่ 1 แพร่หลาย เพราะได้ผลใกล้เคียงกับธรรมชาติ ส่วนวิธีที่ 2 3 และ 4 ส่วนมากเลิกใช้กันแล้ว เพราะค่าที่ได้เพียงหยาบๆ เท่านั้น



ภาพที่ 2 ถาดวัดการระเหยของน้ำ

ที่มา: (<https://www.nakhonsawanmet.tmd.go.th/equipment/evapo.html> เว็บไซต์)

2.2.2 การคายระเหยน้ำ

การคายระเหยน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ การคายระเหยจริงและศักยภาพการคายระเหย ซึ่งการคายระเหยจริง เป็นการคายระเหยที่เกิดขึ้นได้จริงๆ ในเวลาที่กำหนดให้เป็นปริมาณน้ำที่แปรสภาพเป็นไอน้ำสู่บรรยากาศจริงๆ ความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่และสามารถระเหยหรือคายออกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ และศักยภาพการคายระเหย เป็นการคายระเหยน้ำที่มีโอกาสเป็นไปได้ว่า จะมีค่าสูงสุดแค่ไหนในสภาวะแวดล้อมและลักษณะของภูมิอากาศบริเวณนั้น โดยใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาในการคำนวณ สมการที่ใช้ในการคำนวณมีหลายสมการ เช่น

2.2.2.1 วิธี Thornthwaite

วิธีนี้ Thornthwaite ได้ศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืชในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของสหรัฐอเมริกา และได้หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนกับศักยภาพการคายระเหยดังสมการ (เฉลิม วงศ์วิเศษรุ่งสี & เล็ก มอญเจริญ, 2538)

$$E = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{เมื่อ } T_{avg} < 0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 16 \left(\frac{10T_{avg}}{I} \right)^\alpha & \text{เมื่อ } 0 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T_{avg} \leq 26.5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ -0.43T_{avg}^2 + 32.24T_{avg} - 415.85 & \text{เมื่อ } T_{avg} > 26.5 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array} \right\} \quad (2.1)$$

เมื่อ E = ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำ (มม./เดือน)

T_{avg} = อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน (องศาเซลเซียส)

I = heat index ซึ่งเท่ากับผลรวมของ heat index i ของแต่ละเดือนใน 1 ปี

$$= \sum_{j=1}^{12} i_j$$

$$i = \left(\frac{T_{avg}}{5} \right)^{1.514}$$

$$\alpha = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.792 \times 10^{-2})I + 0.49239$$

2.2.2.2 วิธี Blaney-Criddle

ในปี ค.ศ. 1942 Blaney และ Morin ได้เสนอสมการสำหรับใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยใช้อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความยาวของชั่วโมงกลางวันเป็นข้อมูลที่ต้องการ แต่เนื่องจากในสมัยนั้นมีการวัดความชื้นสัมพัทธ์กันน้อยมาก ต่อมาในปี ค.ศ. 1950 Blaney และ Griddle จึงได้ดัดแปลงสมการดังกล่าวใหม่ โดยตัดเอาความชื้นสัมพัทธ์ออกจากสมการเดิม

$$E = k \frac{tp}{100} \quad (2.2)$$

เมื่อ E = ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำ (มม./เดือน)

k = สัมประสิทธิ์ของพืช ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและความยาวนานของฤดูกาลเพาะปลูก

t = อุณหภูมิเฉลี่ยเป็นองศาฟาเรนไฮต์ ($C = \frac{F-32}{1.8}$)

p = เปอร์เซ็นต์ของชั่วโมงกลางวันของเดือนนั้นในระยะเวลา 1 ปี

2.2.2.3 วิธี Makkink

สมการของ Makkink ได้นำเอารังสีอาทิตย์ (solar radiation) เข้ามาใช้ สมการนี้ได้คิดขึ้นจากการวัด potential evapotranspiration ของหญ้าใน Lysimeter ที่ประเทศ Netherlands ได้ตั้งสมการ

$$E = 0.61Q \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} - 0.12 \quad (2.3)$$

เมื่อ E = ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำ (มม./วัน)

Q = รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ได้รับ (incoming solar radiation) ซึ่งแปลงให้เป็นปริมาณน้ำที่ระเหยไป เป็น มม./วัน ถ้าหากไม่มีการวัดไว้ ก็อาจจะคำนวณหาได้จากสมการ 2.4

$$Q = Q_A(0.18 + 0.55n/N) \quad (2.4)$$

Q_A = รังสีจากดวงอาทิตย์ที่จะได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุมอยู่ แปลงให้เป็นความลึกของน้ำเป็น มม./วัน

n = ระยะเวลาที่ได้รับแสงแดดจริง

N = ระยะเวลาที่มีแสงแดดนานที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลานั้น

สำหรับประเทศไทย ไพฑูรย์ พะลายะสุต (Palayasoot, 1965) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน n/N โดยหาได้จากความชื้นของเมฆ มีค่า 0-8 ดังสมการ 2.5

$$n/N = 0.745 + 0.095C_c - 0.02C_c^2 \quad (2.5)$$

C_c = ค่าความคลุ้มของเมฆ ซึ่งวัดตั้งแต่ 0 ถึง 8

Δ = ความลาดเทของกราฟของความดันไอน้ำอิ่มตัว (saturated vapor pressure) กับอุณหภูมิที่จุดซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย

γ = Psychrometric constant

= 0.49 กรณีอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส และความดันเป็น มม. ของปรอท

2.2.3 วิธีการประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ

วิธีการประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำสามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่มหลัก ได้แก่ วิธีเอมไพริกัลป์ (Empirical method) วิธีงบประมาณน้ำ (Water budget method) วิธีงบประมาณพลังงาน (Energy budget method) วิธีการเคลื่อนย้ายมวล (Mass transfer method) และวิธีผสมผสาน (Combination method) โดยแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 วิธีเอนไพริกัล (Empirical method)

มีผลงานวิจัยหลายชิ้นที่พยายามพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอุทกวิทยา ตลอดจนข้อมูลลักษณะสำคัญของอ่างเก็บน้ำ เช่น Sivapragasam และคณะ (Sivapragasam et al., 2009) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยกำหนดให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Stage Depth) ข้อมูลพื้นที่ผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Surface Area) ข้อมูลอุณหภูมิ (Temperature) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ข้อมูลชั่วโมงแสงแดด (Sunshine Hour) และข้อมูลความเร็วลม (Wind Velocity) Senturk และ Oruc (Senturk & Oruc, 2010) ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Hydrometeorological Data) ในลักษณะการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยการประยุกต์วิธีเชิงพลังงานจากสมการของ Penman เพื่อกำหนดตัวแปรอิสระซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลอุณหภูมิ (Temperature) ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ย (Average Wind Speed) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) และข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ทั้งหมด (Total Radiation) Knisel (Knisel Jr, 1970) ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อหาตัวแปร (Factor Analysis) เพื่อหาตัวแปรที่สัมพันธ์กับข้อมูลการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อป้องกันน้ำท่วม ซึ่งครอบคลุมทั้งปริมาณน้ำที่ระเหยและปริมาณน้ำที่รั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำ โดยกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ ข้อมูลระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Stage) ข้อมูลฝน (Rainfall) ข้อมูลช่วงเวลาฝนตก (Duration of Rainfall) ข้อมูลฝนล่วงหน้า (Antecedent Rainfall) ข้อมูลการระเหยจากภาววัดการระเหย (Pan Evaporation) ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Level) และข้อมูลสภาพความชื้นในอากาศ (Moisture Condition) จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำสัมพันธ์กับข้อมูลระดับน้ำเก็บกักในอ่างค่อนข้างสูงในรูปฟังก์ชันกำลัง (Power Function) เท่านั้น

2.2.3.2 วิธีงบประมาณน้ำ (Water budget method)

เป็นวิธีที่ง่ายในการคำนวณหาปริมาณการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำรายเดือน รายฤดูกาล และรายปี ซึ่งการวิเคราะห์โดยวิธีนี้จะอาศัยสมการอุทกวิทยาพื้นฐานของผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Inflow) และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Outflow) เท่ากับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเก็บกักของน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Storage Change) โดยที่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสุทธิเป็นผลรวมของปริมาณฝนที่ตกลงบนผิวของอ่างเก็บน้ำ (Precipitation) ปริมาณน้ำท่าผิวดิน (Runoff) ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาในลำน้ำจากพื้นที่นอกเขตลุ่มน้ำ (Channel Inflow) ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลเข้ามา (Groundwater Inflow) และปริมาณน้ำที่ผิวน้ำ

มาจากแหล่งน้ำอื่นนอกเขตลุ่มน้ำ (Diversion Inflow) ในขณะที่ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำสุทธิ (Net Outflow) ประกอบไปด้วยปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวของอ่างเก็บน้ำ (Evaporation) ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลำน้ำไปยังพื้นที่นอกเขตลุ่มน้ำ (Channel Outflow) ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลออก (Groundwater Outflow) และปริมาณน้ำที่ผันออกไปยังแหล่งน้ำอื่นนอกเขตลุ่มน้ำ (Diversion Outflow) (Jensen, 2010)

2.2.3.3 วิธีงบประมาณ (Energy budget method)

วิธีงบประมาณหรือวิธีของ Bowen พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของกฎอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy Law) ซึ่งกำหนดให้พลังงานที่เข้ามา (Incoming Energy) เท่ากับพลังงานที่ออกไป (Outgoing Energy) ในระบบดังแสดงในสมการ

$$Q_t = Q_s - Q_{sr} + Q_a - Q_{ar} - Q_{br} - Q_c - Q_e \quad (2.6)$$

- เมื่อ
- Q_t = การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของอ่างเก็บน้ำ
 - Q_s = รังสีคลื่นสั้นจากชั้นบรรยากาศที่ส่องมายังผิวน้ำ
 - Q_a = รังสีคลื่นยาวจากชั้นบรรยากาศที่ส่องมายังผิวน้ำ
 - Q_c = พลังงานในรูปของความร้อนที่สัมผัสได้ (Sensible Heat) ที่อ่างเก็บน้ำ
 - Q_e = พลังงานที่ใช้ไปในกระบวนการระเหยของน้ำ
 - Q_{sr} = รังสีคลื่นสั้นจากชั้นบรรยากาศที่สะท้อนออกไปจากผิวน้ำ
 - Q_{ar} = รังสีคลื่นยาวจากชั้นบรรยากาศที่สะท้อนออกไปจากผิวน้ำ
 - Q_{br} = รังสีแสงอาทิตย์ที่สะท้อนออกไปจากผิวน้ำ

โดยหน่วยที่ใช้ในสมการที่ 2.1 คือ $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ และยังเป็นสมการอย่างย่อของสมการงบประมาณอีกด้วยเนื่องจากไม่พิจารณาปัจจัยของการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างตัวอ่างเก็บน้ำและตะกอนก้นอ่าง รวมถึงพลังงานสุทธิที่อ่างเก็บน้ำดูดซับไว้ โดยถือว่ามีความน้อยมากจึงไม่นำมาพิจารณาสำหรับค่าพลังงานที่ใช้ไปในกระบวนการระเหยของน้ำนั้นประมาณค่าจาก

$$Q_e = \rho_w L_v E \quad (2.7)$$

เมื่อ ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำซึ่งมีค่าเท่ากับ $1,000 \text{ kgm}^{-3}$

L_v = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Jkg^{-1})

E = การระเหยของน้ำ (mday^{-1})

วิธีหำลังงานยังอาศัยทฤษฎีที่พลีชีพลังงานความร้อนสัมผัสได้สัมพันธ์กับพลีชีพลังงานที่ใช้ไปในกระบวนการระเหยของน้ำในรูปของอัตราส่วน Bowen (Bowen Ration, β) ดังนี้คือ

$$\beta = \frac{Q_c}{Q_w} = \gamma \frac{(T_s - T_a)}{(e_{sw} - e_d)} \quad (2.8)$$

เมื่อ T_s = อุณหภูมิผิวน้ำ (C)

T_a = อุณหภูมิอากาศเหนือผิวน้ำ (C)

e_{sw} = ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิผิวน้ำ (mbar)

e_d = ความดันไอในอากาศเหนือผิวน้ำ (mbar)

γ = ค่าคงที่ Psychrometric ($\text{mbar } ^\circ\text{C}^{-1}$)

เมื่อรวมทั้ง 3 สมการข้างต้นจะได้สมการในการประมาณค่าการระเหยของน้ำดังนี้

$$E = \frac{Q_s - Q_{sr} + Q_a - Q_{ar} - Q_{br} - Q_t}{\rho_w L_v (1 + \beta)} \quad (2.9)$$

โดยในเทอมของ Q_s และ Q_a ประมาณจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา Q_{sr} และ Q_{ar} เป็นสัดส่วนคงที่กับค่า Q_s และ Q_a ในขณะที่ Q_{br} ประมาณค่าจากข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวน้ำโดยใช้กฎของ Stefan Boltzmann (Stefan-Boltzmann Law) และ Q_t ประมาณค่าจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของพื้นผิวน้ำในช่วงที่พิจารณา

2.2.3.4 วิธีการเคลื่อนย้ายมวล (Mass transfer method)

วิธีการเคลื่อนย้ายมวลเป็นวิธีการประมาณค่าการระเหยของน้ำโดยประยุกต์กฎของ Dalton (Dalton's Law) เนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของไอน้ำจากพื้นที่ผิวน้ำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วลม (Wind Velocity) และความแตกต่างของความดันไอ (Vapor Pressure Deficit) ในรูปของ $E = f(u)(e_{sw} - e_d)$ เมื่อ $f(u)$ เป็นฟังก์ชันของความเร็วลม (Wind Speed, u) ซึ่งวัดที่ระดับเหนือพื้นผิวดิน และโดยส่วนใหญ่แล้วฟังก์ชันของความเร็วลมจะอยู่ในรูปของ $f(u) = a \cdot u$ เมื่อ a เป็นค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ที่ผันแปรตามพื้นที่ศึกษาทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นรูปร่างและขนาดของอ่างเก็บน้ำ ความสูงและตำแหน่งของสถานีวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา สภาพอากาศ และอื่น ๆ เป็นต้น (Jain & Singh, 2003)

2.2.3.5 วิธีผสมผสาน (Combination method)

การประมาณค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยวิธีนี้เป็นการผสมผสานระหว่างวิธีงบประมาณพลังงาน (Energy Budget Method) และวิธีการเคลื่อนย้ายมวล (Mass Transfer Method) เข้าด้วยกันโดยดึงข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ (Radiation Energy) และข้อมูลพลังงานอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Energy) เป็นข้อมูลหลักในสมการที่ใช้คำนวณ โดยมีสมการที่ใช้ในการประมาณค่าการระเหยที่มีชื่อเสียงได้แก่ สมการของ Penman (Penman Equation) สมการของ Priestley-Taylor (Priestley-Taylor Equation) และสมการของ De Bruin (De Bruin Equation) (Soultana and Vassilis, n.d.)

สมการของ Penman ค่อนข้างได้รับความนิยมมากที่สุดในการประมาณค่าการระเหย เริ่มพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1948 โดยมีรูปแบบสมการดังนี้คือ

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{(Q_m - Q_t)}{\rho_w L_v} + \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) f(u)(e_{s\alpha} - e_d) \quad (2.10)$$

เมื่อ Δ = ความชันของโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความดันไออิ่มตัวและอุณหภูมิอากาศ ($\text{mbar } ^\circ\text{C}^{-1}$)

$e_{s\alpha}$ = ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิอากาศ (mbar)

Q_m = รังสีแสงอาทิตย์สุทธิ ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) โดยที่

$$Q_m = Q_s - Q_{sr} + Q_a - Q_{ar} - Q_{br} \quad (2.11)$$

สมการของ Penman ประกอบด้วย 2 เทอมหลักได้แก่ เทอมของพลังงานแสงอาทิตย์ และเทอมพลังงานอากาศพลศาสตร์ เพื่อพิจารณาถึงพลังงานที่ถูกใช้ไปและพลังงานที่ช่วยให้เกิดความเร็วลมและความแตกต่างของความดันไอน้ำในกระบวนการระเหยของน้ำ เริ่มแรก Penman ได้นำเสนอฟังก์ชันความเร็วลมในรูปของ $f(u) = 0.26(1+0.536u_2)$ แต่หลังจากนั้นได้เปลี่ยนสมการใหม่ในรูปของ $f(u) = 0.26(0.5+0.536u_2)$ ซึ่งค่อนข้างเหมาะสมในการคำนวณหาค่าการระเหยจากพื้นที่ผิวน้ำเปิดขนาดใหญ่อย่างอ่างเก็บน้ำ

สมการของ Priestley-Taylor เป็นการดัดแปลงสมการของ Penman ให้ง่ายต่อการประมาณการค่าการระเหยของน้ำมากยิ่งขึ้น โดยกำหนดให้ค่าการระเหยขึ้นอยู่กับเทอมของรังสีแสงอาทิตย์เป็นหลัก และพิจารณาว่าเทอมอากาศพลศาสตร์เป็นสัดส่วนคงที่กับการระเหยของน้ำทั้งหมดดังแสดงในรูปสมการดังนี้

$$E = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{(Q_m - Q_t)}{\rho_w L_v} \quad (2.12)$$

เมื่อ α = พารามิเตอร์ของสมการโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.26 ซึ่งเทียบเท่ากับค่าที่ได้จากเทอมอากาศพลศาสตร์คิดเป็น 21% ของการระเหยของน้ำทั้งหมด

ด้วยเหตุนี้การประยุกต์ใช้สมการ Priestley-Taylor นั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้อัตราความเร็วลมเพื่อคำนวณค่าฟังก์ชันความเร็วลมหรือ $f(u)$ เหมือนกับสมการ Penman

สมการของ Debruin ได้ดัดแปลงสมการของ Penman และใช้พารามิเตอร์ α ที่ได้จากสมการของ Priestley-Taylor เพื่อพัฒนาสมการในการประมาณค่าการระเหยใหม่โดยกำหนดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของเทอมอากาศพลศาสตร์เท่านั้นดังแสดงในรูปสมการ

$$E = \frac{\alpha}{\alpha - 1} \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \frac{f(u)(e_s - e_d)}{\rho_w L_v} \quad (2.13)$$

ซึ่งการนำสมการของ Debruin ไปใช้นั้นไม่จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ และการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของอ่างเก็บน้ำ

2.3 ความต้องการน้ำด้านอุปโภค-บริโภค

ความต้องการน้ำด้านอุปโภค-บริโภคสามารถประเมินได้จากอัตราการใช้น้ำทุกประเภท รวมทั้งค่าตัวคูณสำหรับเผื่อในกรณีต่างๆที่จำเป็น อัตราการใช้น้ำจะบอกเป็นหน่วยของปริมาณต่อเวลา เช่น ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เป็นต้น อัตราการใช้น้ำอาจบอกเป็นปริมาณต่อคนต่อวันก็ได้ เช่น ลิตรต่อคนต่อวัน (Litre per capita per day: LPCD) หรืออาจใช้หน่วยยูเอสแกลลอนต่ออาทิ ยูเอสแกลลอนต่อวัน หรือยูเอสแกลลอนต่อคนต่อวัน เป็นต้น (ศตวรรษ ทวงชน, 2560)

การหาความต้องการน้ำด้านอุปโภค-บริโภคของประชากรทั้งหมดที่อาศัยอยู่ในเขตเมืองและนอกเมืองซึ่งมีความต้องการใช้น้ำที่แตกต่างกัน สามารถคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$V_d = P \times R_d \quad (2.14)$$

เมื่อ V_d = ความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภค (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)
 P = จำนวนประชากรในพื้นที่ที่พิจารณา (คน)
 R_d = อัตราการใช้น้ำรายวัน (ลิตรต่อคนต่อวัน) โดยอัตราการใช้น้ำของประชากรในชุมชนลักษณะต่างๆ โดยประชากรที่อยู่ในเขตเทศบาลได้วิเคราะห์จากข้อมูลปริมาณน้ำจำหน่ายของการประปาส่วนภูมิภาค ส่วนอัตราการใช้น้ำของประชากรนอกเขตเทศบาลกำหนดให้ใช้ตามมาตรฐานของการสำรวจความจำเป็นพื้นฐาน ดังนี้
 เทศบาลนคร กำหนดอัตราการใช้น้ำเท่ากับ 250 ลิตรต่อคนต่อวัน
 เทศบาลเมือง กำหนดอัตราการใช้น้ำเท่ากับ 200 ลิตรต่อคนต่อวัน
 เทศบาลตำบล กำหนดอัตราการใช้น้ำเท่ากับ 120 ลิตรต่อคนต่อวัน
 นอกเขตเทศบาล กำหนดอัตราการใช้น้ำเท่ากับ 50 ลิตรต่อคนต่อวัน
 หรือสามารถใช้อัตราการใช้น้ำตามปริมาณประชากร ดังตารางที่ 1

ในกรณีที่มีผู้ขอใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค เช่น การประปาส่วนภูมิภาค องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น ฯลฯ ให้คิดความต้องการใช้น้ำตามปริมาณที่ขอใช้ (กรมชลประทาน, 2554b)

ตารางที่ 1 อัตราการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค ตามปริมาณประชากร

ปริมาณประชากร (ราย)	อัตราการใช้น้ำ (ลิตร/คน/วัน)
3,000 – 10,000	120
10,001 – 20,000	170
20,001 – 30,000	200
30,001 – 50,000	250
มากกว่า 50,000	300

ที่มา: (กรมชลประทาน, 2554b)

2.4 ปริมาณฝนใช้การ

ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) หมายถึง ส่วนของฝนที่ตกลงบนพื้นที่ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หรือเป็นส่วนของน้ำฝนที่ทดแทนปริมาณน้ำชลประทานที่จะต้องส่งให้แก่พืช ทั้งนี้ เพราะน้ำฝนที่ตกลงในแปลงเพาะปลูกบางครั้งก็ไม่อาจเป็นประโยชน์แก่พืชได้ทั้งหมด เช่น ถ้ามีฝนตกมากเกินไปความต้องการใช้น้ำของพืชแล้ว ส่วนที่เหลือจากการไหลซึมลงดินก็จะไหลล้นออกจากแปลงเพาะปลูกสูญเสียไป น้ำฝนที่ตกระหว่างฤดูการเพาะปลูกจะเป็นประโยชน์ต่อพืชก็เมื่อยังเป็นความชุ่มชื้นอยู่ในเนื้อดิน ในลักษณะที่พืชจะนำไปใช้ได้เท่านั้น ค่าฝนใช้การอ่านได้จาก Curve กรณีนีไม่มี Curve อาจกำหนดให้ค่าฝนใช้การเป็นร้อยละ 60 ของน้ำฝน แต่ต้องมีค่าไม่เกินค่าความต้องการใช้น้ำของพืชในเดือนนั้นๆ

2.4.1 ตัวอย่างการคำนวณฝนใช้การ

2.4.1.1 การคำนวณฝนใช้การสำหรับนาข้าว มีขั้นตอนดังนี้

1) ต้องทราบปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่เพาะปลูกต่างๆ ที่ต้องการหาปริมาณฝนใช้การ

2) พิจารณาค่าปริมาณฝนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 เช่น เดือนเมษายน มีปริมาณฝนเฉลี่ย 74.7 มิลลิเมตร จะมีค่า Weighted rainfall (WRFL) อยู่ในช่วง 11-100 มิลลิเมตร จะใช้ค่า Effective Rainfall คำนวณคือ $WRFL \times 0.80$

3) คำนวณค่าปริมาณฝนใช้การ จากขั้นตอนที่ 2 คือ Effective Rainfall = $74.7 \times 0.80 = 59.8$ มิลลิเมตร คือปริมาณฝนใช้การของเดือนเมษายน

ตารางที่ 2 Weighted rainfall (WRFL) และ Effective Rainfall ของปริมาณน้ำฝนรายเดือน

Weighted rainfall (WRFL) (มิลลิเมตร)	Effective Rainfall (มิลลิเมตร)
0 – 10	0
11 – 100	WRFL $\times$ 0.80
101 – 200	WRFL $\times$ 0.70
201 – 250	WRFL $\times$ 0.60
251 – 300	WRFL $\times$ 0.55
301 ขึ้นไป	WRFL $\times$ 0.50

ที่มา: (กรมชลประทาน, 2554a)

2.4.1.2 การคำนวณฝนใช้การสำหรับพืชไร่ มีขั้นตอนดังนี้

1) รวบรวมค่าน้ำฝนรายเดือน, อัตราการใช้น้ำของพืช (ET) สำหรับเดือนนั้น และความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก

2) ใช้ตาราง 2.2 เพื่อประกอบการคิดคำนวณฝนใช้การสำหรับพืชไร่

3) ตัวอย่างการใช้งาน จากตารางที่ 3 เมื่อมีฝนตก 60 มิลลิเมตร อัตราการใช้น้ำของพืช (ET) 125 มิลลิเมตร ฝนใช้การจะเท่ากับ 43 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3 ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) ของพืชไร่ สำหรับฝนรายเดือนเฉลี่ยและอัตราการใช้น้ำของพืชขนาดต่างๆ ตัวเลขในตารางสำหรับกรณีที่ดินในเขตรากมีความสามารถอุ้มน้ำได้ 75 มิลลิเมตร

ฝนรายเดือนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	อัตราการใช้น้ำของพืช (ET) ประจำเดือน (มิลลิเมตร)									
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
	ฝนใช้การประจำเดือน (RE) (มิลลิเมตร)									
15	9	10	10	11	11	12	12	13	14	15
20	12	13	14	14	15	16	17	18	19	20
30	18	19	21	22	22	23	24	26	28	30

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ฝนรายเดือนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	อัตราการใช้น้ำของพืช (ET) ประจำเดือน (มิลลิเมตร)									
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
	ฝนใช้การประจำเดือน (RE) (มิลลิเมตร)									
40	23	25	27	29	30	31	32	35	38	40
50	25	32	34	35	36	38	40	43	46	49
60		38	40	42	43	45	47	51	55	59
70		43	46	49	51	53	55	59	63	68
80		48	52	55	58	60	63	67	71	77
90		50	57	61	64	67	70	75	79	85
100			63	67	71	74	78	82	87	94
110			68	73	78	80	84	89	95	102
120			73	78	84	86	91	97	102	110
130			75	83	89	92	98	104	110	118
140				89	95	99	105	112	118	126
150				94	101	105	110	120	125	134
160				99	106	110	117	125	132	142
170				100	111	116	123	131	138	149
180					116	121	129	136	144	155
190					121	126	134	142	150	161
200					125	132	140	148	157	168
ความสามารถอุ้มน้ำของดินในเขตราก (มิลลิเมตร)	20	30	40	50	60	75	100	125	150	175
ตัวคูณปรับแก้	0.74	0.82	0.88	0.93	0.96	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07

ที่มา: (กรมชลประทาน, 2554a)

หมายเหตุ: ฝนใช้การเฉลี่ยประจำเดือนต้องไม่มากกว่าปริมาณฝนเฉลี่ยหรืออัตราการใช้น้ำของพืชในเดือนเดียวกัน ในกรณีที่ฝนเฉลี่ยรายเดือนน้อยกว่าค่าต่ำสุดของฝนใช้การในตารางข้างบนให้ถือว่าฝนดังกล่าวเป็นฝนใช้การทั้งหมด

ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Penman-Monteith รายเดือน
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จังหวัด	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
หนองคาย	3.11	3.78	4.62	4.46	4.03	3.56	3.51	3.41	3.51	3.63	3.31	3.04
เลย	3.28	4.06	4.81	5.06	4.43	4.07	3.66	3.55	3.55	3.55	3.23	3.04
-สถานีฯ เกษตร เลย	3.19	3.95	4.73	4.76	4.20	3.89	3.87	3.39	3.84	3.50	3.42	3.00
อุดรธานี	3.32	4.07	5.21	5.21	4.56	4.08	3.71	3.55	3.61	3.73	3.70	3.22
สกลนคร	3.44	4.09	5.02	5.02	4.40	3.99	3.57	3.44	3.86	3.90	3.64	3.25
-สถานีฯ เกษตร สกลนคร	3.14	3.75	4.48	5.00	4.36	4.26	3.89	3.69	3.98	3.77	3.38	3.09
นครพนม	3.33	3.86	4.30	4.50	3.95	3.47	3.42	3.33	3.48	3.60	3.60	3.16
-สถานีฯ เกษตร นครพนม	3.52	4.03	4.48	4.96	4.28	4.25	3.81	3.32	3.83	3.57	3.59	3.25
ขอนแก่น	3.65	4.18	5.09	4.97	4.67	4.29	3.88	3.68	3.61	3.79	3.83	3.63
-สถานีฯ เกษตร ท่าพระ	3.20	3.81	4.48	4.76	4.25	3.91	3.88	3.36	3.48	3.59	3.48	3.18
มุกดาหาร	3.65	4.18	5.00	5.15	4.11	3.64	3.56	3.43	3.57	3.80	3.95	3.53
มหาสารคาม	3.57	4.19	4.71	5.22	4.62	4.22	3.84	3.64	3.62	3.76	3.83	3.58
กาฬสินธุ์	4.15	4.89	5.40	5.45	4.80	4.32	4.22	3.65	3.71	4.06	4.30	4.10
ชัยภูมิ	3.60	4.20	5.00	5.12	4.47	4.13	3.77	3.61	3.60	3.78	3.89	3.51
ร้อยเอ็ด	3.49	4.13	4.66	4.83	4.22	3.90	3.84	3.64	3.61	3.63	3.68	3.51
-สถานีฯ เกษตร ร้อยเอ็ด	4.04	4.44	4.92	5.25	4.59	4.62	4.21	3.90	3.60	3.78	4.10	3.90

ตารางที่ 4 (ต่อ)

จังหวัด	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุบลราชธานี	4.00	4.53	4.93	5.03	4.45	3.96	3.87	3.71	3.43	3.71	4.23	4.22
-สถานีฯ												
เกษตร	3.63	3.68	4.23	4.13	3.65	3.64	3.56	2.87	3.22	3.34	3.64	3.42
อุบลราชธานี												
ศรีสะเกษ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-สถานีฯ												
เกษตร	3.40	3.92	4.56	4.75	4.42	4.43	4.19	3.71	3.85	3.62	3.79	3.45
ศรีสะเกษ												
นครราชสีมา	3.37	3.95	4.39	4.64	4.20	3.95	3.89	3.79	3.36	3.42	3.51	3.41
-สถานีฯ												
เกษตร	4.71	4.71	5.01	4.81	4.20	4.54	4.26	4.04	3.38	3.50	4.44	4.52
ปากช่อง												

ที่มา: (กรมชลประทาน, 2554)

2.4.2 ฝนเชิงพื้นที่

ฝนเชิงพื้นที่ (Areal Rainfall) หมายถึง ปริมาณฝนเฉลี่ยที่เป็นตัวแทนของฝนในพื้นที่ศึกษา ซึ่งโดยทั่วไปจะทำการวิเคราะห์ในระดับลุ่มน้ำ ระดับจังหวัด ระดับอำเภอ เป็นต้น การวิเคราะห์ฝนเชิงพื้นที่จะอาศัยข้อมูลฝนตรวจวัดระยะยาวของสถานีต่างๆ ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่นั้นๆ โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ที่สำคัญดังนี้ (Chow et al., 1988; Asawa, 2005)

2.4.2.1 วิธีค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic mean method)

เป็นวิธีหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่ง่ายที่สุด โดยหาได้จากการนำค่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนภายในลุ่มน้ำทุกสถานีมารวมกันแล้วหารด้วยสถานีน้ำฝน จะได้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยภายในลุ่มน้ำดังสมการ

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (2.15)$$

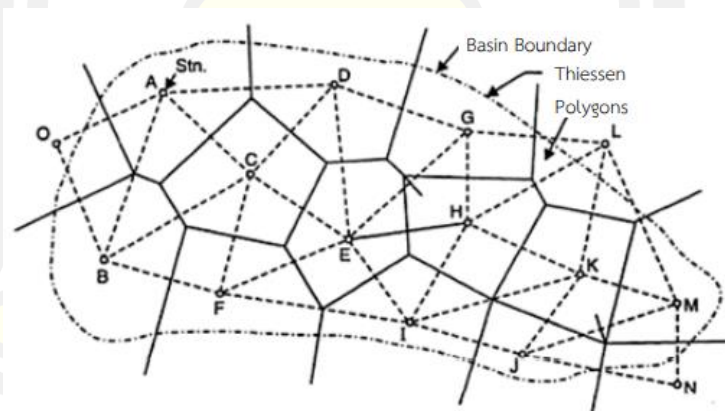
เมื่อ n = จำนวนสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา

P_i = ปริมาณน้ำฝนที่สถานี i

วิธีเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์จะให้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่นำมาเป็นตัวแทนได้ก็ต่อเมื่อ ลุ่มน้ำหรือบริเวณที่ต้องการวิเคราะห์ข้อมูลต้องเป็นที่ราบ ไม่มีอิทธิพลของแนวเขตภูเขาที่จะมีผลทำให้ฝนตกไม่สม่ำเสมอตลอดทั่วพื้นที่ สถานีวัดน้ำฝนจะต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณ และปริมาณน้ำฝนของแต่ละสถานี จะต้องมีความที่ไม่แตกต่างจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมากนัก

2.4.2.2 วิธีทิสเซน (Thiessen polygon method)

จะพิจารณาว่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนแต่ละแห่ง จะมีอาณาบริเวณครอบคลุมพื้นที่รับน้ำฝนอยู่ล้อมรอบสถานีวัดน้ำฝนนั้นๆ ซึ่งการกำหนดพื้นที่ที่ล้อมรอบสถานีวัดน้ำฝน จะต้องกำหนดจากการแบ่งพื้นที่เป็นรูปหลายเหลี่ยมของทิสเซน (Thiessen polygon) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เทคนิคการสร้างรูปหลายเหลี่ยมทิสเซน

ที่มา: (อารียา ฤทธิมา, 2561)

สำหรับการสร้างรูปหลายเหลี่ยมของทิสเซนทำได้ดังนี้

1) เลือกสถานีวัดน้ำฝนที่จะนำมาวิเคราะห์ฝนเชิงพื้นที่ทั้งในและนอกพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา ทั้งนี้หากทำการเลือกสถานีนอกลุ่มน้ำจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่สภาพทางกายภาพของพื้นที่ดังกล่าวต้องไม่แตกต่างไปจากพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา ตลอดจนความผันแปรของข้อมูลฝน

ต้องไม่แตกต่างไปจากข้อมูลในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษามากนัก

2) เลือกสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ใกล้กัน 3 สถานีและลากเส้นประเชื่อมต่อระหว่างกันโดยให้ครอบคลุมสถานีวัดน้ำฝนที่ได้คัดเลือกมาแล้วทั้งหมด

3) วัดระยะจุดกึ่งกลางของเส้นประแต่ละเส้น จากนั้นทำการลากเส้นตรงทึบตั้งฉากกับเส้นประแต่ละเส้นให้ไปตัดกันบริเวณตรงกลางหรือข้างในรูปสามเหลี่ยมจนกระทั่งครบทุกสถานี

4) ลบแนวเส้นประทิ้งจะได้รูปหลายเหลี่ยมของทิสเสน สำหรับสถานีที่อยู่ใกล้กับเส้นขอบเขตของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา ให้ทำการลากเส้นตรงทึบต่อไปยังเส้นขอบของพื้นที่ที่จะได้รูปหลายเหลี่ยมของทิสเสนดังแสดงในภาพที่ 3

5) วัดขนาดของพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมที่ครอบคลุมสถานีวัดน้ำฝนแต่ละรูปโดยใช้แพลนนิมิเตอร์ (Planimeter) จะได้ A_i

6) วิเคราะห์ฝนเชิงพื้นที่ได้จากสมการดังนี้

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n P_i A_i \quad (2.16)$$

การเลือกใช้วิธีของทิสเสน ต้องพิจารณาประกอบการตัดสินใจดังนี้

1) วิธีของทิสเสนจะมีหลักการที่ดีกว่าวิธีเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ เพราะสามารถลดปัญหาที่เกิดจากการกระจายของสถานีวัดน้ำฝนแบบไม่สม่ำเสมอได้

2) วิธีของทิสเสนเมื่อใช้กับพื้นที่ขนาดใหญ่ ถ้าหากวัดข้อมูลน้ำฝนผิดพลาด จะมีผลทำให้ปริมาณน้ำฝนที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนจากที่ควรจะเป็นมาก

3) การลากเส้นแบ่งรูปหลายเหลี่ยม ไม่ได้คำนึงถึงสภาพภูมิประเทศ เช่น อาจจะมีแนวเขตภูเขาขวางกั้น หรือเป็นลักษณะเป็นที่ลุ่มๆดอนๆ ก็จะทำให้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยผิดพลาด

4) ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงสถานีวัดน้ำฝน จะต้องสร้างรูปหลายเหลี่ยมใหม่ทุกครั้ง ไม่มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน

2.4.2.3 วิธีเส้นชั้นน้ำฝน (Isohyetal method)

วิธีเส้นชั้นน้ำฝน (Isohyetal Method) เป็นวิธีที่พิจารณาลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลความเข้มฝนที่ได้จากการตรวจวัดจริงทั่วทั้งพื้นที่เพื่อกำหนดเป็นเส้นชั้นน้ำฝน (Isohyet) ซึ่งเป็นเส้นที่ลากผ่านบริเวณพื้นที่ที่มีความเข้มฝนเท่ากัน การลากเส้นชั้นน้ำฝนจะนำข้อมูลลักษณะภูมิประเทศรวมถึงทิศทางของพายุฝนมาประกอบพิจารณา ในขณะเดียวกันสถานีวัดน้ำฝนจะต้องมี

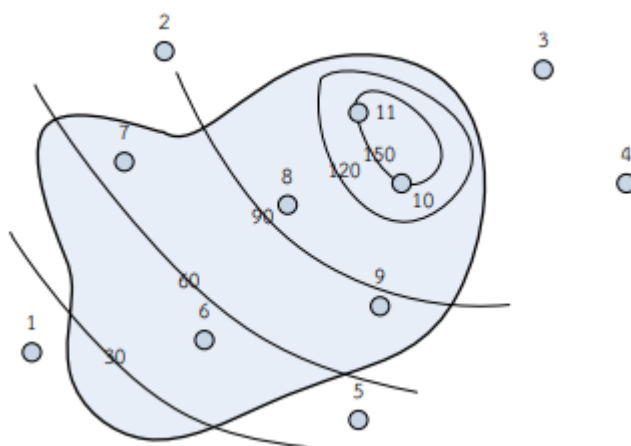
จำนวนมากพอเพื่อกำหนดเส้นชั้นน้ำฝนให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง สำหรับขั้นตอนในการลากเส้นชั้นน้ำฝนทำได้ดังนี้

- 1) เลือกสถานีวัดน้ำฝนที่จะนำมาวิเคราะห์ฝนเชิงพื้นที่ทั้งในและนอกพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา
- 2) ตรวจสอบแนวโน้มของเส้นชั้นน้ำฝน และประมาณด้วยสายตา จากนั้นจึงลากเส้นชั้นน้ำฝน โดยพยายามให้เส้นโค้งราบเรียบ ซึ่งวิธีการลากเส้นชั้นน้ำฝนนี้ จะคล้ายกับการลากเส้นระดับความสูง (Contour)
- 3) หาพื้นที่ระหว่างเส้นชั้นน้ำฝน 2 เส้นที่อยู่ใกล้กันและอยู่ภายในขอบเขตของพื้นที่รับน้ำจะได้พื้นที่ $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$
- 4) คำนวณหาปริมาณฝนเฉลี่ยได้จากสมการดังนี้

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n P_i A_i \quad (2.17)$$

เมื่อ P_i = ค่าความเข้มฝนเฉลี่ยระหว่างเส้นชั้นน้ำฝน 2 เส้น

A_i = พื้นที่ระหว่างเส้นชั้นน้ำฝน 2 เส้นที่อยู่ใกล้กัน



ภาพที่ 4 เทคนิคการวาดเส้นชั้นน้ำฝน

ที่มา: (อารียา ฤทธิมา, 2561)

2.5 การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operations) หมายถึง การเก็บกักน้ำในอ่างและการส่งน้ำจากอ่างเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ โดยมีการวางแผนล่วงหน้าว่าควรเก็บกักและส่งน้ำจากอ่างในแต่ละช่วงเวลาเป็นปริมาณเท่าใด และมีการปฏิบัติการตามแบบแผนที่วางไว้ทราบเท่าที่สภาพในอนาคตเป็นไปตามที่คาดคะเนไว้ ถ้าสภาพในอนาคตต่างจากที่คาดคะเนไว้ในตอนวางแผน การปฏิบัติการอาจแตกต่างจากแผนที่วางไว้ เพื่อลดสภาวะการขาดแคลนน้ำหรือน้ำล้นอ่าง

สิ่งสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จหรือล้มเหลวของปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ คือ การคาดคะเนปริมาณน้ำไหลลงอ่างในช่วงระยะเวลาวางแผนล่วงหน้า เช่น ในช่วง 12 เดือนข้างหน้า ถ้าสามารถรับรู้ปริมาณน้ำไหลลงอ่าง ในแต่ละเดือนในช่วง 12 เดือนข้างหน้า การวางแผนจะทำได้ง่าย โดยขั้นแรกจะสมมติแผนการใช้น้ำจากอ่าง แล้วจึงทำการวิเคราะห์สมดุลน้ำในอ่างในแต่ละเดือนอย่างต่อเนื่อง 12 เดือน ผลการวิเคราะห์สมดุลของน้ำจะทำให้ทราบว่าควรเก็บกักน้ำในแต่ละเดือนเท่าใด ควรส่งน้ำในแต่ละเดือนเท่าใด และเมื่อใดจะมีการขาดแคลนน้ำและการไหลล้นอ่าง สิ่งนี้จะเป็นเครื่องชี้ให้เห็นว่าแผนการใช้น้ำจากอ่างควรต้องมีการปรับปรุงแผนการใช้น้ำและการเก็บกักใหม่เพื่อไม่ให้เกิดการขาดแคลนน้ำและน้ำไหลล้นอ่าง หรือเกิดให้น้อยที่สุด

2.5.1 ประเภทของอ่างเก็บน้ำ

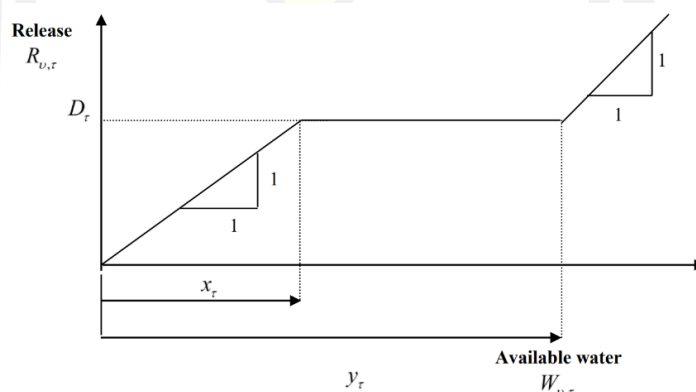
หลักเกณฑ์ในการจัดประเภทของอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ขนาดของอ่างเก็บน้ำ และปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ ในที่นี้จะแบ่งประเภทของอ่างเก็บน้ำ ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ดังนี้

- 1) อ่างเก็บน้ำเอกประสงค์ (Single Purpose Reservoir) เป็นอ่างเก็บน้ำที่ทำหน้าที่เก็บน้ำไว้ใช้สำหรับวัตถุประสงค์เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น เช่น การเกษตร หรือการอุปโภค-บริโภค หรือการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำจะง่ายที่สุด
- 2) อ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ (Multi-Purpose Reservoir) เป็นอ่างเก็บน้ำที่ทำหน้าที่เก็บน้ำไว้ใช้สำหรับหลายวัตถุประสงค์พร้อมกัน เช่น การเกษตร การอุปโภค-บริโภค การอุตสาหกรรม การคมนาคม เป็นต้น ดังนั้นการบริหารจัดการน้ำย่อมมีความสลับซับซ้อนและยุ่งยากมากขึ้นกว่าอ่างเก็บน้ำเอกประสงค์

2.5.2 นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน (Standard Operating Policy)

นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน (Standard Operating Policy, SOP) เป็นนโยบายที่ง่ายที่สุด บางครั้งอาจเรียกว่านโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบเชิงเส้นมาตรฐาน

(Standard Linear Operating Policy, SLOP) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.5 โดยในช่วงที่ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำมีน้อยกว่าปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมาย (Target Demand) ปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่างจะถูกปล่อยไปใช้ทั้งหมด ในขณะที่หากปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำมีมากกว่าปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายแต่น้อยกว่าผลรวมของปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายและปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด จะทำการปล่อยน้ำเท่ากับความต้องการน้ำเป้าหมาย สำหรับปริมาณน้ำส่วนเกินจะเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำ และในกรณีที่ปล่อยน้ำเท่ากับความต้องการน้ำเป้าหมายไปแล้ว แต่ไม่มีปริมาณอ่างมีพื้นที่ไม่เพียงพอที่จะเก็บกักน้ำส่วนเกินนี้ไว้ ปริมาณน้ำส่วนที่เกินความจุเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำจำเป็นต้องปล่อยออกไปในท้ายที่สุด (Jain and Singh, 2003)



ภาพที่ 5 นโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐาน

ที่มา: (อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง, 2563)

$$R_{v,t} = \begin{cases} D_t + W_{v,t} - y_t, & \text{for } W_{v,t} \geq y_t + D_t \\ D_t, & \text{for } x_t \leq W_{v,t} < y_t + D_t \\ D_t + W_{v,t} - x_t, & \text{for } x_t - D_t \leq W_{v,t} < x_t \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.18)$$

เมื่อ $R_{v,t}$ = ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำในช่วงปี v ของเดือน t
($t = 1$ ถึง 12 แทนเดือนมกราคม ถึง เดือนธันวาคม)

D_t = ความต้องการใช้น้ำท้ายอ่างของเดือน t

x_t = ขอบเขตล่างของโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของเดือน t

y_t = ขอบเขตบนของโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของเดือน t

$W_{v,t}$ = ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน t โดยคำนวณจากสมการ 2.19

$$W_{v,t} = S_{v,t} + Q_{v,t} + P_{v,t} - E_{v,t} \quad (2.19)$$

เมื่อ $S_{v,t}$ = ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำตอนต้นเดือน t ปี v

$Q_{v,t}$ = ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในเดือน t ปี v

$P_{v,t}$ = ปริมาณฝนที่ตกลงในอ่างเก็บน้ำในเดือน t ปี v

$E_{v,t}$ = ค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเดือน t ปี v

2.5.3 เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging (Hedging Rules)

เป็นเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่พยายามลดการส่งน้ำในบางช่วงเวลาเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ในช่วงเวลาถัดไป แม้ว่าปริมาณน้ำเก็บกักที่มีอยู่ในอ่าง จะสามารถตอบสนองต่อปริมาณความต้องการน้ำเป้าหมายได้อย่างเต็มศักยภาพก็ตาม อาจกล่าวได้ว่า เกณฑ์การปฏิบัติการแบบ Hedging เป็นความพยายามที่จะลดปัญหาการขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต ด้วยการกระจายการขาดแคลนน้ำในเวลาปัจจุบันล่วงหน้า ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับระบบที่มีความต้องการใช้น้ำสูง แต่ประสบปัญหาในด้านความผันแปรของข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Neelakantan & Pundarikanthan, 1999; Shiau & Lee, 2005) โดยทั่วไปแล้ว เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging จะปรากฏในรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 6 (Draper & Lund, 2004) ดังนี้ คือ

1) One-Point Hedging

การปล่อยน้ำจะเริ่มต้นจากจุดกำเนิดและจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเส้นตรงที่มีความชันน้อยกว่า 1 จนกระทั่งไปตัดเส้นระดับเป้าหมายของการปล่อยน้ำ

2) Two-Point Hedging

เป็นเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงตัดผ่านจุดตัด 2 จุด คือ จุดแรกจะอยู่สูงกว่าจุดกำเนิดขึ้นไปและอยู่บนเส้นนโยบายการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบมาตรฐานในช่วงที่เกิดการขาดแคลนน้ำ และจุดที่สองจะเป็นจุดตัดที่อยู่บนเส้นระดับเป้าหมายของการปล่อยน้ำ โดยเส้นตรงที่ตัดผ่านนี้จะมีความชันน้อยกว่า 1

3) Three-Point Hedging

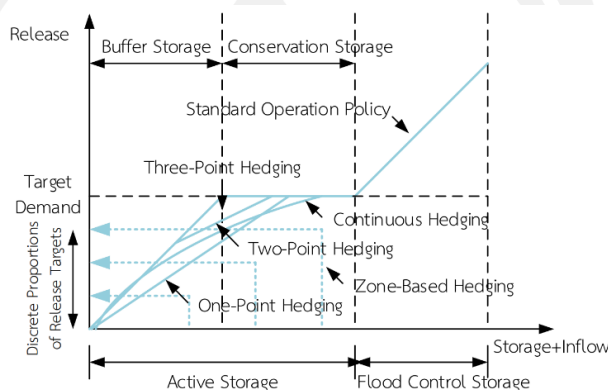
เป็นเกณฑ์ที่เพิ่มจุดตรงกลางขึ้นอีกหนึ่งจุดจากเกณฑ์การปฏิบัติงานแบบ Two-Point Hedging

4) Continuous Hedging

สัดส่วนความชันของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในรูปแบบนี้จะมีลักษณะต่อเนื่อง

5) Multiple/Zone-Based Hedging

กำหนดสัดส่วนการปล่อยน้ำในแต่ละโซนเก็บกักเทียบกับปริมาณความต้องการน้ำตามเป้าหมายของระบบในลักษณะของสัดส่วนการปล่อยน้ำแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Proportion)



ภาพที่ 6 เกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำแบบ Hedging
ที่มา: (Draper & Lund, 2004)

2.5.4 หลักการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำด้วยโค้งควบคุม

การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีหลายแบบ แต่ละแบบจะบอกปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยจากอ่างเก็บน้ำหรือไม่ก็บอกปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาต่างๆ ของปีซึ่งเรียกว่า โค้งกฎการปฏิบัติงาน (Rule curves) และหนึ่งในจำนวนที่มากมายของเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำคือ โค้งปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir operation rule curve) หรือบางครั้งเรียกว่าโค้งแนวปฏิบัติ (Guide curve) ซึ่งจะได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลอุทกวิทยาในอดีต (Historical data) ซึ่งมีเงื่อนไขต่างๆ กันร่วมกับความต้องการน้ำในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยเฉพาะอ่างเก็บน้ำแบบอเนกประสงค์นั้น จำเป็นต้องมีเกณฑ์ในการปฏิบัติงานหลายเกณฑ์ร่วมกัน เช่น เกณฑ์ทางด้านสังคม เศรษฐศาสตร์ และวิศวกรรม เป็นต้น ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์มีความยุติธรรมและประสิทธิภาพมากที่สุด หลังจากนั้นจึงสร้างเป็นกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ และพัฒนาให้เป็นเครื่องมืออย่างง่ายในการปฏิบัติคือ โค้งการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ซึ่งหลักการของการพัฒนาโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำคือช่วงฤดูฝนจะพร่องน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดในปริมาณเท่าใด เพื่อให้มีปริมาณสำรองสำหรับรับปริมาณน้ำหลากที่จะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำโดยไม่เกิดการไหลล้นอ่าง ซึ่งจะก่อให้เกิดอุทกภัยในบริเวณท้ายอ่างเก็บ

น้ำ หรือหากเกิดการไหลล้นอ่างก็ให้น้อยที่สุด และในขณะเดียวกันต้องรักษาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้ง ซึ่งเส้นโค้งของกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเส้นนี้เรียกว่า Upper Rule Curve (URC) และในช่วงฤดูแล้งจะรักษาปริมาณน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดไว้เท่าใด จึงจะลดความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำแห้งในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งโค้งของกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเส้นนี้เรียกว่า Lower Rule Curve (LRC)

2.6 การค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม

โค้งควบคุมหรือโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) จะถูกสร้างขึ้นโดยยึดหลักการ ให้ปริมาณน้ำขาดแคลนน้อยที่สุด ในขณะเดียวกันต้องปล่อยน้ำให้เพียงพอกับความต้องการด้านต่างๆ แนวคิดของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ คือ การบริหารจัดการระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ ณ เวลาใดๆ ให้เป็นไปตามโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นมา โดยมีแนวทางการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมดังนี้

1) รวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ซึ่งประกอบไปด้วย

(1) ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญ คือ ระดับความจุของอ่างเก็บน้ำและโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับเก็บกัก-ความจุ-พื้นที่ผิวน้ำ

(2) ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญ คือ ข้อมูลรายเดือนของปริมาณฝน ข้อมูลปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำและข้อมูลประมาณการระเหย

(3) ข้อมูลความต้องการใช้น้ำ ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญ คือ ความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน, ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค ความต้องการใช้น้ำเพื่อการคมนาคมรักษาระบบนิเวศ และความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม

2) คำนวณหาความต้องการใช้น้ำสุทธิจากอ่างเก็บน้ำ (Net Demand) จากสมการ 2.20

$$\text{Net Demand} = W_s + I_{dd} + Env + (I_{rr} - Eff_rainfall) \quad (2.20)$$

เมื่อ W_s = ความต้องการด้านอุปโภค-บริโภค

I_{dd} = ความต้องการด้านอุตสาหกรรม

Env = ความต้องการด้านรักษาระบบนิเวศทำนน้ำ

I_{rr} = ความต้องการด้านชลประทาน

$Eff_rainfall$ = ปริมาณฝนใช้การ

ในกรณีปริมาณฝนใช้การมีค่ามากกว่าความต้องการด้านชลประทานจะหาความต้องการใช้น้ำสุทธิ จากสมการ 2.21

$$\text{Net Demand} = W_s + I_{dd} + \text{Env} \quad (2.21)$$

3) คำนวณหาปริมาณน้ำใช้การในแต่ละเดือน (Available Water) จากสมการ 2.19

4) พิจารณาปริมาณน้ำที่ต้องระบาย (Water Release)

ปริมาณน้ำที่จะต้องระบายในแต่ละเดือนพิจารณาจากปริมาณน้ำที่สามารถใช้การได้ในเดือนนั้นๆ ความต้องการใช้น้ำสุทธิ และเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน ดังแสดงในภาพที่ 5 และสมการ 2.18

ในการพิจารณาปริมาณน้ำที่ต้องระบายในเดือนนั้นๆ จะต้องพิจารณาจากข้อมูลต่างๆ ประกอบกันคือ โค้งควบคุมเส้นบนและโค้งควบคุมเส้นล่าง ความต้องการน้ำสุทธิและปริมาณน้ำใช้การของเดือนนั้นๆ เช่น ในเดือนมกราคม มีค่าโค้งควบคุมเส้นบนเท่ากับ 1,806 ล้าน ลบ.ม. โค้งควบคุมเส้นล่างเท่ากับ 1,366 ล้าน ลบ.ม. ความต้องการน้ำสุทธิเท่ากับ 116.8 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณน้ำใช้การเท่ากับ 2,666 ล้าน ลบ.ม. จากนั้นนำค่าไปพิจารณาปริมาณน้ำที่ต้องระบายจากภาพประกอบที่ 5 และสมการ 2.18 พบว่า ปริมาณน้ำใช้การมีค่ามากกว่าโค้งควบคุมเส้นบนและส่วนที่มากกว่าโค้งควบคุมเส้นบนยังมีค่ามากกว่าความต้องการน้ำสุทธิ ดังนั้นจึงปล่อยน้ำส่วนเกินนี้ทั้งหมด $(2,666 - 1,806 = 860$ ล้าน ลบ.ม.)

5) คำนวณหาปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นของเดือนถัดไป โดยใช้หลักสมดุลน้ำ ซึ่งหลักสมดุลน้ำของอ่างเก็บน้ำจะเป็นการพิจารณากระบวนการทางอุทกวิทยาของอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ ปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่เดิม ปริมาณน้ำที่เข้าอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ และน้ำที่ระเหยขึ้นสู่ท้องฟ้า สามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการ 2.23

$$S_{t+1} = S_t + Q_t + P_t - E_t - R_t = W_t - R_t \quad (2.22)$$

เมื่อ S_{t+1} = ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำตอนต้นเดือน $t+1$

S_t = ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำตอนต้นเดือน t

Q_t = ปริมาณที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำของเดือน t

P_t = ปริมาณฝนของเดือน t

E_t = อัตราการระเหยของเดือน t

R_t = ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำเดือน t

จะต้องทำการคำนวณตามขั้นตอน 4 และ 5 ให้ครบตามจำนวนปีที่รวบรวมข้อมูลปริมาณที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ จากนั้นทำการตรวจสอบการขาดแคลนน้ำและการไหลล้น

6) ทำการตรวจสอบการขาดแคลนน้ำและการไหลล้น โดยการเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ระบายในแต่ละเดือน กับความต้องการใช้น้ำสุทธิในแต่ละเดือน ซึ่งการนับการขาดแคลนน้ำหรือน้ำไหลล้น จะนับโดยหากปีใดมีการขาดแคลนหรือไหลล้นในเดือนใดเดือนหนึ่ง จะนับว่าในปีนั้นเป็นปีที่มีน้ำขาดแคลน (Water Shortage) หรือน้ำไหลล้น (Excess Release Water)

7) ทำการประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น ในการประเมินจะพิจารณาในรูปของความถี่ ขนาด และช่วงเวลา ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

- ความถี่ของการเกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและสถานการณ์การไหลล้น หาได้จากจำนวนปีที่เกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำหรือสถานการณ์การไหลล้นหารด้วยจำนวนปีของข้อมูลน้ำท่าที่นำมาใช้พิจารณาทั้งหมด

- ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยและปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยต่อปี หาได้จากผลรวมของน้ำขาดแคลนหรือน้ำไหลล้นในแต่ละปีหารจำนวนปีของข้อมูลน้ำท่าที่นำมาใช้พิจารณาทั้งหมด

- ปริมาณน้ำขาดแคลนสูงสุดและปริมาณน้ำไหลล้นสูงสุดต่อปี หาได้จากผลรวมสูงสุดของน้ำขาดแคลนหรือน้ำไหลล้นของแต่ละปีที่มีข้อมูลน้ำท่ามาใช้

- ช่วงเวลาขาดแคลนเฉลี่ยและช่วงเวลาไหลล้นเฉลี่ย หาได้จากผลรวมของปีที่เกิดการขาดแคลนหรือไหลล้นหารด้วยจำนวนช่วงปีที่เกิดการขาดแคลนหรือไหลล้น

- ช่วงเวลาขาดแคลนที่ยาวที่สุดและช่วงเวลาไหลล้นยาวที่สุด หาได้จากจำนวนปีที่เกิดการขาดแคลนติดต่อกันนานที่สุด หรือจำนวนปีที่เกิดการไหลล้นติดต่อกันนานที่สุด

เมื่อทำการประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นแล้ว ถือว่าเป็นการค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำรอบที่ 1 จากนั้น ทำการปรับขอบเขตของโค้งควบคุมเส้นบนและโค้งควบคุมเส้นล่างของทุกเดือน แล้ววนซ้ำทำตามขั้นตอน 4 ถึง 7 ซึ่งจะต้องทำการปรับขอบเขตของโค้งควบคุมและวนซ้ำ จนกระทั่งเกิดการขาดแคลนน้ำหรือการไหลล้นน้อยที่สุดหรือดีที่สุดเท่าที่ยอมรับ โดยช่วงเริ่มต้นหรือในอดีตการปรับขอบเขตของโค้งควบคุมจะใช้วิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error) แต่กระบวนการแบบลองผิดลองถูกค่อนข้างมีความซับซ้อน ดังนั้นในปัจจุบันจึงนิยมนำเทคนิคและวิธีการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) มาทำการปรับขอบเขตของโค้งควบคุมแทนการใช้วิธีแบบลองผิดลองถูก

2.7 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เป็นกระบวนการที่ทำให้ไม่ต้องใช้การลองผิดลองถูก (Trial and Error) ในการหาคำตอบของปัญหา จะมีกลไกอัตโนมัติเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหานั้นๆ โดยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายระบบในรูปแบบของตัวแปรของระบบ ข้อแม้ของระบบ และวัตถุประสงค์หรือประสิทธิผลที่จะทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยมีการจำแนกประเภทของเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เป็น 7 กลุ่ม ดังนี้

- 1) ประเภท Model แบ่งเป็น Describe, Constant and Dynamic Model และ Mathematical Model เป็นต้น
- 2) ประเภท Goal แบ่งเป็น Minimize และ Maximize เป็นต้น
- 3) ประเภท Objective function แบ่งเป็น Linear และ Non-Linear เป็นต้น
- 4) ประเภท Constraint แบ่งเป็น non-condition และ Condition เป็นต้น
- 5) ประเภท Variable แบ่งเป็น Continuous and Non-Continuous, Continuous และ non-Continuous เป็นต้น
- 6) ประเภท Solution แบ่งเป็น Local Optimum และ Global Optimum เป็นต้น
- 7) ประเภท Methodology แบ่งเป็น Deterministic method, Stochastic method และ Evolutionary method

จาก 7 ประเภทดังกล่าว สามารถแบ่งเป็น การเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และ เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดขั้นสูง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.7.1 เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดหรือค่าที่ดีที่สุด (Optimization Technique)

เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดหรือค่าที่ดีที่สุด (Optimization Technique) นับเป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ เมื่อระบบทรัพยากรน้ำได้ถูกจำลองในรูปแบบทางคณิตศาสตร์แล้ว เทคนิคที่นิยมนำมาใช้ประกอบด้วยโปรแกรมพื้นฐาน (Conventional Technique) ซึ่งประกอบไปด้วยโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) โปรแกรมไม่เชิงเส้น (Nonlinear Programming) และโปรแกรมพลวัต (Dynamic Programming)

2.7.1.1 โปรแกรมเชิงเส้น

เป็นปัญหาที่ทั้งวัตถุประสงค์และข้อแม้ของปัญหามีลักษณะเป็นสมการเส้นตรงทั้งหมด ทั้งนี้สมมติฐานสำคัญในการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยโปรแกรมเชิงเส้น คือ

- 1) การเป็นสัดส่วนหรือการแยกส่วนได้ นั่นคือสามารถนำค่าคงที่มาคูณได้

- 2) การบวกและการลบ นั่นคือ การสามารถย้ายข้างสมการได้
- 3) การหาร จะกระทำได้เมื่อตัวแปรที่มีค่าแบบต่อเนื่อง
- 4) ความแน่นอนหรือการแก้ปัญหา โดยใช้วิธีแบบ Deterministic
- 5) การใช้ค่าบวกสำหรับตัวแปรทุกตัว โดยมีตัวอย่างรูปแบบคือ

$$\text{ค่าสูงสุด (หรือต่ำสุด)} \quad Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots + C_nX_n \quad (2.23)$$

$$\text{โดยขึ้นอยู่กับ} \quad a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1 \quad (2.24)$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{23}X_3 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2 \quad (2.25)$$

$$\dots \quad (\dots\dots)$$

$$\dots \quad (\dots\dots)$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + a_{m3}X_3 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m \quad (2.26)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_n \geq 0 \quad (2.27)$$

โดยที่ x_i = ตัวแปรตัดสินใจของระบบ

C_i = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการวัตถุประสงค์

a_{ij} = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการข้อแม้

b_j = ค่าคงที่ของสมการข้อแม้

2.7.1.2 แบบโปรแกรมไม่เชิงเส้น

เป็นปัญหาที่สมการบางสมการหรือสมการทั้งหมด (วัตถุประสงค์และข้อแม้) ของปัญหามีลักษณะเป็นสมการไม่เชิงเส้น ซึ่งปกติจะมีวิธีการแก้ปัญหาที่มีความยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่าโปรแกรมเชิงเส้น ทั้งนี้สามารถหาคำตอบได้ 2 แนวทางคือ

1) การหาค่าที่ดีที่สุดโดยแคลคูลัส จะใช้แก้ปัญหาที่ไม่มีความซับซ้อนมากนัก หรือปัญหาที่ค่อนข้างง่าย จึงสามารถหาคำตอบได้โดยตรง ซึ่งวิธีนี้ใช้แก้ปัญหาได้ทั้ง 2 แบบ คือ แบบไม่มีข้อแม้และแบบมีข้อแม้

2) การหาค่าที่ดีที่สุดโดยการหาค่าทางตัวเลข (Numerical Search Method) เป็นวิธีการหลักที่ใช้ในการแก้ปัญหาโปรแกรมไม่เชิงเส้นได้ทุกปัญหา ทั้งปัญหาที่ไม่ค่อยซับซ้อนและปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก โดยมีตัวอย่างรูปแบบคือ

-ปัญหาแบบไม่มีข้อแม้

$$\text{ค่าสูงสุด (หรือต่ำสุด)} \quad Z = x_1^2 + 5x_2^3 - x_3 \quad (2.28)$$

-ปัญหาแบบมีข้อแม้

$$\text{ค่าสูงสุด (หรือต่ำสุด)} \quad Z = 4x_1^3 + 2x_2^2 - 6x_3^2 \quad (2.29)$$

$$\text{โดยขึ้นอยู่กับ} \quad 4x_1 + x_2^2 = 0 \quad (2.30)$$

$$5x_2^2 - x_3 = 0 \quad (2.31)$$

$$x_1^2 + 7x_2 - x_3 \geq 0 \quad (2.32)$$

2.7.1.3 แบบโปรแกรมพลวัต

การศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีโปรแกรมพลวัตกับระบบทรัพยากรน้ำได้นำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง คุณลักษณะการดำเนินงานของโปรแกรมพลวัตมีดังต่อไปนี้

- 1) ปัญหาจะแบ่งออกเป็นขั้นตอนโดยมีตัวแปรตัดสินใจอยู่ทุกขั้นตอน
- 2) แต่ละขั้นตอนมีจำนวนของเป้าหมายเกี่ยวข้องกันเอง
- 3) ผลการตัดสินใจแต่ละขั้นตอนจะมีผลตอบแทนโดยขึ้นอยู่กับฟังก์ชันการตอบแทนของขั้นตอน และโอนถ่ายจากตัวแปรเป้าหมายปัจจุบันไปสู่ตัวแปรเป้าหมายขั้นถัดไป โดยใช้ฟังก์ชันโอนถ่ายเป้าหมาย

- 4) กำหนดเป้าหมายปัจจุบัน นโยบายความเหมาะสมของขั้นตอนที่เหลืออยู่เป็นอิสระของนโยบายขั้นตอนก่อน หลักการนี้เรียกว่าหลักการของ Bellman's ในการหาความเหมาะสมโดยทำหน้าที่เป็นหลักใหญ่ของโปรแกรมพลวัต

- 5) การหาผลลัพธ์เริ่มโดยการหาคำตอบที่เหมาะสมของแต่ละเป้าหมายที่เป็นไปได้ในขั้นตอนสุดท้ายเรียกว่าการย้อนกลับทางหลัง หรือในขั้นตอนแรกเรียกว่าการย้ายไปข้างหน้า ขั้นตอนไปข้างหน้าคำนวณจากขั้นตอนแรกไปสู่ขั้นตอนสุดท้าย ขณะเดียวกันการคำนวณย้อนกลับเริ่มจากขั้นตอนสุดท้ายไปสู่ขั้นตอนแรก

- 6) ความสัมพันธ์ของ Recursive ชี้ให้เห็นถึงนโยบายการหาความเหมาะสมของแต่ละเป้าหมายของขั้นตอน N ใดๆ ซึ่งสามารถพัฒนาได้ โดยกำหนดนโยบายเหมาะสมของแต่ละเป้าหมายที่ขั้นตอนถัดไป N+1

ถึงแม้ว่ากระบวนการของโปรแกรมพลวัตจะมีข้อดีหลายอย่างในการหาผลลัพธ์ของปัญหาทรัพยากรน้ำ โดยเฉพาะการวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับกระบวนการหลายๆขั้นตอนจะใช้ได้ดีเป็นพิเศษ แต่ยังมีข้อเสียอยู่ 2 ข้อใหญ่คือ หน่วยความจำในคอมพิวเตอร์และเวลาที่ต้องการ ข้อเสียสองข้อนี้จะมีผลสำคัญเป็นพิเศษภายใต้ 3 สถานการณ์ คือ เมื่อมีจำนวนของตัวแปรเป้าหมายมีมาก เมื่อโปรแกรมพลวัตประยุกต์ใช้กับฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง (Discrete function) กับปัญหาที่เกี่ยวข้องจะมีความยุ่งยากในการหาผลลัพธ์ของความเหมาะสมจริง และการเพิ่มจำนวนของความไม่ต่อเนื่อง

(Discrimination) หรือตัวแปรเป้าหมายเพิ่มจำนวนการประเมินของสูตรทำให้หน่วยความจำในคอมพิวเตอร์ต้องขั้นตอนปัญหาต้องใช้เวลาในการประเมินมากขึ้น เพราะว่าการเพิ่มหน่วยความจำตามความต้องการของปัญหาในคอมพิวเตอร์ มีผลทำให้เกินความจำที่มีอยู่ในคอมพิวเตอร์ทำให้ปัญหาไม่สามารถหาผลลัพธ์ได้

2.7.2 เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดขั้นสูง (Advanced Optimization Technique)

เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดขั้นสูง (Advanced Optimization Technique) นับเป็นเครื่องมือที่สำคัญ สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำได้ เมื่อระบบทรัพยากรน้ำได้ถูกจำลองในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ เทคนิคขั้นสูงที่ถูกพัฒนาขึ้นและเป็นที่นิยมนำมาใช้กันในหลายสาขา ได้แก่ เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm), วิถีดิฟเฟอเรนเชียลเอฟโวลูชัน (Differential Evolution Algorithm), วิธีแบบจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm), และวิธีชัฟเฟิลฟรอกลิปปีง (Shuffled Frog Leaping Algorithm) เป็นต้น ซึ่งวิธีที่กล่าวมาจะอยู่ในประเภท Methodology เช่นเดียวกับ วิธีฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm)

2.8 วิธีฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm)

2.7.1 ประวัติความเป็นมาของวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช

วิธีฮาร์โมนีเซิร์ชถูกพัฒนาขึ้นโดย Zong Woo Geem ในขณะที่กำลังศึกษาในระดับปริญญาเอก โดยได้พยายามศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบการขนถ่ายน้ำ (Design of water distribution network) (Geem et al., 2001) โดยมีแนวคิดมาจาก ความต้องการเลียนแบบพฤติกรรมของนักดนตรีที่ต้องการแก้ไขปัญหาในการประสานเสียงของเครื่องดนตรี ซึ่งนักดนตรีจะทำการปรับปรุงและแก้ไขตัวโน้ต เพื่อทำให้เกิดการประสานเสียงที่ไพเราะมากที่สุด

2.7.2 หลักการค้นหาคำตอบด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ชแบบดั้งเดิม

การค้นหาคำตอบด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นสร้างหน่วยความจำ (Harmony memory: HM)

การเริ่มต้นของหน่วยความจำประกอบด้วย ตัวเลขจำนวนหนึ่งของวิธีแก้ปัญหาที่ทำการสุ่มขึ้นมา สำหรับปัญหาค่าเหมาะที่สุดภายใต้การพิจารณา สำหรับปัญหา n-dimension โดยหน่วยความจำกับขนาดหน่วยความจำ (Harmony memory size: HMS) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \cdots & x_n^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \cdots & x_n^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \cdots & x_n^{HMS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^1 \\ \vdots \\ x^{HMS} \end{bmatrix} \in R^{HMS \times n} \quad (2.33)$$

โดยที่ $x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i$ และ $i = 1, 2, \dots, HMS$ คือ การแก้ไขคำตอบแบบใหม่ (Candidate solution) ซึ่งขนาดหน่วยความจำ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 100

ขั้นตอนที่ 2 การปรับปรุงวิธีแก้ปัญหาคandidate

การปรับปรุง $x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i$ จากหน่วยความจำ (Harmony memory: HM) นั้นคือการสร้างเวกเตอร์ในการแก้ไขคำตอบใหม่ขึ้นมา โดยการปรับปรุงค่า Harmony ใหม่ขึ้นมานั้นจะขึ้นอยู่กับ 3 การดำเนินการ

1. การใช้งานหน่วยความจำ (Harmony memory: HM) ค่าตัวแปรแรก x_1^i สำหรับเวกเตอร์ใหม่สามารถเลือกได้จากค่าใดๆในช่วงหน่วยความจำที่ระบุ ($x_1^i - x_1^{HMS}$) ค่าของตัวแปรอื่นๆ x_n^i สามารถเลือกได้โดยวิธีเดียวกัน โดยในการเลือกเป็นไปได้อันหนึ่งจะเลือกค่าใหม่โดยใช้พารามิเตอร์ความน่าจะเป็นในการใช้หน่วยความจำ (Harmony Memory Considering Rate, HMCR) ที่แตกต่างกันช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 โดยที่ HMCR คือความน่าจะเป็นของการเลือกตัวแปรค่าหนึ่งจากค่าที่เก็บไว้ใน HM และ $(1-HMCR)$ คือความน่าจะเป็นของการสุ่มเลือกตัวแปรค่าหนึ่งที่ไม่ได้เก็บไว้ใน HM เช่น ค่า HMCR มีค่าเท่ากับ 0.95 หมายความว่ามีโอกาส 95 เปอร์เซ็นต์ ที่จะเลือกตัวแปรจากค่าที่เก็บไว้ และมีโอกาส 5 เปอร์เซ็นต์ที่จะไปเลือกตัวแปรจากค่าที่ไม่ได้เก็บไว้ (เลือกจากช่วงที่เป็นไปได้ทั้งหมด) ดังนั้นการเลือกใช้

ค่า HMCR นั้นไม่ควรมีค่าเท่ากับ 1 เพราะจะไม่สามารถเลือกค่าตัวแปรจากที่ไม่ได้เก็บไว้ใน HM ได้เลย ซึ่งค่าตัวแปรที่ไม่ได้เก็บไว้ใน HM อาจจะมีค่าที่ให้คำตอบที่เหมาะสมกว่า

2. การปรับระดับเสียง (Pitch adjustment) ทุกองค์ประกอบของเวกเตอร์ใหม่ $x = x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i$ จะถูกตรวจสอบ เพื่อพิจารณาว่าควรปรับระดับเสียง โดยในขั้นตอนการปรับระดับเสียงจะใช้ พารามิเตอร์ความน่าจะเป็นในการปรับระดับเสียง (Pitch Adjustment Rate, PAR) ในการกำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลงของการปรับสำหรับเสียงที่ถูกเลือกมาจาก HM กระบวนการปรับเสียงจะเริ่มดำเนินการก็ต่อเมื่อมีค่าที่ถูกเลือกมาจากหน่วยความจำ (HM) โดยค่า PAR คือ โอกาสในการปรับค่าที่ได้จาก HM และ $(1-PAR)$ คือ โอกาสที่ค่าจะไม่มีค่าการปรับค่าใดๆทั้งสิ้น เช่น ค่า PAR เท่ากับ 0.3 หมายความว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการเลือกค่าใกล้เคียงกับ $30\% \times HMCR$ ที่จะทำการปรับค่า

ถ้าตัดสินใจที่จะทำการปรับระดับเสียง $x'_i = \text{Yes}$ และค่าของ x'_i ถูกกำหนดให้เป็น $x_i(k)$ คือ $x'_i \leftarrow x'_i + \alpha$ โดย α คือค่าของ $bw \times u(-1,1)$ โดยที่ bw คือ arbitrary distance bandwidth สำหรับตัวแปรต่อเนื่องและ $u(-1,1)$ คือ จำนวนที่สุ่มจากรูปแบบการกระจายตัวที่อยู่ในช่วง -1 ถึง 1

3. การสุ่มค่า (Randomization) เป็นการเพิ่มความหลากหลายของวิธีแก้ไขปัญหา โดยค่าความน่าจะเป็นของการสุ่ม (Probability of randomization) มีค่า $P_{\text{random}} = 1 - \text{HMCR}$ และค่าความน่าจะเป็นของการปรับเสียง (Probability of the pitch adjustment) มีค่า $P_{\text{pitch}} = \text{HMCR} \times \text{PAR}$

ขั้นตอนที่ 3 ใส่ค่า Harmony ค่าใหม่ในหน่วยความจำ เริ่มแรกวิธีแก้ปัญหาคือใหม่ จากขั้นตอนที่ 2 ที่ถูกคำนวณแล้ว ถ้าผลลัพธ์ค่า fitness ดีกว่าค่าที่ถูกเก็บในหน่วยความจำ จะถูกแทนที่เข้าไปแทนค่าในหน่วยความจำและค่าที่แย่กว่าจะถูกกำจัดออก

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด

2.7.3 การปรับปรุงการค้นหาวีธีฮาร์โมนีเซิร์ช

ในการค้นหาด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช สำหรับค่า HMCR และ PAR เป็นพารามิเตอร์ที่จะเป็นค่าที่ช่วยในการปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น จึงมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาและต่อยอดวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช ยกตัวอย่างเช่น Mahdavi (Mahdavi et al., 2007) ได้พัฒนาต่อยอดวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช เป็นวิธีฮาร์โมนีเซิร์ชประยุกต์ (Improved Harmony Search: IHS) โดยทำการปรับปรุงวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ PAR และ BW ซึ่งมีความสำคัญในการค้นหาเวกเตอร์ของคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากเดิมที่ค่าพารามิเตอร์ PAR และ BW เป็นค่าคงที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงคิดค้นการปรับค่าพารามิเตอร์ PAR แบบไดนามิก และ BW จะถูกปรับให้มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแบบเอ็กซีโพเนนเชียล ดังสมการ 2.14 และ 2.15

$$\text{PAR}(\text{gn}) = \text{PAR}_{\min} + \left(\frac{\text{PAR}_{\max} - \text{PAR}_{\min}}{\text{NI}} \right) \times \text{gn} \quad (2.34)$$

เมื่อ PAR = อัตราการปรับระดับเสียงสำหรับแต่ละรุ่น

(pitch adjusting rate for each generation)

$\text{PAR}_{\min}$ = อัตราการปรับระดับเสียงต่ำสุด (minimum pitch adjusting rate)

$\text{PAR}_{\max}$ = อัตราการปรับระดับเสียงสูงสุด (maximum pitch adjusting rate)

NI = จำนวนการสร้างเวกเตอร์โซลูชัน

(number of solution vector generation)

gn = จำนวนหมายเลขรุ่น (generation number)

$$BW(gn) = BW_{\max} \exp(c \times gn) \quad (2.35)$$

$$C = \frac{\ln\left(\frac{BW_{\min}}{BW_{\max}}\right)}{NI} \quad (2.36)$$

เมื่อ $BW(gn)$ = แบนด์วิดท์สำหรับแต่ละรุ่น (bandwidth for each generation)

$BW_{\min}$ = แบนด์วิดท์ต่ำสุด (minimum bandwidth)

$BW_{\max}$ = แบนด์วิดท์สูงสุด (maximum bandwidth)

```

/* HM initialization */
for (i = 1; i ≤ HMS; i++)
    for (j = 1; j ≤ n; j++)
        Randomly initialize  $x_j^i$  in HM.
    endfor
endfor
/* End of HM initialization */
Repeat
    /* Construction and evaluation of new solution candidate x */
    for (j = 1; j ≤ n; j++)
        if (rand(0, 1) < HMCR)
            Let  $x_j$  in  $x$  be the  $j$ th dimension of a randomly selected HM member.
            if (rand(0, 1) < PAR)
                Apply pitch adjustment distance bw to mutate  $x_j$ :
                 $x_j = x_j \pm \text{rand}(0, 1) \times \text{bw}$ .
            endif
        else
            Let  $x_j$  in  $x$  be a random value.
        endif
    endfor
    Evaluate the fitness of  $x$ :  $f(x)$ .
    /* End of construction and evaluation of new solution candidate x */
    /* HM update */
    if ( $f(x)$  is better than the fitness of the worst HM member)
        Replace the worst HM member with  $x$ .
    else
        Disregard  $x$ .
    endif
    /* End of HM update */
Until a preset termination criterion is met.

```

ภาพที่ 7 Pseudocode of HS method.

ที่มา: (Gao et al., 2015)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 การประเมินอัตราการระเหย

Laonamsai และคณะ (2022) ทำการประเมินการสูญเสียไอระเหยจากลำธาร ในช่วงปี 2013 – 2015 ของลุ่มน้ำโขงตอนล่าง (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย) โดยสังเกตองค์ประกอบ ไอโซโทปที่เสถียรของปริมาณน้ำฝนและน้ำในแม่น้ำในแม่น้ำและระบุปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากการระเหยจากแม่น้ำและลำธารที่เกิดจาก ENSO โดยการเปรียบเทียบโปรไฟล์ไอโซโทปที่เสถียรของแม่น้ำกับน้ำอุตุนิยมวิทยา ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณของไอโซโทปแม่น้ำแสดงให้เห็นว่าลำธารสูญเสียน้ำโดยเฉลี่ย 4% ผ่านการระเหย ในระหว่างขั้นตอนการทำความเย็นของ ENSO การระเหยอย่างมีนัยสำคัญเกิดขึ้นเนื่องจากการพาความร้อนซึ่งมักเกิดขึ้นในเขตร้อน ในทางตรงกันข้าม การระเหยมีค่าต่ำในระหว่างช่วงอุ่น ENSO เนื่องจากตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ค่าไอโซโทปของปีเอลนีโญมีค่ามากกว่าปีลานีญาอย่างมีนัยสำคัญ

Friedrich และคณะ (2018) ทำการศึกษาความสำคัญและความท้าทายที่เพิ่มขึ้นของการประเมินอย่างถูกต้องและคาดการณ์การระเหยของอ่างเก็บน้ำ ประกอบด้วย Lake Superior, Lake Huron, Lake Tahoe, Lake Mead, Lake Powell และ Lahontan ในสภาพอากาศในปัจจุบันและอนาคต ตลอดจนความจำเป็นในการนำแนวคิดใหม่และแนวปฏิบัติที่ทันสมัยในการประมาณค่าการระเหยของอ่างเก็บน้ำไปใช้ในการปฏิบัติงานสำหรับ ผู้จัดการทรัพยากรน้ำที่ทันสมัย ผลการศึกษาพบว่า การระเหยของอ่างเก็บน้ำเป็นองค์ประกอบโดยประมาณที่ไม่สม่ำเสมอและไม่ถูกต้องของวัฏจักรของน้ำภายในโครงสร้างพื้นฐานด้านทรัพยากรน้ำของภาคตะวันตกที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งของสหรัฐฯ ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากความท้าทายทั้งในทางปฏิบัติและด้านลอจิสติกส์ ตลอดจนปริมาณน้ำในอดีตที่ไม่ต้องการการจัดการและการจัดเก็บน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การระเหยของอ่างเก็บน้ำในพื้นที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งมีความสำคัญ และแสดงถึงการพิจารณาที่สำคัญสำหรับอนาคตของการจัดการน้ำในสภาพแวดล้อมที่ขาดแคลนน้ำ

อารียา และคณะ (2556) ทำการศึกษาและทบทวนถึงลักษณะรูปแบบ และ แนวโน้มของการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กซึ่งประกอบด้วยอ่างเก็บน้ำทับเสลา ป่าสักชลสิทธิ์ หนองปลาไหล แม่กวอดุมธารา และยางชุม โดยอาศัยข้อมูลตรวจวัดจริงจากถาดวัดการระเหยร่วมกับวิธีการประมาณค่า 4 วิธีได้แก่ วิธีบังน้ำ วิธีเอมไพร์กัล วิธีเคลื่อนย้ายมวล และวิธีผสมผสาน ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับเก็บกักเฉลี่ย ปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำค่อนข้างสูงโดยผันแปรระหว่าง 3.31%-21.01% ของปริมาตรเก็บกักใช้การของอ่างเก็บน้ำ ยิ่งไปกว่านั้นส่วนใหญ่ยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต อันเนื่องมาจากปัจจัยความผันแปรของ

ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาในปัจจุบันและลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ ในขณะที่การประมาณการค่าการระเหยโดยวิธีเอมไพริกัลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเมื่อเทียบกับวิธีการประมาณค่าอื่น ๆ

Senturk และ Oruc (2010) ทำการวิเคราะห์การระเหยของเขื่อน Oymapinar ในประเทศตุรกี โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา โดยการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ซึ่งกำหนดให้ตัวแปรเป็นตัวแปรอิสระทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการระเหยมีความสำคัญมากในแง่ของอุปโภค-บริโภค การชลประทาน และการจ่ายน้ำประปาจากอ่างเก็บน้ำของทะเลสาบเขื่อน ตามการสูญเสียการระเหยโดยประมาณจะเพิ่มขึ้น 70% ในช่วงปี 2553-2571 ในกรณีนี้ต้องพิจารณาการดำเนินงานเขื่อนในอนาคต การเพิ่มขึ้นของการสูญเสียการระเหย การลดลงของปริมาณน้ำฝนทั้งหมด และความต้องการการชลประทานทางการเกษตรของภูมิภาคบ่งบอกถึงความสำคัญของนโยบายที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทุกด้าน

Jensen (2010) อธิบายหลักการบางประการที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการระเหยด้วยข้อมูลตัวอย่างจากแหล่งน้ำขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะเน้นไปที่ขั้นตอนและเทคนิคที่ใช้กันได้จริงซึ่งผู้เชี่ยวชาญสามารถใช้ในการประเมินการระเหยจากแหล่งน้ำต้นโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและการระเหยและสมการผสมโดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศที่มีอยู่และ/หรือข้อมูลใหม่ที่รวบรวมไว้โดยเฉพาะสำหรับการประมาณค่าการระเหยในแต่ละวัน ผลการศึกษาพบว่า แทบไม่มีการตรวจวัดการระเหยโดยตรง แม้แต่ในแหล่งน้ำขนาดเล็ก โดยทั่วไปจะประเมินโดยเชื่อมโยงกับการระเหยที่วัดได้จากอัตราการระเหยหรือคำนวณโดยสมดุลของน้ำ ความสมดุลของพลังงาน การถ่ายเทมวล หรือการรวมกันของสมดุลพลังงานและเทคนิคแอโรไดนามิก วิธีการที่เลือกขึ้นอยู่กับความลึกของแหล่งน้ำและความพร้อมของข้อมูลสภาพอากาศหรืออุปกรณ์ไมโครอุตุนิยมวิทยา

Sivapragasam และคณะ (2009) เสนอแนวทางการประเมินการสูญเสียการระเหยของอ่างเก็บน้ำปิลาวักกาล ในลุ่มน้ำไวปาร์ของทมิฬนาฑู ประเทศอินเดีย โดยเปรียบเทียบผลของแบบจำลอง Genetic Programming (GP) กับ Penman พบว่าในขณะที่แบบจำลองการรวม GP และ Penman ทำงานได้ดีเท่ากันสำหรับการประมาณการสูญเสียการระเหย GP ยังสามารถจำลองการสูญเสียการซึม (หรือการสูญเสียอื่น ๆ จากอ่างเก็บน้ำ) ให้อยู่ในระดับที่ดีขึ้นมาก นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการจัดตารางเวลาอ่างเก็บน้ำได้รับอิทธิพลจากแบบจำลองการสูญเสียอ่างเก็บน้ำในสมการสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำ

เฉลิม และเล็ก (2538) ทำการศึกษาวิธีการหาค่าการระเหยและสมดุลน้ำ โดยเลือกสูตรหาค่าการระเหยของ Thornthwaite, Blaney-Criddle, Makkink, Jensen-Hais และ Penman โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากจังหวัด จันทบุรี นครพนม เชียงราย พิชณุโลก สุราษฎร์ธานี เพชรบูรณ์ สงขลา ชลบุรี (พัทธยา) ขอนแก่น อุบลราชธานี นครสวรรค์และสุรินทร์ นำมาเปรียบเทียบจากภาพถ่าย

การระเหย ผลการศึกษาพบว่า การคำนวณศักยภาพการคายระเหยจากสูตรต่างๆ เป็นสูตรที่เหมาะสมเฉพาะที่เท่านั้น สูตรใดๆก็ตามจะไม่เหมาะสมกับทุกที่เสมอไป สำหรับประเทศไทยไม่มีวิธีใดเหมาะสมที่สุด แต่วิธีที่เหมาะสมในขณะนั้น คือวิธีของ Penman

Knisel และคณะ (1970) ทำการวิเคราะห์อัตราการสูญเสียจากอ่างเก็บน้ำ ซึ่งตัวแปรสิบสามตัวถูกรวมไว้ใน การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อกำหนดตัวแปรที่มีนัยสำคัญสำหรับการประมาณอัตราการสูญเสียแหล่งเก็บกัก ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรสามตัวมีความสำคัญสำหรับแหล่งเก็บกักหนึ่งแห่ง แต่ความแม่นยำในการประมาณอัตราการสูญเสียไม่มากกว่าระยะแหล่งเก็บกักเพียงอย่างเดียว อัตราการสูญเสียมีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์และฟังก์ชันกำลัง (Power Function) และอัตราการสูญเสียสูงถึง 4.5 เอเคอร์ต่อชั่วโมงสำหรับอ่างเก็บน้ำทั้งห้าแห่ง

2.9.2 ประเมินความต้องการน้ำด้านอุปโภค-บริโภค

สลิลา และสิดางค์ (2563) ทำการศึกษาการประเมินความต้องการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำกลุ่มที่พักอาศัย (M1) ในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง โดยวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำจากฐานข้อมูลผู้ใช้น้ำของการประปานครหลวงย้อนหลัง 7 ปี (ปี พ.ศ. 2555 - 2561) จำแนกเป็นรายเขต/อำเภอ พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์และองค์ประกอบระหว่างจำนวนประชากรตามทะเบียนราษฎร ลักษณะอสังหาริมทรัพย์ (แนวตั้ง/แนวนราบ) ในพื้นที่ และจำนวนประชากรแฝงในรูปแบบของแรงงานธุรกิจบริการจำนวน 62 พื้นที่ (กรุงเทพมหานคร 50 เขต จังหวัดสมุทรปราการ 6 อำเภอ และ จังหวัดนนทบุรี 6 อำเภอ) ผลการศึกษาพบว่าอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยของกลุ่มที่พักอาศัยในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวงอยู่ในช่วง 125 - 263 ลิตรต่อคนต่อวัน โดยกลุ่มที่ 1 มีความต้องการใช้น้ำต่ำที่สุดเท่ากับ 125 ลิตรต่อคนต่อวัน กลุ่มที่ 5 มีความต้องการใช้น้ำสูงสุดเท่ากับ 263 ลิตรต่อคนต่อวัน นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มที่ 3 พื้นที่พักอาศัยแนวราบขนาดเล็กซึ่งครอบคลุมพื้นที่เขตคลองสามวา อำเภอบางใหญ่ และอำเภอบางบัวทอง มีอัตราการเจริญเติบโตของกลุ่มผู้ใช้น้ำมากที่สุด ซึ่งอาจส่งผลต่อความต้องการใช้น้ำในอนาคตในปริมาณมากเกินกว่าที่การประปานครหลวงเคยคาดการณ์ไว้ในอดีต ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้น้ำเชิงพื้นที่ย่อยซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบการพัฒนาของเมืองในการศึกษานี้จะสนับสนุนให้การวางแผนการจัดการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคมีความถูกต้องยิ่งขึ้น

เฉลิมวุฒิ (2563) ทำการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปา ในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองบุรีรัมย์ โดยใช้ข้อมูลการประปาส่วนภูมิภาค สาขาบุรีรัมย์ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 180 ค่า โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 168 ค่า สำหรับศึกษาตัวแบบการพยากรณ์ โดยวิธีบ็อกซ์เจนกินส์ (Box&Jenkins) วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural

Network: ANN) และวิธีแบบจำลองต้นไม้เอนโทรปี (Model Tree: M5P) ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 12 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) และเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percentage error: MAPE) ผลการศึกษาพบว่าจากวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดคือ วิธีแบบจำลองต้นไม้เอนโทรปี

Suma และคณะ (2017) ทำการศึกษาการใช้น้ำในวิทยาเขตของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ประเทศไทย จำแนกตามประเภทกิจกรรม การใช้น้ำ และพฤติกรรมประหยัดน้ำของนักศึกษาและบุคลากร ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงกลยุทธ์การอนุรักษ์น้ำในวิทยาเขต ด้วยแผนการอนุรักษ์น้ำที่เน้นพื้นที่ที่อยู่อาศัย (ห้องโถงและบ้านเรือน) ซึ่งคิดเป็นระดับการบริโภคสูงสุดในวิทยาเขต การศึกษายังระบุกิจกรรมที่มีพฤติกรรมการใช้น้ำอย่างสิ้นเปลือง ดังนั้นเราจึงเสนอกลยุทธ์เชิงปฏิบัติเพื่อลดการใช้น้ำของมหาวิทยาลัยโดยสร้างความตระหนักเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายในการสิ้นเปลืองน้ำ และการศึกษาเพื่อพัฒนาความรู้ เจตคติ และพฤติกรรมในการอนุรักษ์น้ำ พร้อมตัวอย่างแนวปฏิบัติที่ดี

Zhao และ Zhao (2014) ทำการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของการทำงานของอ่างเก็บน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค และอภิปรายถึงผลกระทบของข้อจำกัดทั่วไปสามประการของความสมดุลของน้ำ ความสามารถในการปล่อย และความจุในการเก็บกักต่อการตัดสินใจโดยละเอียด ผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบของความไม่แน่นอนในการคาดการณ์และการเก็บกักที่สิ้นสุดต่อการทำงานของอ่างเก็บน้ำได้รับผลกระทบจากความจุของอ่างเก็บน้ำ เมื่อข้อจำกัดด้านความจุของพื้นที่เก็บกักไม่มีผลผูกมัด แหล่งเก็บกักสามารถควบคุมการไหลของกระแสน้ำในกรอบเวลาที่ขยายได้ และการตัดสินใจปล่อยในปัจจุบันได้รับผลกระทบจากการคาดการณ์ความไม่แน่นอนของกระแสน้ำทั้งหมดและการจัดเก็บที่สิ้นสุด เมื่อข้อจำกัดด้านความจุในการจัดเก็บมีผลผูกพัน แหล่งเก็บกักสามารถควบคุมกระแสน้ำได้เฉพาะในกรอบเวลาสั้นๆ และการตัดสินใจปล่อยปัจจุบันจะได้รับผลกระทบหลักจากการคาดการณ์ความไม่แน่นอนของกระแสน้ำในขั้นตอนปัจจุบัน

ธนพล และสุทัศน์ (2554) ได้ทำการวิเคราะห์ความจำเป็นในการลงทุนก่อสร้างระบบผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาคเพื่อให้สามารถรองรับความต้องการการใช้น้ำของผู้บริโภคที่เพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ทางสังคมและประชากร เพื่อให้การประปาส่วนภูมิภาคดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแนวทางในงานวิจัยนี้เริ่มจากการวิเคราะห์และพยากรณ์ปริมาณความต้องการการใช้น้ำประปาของผู้บริโภคในอนาคตเทียบกับกำลังการผลิตที่สามารถผลิตได้สูงสุดในปัจจุบัน เพื่อนำมาพิจารณาถึงความจำเป็นในการลงทุนและจำนวนเงินในการลงทุนก่อสร้างระบบผลิตน้ำประปาเพื่อรองรับความต้องการใช้น้ำในอนาคต ซึ่งผลอันเนื่องมาจากการ

ดำเนินงานวิจัยทำให้ได้พบว่า ภายในปีพ.ศ. 2555 ถึง พ.ศ. 2575 นั้นมีสำนักงานประปาสาขาที่มีความจำเป็นที่จะต้องก่อสร้างระบบผลิตน้ำประปาเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้น้ำทั้งสิ้น 206 สำนักงาน ซึ่งเป็นเงินลงทุนทั้งหมด 102,706 ล้านบาท โดยปีที่จะต้องมีการลงทุนมากที่สุดคือปี พ.ศ. 2556 รองลงมาคือปีพ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2555 ซึ่งเป็นจำนวนเงินปละ 17,834 14,082 และ 13,930 ล้านบาทตามลำดับ

Neelakantan และ Pundarikanthan (1999) ได้ทำการศึกษาการวางแผนแบบจำลองการดำเนินงานอ่างเก็บสำหรับการผลิตประปาที่เมืองเชนไน(Chennai City) ประเทศอินเดีย โดยกล่าวถึงการนำผลที่ได้จากเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำรูปแบบหนึ่งที่เรียกว่า หลักการอนุรักษ์น้ำ (Hedging Rule) ซึ่งเป็นวิธีการที่ยอมให้เกิดการขาดน้ำขึ้นที่ละน้อยตั้งแต่ในช่วงระยะเวลาแรก ๆ ของการส่งน้ำเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการขาดน้ำอย่างรุนแรงในภายหลังเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากเกณฑ์การปฏิบัติงานมาตรฐาน (Standard Operating Rule) ซึ่งเป็นวิธีการส่งน้ำตามความต้องการ โดยในช่วงฤดูแล้งยอมให้มีการใช้น้ำจนอ่างเก็บน้ำแห้งได้ หรือในช่วงฤดูฝนมีปริมาณน้ำท่ามากจะยอมให้น้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจนกระทั่งเต็มและส่วนที่เกินสามารถไหลล้นออกไปจากอ่างเก็บน้ำได้ (วิธีการนี้มีความเหมาะสมในกรณีที่ต้องการผลรวมของการขาดแคลนน้ำตลอดช่วงเวลาน้อยที่สุด) ผลการศึกษาพบว่า เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำโดยอาศัยหลักการอนุรักษ์น้ำสามารถลดดัชนีการขาดน้ำ (Overall Deficit Index) ซึ่งเป็นผลรวมของการขาดน้ำยกกำลังสองได้ดีกว่าการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำตามเกณฑ์การปฏิบัติงานมาตรฐาน

2.9.3 การประเมินปริมาณฝนใช้การ

Ali และ Mubarak (2017) ทำการศึกษาคำนวณปริมาณน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพสำหรับพืชดินแห้งและดินเปียก ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญในการตัดสินใจกำหนดตารางเวลาการชลประทาน ใช้ในการออกแบบระบบชลประทานใหม่ และเป็นปัจจัยชี้สำหรับการวางแผนวิธีปฏิบัติในการผลิตพืชผล ปริมาณน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับสถานะความชื้นของดินก่อนหน้า (หรือปริมาณการชลประทาน) ลักษณะพืชผล ลักษณะดินและดิน และลักษณะของปริมาณน้ำฝน สำหรับสภาพดินโดยเฉพาะ ขึ้นอยู่กับ ET และปริมาณน้ำฝนเป็นพิเศษ การประเมินประสิทธิภาพของวิธีการต่างๆ สำหรับปริมาณน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพของข้าว มีการแนะนำสูตรใหม่ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานจริง/สถานการณ์ภาคสนามที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการคำนวณปริมาณน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพภายใต้พื้นที่และสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

Wane และ Nagdeve (2014) ทำการศึกษาคำนวณปริมาณการคายระเหยและการประมาณปริมาณน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้ “Cropwat” ในการประมาณการระเหยของโอระเหยอ้างอิงและปริมาณน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพสำหรับเขตนาคปูร์ในเขตวิถาร์ภาของรัฐมหาราษฏระ

ประเทศอินเดีย ผลการศึกษาพบว่า ราคายระเหยอ้างอิงสามารถประมาณค่าได้โดยใช้ Cropwat โดยป้อนข้อมูลทางภูมิอากาศ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ความชื้น ความเร็วลม และชั่วโมงแสงแดด ปริมาณน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพในทำนองเดียวกันยังสามารถประมาณได้โดยใช้ Cropwat โดยป้อนข้อมูลปริมาณน้ำฝนทั้งหมดของพื้นที่ศึกษา

ปรเมศร์ (2549) ทำการศึกษาการประมาณค่าฝนใช้การรายเดือนจากปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่มีความเชื่อมั่นว่าเป็นไปได้ร้อยละ 80 ในประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองอุตุนิยมวิทยาเกษตรชื่อว่า “Rainbow” เพื่อประมาณค่าปริมาณฝนรายเดือน และใช้แบบจำลอง “Cropwat” เพื่อประมาณค่าฝนใช้การรายเดือน และนำทั้งสองส่วนมาวิเคราะห์เชิงพื้นที่โดยใช้เทคนิค “Kriging Interpolation” ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ บริเวณประเทศไทยตอนบนและภาคใต้ฝั่งตะวันตกมีปริมาณฝนใช้การน้อย เว้นแต่ภาคใต้ฝั่งตะวันออกจะมีปริมาณฝนใช้การมาก ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายนปริมาณฝนใช้การบริเวณประเทศไทยตอนบนและภาคใต้ฝั่งตะวันตกจะเริ่มมีมากขึ้น เว้นแต่ภาคใต้ฝั่งตะวันออก ปริมาณฝนใช้การเริ่มลดลง ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม ปริมาณฝนใช้การบริเวณประเทศไทยตอนบนและภาคใต้ฝั่งตะวันตกจะเพิ่มมากขึ้นกว่าเดือนที่ผ่านมา เว้นแต่ภาคใต้ฝั่งตะวันออก จะมีปริมาณฝนใช้การน้อยกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก และในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ปริมาณฝนใช้การบริเวณประเทศไทยตอนบนและภาคใต้ฝั่งตะวันตกจะมีค่าสูงมาก ซึ่งเป็นช่วงที่มากที่สุดของปี โดยภาคใต้ฝั่งตะวันออกยังคงมีปริมาณฝนใช้การน้อยกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก ต่อจากนั้นในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ปริมาณฝนใช้การบริเวณประเทศไทยตอนบนและภาคใต้ฝั่งตะวันตกจะลดลงอีก เว้นแต่ภาคใต้ฝั่งตะวันออก จะมีปริมาณฝนใช้การเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ฝนใช้การจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตกในบริเวณนั้นๆด้วย

ดิเรก และธีระพงษ์ (2524) ทำการเปรียบเทียบหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวและปริมาณฝนใช้การได้ในแปลงนาของข้าว กข. 25 ณ สถานีค้นคว้าวิจัยการใช้น้ำชลประทานสามชุก อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี โดยการหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวจากการวัดโดยตรงจากถังหรือ Lysimeter แล้วนำเอาผลไปเปรียบเทียบกับหาปริมาณการใช้น้ำโดยการคำนวณจากข้อมูลภูมิอากาศจากสูตรต่างๆ และเปรียบเทียบหาปริมาณฝนใช้การ โดยการกำหนดระดับเก็บกักน้ำที่สูงจากพื้นดินในแปลงนา ออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีแรก 80-100-50 มิลลิเมตรและกรณีที่สองคือ 100-200-50 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการใช้น้ำของข้าว กข. 25 เฉลี่ยตลอดปีวันละ 6.04 มิลลิเมตร การใช้น้ำในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝนร้อยละ 19 และสูงกว่าฤดูหนาวร้อยละ 22 ซึ่งการใช้น้ำของข้าวในรอบปี อยู่ระหว่าง 5.10 – 7.51 มิลลิเมตรต่อวัน สูตรของ Penman ให้ผลที่ดีที่สุดทั้งจากการคำนวณและการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าว ส่วนปริมาณฝนใช้การได้จากกรณีที่ 2 ให้ผลดีกว่ากรณีที่ 1 โดยเฉลี่ยตลอดปีถึงร้อยละ 21

2.9.4 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

Techarungruengsakul และ Kangrang (2022) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ Harris hawks optimization (HHO) เชื่อมโยงกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ เพื่อปรับปรุงเส้นโค้งกฎของอ่างเก็บน้ำแบบเครือข่ายของอ่างเก็บน้ำภูมิพลและสิริกิติ์ ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของการใช้เส้นโค้งกฎจากเทคนิค HHO เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค GA และ WDO แสดงให้เห็นว่าเทคนิค HHO สามารถให้วิธีแก้ปัญหาที่ดีกว่าและยังมีประสิทธิภาพในการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้เร็วกว่าเทคนิค GA และ WDO ดยสรุป เทคนิค HHO สามารถใช้เพื่อค้นหาโซลูชันเส้นโค้งกฎอ่างเก็บน้ำเครือข่ายที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Ngamsert และ Kangrang (2022) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ Marine Predators (MPA) เชื่อมโยงกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำและพิจารณาการตกตะกอน เพื่อปรับปรุงเส้นโค้งกฎของอ่างเก็บน้ำ ของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ในช่วงปี 1971-2020 และได้ทำการศึกษาเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบป้องกันความเสี่ยง (HR) และนโยบายการปฏิบัติงานมาตรฐาน (SOP) ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่ได้จาก MPA นั้นสูงกว่าเทคนิค GA และ FPA ในแง่ของการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม ประสิทธิภาพในการบรรเทาปัญหาน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการพิจารณาและไม่พิจารณาการตกตะกอน สามารถสรุปได้ว่า MPA ที่เชื่อมโยงกับการจำลองอ่างเก็บน้ำโดยใช้เกณฑ์ HR และการพิจารณาการตกตะกอนสามารถใช้เพื่อค้นหาวิธีแก้ปัญหาเส้นโค้งกฎที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Songsaengrit และ Kangrang (2022) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ Honey-Bee Mating Optimization (HBMO) เชื่อมโยงกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ และวิเคราะห์อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ต่อปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ในช่วงปี 2020–2049 ด้วยการจำลองสภาพอากาศจากแบบจำลอง CIMP5 ภายใต้สถานการณ์ RCP4.5 และ RCP8.5 แบบจำลอง SWAT ถูกใช้เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่แหล่งเก็บกักในอนาคต ผลการศึกษาพบว่า โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่ได้จากเทคนิค HBMO ทำให้อ่างเก็บน้ำ เก็บน้ำได้มากขึ้นในฤดูฝน จึงมั่นใจได้ว่าจะมีน้ำเพียงพอในฤดูแล้งต่อไป นอกจากนี้ ในช่วงฤดูแล้ง อ่างเก็บน้ำสามารถปล่อยน้ำได้มากขึ้นซึ่งจะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนน้ำ บ่งชี้ว่าสามารถลดปริมาณการขาดแคลนน้ำและปริมาณน้ำล้นเฉลี่ยภายใต้สถานการณ์ RCP4.5 และ RCP8.5 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Li และคณะ (2022) ทำการศึกษาการหาเส้นโค้งกฎการดำเนินงานเพื่อเพิ่มรายได้สูงสุด โดยการรวมการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำและตลาดสปอต (ตลาดที่ซื้อขายทันที) โดยใช้วิธีการจำลองพารามิเตอร์-เพิ่มประสิทธิภาพ-เพิ่มประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มรายได้จากไฟฟ้าพลังน้ำและความน่าเชื่อถือ

สูงสุด จาก the non-dominated sorting genetic algorithm-II (NSGA-II) ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำสามารถช่วยลดการรั่วไหลของน้ำและเพิ่มรายได้ให้กับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ แม้ว่าราคาสปอตอาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ด้วยการปฏิรูปไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในประเทศจีน

Abualigah และคณะ (2021) เสนออัลกอริธึม metaheuristic แบบใหม่ที่เรียกว่า Arithmetic Optimization Algorithm (AOA) ที่ใช้พฤติกรรมกระจายของตัวดำเนินการเลขคณิตหลักในวิชาคณิตศาสตร์ ได้แก่ (การคูณ (M) การหาร (D) การลบ (S) และการบวก (A)) ประสิทธิภาพของ AOA ได้รับการตรวจสอบจากฟังก์ชันการวัดประสิทธิภาพ 29 รายการและปัญหาการออกแบบทางวิศวกรรมในโลกแห่งความเป็นจริงหลายประการเพื่อแสดงการบังคับใช้ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ พฤติกรรมการบรรจบกัน และความซับซ้อนในการคำนวณของ AOA ที่เสนอได้รับการประเมินโดยสถานการณ์ต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า AOA ให้ผลลัพธ์ที่มีแนวโน้มสูงในการแก้ปัญหาการปรับให้เหมาะสมที่ท้าทาย เมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริธึมการเพิ่มประสิทธิภาพที่เป็นที่รู้จักอื่นๆ อีก 11 แบบ

SeethaRam (2021) ทำการศึกษาแบบจำลองโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่ปรับให้เหมาะสมทางพันธุกรรม (GA) สำหรับการทำงานรายเดือนของอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ ซึ่งจะเพิ่มพลังน้ำสูงสุดในขณะที่ตอบสนองความต้องการชลประทานด้วยความน่าเชื่อถือที่กำหนด แทนที่จะใช้การจัดเก็บเป้าหมายเดียวตามปกติในแต่ละช่วงเวลา โดยอ่างเก็บน้ำที่พิจารณา เป็นอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ Bhadra ในรัฐกรณาฏกะ ประเทศอินเดีย ผลการศึกษาพบว่า วิธีการ GA-RC สามารถเรียกได้ว่าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพสูงโดยปริยายและการจำลองที่ดำเนินการตามข้อมูลย้อนหลัง 15 ปีแสดงให้เห็นว่าวิธี GA-RC ให้พลังงานมากกว่าการดำเนินการในอดีตอย่างมีนัยสำคัญโดยไม่กระทบต่อความต้องการในการชลประทาน

Khishe และ Mosavi (2020) เสนออัลกอริธึม metaheuristic แบบใหม่ที่เรียกว่า Chimp Optimization Algorithm (ChOA) ซึ่งได้รับแรงบันดาลใจจากสติปัญญาส่วนบุคคลและแรงจูงใจทางเพศของชิมแปนซีในการล่าเป็นกลุ่ม ซึ่งแตกต่างจากนักล่าทางสังคมอื่นๆ ChOA ที่เสนอได้รับการประเมินใน 3 ขั้นตอนหลัก ขั้นแรก ใช้ชุดฟังก์ชันการเปรียบเทียบทางคณิตศาสตร์ 30 ชุดเพื่อตรวจสอบคุณลักษณะต่างๆ ของ ChOA ประการที่สอง ChOA ได้รับการทดสอบโดย 13 ปัญหาการทดสอบในมิติสูง สุดท้าย ปัญหาการปรับให้เหมาะสมในโลกแห่งความเป็นจริง 10 ข้อถูกใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ ChOA ผลการศึกษาพบว่า ChOA มีประสิทธิภาพเหนือกว่าอัลกอริธึมการเพิ่มประสิทธิภาพเกณฑ์มาตรฐานอื่นๆ

Thongwan และคณะ (2020) ทำการศึกษาปริมาณน้ำท่าในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ในช่วงปี 2018–2067 การไหลเข้าในอนาคตได้รับการประเมินโดยใช้

แบบจำลองหน่วย SWAT กับแบบจำลองบรรยากาศอาณาเขตของ PRECIS ของสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก B2 และพิจารณาข้อมูลการใช้ที่ดินจากแบบจำลอง CA Markov ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณฝนและอุณหภูมิปกติเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่ใหญ่ที่สุดแสดงให้เห็นการขยายพันธุ์อ้อยและต้นยางพารา ในขณะที่พื้นที่นาและป่าไม้ลดลง ปริมาณน้ำทำในอนาคตจากกรณีการใช้ CA Markov ที่ปรับโดยกระบวนการมีส่วนร่วมนั้นสูงกว่าปริมาณน้ำทำในอนาคตจากกรณีอื่นของการใช้ CA Markov โดยไม่มีการปรับส่วนน้อยสำหรับอ่างเก็บน้ำทั้งสองแห่ง

Prasanchum และKangrang (2018) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ Genetic Algorithm (GA) เพื่อเชื่อมต่อกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำเพื่อค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุดในช่วงปี 2014-2064 สำหรับอ่างเก็บน้ำลำปาว โดยพิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วยแบบจำลอง PRECIS ภายใต้สถานการณ์การปล่อยมลพิษสองสถานการณ์: A2 และ B2 และสร้างแผนที่ใช้ที่ดินในอนาคตโดยใช้แบบจำลอง CA Markov รวมถึงการประเมินการไหลเข้าในอนาคตสู่อ่างเก็บน้ำโดยใช้แบบจำลองอุทกวิทยา SWAT ในตอนบน-ลุ่มน้ำลำปาว ซึ่งเป็นพื้นที่ต้นน้ำของอ่างเก็บน้ำ ผลการศึกษาพบว่า โค้งควบคุมใหม่ที่ได้รับการปรับปรุงโดยแบบจำลองการจำลองที่เชื่อมต่อกับ GA และสามารถลดความถี่ของสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำส่วนเกินในระหว่างการเปลี่ยนแปลงการไหลเข้าในอนาคต รวมถึงสถานการณ์ที่ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายตัว ของพื้นที่ชลประทาน

Taghian และคณะ (2014) ทำการศึกษาการพัฒนาโมเดลไฮบริดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพนโยบายการปันส่วนเพื่อลดความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรง โดยในโมเดลแบบผสม อัลกอริทึมทางพันธุกรรมอย่างง่ายจะจับคู่กับโปรแกรมจำลอง ซึ่งรวมถึงอัลกอริทึมการโปรแกรมเชิงเส้นภายใน ด้วยวิธีนี้ นโยบายการดำเนินงานถูกกำหนดโดยแนวคิดการจัดลำดับความสำคัญเพื่อให้ได้รับการจัดสรรน้ำที่เหมาะสมที่สุดและระดับการจัดเก็บเป้าหมายสำหรับอ่างเก็บน้ำ ตามกรณีศึกษาระบบจะเลือกระบบอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ในภาคใต้ของอิหร่าน ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบมีประสิทธิภาพที่ดีในการสกัดนโยบายที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของอ่างเก็บน้ำทั้งภายใต้สภาวะปกติและภัยแล้ง

Kangrang และคณะ (2011) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้อัลกอริทึม simulated annealing (SA) เชื่อมต่อกับแบบจำลองการจำลองเพื่อกำหนดเส้นโค้งกฏอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่สุดของอ่างเก็บน้ำภูมิพลและสิริกิติ์ในประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบของเส้นโค้งกฏที่ได้รับนั้น คล้ายคลึงกับเส้นโค้งของกฏที่มีอยู่และเส้นโค้งของกฏที่ได้รับโดยใช้อัลกอริทึมทางพันธุกรรม (GA) สิ่งนี้บ่งชี้ว่าอัลกอริทึม SA ที่เสนอมีประสิทธิภาพในการกำหนดเส้นโค้งกฏที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแหล่งเก็บกัก

2.9.5 การประยุกต์วิธีฮาร์โมนีเซิร์ชกับงานทางด้านวิศวกรรมศาสตร์

Shams, Ahmed และ Sayyoub (2020) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ Harmony Search Optimization (HSO) เพื่อจำลองอ่างเก็บน้ำคาร์มีนในอ่าวสุเอซ อียิปต์ โดยใช้ข้อมูลในอดีต ผลการศึกษาพบว่า อัลกอริธึม HSO มีประสิทธิภาพมากกว่า GA และ PSO ที่ใช้กันทั่วไป การใช้ HSO ในการจับคู่ข้อมูลในอดีตช่วยประหยัดเวลาในการจำลองอ่างเก็บน้ำได้อย่างมาก

ปกรณ และปกรณ (2561) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ Harmony Search Algorithm เชื่อมโยงกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ เพื่อค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำใส อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา โดยพิจารณาปริมาณการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุดร่วมกับปริมาณน้ำไหลล้นอ่างน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบ ผลการศึกษาพบว่า โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ที่ได้จากวิธีฮาร์โมนีเซิร์ชร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบมีประสิทธิภาพที่ดีเนื่องจากไม่มีเหตุการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นอ่างเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ทดสอบ จำนวน 216 เดือน (พ.ศ. 2541-พ.ศ. 2558) เมื่อเทียบกับโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเดิมซึ่งมีน้ำขาดแคลนจำนวน 11 ครั้ง โดยโค้งควบคุมเส้นล่างใหม่มีรูปร่างแตกต่างจากโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำเดิมเล็กน้อยคือในช่วงฤดูแล้ง จะสูงกว่าโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำเดิมเล็กน้อยเพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำส่วนโค้งควบคุมเส้นบนใหม่ จะสูงกว่าโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำเดิม เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ

Yoo, Kim และ Geem (2014) ทำการศึกษา รวบรวม และสรุปการใช้งานอัลกอริธึม Harmony Search (HS) ในงานวิศวกรรมโยธา (CE) ในสาขาทรัพยากรน้ำ โครงสร้าง ธรณีเทคนิค สิ่งแวดล้อม และวิศวกรรมขนส่ง ซึ่งต้องทำการตรวจสอบอย่างละเอียด ผลการศึกษาพบว่านับตั้งแต่การพัฒนา HS การใช้งาน HS ใน CE ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่ทรัพยากรน้ำและวิศวกรรมโครงสร้าง ในแง่มุมของการใช้งาน HS ถูกนำไปใช้ในการวัดประสิทธิภาพและปัญหาทางวิศวกรรมอย่างง่ายในขั้นต้นเพื่อตรวจสอบการบังคับใช้ของอัลกอริธึมเอง อย่างไรก็ตามเมื่อเร็ว ๆ นี้มีการใช้และนำไปใช้ในปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริง ผลการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่า HS สามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับปัญหาการปรับให้เหมาะสมในงานวิศวกรรมโยธา ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงสามารถแนะนำเป็นเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพทั่วโลก และยังสามารถใช้ได้ในงานวิศวกรรมโยธา ที่หลากหลาย

Mahdavi, Fesanghary และ Damangir (2007) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาอัลกอริธึมฮาร์โมนีเซิร์ช (Improved Harmony Search : IHS) สำหรับการแก้ปัญหการเพิ่มประสิทธิภาพ IHS ใช้วิธีการใหม่ในการสร้างเวกเตอร์โซลูชันใหม่ที่จะช่วยเพิ่มความแม่นยำและอัตราการลู่เข้าของอัลกอริธึม การค้นหาความสามัคคี (HS) โดยพิจารณาผลกระทบของพารามิเตอร์คงที่ต่ออัลกอริธึมการค้นหา

ความสามัคคีและนำเสนอกลยุทธ์ในการปรับพารามิเตอร์เหล่านี้ อัลกอริธึม IHS ถูกนำไปใช้กับการเปรียบเทียบต่างๆ และปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพทางวิศวกรรมมาตรฐานได้สำเร็จ ผลการศึกษาพบว่าอัลกอริธึมที่เสนอสามารถค้นหาวิธีแก้ปัญหที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ HS และวิธีฮิวริสติกหรือวิธีกำหนดอื่น ๆ และเป็นอัลกอริธึมการค้นหาที่ทรงพลังสำหรับปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพทางวิศวกรรมต่างๆ

Geem, Kim และ Loganathan (2001) ได้ทำการศึกษาอัลกอริธึมฮิวริสติกใหม่ที่เลียนแบบการดันสดของเครื่องเล่นเพลง ได้รับการพัฒนาและตั้งชื่อว่า Harmony Search (HS) ประสิทธิภาพของอัลกอริธึมแสดงให้เห็นด้วยปัญหาพนักงานขายที่เดินทาง (TSP) ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพทางวิชาการที่เฉพาะเจาะจง และปัญหาการออกแบบเครือข่ายไปป์ที่มีต้นทุนต่ำที่สุด



ตารางที่ 5 การศึกษาการค้นหาคำค้นควมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่ผ่านมา

ลำดับ	เทคนิค/ แบบจำลอง	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	Operating rule	อ่างเก็บ น้ำ	น้ำท่า	Climate change	Land use change	Participation	ผู้ศึกษา	พ.ศ.
1	การจำลองการ อบเหินยว (SA)	ขาดแคลน และน้ำไหล ส่วนเกิน	SOP	อุบลรัตน์ และสิริน ธร	46 ปี (2501-2546)	-	-	-	วิษณุกรณ์ ชัยภูมิ	2553
2	วิธีดีฟเฟอร์เรน เชียลเอฟ โวลูชัน (DE)	ขาดแคลน และน้ำไหล ส่วนเกิน	SOP	ลำปาว		-	-	staff officer	รัตนา หอมวิเชียร	2554
3	วิธีอณานิคม มด (ACO)	ขาดแคลน เฉลี่ย	SOP	ลำปาว	40 ปี (2511-2550)	-	-	-	เชษฐพันธุ์ โล่ห์คำ	2555
4	วิธีนกดูเหว่า (COOKO)	ขาดแคลน น้อยสุด	SOP	ลำปาว	44 ปี (2511-2554)	-	-	-	วิทวัส พาโคกหม	2557
5	วิธีกลุ่มอนุภาค (PSO)	ขาดแคลน และน้ำไหล ล้น	SOP	ลำปาว		-	-	-	วิรัตน์ นวนนกุล	2557
6	วิธีการค้นหา แบบทาบู (Tabu)	ขาดแคลน น้อยสุด	SOP	ลำปาว	47 ปี (2511-2557)	-	-	-	เกียรติพงศ์ สายเมือง	2558
7	วิธีอาณาจักร ผึ้ง (Bee)	ขาดแคลน น้อยสุดและ ขาดแคลน สูงสุด	SOP	ลำปาว	47 ปี (2511-2557)	-	-	-	ตระการ กาสิไส	2558

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับ	เทคนิค/ แบบจำลอง	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	Operating rule	อ่างเก็บ น้ำ	น้ำท่า	Climate change	Land use change	Participation	ผู้ศึกษา	พ.ศ.
8	Genetic algorithm (GA)	ขาดแคลน เฉลี่ยน้อย ที่สุด ไหลล้น เฉลี่ยน้อย ที่สุด	SOP	ลำปาว	47-historic,50- future-swath, 1000samples	Precis- A2 B2	CA Markov	-	หริส ประสารณ์	2558
9	วิธีการถ่าย ละอองเรณู ดอกไม้ (FPA)	ขาดแคลน เฉลี่ยและ ไหลล้นน้อย ที่สุด	SOP	อุบล รัตน์, น้ำอูน และ ลำปาว	48 ปี (2511-2559)	-	-	-	ทตตวัฒน์ ดาราแก้ว ตง	2560
10	Genetic algorithm (GA)	ขาดแคลน เฉลี่ยและ ไหลล้นน้อย ที่สุด	SOP	น้ำอูน	historic (2535- 2559), future, swath, 1000 samples	Precis A2 B2	Agri-Map	-	เจษฎา ตรงศิริ	2560
11	Wind Driven Optimization	ขาดแคลน เฉลี่ยน้อย ที่สุด	SOP	อ่างเก็บ น้ำห้วย ลิงโจน	historic,future- swath, 2537- 2560, 2561- 2579	Precis- A2 B2	Agri-Map	land use+demand	รพีภัทร เต ชะรุ่งเรือง สกุล	2560
		ไหลล้นเฉลี่ย น้อยที่สุด		อ่างเก็บ น้ำห้วย สะแบก	2540 – 2560, 2561 – 2579					

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับ	เทคนิค/ แบบจำลอง	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	Operating rule	อ่างเก็บ น้ำ	น้ำท่า	Climate change	Land use change	Participation	ผู้ศึกษา	พ.ศ.
12	Genetic Programming (GP)	ขาดแคลน เฉลี่ยน้อย ที่สุด	SOP	อ่างเก็บ น้ำห้วย ลิงโจน	historic,future- swat, 2537- 2560, 2561- 2579	Precis- A2 B2	Agri-Map	demand	รัตน์สุตา งามเสริฐ	2560
		ไหลล้นเฉลี่ย น้อยที่สุด		อ่างเก็บ น้ำห้วย สะแบก	2540 – 2560, 2561 – 2579					
13	Bat Algorithm (BA)	ค่าเฉลี่ยของ การขาด แคลนน้ำ น้อยที่สุด	SOP	อูบล รัตน์	2511-2560, 100 samples	-	-	-	เอกพงษ์ มานิล	2562
14	Firefly Algorithm (FA)	ค่าเฉลี่ยของ การขาด แคลนน้ำ น้อยที่สุด	SOP	น้ำอูน	2536-2560, 1000samples	-	-	-	นัฐพงษ์ ศรีกรมล	2562

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับ	เทคนิค/ แบบจำลอง	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	Operating rule	อ่าง เก็บน้ำ	น้ำท่า	Climate change	Land use change	Participation	ผู้ศึกษา	พ.ศ.
15	Grey Wolf Optimizer (GWO)	ค่าเฉลี่ยของ การขาด แคลนน้ำ น้อยที่สุด, ค่าเฉลี่ยการ ไหลล้นน้อย ที่สุด, ความถี่ ของการขาด แคลนน้ำ น้อยที่สุด, ความถี่ของ การไหลล้น น้อยที่สุด	SOP	ลำปาว	2514-2560	-	-	-	นัฐพิทักษ์ สินธุ์ชัย	2562
				อุบล รัตน์	2513-2560					
				น้ำอูน	2536-2560, 1000samples					
16	Genetic algorithm (GA)	ขาดแคลน เฉลี่ยน้อย ที่สุด	SOP	อ่างเก็บ น้ำห้วย ลิงโจน	historic,50- future-swat, 2537-2560	Precis- A2 B2	CA Markov +participant	land use + demand	ธีรวัฒน์ ทองวรรณ	2563
		ไหลล้นเฉลี่ย น้อยที่สุด		อ่างเก็บ น้ำห้วย สะแบก	2540 – 2560					

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับ	เทคนิค/ แบบจำลอง	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	Operating rule	อ่างเก็บ น้ำ	น้ำท่า	Climate change	Land use change	Participation	ผู้ศึกษา	พ.ศ.
17	Culture Algorithms (CA)	ค่าเฉลี่ยของ การขาด แคลนน้ำ น้อยที่สุด	SOP	ห้วยหลวง	his1987 – 2017, 50- future- InVEST model, 1000samples	Precis- A2 B2	-	-	อนุจักร ภูมิพันธ์	2564
18	Harris hawks optimizer (HHO)	ค่าเฉลี่ยของ การขาด แคลนน้ำ น้อยที่สุด	SOP,Hedging rule	ภูมิพล สิริกิติ์	-	-	-	-	รพีภัทร เตชะ รุ่งเรือง สกุล	2565
19	Marine Predators Algorithm (MPA)	ค่าเฉลี่ยของ การขาด แคลนน้ำ น้อยที่สุด	SOP,Hedging rule	อุบลรัตน์	-	-	-	-	รัตน์สุดา งามเสริฐ	2565
20	Atom Search Optimization (ASO)+GA	ไหลล้นเฉลี่ย น้อยที่สุด	SOP	ห้วยทราย ขมิ้น ตอนบน 1,2,3 ห้วยน้ำ บ่อ, ห้วย ทราย ขมิ้น	historic, new inflow	-	-	-	สุวิภัทร โกษาเกษ	2565

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับ	เทคนิค/ แบบจำลอง	ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	Operating rule	อ่างเก็บ น้ำ	น้ำท่า	Climate change	Land use change	Participation	ผู้ศึกษา	พ.ศ.
21	Honey Bee Mating Optimization (HBMO)	ค่าเฉลี่ยของ การขาด แคลนน้ำ น้อยที่สุด	SOP,Hedging rule	อุปสรรตน์	-	-	-	-	ทรงพล ทรงแสง ฤทธิ์	2565
22	Harmony Search Algorithm (HS)	ไหลล้นเฉลี่ย น้อยที่สุด	SOP	อ่างเก็บ น้ำแก่ง เลิงจาน	2535 – 2564	-	-	-	ธีรเจตส์ ไชยสอน	2565
		ไหลล้นเฉลี่ย น้อยที่สุด		อ่างเก็บ น้ำห้วย สะแบก	2539 – 2564					
		ขาดแคลน เฉลี่ยน้อย ที่สุด		อ่างเก็บ น้ำห้วย ลิงโจน	2537 – 2564					

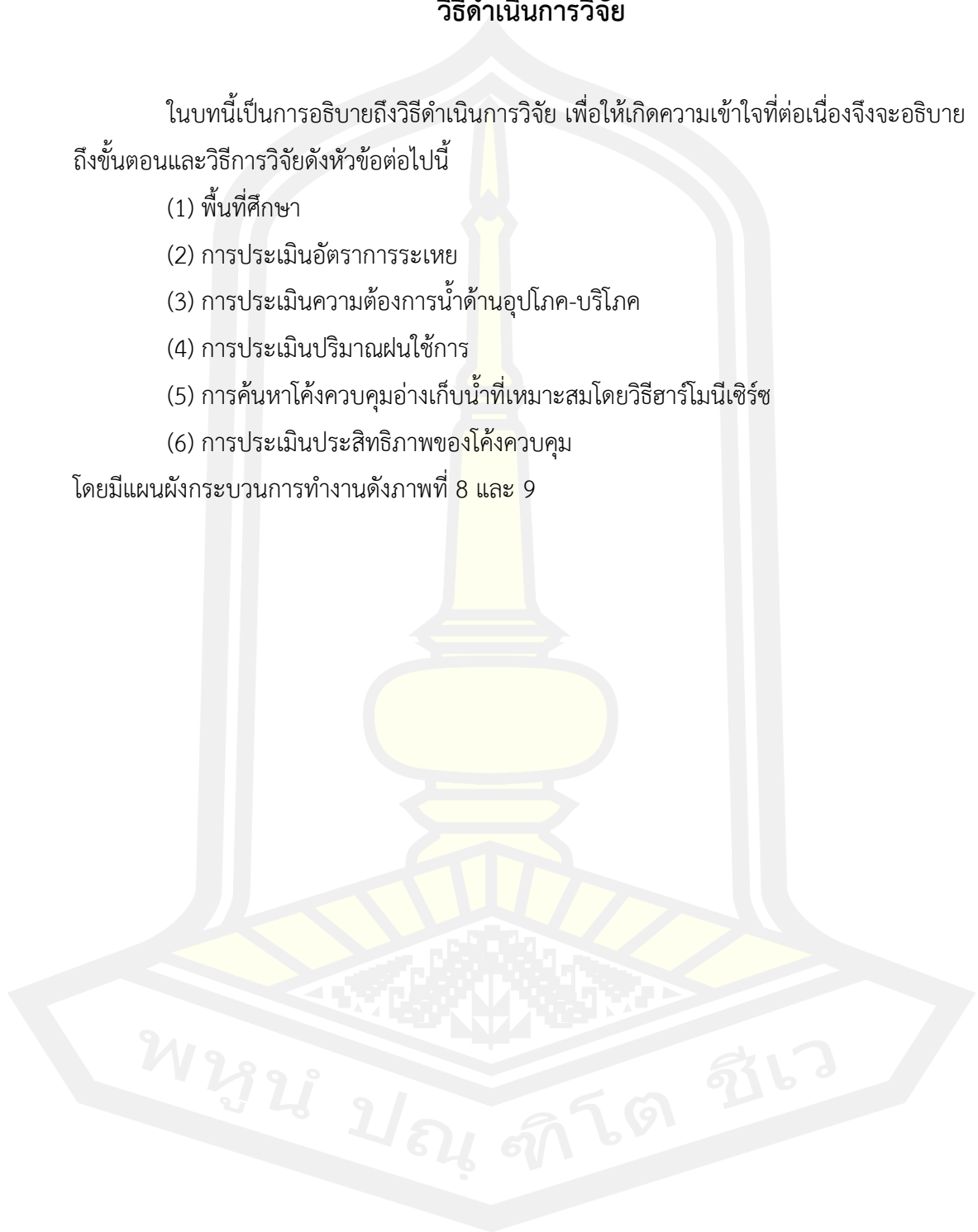
บทที่ 3

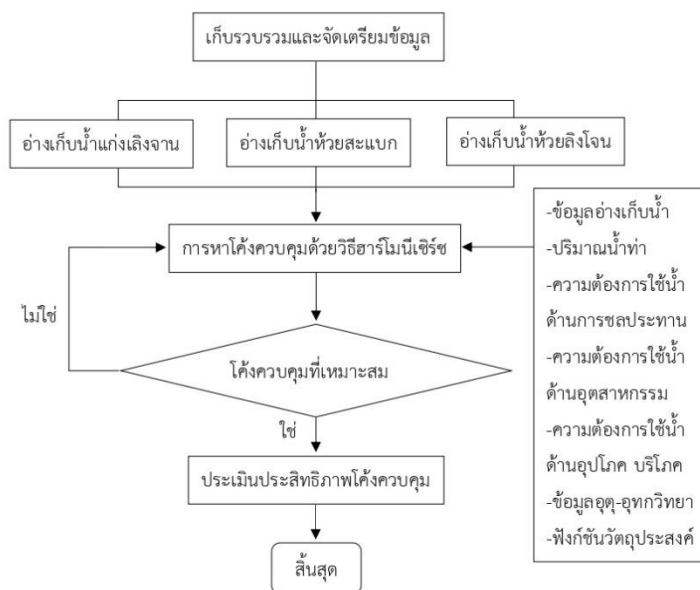
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้เป็นการอธิบายถึงวิธีดำเนินการวิจัย เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ต่อเนื่องจึงจะอธิบายถึงขั้นตอนและวิธีการวิจัยดังหัวข้อต่อไปนี้

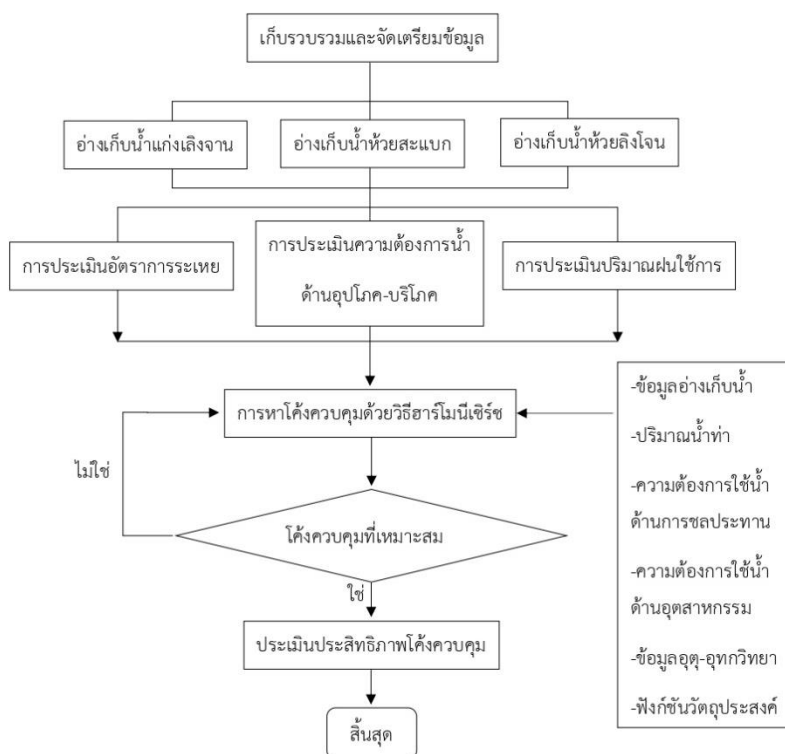
- (1) พื้นที่ศึกษา
- (2) การประเมินอัตราการระเหย
- (3) การประเมินความต้องการน้ำด้านอุปโภค-บริโภค
- (4) การประเมินปริมาณฝนใช้การ
- (5) การค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมโดยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช
- (6) การประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุม

โดยมีแผนผังกระบวนการทำงานดังภาพที่ 8 และ 9





ภาพที่ 8 แผนผังกระบวนการดำเนินงาน กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย



ภาพที่ 9 แผนผังกระบวนการดำเนินงาน กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

3.1 พื้นที่ศึกษา

3.1.1 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน

อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน ตั้งอยู่ที่ บ้านโนนหัวฝาย ตำบลแก่งเลิงจาน อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม มีพิกัดที่ตั้งคือ ละติจูด 16.0744 องศาเหนือ ลองจิจูด 103.2771 องศาตะวันออก รับผิดชอบโดยโครงการชลประทานมหาสารคาม สำนักงานชลประทานที่ 6 ขอนแก่น

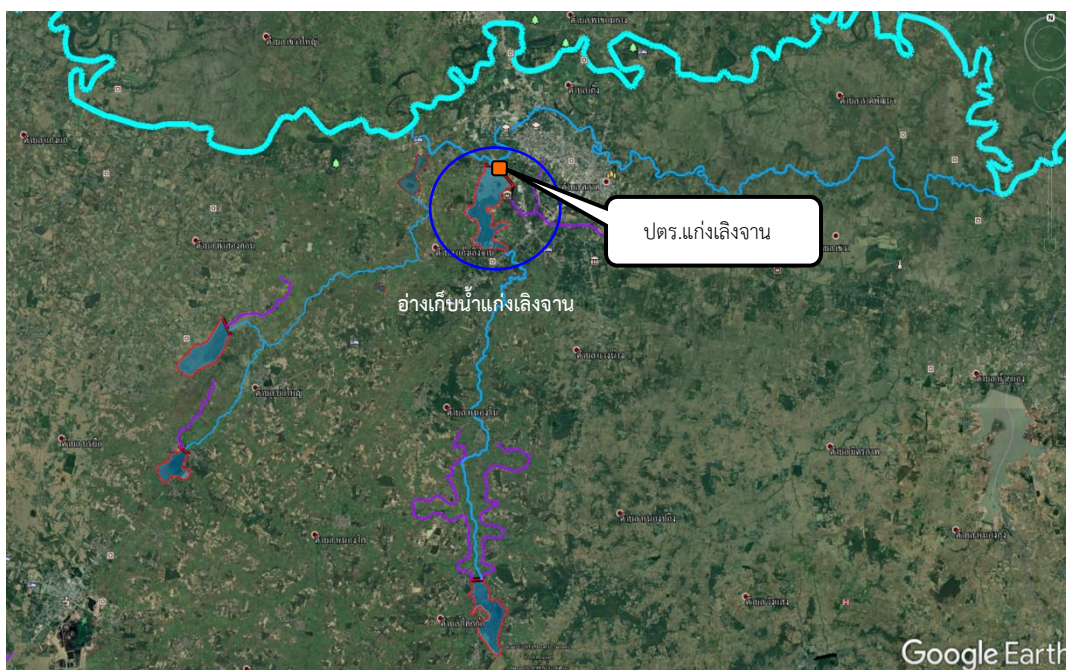
ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ

- พื้นที่อ่างเก็บน้ำ 3.11 ตร.กม.
- ความจุระดับน้ำสูงสุด 9.54 ล้านลบ.ม.
- ความจุระดับน้ำต่ำสุด 2.00 ล้านลบ.ม.
- ความจุระดับน้ำเก็บกัก 8.02 ล้านลบ.ม.

ข้อมูลอุทกวิทยา

- พื้นที่รับน้ำฝน 208.0 ตร.กม.
- ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1332.39 มม./ปี (พ.ศ. 2535-พ.ศ. 2564)
- ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำรายปีเฉลี่ย 38.72 ล้านลบ.ม. (พ.ศ. 2535-พ.ศ. 2564)

สถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานในอดีต พบว่ามีสถานการณ์น้ำไหลล้นอยู่บ่อยครั้ง เช่น เมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ.2559 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานมีปริมาตรเก็บกักเกินความจุ โดยมีความจุอยู่ที่ร้อยละ 116.80 ต่อมาในเดือนตุลาคม พ.ศ.2560 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานมีปริมาตรเก็บกักเกินความจุ โดยมีความจุอยู่ที่ร้อยละ 139.96 และในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2565 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานมีปริมาตรเก็บกักเกินความจุ โดยมีความจุอยู่ที่ร้อยละ 135.0 เป็นต้น

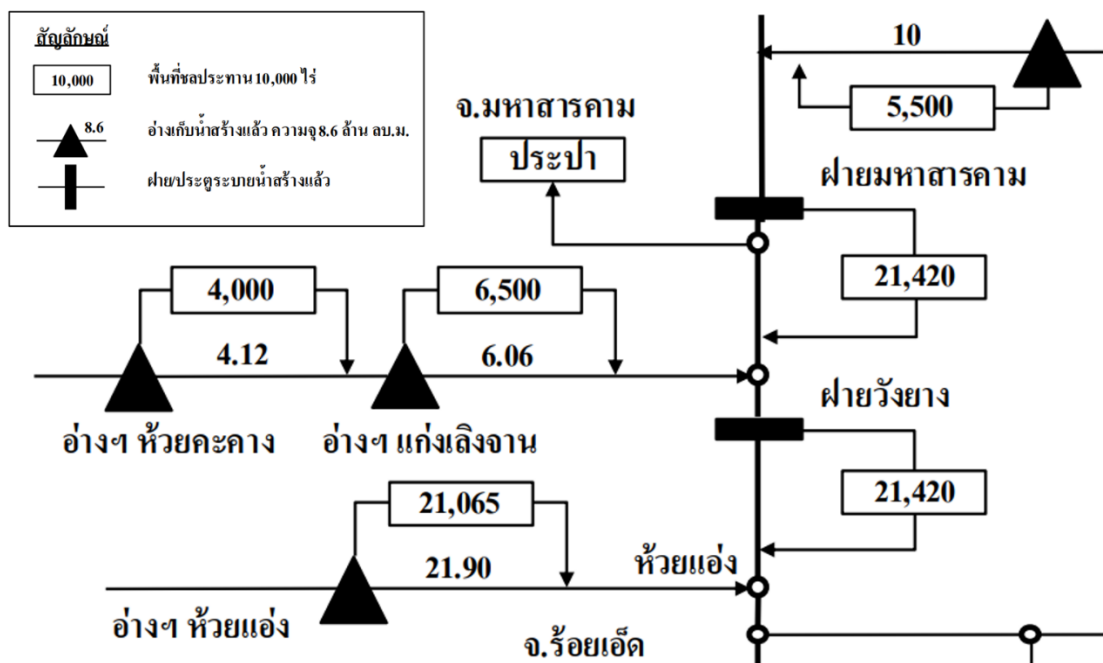


ภาพที่ 10 ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน
ที่มา : โครงการชลประทานจังหวัดมหาสารคาม (2565)

รายงานปริมาณน้ำใน อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จ.มหาสารคาม
ข้อมูลวันที่ 1 มกราคม 2565 ถึง 31 ธันวาคม 2565



ภาพที่ 11 รายละเอียดโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน
ที่มา : โครงการชลประทานจังหวัดมหาสารคาม (2565)



ภาพที่ 12 แผนผังการไหลของกลุ่มน้ำชี
ที่มา : บริษัท แอสตีคอน คอร์ปอเรชั่น จำกัด (2554)



ตารางที่ 6 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน

ปี/เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้านลูกบาศก์เมตร)												รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2535	0.000	0.002	0.015	0.047	0.711	2.927	6.884	2.373	1.605	0.171	0.000	0.064	14.798
2536	0.000	0.206	0.140	1.019	2.088	4.031	0.139	1.459	5.441	0.104	0.000	0.000	14.627
2537	0.000	0.000	0.022	0.759	0.584	1.931	0.035	4.866	4.062	0.617	0.000	0.000	12.876
2538	0.006	0.000	0.395	0.911	0.708	10.203	7.485	7.920	3.084	0.855	0.017	0.000	31.585
2539	0.001	0.048	0.420	1.823	1.630	9.976	1.886	1.923	15.394	1.851	0.363	0.000	35.314
2540	0.000	0.121	0.286	0.267	0.835	0.569	3.961	0.837	1.720	1.394	0.000	0.000	9.990
2541	0.000	0.000	0.450	1.316	2.927	6.924	0.456	3.491	2.812	0.101	0.070	0.023	18.570
2542	0.013	0.010	0.000	2.158	3.263	0.880	6.489	0.414	4.747	0.785	0.127	0.000	18.886
2543	0.000	0.000	0.258	2.244	5.536	9.818	3.704	7.006	2.580	0.971	0.000	0.000	32.117
2544	0.000	0.000	0.922	0.001	0.520	13.180	2.085	2.624	3.626	1.397	0.139	0.000	24.494
2545	0.000	0.032	0.828	0.360	10.080	2.385	1.849	16.553	11.680	1.265	0.000	0.000	45.033
2546	0.115	0.354	0.000	0.290	0.644	0.716	0.175	5.591	13.103	0.037	0.000	0.000	21.025
2547	0.000	0.000	0.001	0.924	1.528	2.832	23.776	10.920	0.585	0.000	0.000	0.000	40.565
2548	0.000	0.007	0.621	1.035	1.891	1.578	4.630	7.655	1.862	0.116	0.430	0.021	19.847
2549	0.000	0.007	0.621	0.134	2.806	0.658	3.156	2.043	2.577	4.714	2.043	2.577	21.337
2550	0.000	0.000	0.000	0.220	3.423	0.301	1.996	8.947	3.531	2.605	0.000	0.000	21.023

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ปี/เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้านลูกบาศก์เมตร)												รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2551	0.031	0.001	0.006	1.506	2.276	1.081	1.568	3.118	7.613	1.041	1.071	0.000	19.312
2552	0.119	0.126	0.077	0.858	1.224	0.632	0.871	3.008	9.783	2.987	0.635	0.018	20.336
2553	0.207	0.250	0.148	0.209	0.171	0.184	0.173	2.897	11.953	4.934	0.199	0.035	21.360
2554	0.798	0.121	0.356	0.179	0.216	0.242	0.405	0.398	29.780	105.617	0.260	0.110	138.482
2555	0.255	0.152	0.142	0.364	0.663	0.922	0.180	4.360	6.619	4.165	0.259	0.241	18.322
2556	0.182	0.155	0.151	0.257	0.362	0.649	0.294	1.827	5.106	1.795	0.269	0.345	11.392
2557	0.156	0.173	0.151	0.351	0.221	0.238	0.434	3.199	18.688	8.349	0.411	0.176	32.547
2558	0.181	0.446	0.283	0.164	0.395	0.275	0.611	5.929	21.611	48.380	0.258	0.158	78.691
2559	0.263	0.159	0.175	0.443	0.526	0.444	1.739	2.461	27.762	80.914	0.747	1.830	117.463
2560	0.154	0.149	0.444	0.219	1.713	2.046	7.522	23.804	36.326	67.693	2.316	0.076	142.462
2561	0.029	0.033	0.037	0.176	0.396	0.509	1.938	2.869	1.224	0.069	0.008	0.006	7.294
2562	0.010	0.024	0.028	0.081	0.109	0.080	0.035	9.526	105.731	0.029	0.155	0.095	115.903
2563	0.099	0.276	0.174	0.110	0.173	0.093	0.107	0.965	2.522	14.314	6.032	0.022	24.887
2564	0.055	0.264	0.398	0.397	0.191	0.535	0.634	0.341	17.142	9.642	1.446	0.022	31.067

3.1.2 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก ตั้งอยู่ที่ บ้านป่าซึ่ย่าง ตำบลสร้างมิ่ง อำเภอเลิงนกทา จังหวัด ยโสธร มีพิกัดที่ตั้งคือ ละติจูด 16.0532 องศาเหนือ ลองจิจูด 104.6854 องศาตะวันออก รับผิดชอบ โดยโครงการชลประทานยโสธร สำนักงานชลประทานที่ 7 อุบลราชธานี

ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ

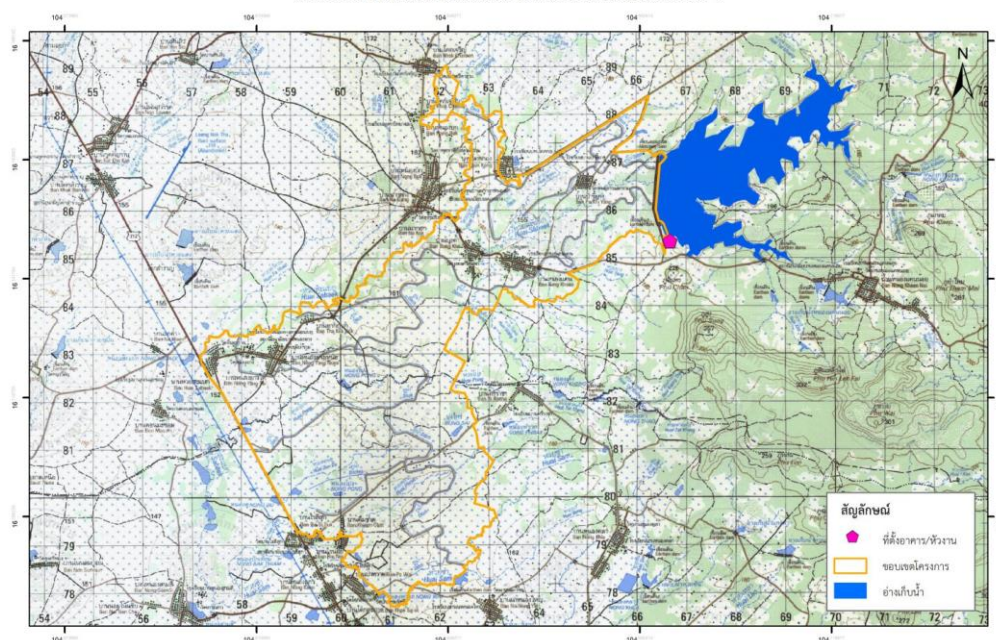
- พื้นที่อ่างเก็บน้ำ 6.62 ตร.กม.
- ความจุระดับน้ำสูงสุด 36.0 ล้านลบ.ม.
- ความจุระดับน้ำต่ำสุด 0.6 ล้านลบ.ม.
- ความจุระดับน้ำเก็บกัก 30.3 ล้านลบ.ม.

ข้อมูลอุทกวิทยา

- พื้นที่รับน้ำฝน 49.0 ตร.กม.
- ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1817.97 มม./ปี (พ.ศ. 2539-พ.ศ. 2564)
- ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำรายปีเฉลี่ย 25.65 ล้านลบ.ม. (พ.ศ. 2539-พ.ศ. 2564)

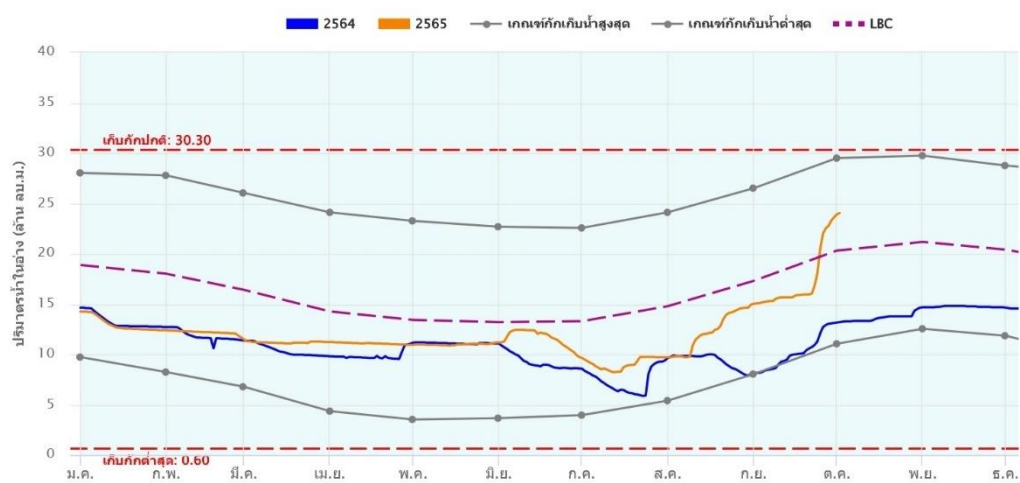
สถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกในอดีต พบว่ามีสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำ ไหลล้นสลับกัน เช่น เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ.2561 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกมีปริมาตรเก็บกักเกินความจุ โดยมีความจุอยู่ที่ร้อยละ 129.78 ต่อมาเมื่อเดือนกันยายน พ.ศ.2562 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกมี ปริมาตรเก็บกักเกินความจุ โดยมีความจุอยู่ที่ร้อยละ 102.00 ต่อมาในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2563 อ่าง เก็บน้ำห้วยสะแบกเหลือปริมาตรเก็บกักประมาณ 5 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งไม่สามารถปล่อยน้ำให้แก่ ประชาชนได้ เนื่องจากต้องเก็บกักน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศน์ เป็นต้น

อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก
โครงการชลประทานยโสธร สำนักงานชลประทานที่ 7



ภาพที่ 13 ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก
ที่มา : โครงการชลประทานยโสธร (2565)

รายงานปริมาณน้ำใน อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก จ.ยโสธร
ข้อมูลวันที่ 1 มกราคม 2565 ถึง 31 ธันวาคม 2565



ภาพที่ 14 รายละเอียดโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก
ที่มา : กรมชลประทาน (2565)

ตารางที่ 7 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

ปี/เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้านลูกบาศก์เมตร)												รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2539	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.007	15.178	0.000	0.000	0.000	16.185
2540	0.000	0.000	0.000	0.951	1.028	3.427	5.637	3.667	0.000	0.000	0.000	0.000	14.710
2541	0.000	0.000	0.000	0.083	3.468	0.269	4.013	3.771	0.585	0.000	0.000	0.000	12.189
2542	0.000	0.000	0.000	0.262	5.357	2.146	6.698	0.960	2.832	0.000	0.000	0.000	18.255
2543	0.000	0.000	0.000	7.162	6.297	2.840	9.232	2.771	1.989	0.025	0.000	0.000	30.316
2544	0.000	0.000	0.000	0.000	0.046	0.779	2.473	16.278	29.463	0.000	0.000	0.000	49.039
2545	0.000	0.000	0.000	0.000	0.771	3.318	1.965	4.175	2.143	0.000	0.000	0.000	12.372
2546	0.000	0.000	0.000	0.000	2.370	4.215	2.711	6.115	2.074	0.000	0.000	0.000	17.485
2547	0.000	0.000	0.053	0.000	31.566	1.297	4.273	2.396	5.132	0.000	0.000	0.000	44.717
2548	0.000	0.000	0.000	0.000	3.518	6.368	5.564	3.537	0.913	0.000	0.000	0.000	19.900
2549	0.000	0.000	0.234	0.000	3.677	10.501	5.305	18.952	4.015	0.000	0.000	0.000	42.684
2550	0.000	0.000	0.145	0.000	3.960	5.044	4.915	12.688	8.397	0.000	0.000	0.000	35.149
2551	0.000	0.000	0.053	0.051	0.341	2.479	5.014	7.746	14.677	0.000	0.000	0.000	30.361
2552	0.000	0.006	0.000	0.348	0.411	3.229	11.109	3.522	1.156	0.000	0.000	0.000	19.781
2553	0.000	0.000	0.000	0.000	0.948	2.135	12.543	10.747	3.083	0.000	0.000	0.000	29.456
2554	0.000	0.000	0.000	0.168	1.390	0.770	1.165	5.151	6.042	4.368	0.000	0.000	19.054

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ปี/เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้านลูกบาศก์เมตร)												รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2555	0.000	0.000	0.000	0.000	0.217	0.000	0.665	1.892	5.055	0.000	0.000	0.000	7.829
2556	0.000	0.000	0.000	0.000	0.187	7.414	23.249	6.747	5.361	0.000	0.000	0.000	42.958
2557	0.000	0.000	4.435	0.649	2.370	3.640	5.487	3.197	4.746	0.053	0.000	0.000	24.577
2558	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.180	3.320	1.440	2.260	0.010	0.530	0.000	8.740
2559	0.000	0.000	0.110	0.000	0.000	2.120	1.350	12.350	1.500	0.000	0.000	0.000	17.430
2560	0.000	0.000	0.381	0.715	5.207	4.692	8.740	10.310	8.690	0.736	0.039	0.000	46.694
2561	0.000	0.140	0.416	0.750	0.523	4.207	14.753	8.484	11.004	1.317	0.000	0.000	41.594
2562	0.000	0.000	0.000	0.105	0.540	0.231	3.078	22.958	10.986	0.219	0.000	0.000	38.117
2563	0.000	0.000	0.000	0.090	1.180	0.530	0.866	3.734	2.124	4.063	0.530	0.000	13.117
2564	0.000	0.000	0.048	1.565	0.280	1.531	4.086	1.696	5.032	1.520	0.170	0.000	15.928

3.1.3 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ตั้งอยู่ที่ บ้านหนองบึง ตำบลห้องแซง อำเภอเลิงนกทา จังหวัด ยโสธร มีพิกัดที่ตั้งคือ ละติจูด 16.1467 องศาเหนือ ลองจิจูด 104.3967 องศาตะวันออก รับผิดชอบ โดยโครงการชลประทานยโสธร สำนักงานชลประทานที่ 7 อุบลราชธานี

ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ

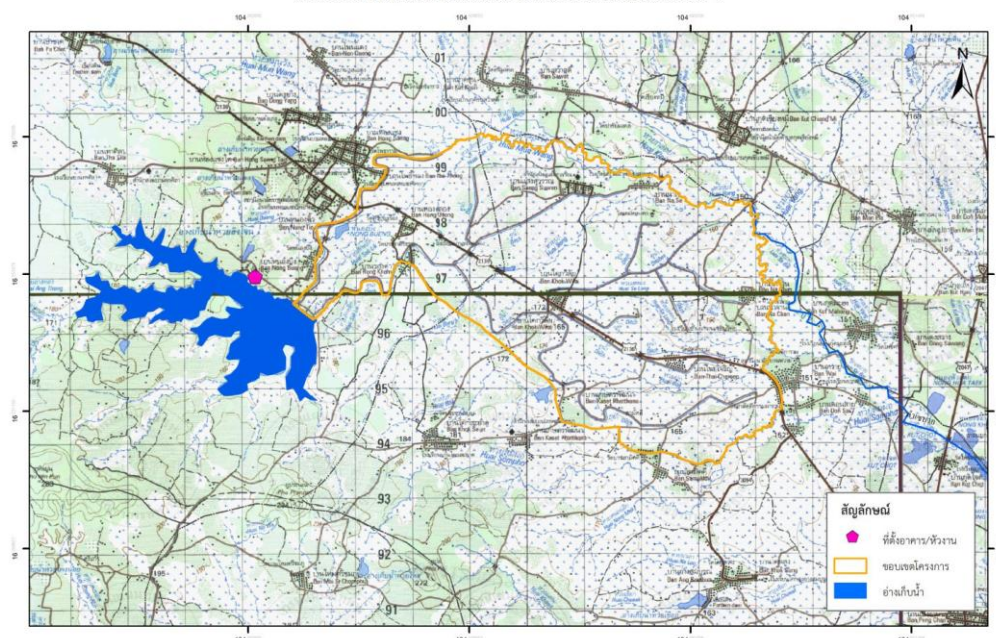
- พื้นที่อ่างเก็บน้ำ 5.60 ตร.กม.
- ความจุระดับน้ำสูงสุด 23.94 ล้านลบ.ม.
- ความจุระดับน้ำต่ำสุด 0.4 ล้านลบ.ม.
- ความจุระดับน้ำเก็บกัก 21.0 ล้านลบ.ม.

ข้อมูลอุทกวิทยา

- พื้นที่รับน้ำฝน 52.0 ตร.กม.
- ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1817.97 มม./ปี (พ.ศ. 2537-พ.ศ. 2564)
- ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำรายปีเฉลี่ย 24.12 ล้านลบ.ม. (พ.ศ. 2537-พ.ศ. 2564)

สถานการณ์ของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนในอดีต พบว่ามีสถานการณ์น้ำขาดแคลนอยู่ บ่อยครั้ง เช่น เมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ.2558 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนมีปริมาตรเก็บกักเพียง 8.8 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ไม่เพียงพอต่อการนำน้ำไปทำการเกษตร เพราะน้ำเพียงพอต่อการอุปโภค-บริโภค เท่านั้น ต่อมาในเดือนมีนาคม พ.ศ.2559 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนมีปริมาตรเก็บกักเพียง 5.0 ล้าน ลูกบาศก์เมตรเท่านั้น ต่อมาในเดือนกันยายน พ.ศ.2564 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนมีปริมาตรเก็บกักเพียง 8.4 ล้านลูกบาศก์เมตร เป็นต้น

อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน
โครงการชลประทานยโสธร สำนักงานชลประทานที่ 7

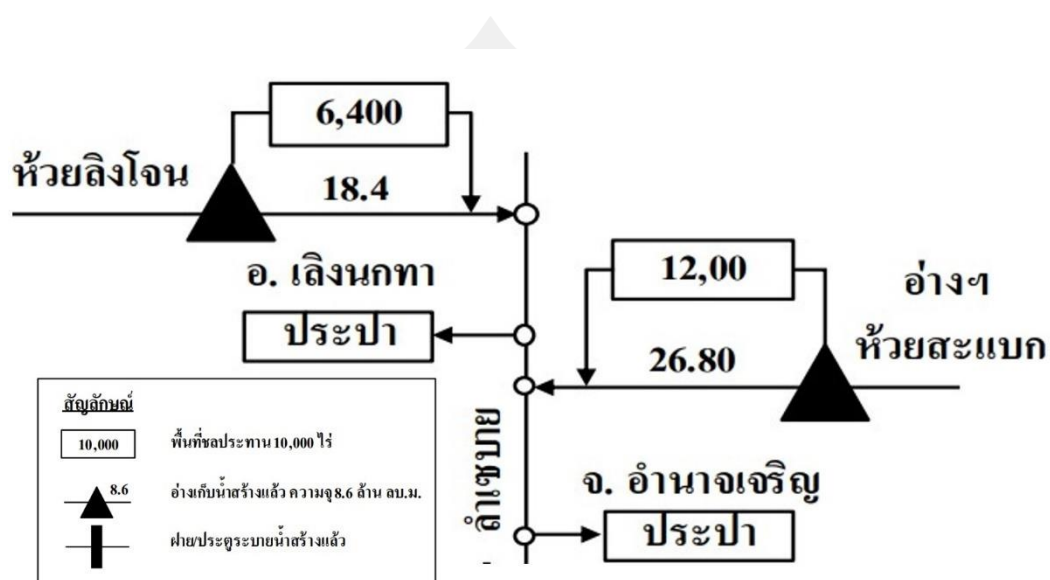


ภาพที่ 15 ที่ตั้งอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน
ที่มา : โครงการชลประทานยโสธร (2565)

รายงานปริมาณน้ำใน อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จ.ยโสธร
ข้อมูลวันที่ 1 มกราคม 2565 ถึง 31 ธันวาคม 2565



ภาพที่ 16 รายละเอียดโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน
ที่มา : กรมชลประทาน (2565)



ภาพที่ 17 แผนผังการไหลกลุ่มน้ำลำเซบาย
ที่มา : บริษัท แอสตีคอน คอร์ปอเรชั่น จำกัด (2554)



ตารางที่ 8 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

ปี/เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้านลูกบาศก์เมตร)												รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2537	0.000	0.093	0.000	0.000	1.001	5.576	0.004	7.879	0.301	0.000	0.000	0.000	14.854
2538	0.000	0.000	0.000	0.000	0.553	2.071	15.074	3.448	0.000	0.000	0.000	0.000	21.146
2539	0.000	0.000	0.000	0.000	0.046	0.779	2.473	16.278	29.463	0.000	0.000	0.000	49.039
2540	0.000	0.000	0.000	0.000	0.711	3.318	1.965	4.175	2.143	0.000	0.000	0.000	12.312
2541	0.000	0.000	0.000	0.000	2.370	4.215	2.711	6.115	2.074	0.000	0.000	0.000	17.485
2542	0.000	0.000	0.053	0.000	31.566	1.297	4.273	2.396	5.132	0.000	0.000	0.000	44.717
2543	0.000	0.000	0.000	0.000	3.581	6.368	5.564	3.537	0.913	0.000	0.000	0.000	19.963
2544	0.000	0.000	0.234	0.000	3.677	10.501	5.305	18.952	4.015	0.000	0.000	0.000	42.684
2545	0.000	0.000	0.145	0.000	3.690	5.044	4.912	12.688	8.397	0.000	0.000	0.000	34.876
2546	0.000	0.000	0.053	0.051	0.341	2.497	5.014	7.746	14.677	0.000	0.000	0.000	30.379
2547	0.000	0.006	0.000	0.348	0.411	3.229	11.109	3.522	1.156	0.000	0.000	0.000	19.781
2548	0.000	0.000	0.000	0.000	0.948	2.135	12.543	10.747	3.083	0.000	0.000	0.000	29.456
2549	0.000	0.000	0.000	0.168	1.390	0.770	1.165	5.151	6.042	4.368	0.000	0.000	19.054
2550	0.000	0.000	0.122	0.000	2.559	0.335	1.610	10.438	1.012	5.499	0.000	0.000	21.575
2551	0.000	0.000	0.000	0.000	0.217	0.000	0.665	1.892	5.055	0.000	0.000	0.000	7.829
2552	0.000	0.000	0.435	0.649	2.370	3.640	5.487	3.197	4.746	0.053	0.000	0.000	20.577

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ปี/เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้านลูกบาศก์เมตร)												รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2553	0.000	0.093	0.000	0.000	1.001	5.576	0.004	7.879	0.301	0.000	0.000	0.000	14.854
2554	0.000	0.000	0.000	0.000	0.553	2.071	15.074	3.448	0.000	0.000	0.000	0.000	21.146
2555	0.000	0.000	0.000	0.000	0.046	0.779	2.473	16.278	29.463	0.000	0.000	0.000	49.039
2556	0.000	0.000	0.000	0.000	0.711	3.318	1.965	4.175	2.143	0.000	0.000	0.000	12.312
2557	0.000	0.000	0.000	0.000	2.370	4.215	2.711	6.115	2.074	0.000	0.000	0.000	17.485
2558	0.000	0.000	0.053	0.000	31.566	1.297	4.273	2.396	5.132	0.000	0.000	0.000	44.717
2559	0.000	0.000	0.000	0.000	3.581	6.368	5.564	3.537	0.913	0.000	0.000	0.000	19.963
2560	0.000	0.000	0.234	0.000	3.677	10.501	5.305	18.952	4.015	0.000	0.000	0.000	42.684
2561	0.000	0.000	0.145	0.000	3.690	5.044	4.912	12.688	8.397	0.000	0.000	0.000	34.876
2562	0.000	0.000	0.053	0.051	0.341	2.497	5.014	7.746	14.677	0.000	0.000	0.000	30.379
2563	0.000	0.006	0.000	0.348	0.411	3.229	11.109	3.522	1.156	0.000	0.000	0.000	19.781
2564	0.000	0.000	0.000	0.000	0.948	2.135	12.543	10.747	3.083	0.000	0.000	0.000	29.456

3.2 การประเมินอัตราการระเหย

เนื่องจากอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน, อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกและอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ไม่ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลอัตราการระเหย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการประเมินอัตราการระเหย จากสมการ 2.1 โดยใช้ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา คือ อุณหภูมิ ซึ่งมีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยกรมอุตุนิยมวิทยา โดยแต่ละอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในการศึกษาวิจัย จะใช้ช่วงปีที่น่ามาประเมินเป็นช่วงเวลาเดียวกับปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ดังนี้

- 1) อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จะใช้อุณหภูมิ ระหว่างปี พ.ศ. 2535 - พ.ศ. 2564
- 2) อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก จะใช้อุณหภูมิ ระหว่างปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2564
- 3) อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จะใช้อุณหภูมิ ระหว่างปี พ.ศ. 2537 - พ.ศ. 2564

3.3 การประเมินความต้องการน้ำด้านอุปโภค-บริโภค

ในการส่งน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค ของอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในการศึกษาวิจัย จะส่งน้ำตามปริมาณการร้องขอ ซึ่งไม่ได้เป็นไปตามความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค ของพื้นที่ท้ายอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค ให้เป็นไปตามแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากร โดยจะทำการประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค จากสมการ 2.14 โดยใช้จำนวนประชากรจากพื้นที่ท้ายอ่างเก็บน้ำ โดยแต่ละอ่างมีพื้นที่ท้ายอ่างเก็บน้ำ ดังนี้

- 1) อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน มีพื้นที่ท้ายอ่างประกอบด้วย 3 ตำบล ได้แก่ ตำบลแก่งเลิงจาน ตำบลตลาด และตำบลเวียงนาง
- 2) อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก มีพื้นที่ท้ายอ่างประกอบไปด้วย 2 ตำบล ได้แก่ ตำบลห้องแซง และตำบลสามัคคี
- 3) อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก มีพื้นที่ท้ายอ่างประกอบไปด้วย 3 ตำบล ได้แก่ ตำบลโคกสำราญ ตำบลบึงคำ และตำบลไร่สีสุก

3.4 การประเมินปริมาณฝนใช้การ

เนื่องจากอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกและอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ไม่ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนใช้การรายเดือน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการประเมินปริมาณฝนใช้การจากปริมาณน้ำฝน ซึ่งมีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยกรม

อุตุนิยมวิทยา โดยพิจารณาาร่วมกับตารางที่ 2 จะได้ปริมาณฝนใช้การเป็นหน่วยมิลลิเมตร จากนั้นนำปริมาณฝนใช้การมาพิจารณาาร่วมกับพื้นที่ชลประทาน จะได้หน่วยของปริมาณฝนใช้การเป็นหน่วยลูกบาศก์เมตรตามที่ต้องการ

3.5 การค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm)

ในการวิจัยนี้ ได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณและค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม ของอ่างเก็บน้ำ 3 แห่ง ประกอบไปด้วย อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จังหวัดมหาสารคาม อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกและอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จังหวัดยโสธร สำหรับเป็นเกณฑ์ในการควบคุมการปล่อยน้ำ เพื่อตอบสนองความต้องการน้ำในด้านต่างๆ ของพื้นที่ท้ายอ่างเก็บน้ำ ซึ่งภายในโปรแกรมที่พัฒนาจะประกอบไปด้วยแบบจำลองสภาพอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Simulation Model) จำลองสภาพน้ำโดยอาศัยหลักสมดุลน้ำและใช้วิธีฮาร์โมนีเซิร์ช ในการหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม

3.5.1 การค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยใช้ค่าเฉลี่ย

การค้นหาโค้งควบคุมในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช แบบใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูล แบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ จำนวนตัวแปร (NVAR) จำนวนการวนซ้ำสูงสุด (Maxitr) และขอบเขตของตัวแปร (PVB) ซึ่งก็คือโค้งควบคุมบน (Upper Rule Curve) และโค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curve) เป็นประชากรเริ่มต้น (Initial Population) ที่ต้องการให้วิธีฮาร์โมนีเซิร์ชค้นหาค่าที่เหมาะสม

2. กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้อยที่สุดสำหรับ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานและอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

3. จำลองสภาพอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Simulation) โดยจำลองเป็นรายเดือน โดยเริ่มจำลองสภาพอ่างเก็บน้ำตามช่วงเวลาที่มิข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ การจำลองสภาพอ่างเก็บน้ำ จะใช้ค่าโค้งควบคุมที่ได้จากชุดคำตอบที่ดีที่สุด ทำการจำลองการปล่อยน้ำตามสมการ 2.13 โดยจะต้องพิจารณาจาก โค้งควบคุมบนและล่าง ปริมาณน้ำใช้การ และความต้องการใช้น้ำสุทธิ ในการคำนวณปริมาณน้ำใช้การ และความต้องการใช้น้ำสุทธิ ที่ประกอบไปด้วยตัวแปรหลายตัวแปร ซึ่งตัวแปรเหล่านั้นจะใช้ค่าเฉลี่ยเพียง 12 ค่ามาคำนวณ ยกเว้น ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่าง

หมายความว่าหากข้อมูล 12 ค่าถูกใช้ในปีแรกแล้ว ปีถัดไปก็จะใช้ข้อมูล 12 ค่าชุดเดิม ไปจนครบตามจำนวนปีของปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่าง จะทำให้ไม่เห็นความแตกต่างในแต่ละปี

4. เมื่อจำลองการปล่อยตามสมการ 2.18 จะสามารถคำนวณปริมาตรน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำแต่ละเดือน รวมถึงคำนวณปริมาณการไหลล้น (Spillage) และ ปริมาณการขาดแคลน (Shortage) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปรวมในฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$R_{v,t} = \begin{cases} D_t + W_{v,t} - y_t, & \text{for } W_{v,t} \geq y_t + D_t \\ D_t, & \text{for } x_t \leq W_{v,t} < y_t + D_t \\ D_t + W_{v,t} - x_t, & \text{for } x_t - D_t \leq W_{v,t} < x_t \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots(2.18)$$

เมื่อ $R_{v,t}$ = ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำในช่วงปี v ของเดือน t
($t = 1$ ถึง 12 แทนเดือนมกราคม ถึง เดือนธันวาคม)

D_t = ความต้องการใช้น้ำทำอ่างของเดือน t

x_t = ขอบเขตล่างของโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของเดือน t

y_t = ขอบเขตบนของโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำของเดือน t

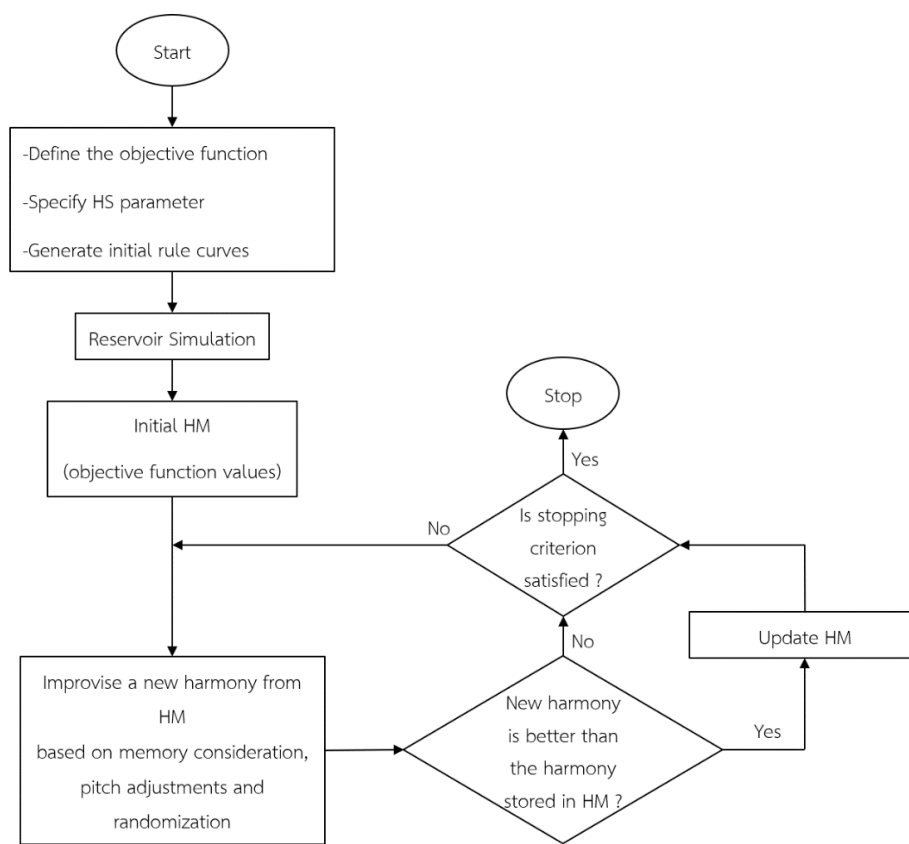
$W_{v,t}$ = ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน t

5. สร้างเวกเตอร์ของคำตอบที่เป็นไปได้ชุดใหม่ และปรับค่าเวกเตอร์ของคำตอบที่เป็นไปได้แต่ละเวกเตอร์ในหน่วยความจำของฮาร์โมนี โดยถ้าเวกเตอร์ชุดใหม่ของคำตอบที่เป็นไปได้มีค่าดีกว่าเวกเตอร์ของคำตอบที่เป็นไปได้ของชุดเก่า เวกเตอร์ของคำตอบที่เป็นไปได้ชุดเก่าจะถูกเอาออกจากหน่วยความจำ โดยการแทนที่ด้วยเวกเตอร์ของคำตอบที่เป็นไปได้ชุดใหม่ จนได้ชุดคำตอบที่ดีที่สุด โดยคำนึงถึงฟังก์ชันวัตถุประสงค์

6. ประเมินผลการคำนวณว่าได้เป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งก็คือค่าความขาดแคลนน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุดหรือไม่ หากไม่เป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ให้กลับไปสร้างค่าโค้งควบคุมใหม่อีกครั้ง จากนั้นจำลองสภาพอ่างเก็บน้ำ จนได้คำตอบที่ดีที่สุดที่เป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์

7. ได้โค้งควบคุมสำหรับอ่างเก็บน้ำ

8. จบการทำงาน



ภาพที่ 18 แผนผังการทำงานหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช

3.5.2 การค้นหาโค้งควบคุมโดยการประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

การค้นหาโค้งควบคุมในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ช แบบประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล แบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ จำนวนตัวแปร (NVAR) จำนวนการวนซ้ำสูงสุด (Maxltr) และขอบเขตของตัวแปร (PVB) ซึ่งก็คือโค้งควบคุมบน (Upper Rule Curve) และโค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curve) เป็นประชากรเริ่มต้น (Initial Population) ที่ต้องการให้วิธีฮาร์โมนีเซิร์ชค้นหาค่าที่เหมาะสม

2. กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ค่าเฉลี่ยของการไหลล้นน้อยที่สุดสำหรับ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานและอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก และค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนนํ้าน้อยที่สุด สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

3. จำลองสภาพอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Simulation) โดยจำลองเป็นรายเดือน โดยเริ่มจำลองสภาพอ่างเก็บน้ำตามช่วงเวลาที่ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำการจำลองสภาพอ่างเก็บน้ำ จะใช้ค่าโค้งควบคุมที่ได้จากชุดคำตอบที่ดีที่สุด ทำการจำลองการปล่อยน้ำตามสมการ 2.13 โดยจะต้องพิจารณาจาก โค้งควบคุมบนและล่าง ปริมาณน้ำใช้การ และความต้องการใช้น้ำสุทธิ ในการคำนวณปริมาณน้ำใช้การ และความต้องการใช้น้ำสุทธิ ที่ประกอบไปด้วยตัวแปรหลายตัวแปร จะทำการประเมินอัตราการระเหย ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค และฝนใช้การ ก่อนที่จะนำมาคำนวณ โดยจะประเมินและรวบรวมข้อมูลให้มีจำนวนข้อมูลเท่ากับข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่าง แทนการใช้ค่าเฉลี่ย ซึ่งจะทำให้เห็นความแตกต่างกันในแต่ละปี

4. เมื่อจำลองการปล่อยตามสมการ 2.18 จะสามารถคำนวณปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำแต่ละเดือน รวมถึงคำนวณปริมาณการไหลล้น (Spillage) และ ปริมาณการขาดแคลน (Shortage) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปรวมในฟังก์ชันวัตถุประสงค์

5. สร้างเวกเตอร์ของคำตอบที่เป็นไปได้ชุดใหม่ และปรับค่าเวกเตอร์ของคำตอบที่เป็นไปได้แต่ละเวกเตอร์ในหน่วยความจำของฮาร์ดแวร์ โดยถ้าเวกเตอร์ชุดใหม่ของคำตอบที่เป็นไปได้มีค่าดีกว่าเวกเตอร์ของคำตอบที่เป็นไปได้ของชุดเก่า เวกเตอร์ของคำตอบที่เป็นไปได้ชุดเก่าจะถูกเอาออกจากหน่วยความจำ โดยการแทนที่ด้วยเวกเตอร์ของคำตอบที่เป็นไปได้ชุดใหม่ จนได้ชุดคำตอบที่ดีที่สุด โดยคำนึงถึงฟังก์ชันวัตถุประสงค์

6. ประเมินผลการคำนวณว่าได้เป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งก็คือค่าความขาดแคลนน้ำเหลือน้อยที่สุดหรือไม่ หากไม่เป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ให้กลับไปสร้างค่าโค้งควบคุมใหม่อีกครั้ง จากนั้นจำลองสภาพอ่างเก็บน้ำ จนได้คำตอบที่ดีที่สุดที่เป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์

7. ได้โค้งควบคุมสำหรับอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน

8. จบการทำงาน

3.6 การประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุม

เป็นการตรวจสอบว่าโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เราสร้างขึ้นนั้นสามารถนำมาใช้ได้กับเหตุการณ์ต่างๆ จากข้อมูลน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างในอดีตและข้อมูลน้ำท่าที่สังเคราะห์ขึ้น เพื่อประเมินว่าโค้งควบคุมที่ได้มีความสอดคล้องกับเหตุการณ์ต่างๆ ตลอดช่วงที่พิจารณาหรือไม่ คือมีช่วงของการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้งและช่วงของการไหลล้นในช่วงอุทกภัย มากน้อยเพียงใด

3.6.1 ประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำในอดีต

1) ประเมินประสิทธิภาพโดยนำโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาโดยวิธีฮาร์โมนีเชิร์ชมาทดสอบกับข้อมูลน้ำท่าในอดีต ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating Rule ซึ่งแต่ละอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในการศึกษาวิจัยจะใช้ช่วงปีที่น่ามาประเมิน ดังนี้

- (1) อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จำนวน 30 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2535 - พ.ศ. 2564
- (2) อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก จำนวน 26 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2564
- (3) อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จำนวน 28 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2537 - พ.ศ. 2564

2) ประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและไหลล้น ซึ่งเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน โดยทำการพิจารณาดังนี้

- ความถี่ของการเกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น ซึ่งหาได้จากปีที่เกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น หารด้วยจำนวนปีของข้อมูลน้ำท่าในอดีตที่น่ามาใช้พิจารณาทั้งหมด
- ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่อปีของสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น ซึ่งหาได้จากผลรวมของการขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น แต่ละปีหารด้วยจำนวนปีของข้อมูลน้ำท่าในอดีตที่น่ามาใช้พิจารณาทั้งหมด
- ช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น ซึ่งหาได้จากผลรวมของปีที่เกิดการขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น หารด้วยจำนวนช่วงปีที่เกิดการขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น

3.6.2 ประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำสังเคราะห์

1) ประเมินประสิทธิภาพโดยนำโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาโดยวิธีฮาร์โมนีเชิร์ชมาทดสอบกับข้อมูลน้ำท่าสังเคราะห์ 100 ปี จำนวน 500 เหตุการณ์ ซึ่งใช้ข้อมูลน้ำท่าในอดีต ด้วยเกณฑ์การปล่อยน้ำแบบ Standard Operating Rule ซึ่งแต่ละอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในการศึกษาวิจัยจะใช้ช่วงปีที่น่ามาประเมิน ดังนี้

- (1) อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จำนวน 30 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2535 - พ.ศ. 2564
- (2) อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก จำนวน 26 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2564
- (3) อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จำนวน 28 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2537 - พ.ศ. 2564

2) ประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำและไหลล้น ซึ่งเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน โดยทำการพิจารณาดังนี้

- ความถี่ของการเกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น ซึ่งหาได้จากปีที่เกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น หารด้วยจำนวนปีของข้อมูลน้ำท่าในอดีตที่น่ามาใช้พิจารณาทั้งหมด

- ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่อปีของสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น ซึ่งหาได้จากผลรวมของการขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น แต่ละปีหารด้วยจำนวนปีของข้อมูลน้ำทำในอดีตที่นำมาใช้พิจารณาทั้งหมด

- ช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น ซึ่งหาได้จากผลรวมของปีที่เกิดการขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น หารด้วยจำนวนช่วงปีที่เกิดการขาดแคลนน้ำ/ไหลล้น



บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้เป็นการอธิบายถึงผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ต่อเนื่องจึงจะอธิบายถึงผลการวิจัยและการอภิปรายดังหัวข้อต่อไปนี้

- (1) ผลการประเมินอัตราการระเหย ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค และปริมาณฝนใช้การ
- (2) ผลการศึกษาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่พัฒนาโดยเทคนิค Harmony Search Algorithm
- (3) ผลการประเมินประสิทธิภาพระหว่างโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเดิมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน กับโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาด้วยเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm)

4.1 ผลการประเมินอัตราการระเหย ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค และปริมาณฝนใช้การ

4.1.1 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน

4.1.1.1 ประเมินอัตราการระเหย

ข้อมูลที่นำมาพิจารณาเพื่อประเมินอัตราการระเหย คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ดังแสดงในตาราง ผ-1 โดยอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จะพิจารณาช่วงปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 - พ.ศ. 2564

ตัวอย่างการคำนวณ

วิธีทำ จากตาราง ผ-1 ในปี 2564 เดือนมกราคม

$$T_{avg} = 22 \text{ องศาเซลเซียส}$$

เมื่อพิจารณา T_{avg} กับสมการ 2.1 จะตรงกับกรณี $0 < T_{avg} \leq 26.5$ ซึ่งจะต้อง

คำนวณหา i , l และ α ตามลำดับ

$$l_{jan} = \left(\frac{T_{avg}}{5} \right)^{1.514} = \left(\frac{22}{5} \right)^{1.514} = 9.42$$

และจะได้ i ในแต่ละเดือนของปี 2564 ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 9 ค่า i ในแต่ละเดือนของปี 2564

Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
9.42	11.64	14.24	14.77	15.45	15.15	14.54	14.54	13.43	13.14	12.42	10.61

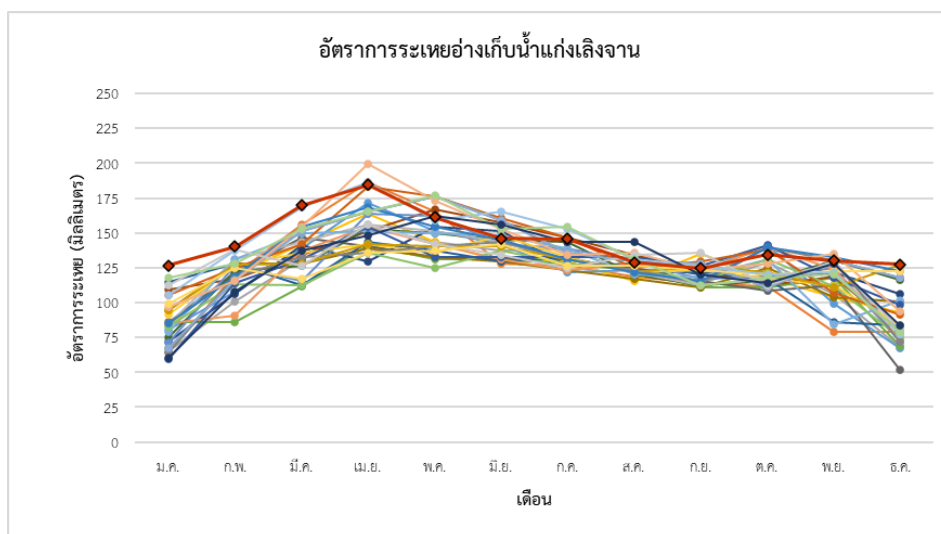
$$\begin{aligned}
 I &= \sum_{j=1}^{12} i_j \\
 &= 9.42+11.64+14.24+14.77+15.45+15.15+14.54+14.54+13.43+ \\
 &\quad 13.14+12.42+10.61 \\
 &= 159.36
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.792 \times 10^{-2})I + 0.49239 \\
 &= (6.75 \times 10^{-7})(159.36)^3 - (7.71 \times 10^{-5})(159.36)^2 + (1.792 \times 10^{-2})(159.36) \\
 &\quad + 0.49239 \\
 &= 4.12
 \end{aligned}$$

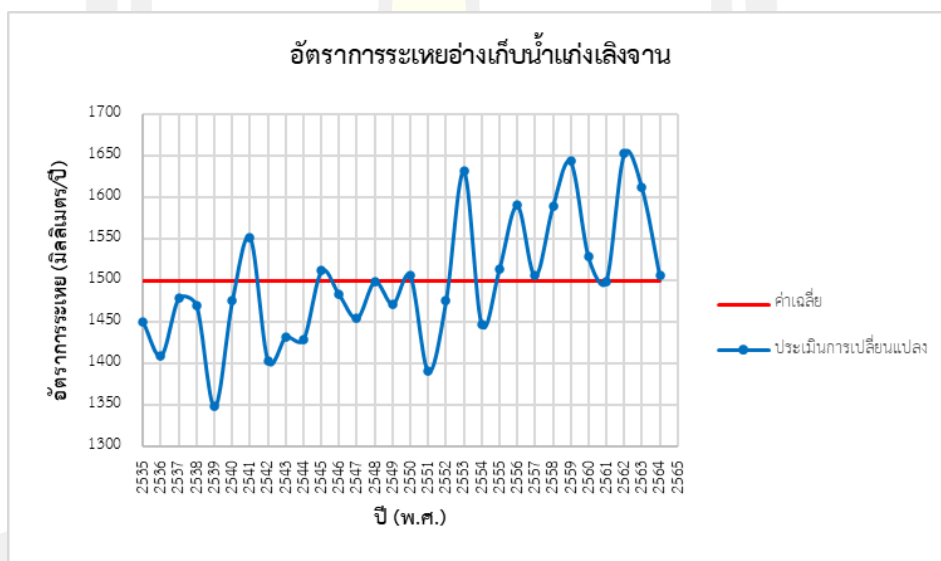
$$\begin{aligned}
 E &= 16 \left(\frac{10T_{avg}}{I} \right)^\alpha \\
 &= 16 \left(\frac{10 \times 22}{159.43} \right)^{4.13} = 60.45 \text{ มิลลิเมตร/เดือน}
 \end{aligned}$$

ผลการประเมินอัตราการระเหยรายเดือนในปี พ.ศ. 2535 - พ.ศ. 2564 จะแสดงในตารางที่ 12 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างผลการประเมินอัตราการระเหยกับอัตราการระเหยของกรมอุตุนิยมวิทยา เท่ากับ 0.42 ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ที่ 0.6 แต่อย่างไรก็ตาม ในการประเมินอัตราการระเหยรายเดือน เพื่อพิสูจน์ว่าในแต่ละเดือนและในแต่ละปี อัตราการระเหยมีความแตกต่างกัน

พูน ปณ จิต ชีวะ



ภาพที่ 19 อัตราการระเหยรายเดือนของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน



ภาพที่ 20 อัตราการระเหยรายปีของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน

ตารางที่ 10 ผลการประเมินอัตราภาระเหี้ยของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2535	64.35	120.30	156.18	186.20	165.31	128.14	126.55	118.57	113.75	111.39	79.26	79.26
2536	64.87	101.13	131.30	154.65	143.84	137.59	139.16	120.18	113.75	128.66	105.93	68.33
2537	84.02	120.18	142.28	163.80	143.84	129.72	129.72	115.36	135.26	117.94	104.00	92.84
2538	80.19	107.63	139.16	171.34	151.58	142.28	121.77	123.37	123.37	141.57	99.40	67.42
2539	86.40	86.40	111.37	141.19	131.30	131.30	128.14	123.37	110.52	110.52	117.93	69.11
2540	72.28	105.91	141.55	129.72	154.65	151.58	126.55	128.14	120.18	116.97	121.83	105.91
2541	108.97	116.97	134.45	151.58	166.83	157.71	146.94	134.45	123.37	112.14	118.45	79.59
2542	85.70	120.92	146.94	140.72	132.88	131.30	131.30	124.96	115.36	108.90	112.12	51.66
2543	94.31	128.26	128.14	139.16	132.88	129.72	123.37	116.97	110.52	124.51	103.69	100.49
2544	114.88	127.78	112.14	143.84	137.59	129.72	132.88	121.77	121.77	116.97	86.16	83.34
2545	75.26	122.28	126.55	153.11	150.03	145.39	143.84	120.18	112.14	115.36	130.19	116.59
2546	70.92	126.71	115.36	163.80	162.28	142.28	139.16	129.72	116.97	118.57	124.76	72.19
2547	84.92	90.70	137.59	154.65	142.28	131.30	123.37	128.14	123.37	139.74	124.10	74.20
2548	84.40	131.30	143.84	156.18	151.58	143.84	131.30	121.77	112.14	116.97	127.74	77.29
2549	91.34	126.35	136.03	142.28	136.03	148.49	132.88	121.77	123.37	116.97	112.14	83.87



ตารางที่ 10 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2550	79.00	130.78	150.03	151.58	150.03	148.49	139.16	120.18	118.57	130.78	84.62	101.62
2551	82.77	113.00	112.14	136.03	124.96	137.59	128.14	123.37	115.36	130.84	111.32	75.00
2552	59.61	113.75	131.30	154.65	132.88	132.88	132.88	132.88	126.55	141.21	117.56	98.62
2553	105.39	124.96	142.28	183.25	175.83	160.76	146.94	124.96	129.72	138.10	107.24	91.47
2554	63.87	118.90	132.88	136.03	140.72	143.84	131.30	123.37	113.75	139.93	130.06	72.17
2555	94.95	127.58	128.14	142.28	140.72	140.72	131.30	121.77	126.55	121.77	110.52	127.58
2556	85.51	118.57	154.65	168.33	154.65	145.39	131.30	121.77	115.36	139.27	132.75	122.40
2557	54.11	123.62	153.11	157.71	162.28	154.65	132.88	129.72	126.55	118.57	108.90	82.75
2558	67.11	116.27	151.58	165.31	175.83	159.24	136.03	129.72	128.14	110.52	130.44	118.22
2559	96.89	115.36	154.65	199.32	172.84	153.11	134.45	136.03	123.37	128.14	134.91	93.44
2560	112.55	138.24	126.55	156.18	142.28	134.45	124.96	134.45	136.03	112.14	129.90	80.30
2561	99.50	124.54	116.97	136.03	137.59	142.28	126.55	126.55	123.37	120.18	122.61	122.61
2562	105.54	137.59	168.33	186.20	159.24	165.31	153.11	131.30	126.55	120.18	121.46	77.11
2563	118.27	128.38	153.11	165.31	177.32	153.11	154.65	131.30	112.14	118.27	120.24	79.36
2564	60.45	107.54	137.59	148.49	162.28	156.18	143.84	143.84	120.18	113.75	128.16	83.59

M,4.1.1.2 ประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค

ข้อมูลที่น่ามาพิจารณาเพื่อประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค คือ จำนวนประชากรในพื้นที่รายปี ประกอบไปด้วย บ้านकुดเป่ง บ้านเม่นใหญ่ บ้านเม่นน้อย และบ้านโนนหัวฝาย ตำบลแก่งเลิงจาน อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ดังตาราง ผ-7 ซึ่งจะพิจารณาจำนวนประชากรในช่วง ปี พ.ศ. 2535 - พ.ศ. 2564 กับอัตราการใช้น้ำ

ตัวอย่างการคำนวณ

วิธีทำ จากตาราง ผ-1 ในปี พ.ศ. 2564 เดือนมกราคม มีจำนวนประชากรรวม 1,415 คน เมื่อพิจารณาจำนวนประชากรกับตาราง 2.1 พบว่าจะได้อัตราการใช้น้ำต่อคนต่อวันเท่ากับ 120 ลิตรต่อคนต่อวัน จะได้ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภคในเดือนมกราคม พ.ศ.2564 ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณน้ำอุปโภค-บริโภค (WS}_{jan}) &= 1,415 \times 120 \times 31 \\ &= 5,263,800 \text{ ลิตรต่อเดือน} \\ &= 5,263.8 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน}\end{aligned}$$

ผลการประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภครายเดือนในปี พ.ศ. 2535 - พ.ศ. 2564 จะแสดงในตาราง 4.3 โดยใช้ข้อมูลจำนวนประชากรจากสำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย

4.1.1.3 ประเมินปริมาณฝนใช้การ

ข้อมูลที่น่ามาพิจารณาเพื่อประเมินปริมาณฝนใช้การ คือ ปริมาณน้ำฝน ดังตาราง ผ-5 นำมาพิจารณากับตารางที่ 2 และพื้นที่ชลประทาน ซึ่งอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน มีพื้นที่ชลประทาน 3,000 ไร่ โดยจะพิจารณาจำนวนประชากรในช่วง ปี พ.ศ. 2535 - พ.ศ. 2564

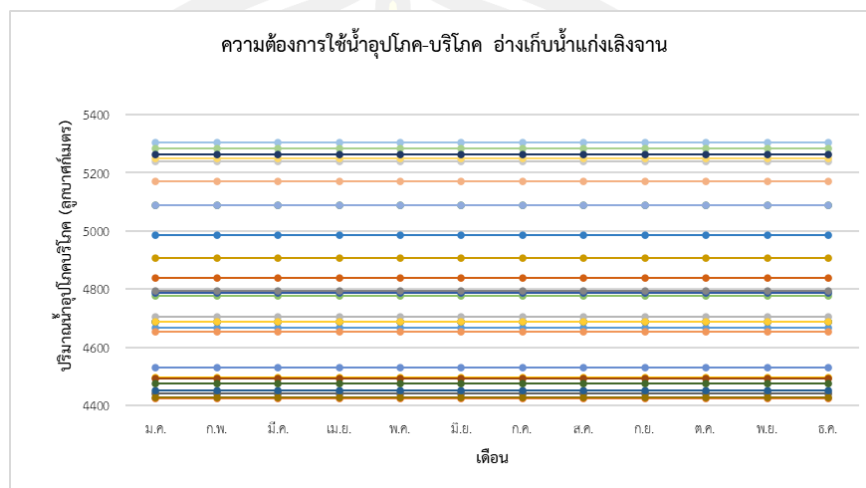
ตัวอย่างการคำนวณ

วิธีทำ จากตาราง ผ-5 ในปี พ.ศ. 2564 เดือนมกราคม มีปริมาณน้ำฝน = 0 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณากับตาราง 2.2 พบว่าอยู่ในกรณี WRFL 0 – 10 มิลลิเมตร จะได้ Effective Rainfall = 0 มิลลิเมตร และเมื่อได้ Effective Rainfall จะนำมาพิจารณาร่วมกับพื้นที่ชลประทาน จะได้ว่า

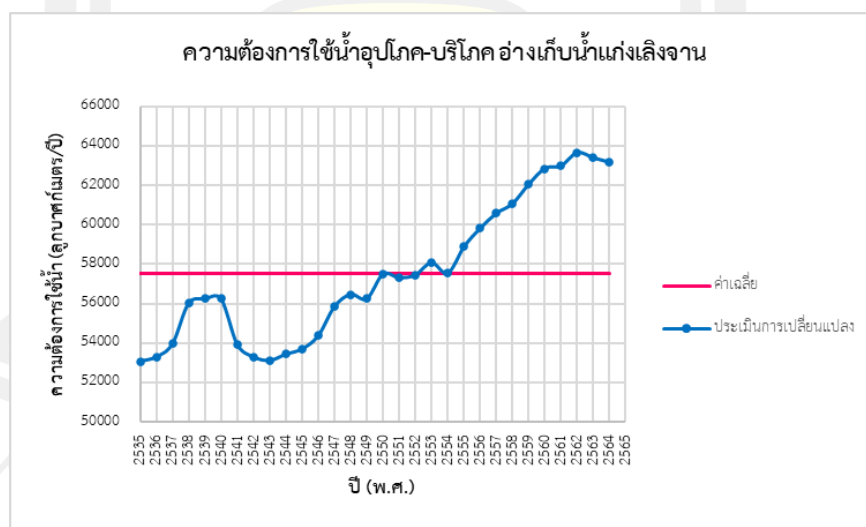
$$\text{Effective Rainfall} = 0 \times 3,000 \times 1,600 = 0 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

ผลการประเมินปริมาณฝนใช้การรายเดือนในปี พ.ศ. 2535 - พ.ศ. 2564 จะแสดงในตารางที่ 13 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างวิธีที่ใช้ในการดำเนินการศึกษากับวิธี Dependable

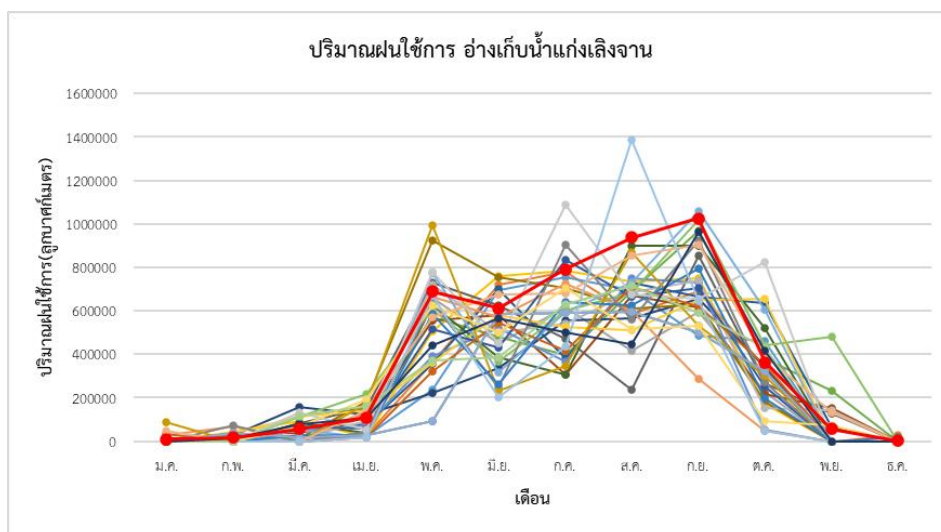
Rainfall (ปรเมศร์, 2549) และวิธี Fixed percentage of rainfall (80%) (Wane and Nagdeve, 2014) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.94 และ 0.97 ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลปริมาณน้ำฝน ได้รับการเก็บบันทึกโดยกรมอุตุนิยมวิทยา



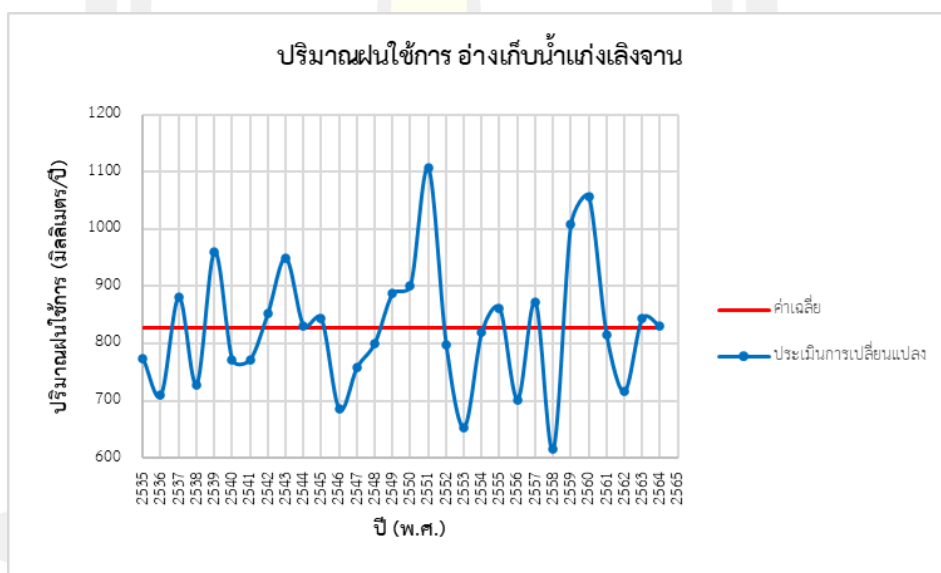
ภาพที่ 21 ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค รายเดือน อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน



ภาพที่ 22 ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค รายปี อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน



ภาพที่ 23 ปริมาณฝนใช้การรายเดือน อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน



ภาพที่ 24 ปริมาณฝนใช้การรายปี อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน

ตารางที่ 11 ผลการประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภคของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ลูกบาศก์เมตร)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2535	4,423.08	4,423.08	4,423.08	4,423.08	4,423.08	4,423.08	4,423.08	4,423.08	4,423.08	4,423.08	4,423.08	4,423.08
2536	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68
2537	4,497.48	4,497.48	4,497.48	4,497.48	4,497.48	4,497.48	4,497.48	4,497.48	4,497.48	4,497.48	4,497.48	4,497.48
2538	4,668.60	4,668.60	4,668.60	4,668.60	4,668.60	4,668.60	4,668.60	4,668.60	4,668.60	4,668.60	4,668.60	4,668.60
2539	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20
2540	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20
2541	4,493.76	4,493.76	4,493.76	4,493.76	4,493.76	4,493.76	4,493.76	4,493.76	4,493.76	4,493.76	4,493.76	4,493.76
2542	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68	4,441.68
2543	4,426.80	4,426.80	4,426.80	4,426.80	4,426.80	4,426.80	4,426.80	4,426.80	4,426.80	4,426.80	4,426.80	4,426.80
2544	4,452.84	4,452.84	4,452.84	4,452.84	4,452.84	4,452.84	4,452.84	4,452.84	4,452.84	4,452.84	4,452.84	4,452.84

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2545	4,475.16	4,475.16	4,475.16	4,475.16	4,475.16	4,475.16	4,475.16	4,475.16	4,475.16	4,475.16	4,475.16	4,475.16
2546	4,530.96	4,530.96	4,530.96	4,530.96	4,530.96	4,530.96	4,530.96	4,530.96	4,530.96	4,530.96	4,530.96	4,530.96
2547	4,653.72	4,653.72	4,653.72	4,653.72	4,653.72	4,653.72	4,653.72	4,653.72	4,653.72	4,653.72	4,653.72	4,653.72
2548	4,705.80	4,705.80	4,705.80	4,705.80	4,705.80	4,705.80	4,705.80	4,705.80	4,705.80	4,705.80	4,705.80	4,705.80
2549	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20	4,687.20
2550	4,791.36	4,791.36	4,791.36	4,791.36	4,791.36	4,791.36	4,791.36	4,791.36	4,791.36	4,791.36	4,791.36	4,791.36
2551	4,776.48	4,776.48	4,776.48	4,776.48	4,776.48	4,776.48	4,776.48	4,776.48	4,776.48	4,776.48	4,776.48	4,776.48
2552	4,787.64	4,787.64	4,787.64	4,787.64	4,787.64	4,787.64	4,787.64	4,787.64	4,787.64	4,787.64	4,787.64	4,787.64
2553	4,839.72	4,839.72	4,839.72	4,839.72	4,839.72	4,839.72	4,839.72	4,839.72	4,839.72	4,839.72	4,839.72	4,839.72
2554	4,795.08	4,795.08	4,795.08	4,795.08	4,795.08	4,795.08	4,795.08	4,795.08	4,795.08	4,795.08	4,795.08	4,795.08

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2555	4,906.68	4,906.68	4,906.68	4,906.68	4,906.68	4,906.68	4,906.68	4,906.68	4,906.68	4,906.68	4,906.68	4,906.68
2556	4,984.80	4,984.80	4,984.80	4,984.80	4,984.80	4,984.80	4,984.80	4,984.80	4,984.80	4,984.80	4,984.80	4,984.80
2557	5,048.04	5,048.04	5,048.04	5,048.04	5,048.04	5,048.04	5,048.04	5,048.04	5,048.04	5,048.04	5,048.04	5,048.04
2558	5,088.96	5,088.96	5,088.96	5,088.96	5,088.96	5,088.96	5,088.96	5,088.96	5,088.96	5,088.96	5,088.96	5,088.96
2559	5,170.80	5,170.80	5,170.80	5,170.80	5,170.80	5,170.80	5,170.80	5,170.80	5,170.80	5,170.80	5,170.80	5,170.80
2560	5,237.76	5,237.76	5,237.76	5,237.76	5,237.76	5,237.76	5,237.76	5,237.76	5,237.76	5,237.76	5,237.76	5,237.76
2561	5,248.92	5,248.92	5,248.92	5,248.92	5,248.92	5,248.92	5,248.92	5,248.92	5,248.92	5,248.92	5,248.92	5,248.92
2562	5,304.72	5,304.72	5,304.72	5,304.72	5,304.72	5,304.72	5,304.72	5,304.72	5,304.72	5,304.72	5,304.72	5,304.72
2563	5,282.40	5,282.40	5,282.40	5,282.40	5,282.40	5,282.40	5,282.40	5,282.40	5,282.40	5,282.40	5,282.40	5,282.40
2564	5,263.80	5,263.80	5,263.80	5,263.80	5,263.80	5,263.80	5,263.80	5,263.80	5,263.80	5,263.80	5,263.80	5,263.80

ตารางที่ 12 ผลการประเมินปริมาณฝนใช้การของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ล้านลูกบาศก์เมตร)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2535	-	0.0152	-	0.0276	0.3590	0.7218	0.7802	0.5836	0.6912	0.3418	-	0.0267
2536	-	-	-	0.1336	0.6589	0.4509	0.6172	0.4140	0.5967	0.2254	-	-
2537	-	0.0407	0.0938	0.0230	0.5037	0.7620	0.7854	0.7339	0.7495	0.1701	-	-
2538	-	0.0265	-	0.0242	0.2392	0.6964	0.7560	0.6926	0.4852	0.4593	-	-
2539	-	-	0.1176	0.1493	0.5685	0.4825	0.3972	0.6915	0.9670	0.3832	0.2300	-
2540	-	0.0289	0.1578	0.1220	0.2196	0.3356	0.5564	0.5668	0.6572	0.3400	-	-
2541	-	0.0326	0.0399	0.1079	0.5544	0.5795	0.3087	0.6719	0.6166	0.2177	0.1513	-
2542	-	-	0.0833	0.1537	0.7300	0.6243	0.4691	0.2369	0.8525	0.2646	0.1260	-
2543	-	0.0298	0.0142	0.1806	0.9254	0.7542	0.7033	0.6085	0.6317	0.1836	-	-
2544	-	-	0.0604	0.0758	0.3548	0.6980	0.3837	0.7300	0.6673	0.6347	0.0641	-

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2545	-	-	0.0840	0.0401	0.6263	0.3854	0.3080	0.9005	0.8978	0.5201	-	-
2546	-	0.0234	0.0490	0.0704	0.3891	0.5232	0.3656	0.7500	0.7289	0.0549	-	-
2547	0.0282	0.0676	-	0.1256	0.6673	0.5685	0.7242	0.6028	0.2888	0.0484	-	-
2548	-	-	0.0147	0.0933	0.7215	0.4993	0.5426	0.6872	0.7389	0.1528	0.1402	-
2549	-	0.0365	0.1143	0.1431	0.3629	0.5792	0.5265	0.5087	0.6512	0.6545	-	-
2550	-	-	0.0536	0.0198	0.7754	0.3172	0.5967	0.7284	1.0560	0.6041	-	-
2551	-	-	0.1142	0.2192	0.6051	0.3667	0.6008	0.6849	1.0200	0.4402	0.4808	-
2552	-	-	0.0700	0.0576	0.5174	0.4304	0.8350	0.6669	0.7033	0.2527	-	-
2553	0.0328	-	-	0.0187	0.3199	0.5470	0.4170	0.7104	0.6192	0.3494	-	-
2554	-	0.0727	-	0.0431	0.6401	0.2492	0.9022	0.5628	0.9247	0.2711	-	-

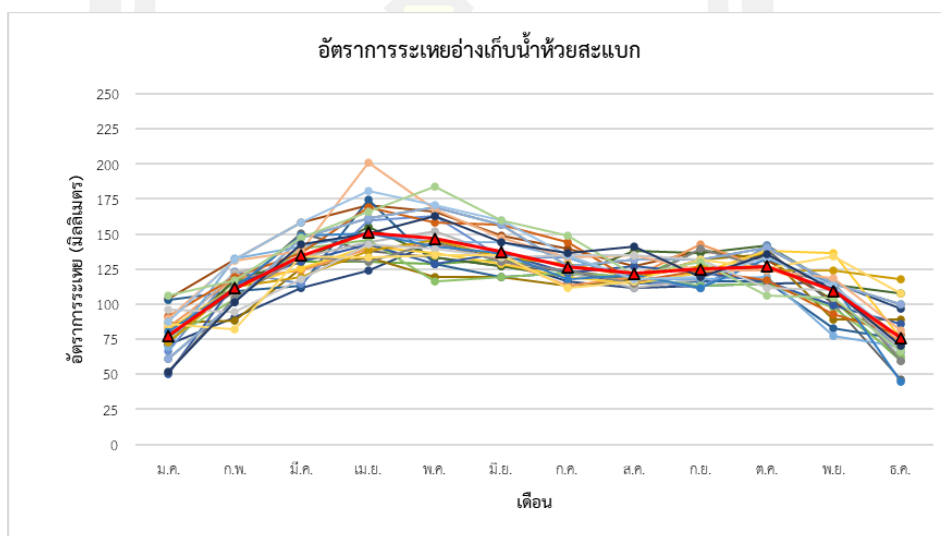
ตารางที่ 12 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2555	0.0851	-	-	0.1736	0.9958	0.2300	0.3478	0.8695	0.5292	0.3026	-	-
2556	-	-	0.0289	0.0303	0.5858	0.2611	0.6418	0.6276	0.7932	0.1962	-	0.0204
2557	-	-	0.0720	0.1381	0.3975	0.4469	0.6457	0.8580	1.0469	0.0933	-	-
2558	-	0.0354	0.0176	0.0258	0.0948	0.5860	0.5907	0.5940	0.5020	0.3214	-	-
2559	0.0470	-	-	0.1422	0.5699	0.6733	0.6801	0.8542	0.9041	0.3968	0.1302	-
2560	-	-	0.1308	0.0505	0.7798	0.4502	1.0870	0.6766	0.6528	0.8234	-	-
2561	-	-	0.0690	0.1903	0.6270	0.5016	0.7065	0.5171	0.5322	0.0906	0.0726	-
2562	-	-	-	0.0168	0.6705	0.2004	0.4338	1.3853	0.6455	0.0453	-	-
2563	-	-	0.1162	0.1617	0.3725	0.3851	0.6310	0.7134	0.5887	0.4321	-	-
2564	-	0.0151	0.0759	0.1057	0.4392	0.5665	0.4986	0.4449	0.9624	0.4163	-	-

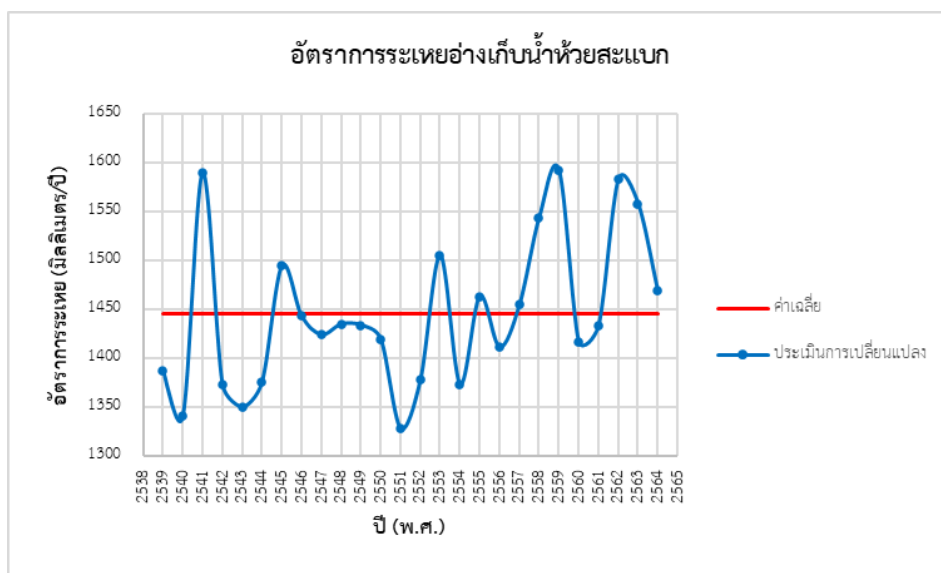
4.1.2 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

4.1.2.1 ประเมินอัตราการระเหย

ข้อมูลที่นำมาพิจารณาเพื่อประเมินอัตราการระเหย คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ดังแสดงในตาราง ผ-2 โดยอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก จะพิจารณาช่วงปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2564 จะได้ผลการประเมินอัตราการระเหย ดังตารางที่ 15 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างผลการประเมินอัตราการระเหยกับอัตราการระเหยของกรมอุตุนิยมวิทยา เท่ากับ 0.24 ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ที่ 0.6 แต่อย่างไรก็ตาม ในการประเมินอัตราการระเหยรายเดือน เพื่อพิสูจน์ว่าในแต่ละเดือนและในแต่ละปี อัตราการระเหยมีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 25 อัตราการระเหยรายเดือน อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก



ภาพที่ 26 อัตราการระเหยรายปี อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก



ตารางที่ 13 ผลการประเมินอัตราการระเหยของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก (มิลลิเมตร)

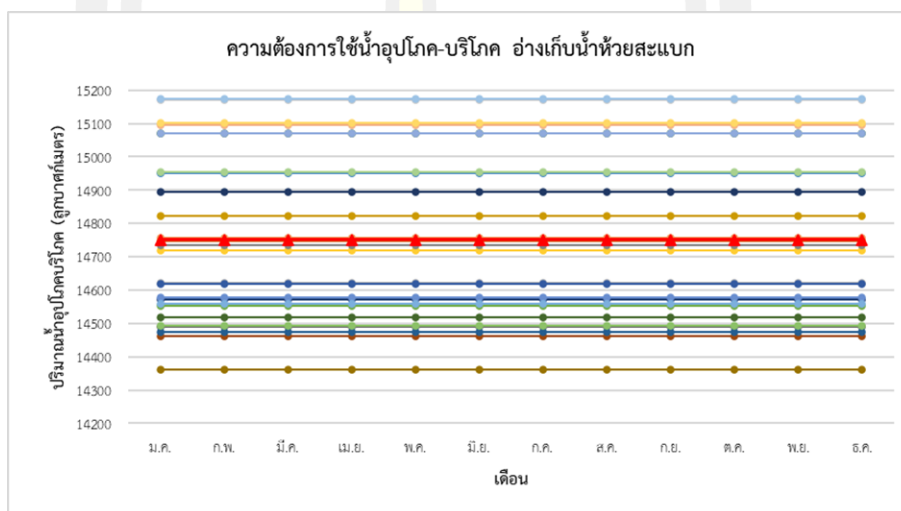
ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2539	75.556	115.869	130.425	130.425	128.846	132.000	122.502	117.713	139.108	131.626	103.057	59.792
2540	71.239	90.681	111.285	124.093	144.496	132.000	116.110	111.285	112.896	114.505	115.421	96.461
2541	103.817	132.030	158.325	170.413	165.902	149.133	139.833	127.265	138.307	132.030	102.115	69.727
2542	76.378	109.033	150.672	138.272	133.573	127.265	124.093	117.713	111.285	138.986	99.688	46.148
2543	86.677	88.017	125.680	133.573	119.312	119.312	112.896	117.713	132.000	135.651	89.373	89.373
2544	103.120	109.588	112.896	174.896	128.846	119.312	122.502	114.505	116.110	116.110	82.678	74.903
2545	71.832	117.702	130.425	155.273	133.573	127.265	119.312	138.265	136.293	142.271	114.222	107.490
2546	66.720	122.865	114.505	159.846	162.880	133.573	133.573	117.713	111.285	142.157	112.265	65.566
2547	83.228	118.448	124.093	139.833	142.945	132.000	112.896	119.312	142.624	125.537	110.004	73.013
2548	78.493	122.502	133.573	144.496	152.209	135.142	122.502	111.285	117.713	139.898	115.291	61.554
2549	82.093	112.503	125.680	141.390	136.709	128.846	119.312	114.505	122.502	138.260	136.288	75.555
2550	69.783	132.577	141.390	150.672	144.496	144.496	133.573	117.713	117.713	119.696	77.194	69.783
2551	73.942	103.676	139.338	146.045	116.110	119.312	122.502	119.312	112.896	114.505	97.721	62.713
2552	50.272	114.505	130.425	142.945	128.846	136.709	122.502	127.265	122.502	116.110	99.455	86.178
2553	91.487	119.312	136.709	168.912	158.325	156.800	144.496	116.110	124.093	116.900	93.038	78.394

ตาราง 13 (ต่อ)

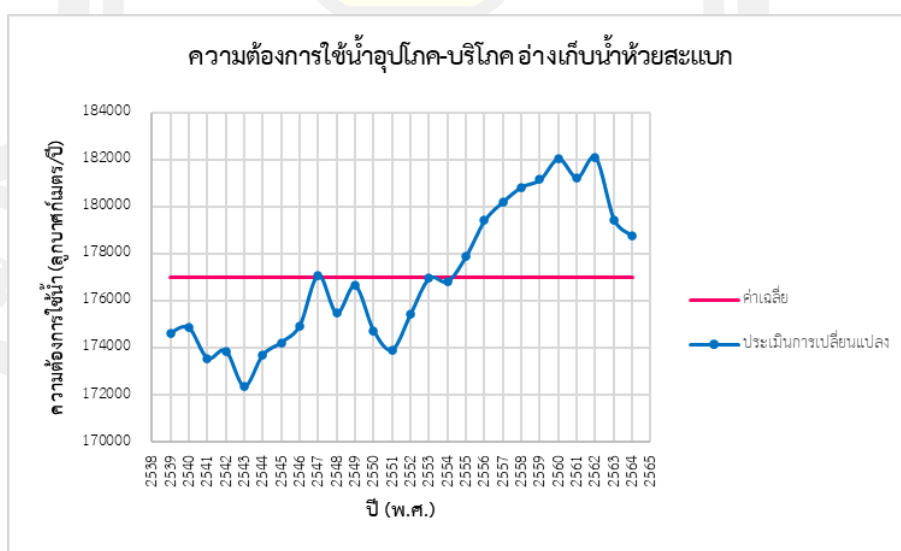
ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2554	51.776	104.287	134.050	130.425	144.496	130.425	124.093	114.505	139.545	125.239	115.226	59.436
2555	72.645	112.106	119.312	138.272	146.045	133.573	128.846	119.312	127.265	124.093	124.093	117.523
2556	80.700	111.285	149.133	150.672	141.390	136.709	117.713	120.909	111.285	132.384	114.178	44.851
2557	51.601	102.969	149.133	153.742	159.846	138.272	122.502	125.680	120.909	120.909	139.662	69.032
2558	60.961	101.845	147.590	161.365	168.912	156.800	127.265	132.000	132.000	140.302	114.505	100.160
2559	90.175	130.625	138.272	201.230	167.409	147.590	133.573	135.142	124.093	124.093	118.439	81.035
2560	95.851	94.333	117.713	142.945	139.833	133.573	135.142	135.142	132.000	111.285	110.336	68.752
2561	86.144	82.024	134.304	133.573	135.142	135.142	111.285	116.110	132.000	125.680	134.304	107.427
2562	87.385	132.000	158.325	180.832	170.413	159.846	135.142	117.713	119.312	132.963	112.966	75.701
2563	106.130	116.865	147.590	165.902	183.782	159.846	149.133	120.909	130.406	106.130	104.416	66.724
2564	51.947	101.634	142.945	150.672	162.880	144.496	136.709	141.390	119.312	135.768	109.912	70.597

4.1.2.2 ประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค

ข้อมูลที่น่ามาพิจารณาเพื่อประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค คือ จำนวนประชากรในพื้นที่ ประกอบไปด้วย บ้านหนองยางใต้ อำเภอโคกสำราญ บ้านป่าซ้าย บ้านหนองแคน บ้านโคกก่อง บ้านไร่สีสุก อำเภอปทุม จังหวัดยโสธร และบ้านไร่สีสุก อำเภอไร่สีสุก จังหวัดอำนาจเจริญ ดังตาราง ผ-7 ซึ่งจะพิจารณาจำนวนประชากรในช่วง ปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2564 กับ อัตราการใช้น้ำ และได้ผลการประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภคนั้นดังตารางที่ 16



ภาพที่ 27 ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค รายเดือน อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก



ภาพที่ 28 ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค รายปี อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

ตารางที่ 14 ผลการประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภคของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก (ลูกบาศก์เมตร)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2539	14,552.6	14,552.6	14,552.6	14,552.6	14,552.6	14,552.6	14,552.6	14,552.6	14,552.6	14,552.6	14,552.6	14,552.6
2540	14,571.2	14,571.2	14,571.2	14,571.2	14,571.2	14,571.2	14,571.2	14,571.2	14,571.2	14,571.2	14,571.2	14,571.2
2541	14,463.4	14,463.4	14,463.4	14,463.4	14,463.4	14,463.4	14,463.4	14,463.4	14,463.4	14,463.4	14,463.4	14,463.4
2542	14,489.4	14,489.4	14,489.4	14,489.4	14,489.4	14,489.4	14,489.4	14,489.4	14,489.4	14,489.4	14,489.4	14,489.4
2543	14,362.9	14,362.9	14,362.9	14,362.9	14,362.9	14,362.9	14,362.9	14,362.9	14,362.9	14,362.9	14,362.9	14,362.9
2544	14,474.5	14,474.5	14,474.5	14,474.5	14,474.5	14,474.5	14,474.5	14,474.5	14,474.5	14,474.5	14,474.5	14,474.5
2545	14,519.2	14,519.2	14,519.2	14,519.2	14,519.2	14,519.2	14,519.2	14,519.2	14,519.2	14,519.2	14,519.2	14,519.2
2546	14,578.7	14,578.7	14,578.7	14,578.7	14,578.7	14,578.7	14,578.7	14,578.7	14,578.7	14,578.7	14,578.7	14,578.7
2547	14,757.2	14,757.2	14,757.2	14,757.2	14,757.2	14,757.2	14,757.2	14,757.2	14,757.2	14,757.2	14,757.2	14,757.2
2548	14,623.3	14,623.3	14,623.3	14,623.3	14,623.3	14,623.3	14,623.3	14,623.3	14,623.3	14,623.3	14,623.3	14,623.3

ตารางที่ 14 (ต่อ)

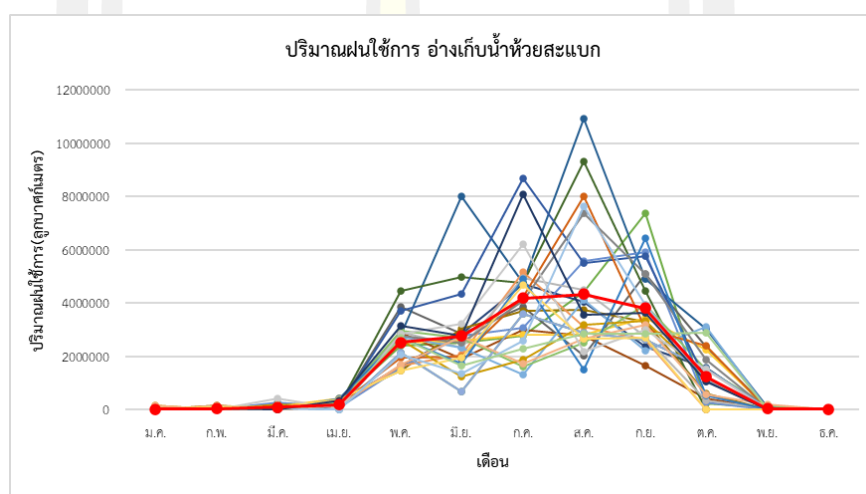
ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2549	14,720.0	14,720.0	14,720.0	14,720.0	14,720.0	14,720.0	14,720.0	14,720.0	14,720.0	14,720.0	14,720.0	14,720.0
2550	14,560.1	14,560.1	14,560.1	14,560.1	14,560.1	14,560.1	14,560.1	14,560.1	14,560.1	14,560.1	14,560.1	14,560.1
2551	14,493.1	14,493.1	14,493.1	14,493.1	14,493.1	14,493.1	14,493.1	14,493.1	14,493.1	14,493.1	14,493.1	14,493.1
2552	14,619.6	14,619.6	14,619.6	14,619.6	14,619.6	14,619.6	14,619.6	14,619.6	14,619.6	14,619.6	14,619.6	14,619.6
2553	14,746.1	14,746.1	14,746.1	14,746.1	14,746.1	14,746.1	14,746.1	14,746.1	14,746.1	14,746.1	14,746.1	14,746.1
2554	14,734.9	14,734.9	14,734.9	14,734.9	14,734.9	14,734.9	14,734.9	14,734.9	14,734.9	14,734.9	14,734.9	14,734.9
2555	14,824.2	14,824.2	14,824.2	14,824.2	14,824.2	14,824.2	14,824.2	14,824.2	14,824.2	14,824.2	14,824.2	14,824.2
2556	14,950.7	14,950.7	14,950.7	14,950.7	14,950.7	14,950.7	14,950.7	14,950.7	14,950.7	14,950.7	14,950.7	14,950.7
2557	15,017.6	15,017.6	15,017.6	15,017.6	15,017.6	15,017.6	15,017.6	15,017.6	15,017.6	15,017.6	15,017.6	15,017.6
2558	15,069.7	15,069.7	15,069.7	15,069.7	15,069.7	15,069.7	15,069.7	15,069.7	15,069.7	15,069.7	15,069.7	15,069.7

ตารางที่ 14 (ต่อ)

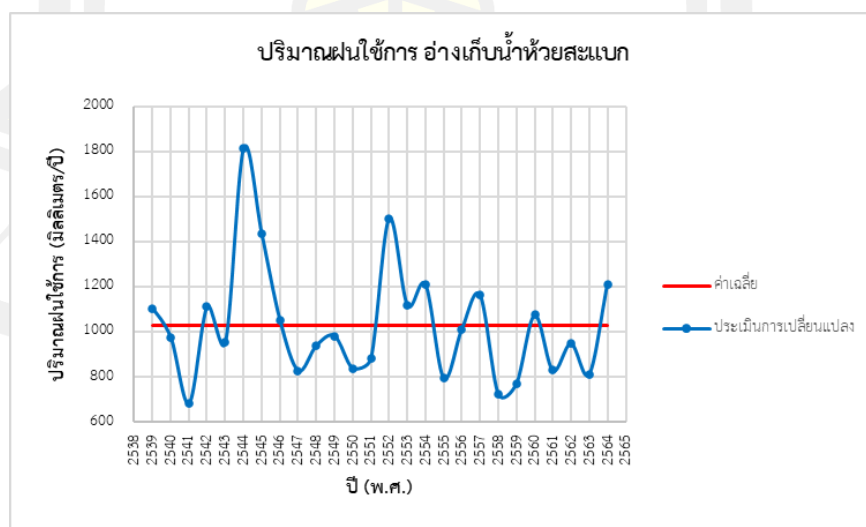
ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2559	15,095.8	15,095.8	15,095.8	15,095.8	15,095.8	15,095.8	15,095.8	15,095.8	15,095.8	15,095.8	15,095.8	15,095.8
2560	15,170.2	15,170.2	15,170.2	15,170.2	15,170.2	15,170.2	15,170.2	15,170.2	15,170.2	15,170.2	15,170.2	15,170.2
2561	15,103.2	15,103.2	15,103.2	15,103.2	15,103.2	15,103.2	15,103.2	15,103.2	15,103.2	15,103.2	15,103.2	15,103.2
2562	15,173.9	15,173.9	15,173.9	15,173.9	15,173.9	15,173.9	15,173.9	15,173.9	15,173.9	15,173.9	15,173.9	15,173.9
2563	14,954.4	14,954.4	14,954.4	14,954.4	14,954.4	14,954.4	14,954.4	14,954.4	14,954.4	14,954.4	14,954.4	14,954.4
2564	14,894.9	14,894.9	14,894.9	14,894.9	14,894.9	14,894.9	14,894.9	14,894.9	14,894.9	14,894.9	14,894.9	14,894.9

4.1.2.3 ประเมินปริมาณฝนใช้การ

ข้อมูลที่น่ามาพิจารณาเพื่อประเมินปริมาณฝนใช้การ คือ ปริมาณน้ำฝน ดังตาราง ผ-5 นำมาพิจารณากับตารางที่ 2 และพื้นที่ชลประทาน ซึ่งอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน มีพื้นที่ชลประทาน 12,672 ไร่ โดยจะพิจารณาจำนวนประชากรในช่วง ปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2564 จะได้ผลการประเมินปริมาณฝนใช้การดังตารางที่ 17 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างวิธีที่ใช้ในการดำเนินการศึกษากับวิธี Dependable Rainfall และวิธี Fixed percentage of rainfall (80%) เท่ากับ 0.97 และ 0.99 ตามลำดับ



ภาพที่ 29 ปริมาณฝนใช้การรายเดือน อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก



ภาพที่ 30 ปริมาณฝนใช้การรายปี อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

ตารางที่ 15 ผลการประเมินปริมาณฝนใช้การของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก (ล้านลูกบาศก์เมตร)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2539	-	-	0.0773	0.2845	2.3844	2.5022	2.7633	4.4291	7.3548	0.2368	0.0694	-
2540	-	0.1190	0.0545	0.2355	1.6350	2.8447	4.6968	4.0429	2.3617	1.5725	-	-
2541	-	0.0371	-	0.1226	2.8819	1.9018	2.9930	2.7832	1.6435	0.4233	0.0335	-
2542	-	-	0.2355	0.1324	3.8422	2.8559	3.8513	2.0267	5.1033	2.3673	0.0323	-
2543	-	0.1546	-	0.4057	1.4505	3.0466	3.7195	3.7438	3.2729	0.5855	-	-
2544	0.0471	-	0.1823	0.0653	2.8191	7.9945	4.7555	10.9324	4.9076	3.0401	0.0712	-
2545	-	-	0.0415	0.1382	4.4372	4.9857	4.7545	9.3215	4.4474	-	-	-
2546	-	-	0.2475	0.0911	1.5697	2.7846	3.0655	5.5737	5.9173	0.2628	-	-
2547	-	0.1672	0.0317	0.1485	1.6520	2.0721	5.1529	3.1021	2.6204	-	-	-
2548	-	-	-	0.1756	2.9038	2.3177	4.9482	4.4910	2.7372	0.3536	0.0289	-

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2549	-	-	0.1037	0.4205	2.5206	2.5900	2.8068	2.8001	3.4265	2.2524	0.0307	-
2550	-	0.0950	0.0978	-	2.7250	2.3049	1.3025	4.1290	2.2169	3.0889	-	-
2551	-	-	-	0.2899	2.9440	2.6812	1.6023	2.5121	3.9314	1.4831	0.1418	-
2552	-	-	0.1188	0.1024	3.7124	4.3480	8.6626	5.4986	5.7734	1.0868	-	-
2553	-	-	-	0.1741	1.9515	1.9856	4.2375	7.9925	3.0255	2.3844	-	-
2554	-	-	-	0.1472	2.7505	2.4979	4.0652	7.3498	5.0688	1.8592	-	-
2555	0.1347	-	0.1741	0.1188	2.5997	1.2490	1.8649	3.1848	3.3403	1.1630	-	-
2556	-	-	-	0.4140	2.6767	1.7145	4.8813	1.4874	6.4262	0.5109	-	0.0343
2557	-	-	-	0.0666	1.7826	4.8579	9.6135	2.8722	3.7124	0.3195	-	-
2558	-	0.0668	0.0788	-	2.1303	0.6683	3.5948	2.8715	2.6100	1.5498	0.0538	-

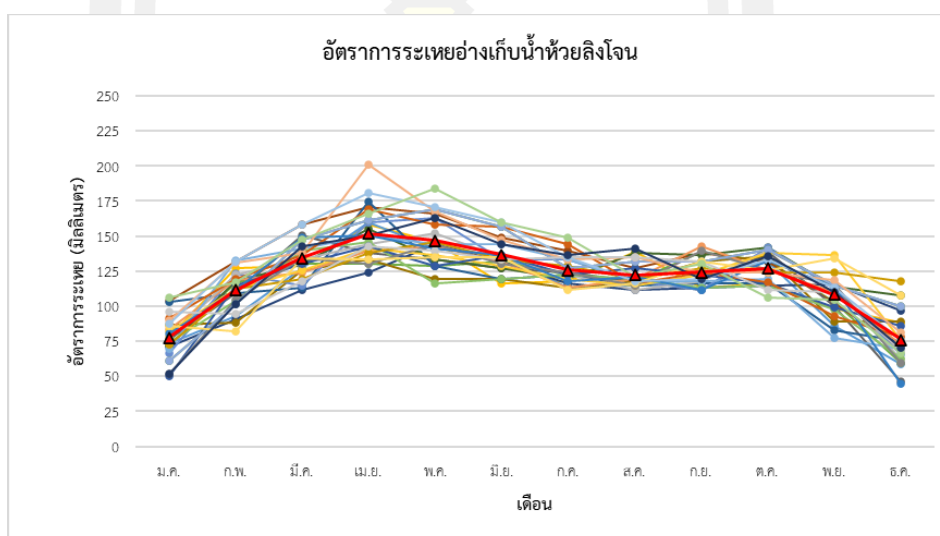
ตารางที่ 15 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2559	0.1615	-	-	0.1380	1.6847	2.7262	1.7216	2.6617	3.1639	0.5791	0.1884	-
2560	-	-	0.4220	0.0358	2.8503	3.2045	6.1931	2.1743	2.9792	1.4846	-	-
2561	-	0.0952	0.0850	0.3575	1.4501	1.9274	4.6653	2.6508	2.7094	-	-	-
2562	-	-	0.0353	-	2.0735	1.3544	2.5987	7.6326	3.9101	1.1760	0.0397	-
2563	-	-	0.0376	0.1705	2.7009	1.6350	2.2751	2.8357	2.8393	2.8659	-	-
2564	-	0.0379	-	0.3351	3.1335	2.7615	8.0695	3.5380	3.6424	1.0478	-	-

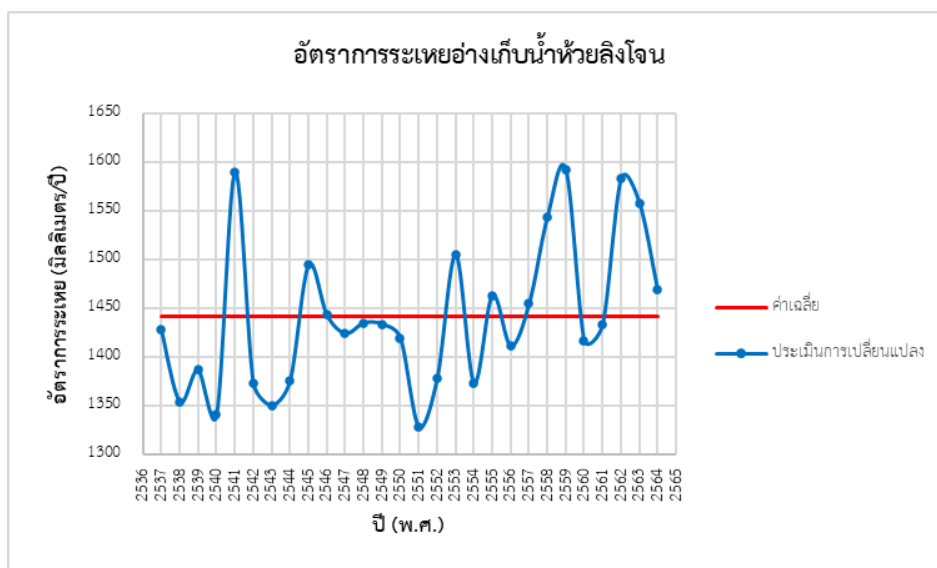
4.1.3 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

4.1.3.1 ประเมินอัตราการระเหย

ข้อมูลที่นำมาพิจารณาเพื่อประเมินอัตราการระเหย คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ดังแสดงในตาราง ผ-2 โดยอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จะพิจารณาช่วงปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 - พ.ศ. 2564 จะได้ผลการประเมินอัตราการระเหย ดังตารางที่ 18 และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างผลการประเมินอัตราการระเหยกับอัตราการระเหยของกรมอุตุนิยมวิทยา เท่ากับ 0.24 ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ที่ 0.6 แต่อย่างไรก็ตาม ในการประเมินอัตราการระเหยรายเดือน เพื่อพิสูจน์ว่าในแต่ละเดือนและในแต่ละปี อัตราการระเหยมีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 31 อัตราการระเหยรายเดือน อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน



ภาพที่ 32 อัตราการระเหยรายปี อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน



ตารางที่ 16 ผลการประเมินอัตราการระเหยของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน (มิลลิเมตร)

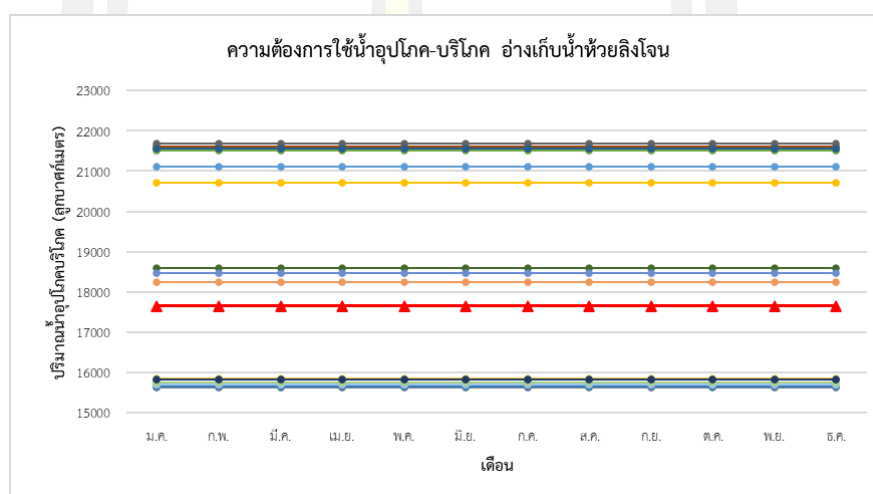
ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2537	77.77	127.24	128.85	158.32	146.04	116.11	117.71	138.61	112.90	116.57	98.74	88.50
2538	73.11	92.70	127.26	159.85	141.39	136.71	112.90	114.50	119.31	131.62	85.79	58.74
2539	75.56	115.87	130.42	130.42	128.85	132.00	122.50	117.71	139.11	131.63	103.06	59.79
2540	71.24	90.68	111.28	124.09	144.50	132.00	116.11	111.28	112.90	114.50	115.42	96.46
2541	103.82	132.03	158.32	170.41	165.90	149.13	139.83	127.26	138.31	132.03	102.11	69.73
2542	76.38	109.03	150.67	138.27	133.57	127.26	124.09	117.71	111.28	138.99	99.69	46.15
2543	86.68	88.02	125.68	133.57	119.31	119.31	112.90	117.71	132.00	135.65	89.37	89.37
2544	103.12	109.59	112.90	174.90	128.85	119.31	122.50	114.50	116.11	116.11	82.68	74.90
2545	71.83	117.70	130.42	155.27	133.57	127.26	119.31	138.26	136.29	142.27	114.22	107.49
2546	66.72	122.87	114.50	159.85	162.88	133.57	133.57	117.71	111.28	142.16	112.27	65.57
2547	83.23	118.45	124.09	139.83	142.94	132.00	112.90	119.31	142.62	125.54	110.00	73.01
2548	78.49	122.50	133.57	144.50	152.21	135.14	122.50	111.28	117.71	139.90	115.29	61.55
2549	82.09	112.50	125.68	141.39	136.71	128.85	119.31	114.50	122.50	138.26	136.29	75.56
2550	69.78	132.58	141.39	150.67	144.50	144.50	133.57	117.71	117.71	119.70	77.19	69.78
2551	73.94	103.68	139.34	146.04	116.11	119.31	122.50	119.31	112.90	114.50	97.72	62.71

ตารางที่ 16 (ต่อ)

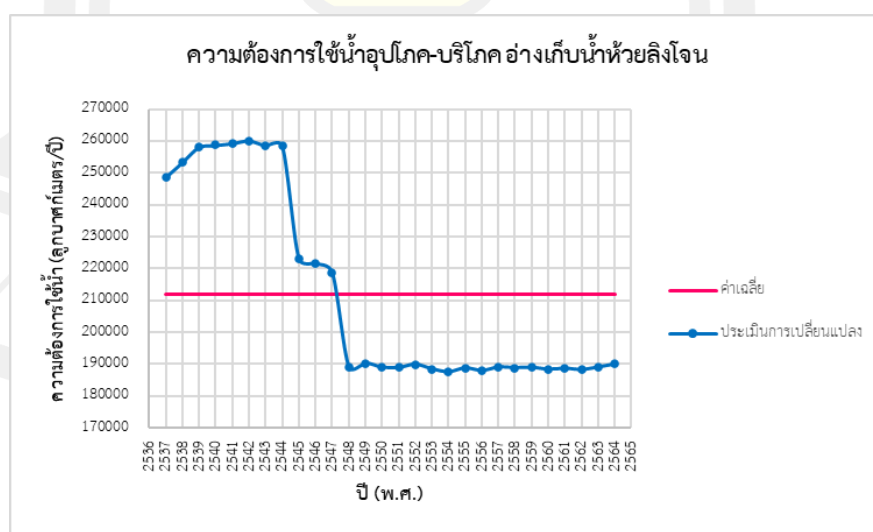
ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2552	50.27	114.50	130.42	142.94	128.85	136.71	122.50	127.26	122.50	116.11	99.46	86.18
2553	91.49	119.31	136.71	168.91	158.32	156.80	144.50	116.11	124.09	116.90	93.04	78.39
2554	51.78	104.29	134.05	130.42	144.50	130.42	124.09	114.50	139.55	125.24	115.23	59.44
2555	72.65	112.11	119.31	138.27	146.04	133.57	128.85	119.31	127.26	124.09	124.09	117.52
2556	80.70	111.28	149.13	150.67	141.39	136.71	117.71	120.91	111.28	132.38	114.18	44.85
2557	51.60	102.97	149.13	153.74	159.85	138.27	122.50	125.68	120.91	120.91	139.66	69.03
2558	60.96	101.85	147.59	161.36	168.91	156.80	127.26	132.00	132.00	140.30	114.50	100.16
2559	90.18	130.63	138.27	201.23	167.41	147.59	133.57	135.14	124.09	124.09	118.44	81.03
2560	95.85	94.33	117.71	142.94	139.83	133.57	135.14	135.14	132.00	111.28	110.34	68.75
2561	86.14	82.02	134.30	133.57	135.14	135.14	111.28	116.11	132.00	125.68	134.30	107.43
2562	87.39	132.00	158.32	180.83	170.41	159.85	135.14	117.71	119.31	132.96	112.97	75.70
2563	106.13	116.87	147.59	165.90	183.78	159.85	149.13	120.91	130.41	106.13	104.42	66.72
2564	51.95	101.63	142.94	150.67	162.88	144.50	136.71	141.39	119.31	135.77	109.91	70.60

4.1.3.2 ประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค

ข้อมูลที่น่ามาพิจารณาเพื่อประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค คือ จำนวนประชากรในพื้นที่ ประกอบไปด้วย บ้านห้องแซง บ้านโพธิ์ทอง ตำบลห้องแซง บ้านไทยเจริญ บ้านแสงสุวรรณ บ้านนาเซ บ้านนาจาน บ้านโคกวิไลและบ้านห้วย ตำบลสามัคคี จังหวัดยโสธร ดังตารางผ-7 ซึ่งจะพิจารณาจำนวนประชากรในช่วง ปี พ.ศ. 2537 - พ.ศ. 2564 กับอัตราการใช้น้ำ และจะได้ผลการประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภคดีังตารางที่ 19



ภาพที่ 33 ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค รายเดือน อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน



ภาพที่ 34 ความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภค รายปี อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

ตารางที่ 17 ผลการประเมินความต้องการใช้น้ำอุปโภค-บริโภคของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน (ลูกบาศก์เมตร)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2537	20,724.1	20,724.1	20,724.1	20,724.1	20,724.1	20,724.1	20,724.1	20,724.1	20,724.1	20,724.1	20,724.1	20,724.1
2538	21,111.0	21,111.0	21,111.0	21,111.0	21,111.0	21,111.0	21,111.0	21,111.0	21,111.0	21,111.0	21,111.0	21,111.0
2539	21,512.8	21,512.8	21,512.8	21,512.8	21,512.8	21,512.8	21,512.8	21,512.8	21,512.8	21,512.8	21,512.8	21,512.8
2540	21,564.8	21,564.8	21,564.8	21,564.8	21,564.8	21,564.8	21,564.8	21,564.8	21,564.8	21,564.8	21,564.8	21,564.8
2541	21,613.2	21,613.2	21,613.2	21,613.2	21,613.2	21,613.2	21,613.2	21,613.2	21,613.2	21,613.2	21,613.2	21,613.2
2542	21,683.9	21,683.9	21,683.9	21,683.9	21,683.9	21,683.9	21,683.9	21,683.9	21,683.9	21,683.9	21,683.9	21,683.9
2543	21,561.1	21,561.1	21,561.1	21,561.1	21,561.1	21,561.1	21,561.1	21,561.1	21,561.1	21,561.1	21,561.1	21,561.1
2544	21,550.0	21,550.0	21,550.0	21,550.0	21,550.0	21,550.0	21,550.0	21,550.0	21,550.0	21,550.0	21,550.0	21,550.0
2545	18,596.3	18,596.3	18,596.3	18,596.3	18,596.3	18,596.3	18,596.3	18,596.3	18,596.3	18,596.3	18,596.3	18,596.3
2546	18,469.8	18,469.8	18,469.8	18,469.8	18,469.8	18,469.8	18,469.8	18,469.8	18,469.8	18,469.8	18,469.8	18,469.8

ตารางที่ 17 (ต่อ)

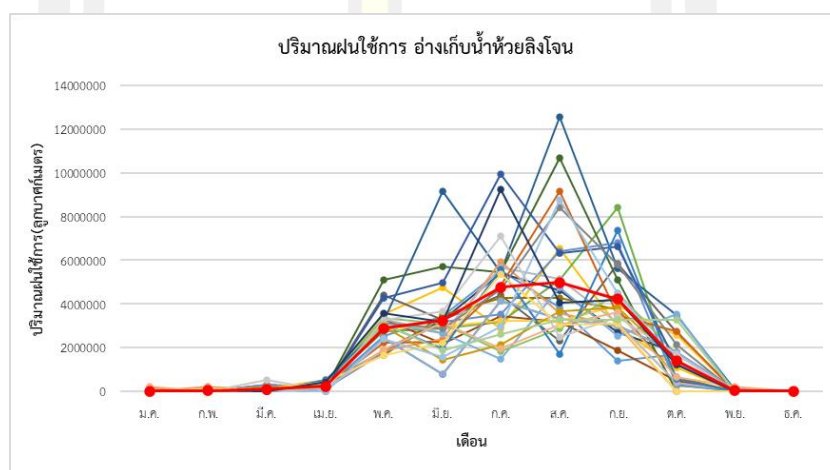
ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2547	18,235.4	18,235.4	18,235.4	18,235.4	18,235.4	18,235.4	18,235.4	18,235.4	18,235.4	18,235.4	18,235.4	18,235.4
2548	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9
2549	15,858.4	15,858.4	15,858.4	15,858.4	15,858.4	15,858.4	15,858.4	15,858.4	15,858.4	15,858.4	15,858.4	15,858.4
2550	15,750.5	15,750.5	15,750.5	15,750.5	15,750.5	15,750.5	15,750.5	15,750.5	15,750.5	15,750.5	15,750.5	15,750.5
2551	15,743.0	15,743.0	15,743.0	15,743.0	15,743.0	15,743.0	15,743.0	15,743.0	15,743.0	15,743.0	15,743.0	15,743.0
2552	15,828.6	15,828.6	15,828.6	15,828.6	15,828.6	15,828.6	15,828.6	15,828.6	15,828.6	15,828.6	15,828.6	15,828.6
2553	15,705.8	15,705.8	15,705.8	15,705.8	15,705.8	15,705.8	15,705.8	15,705.8	15,705.8	15,705.8	15,705.8	15,705.8
2554	15,631.4	15,631.4	15,631.4	15,631.4	15,631.4	15,631.4	15,631.4	15,631.4	15,631.4	15,631.4	15,631.4	15,631.4
2555	15,731.9	15,731.9	15,731.9	15,731.9	15,731.9	15,731.9	15,731.9	15,731.9	15,731.9	15,731.9	15,731.9	15,731.9
2556	15,664.9	15,664.9	15,664.9	15,664.9	15,664.9	15,664.9	15,664.9	15,664.9	15,664.9	15,664.9	15,664.9	15,664.9

ตารางที่ 17 (ต่อ)

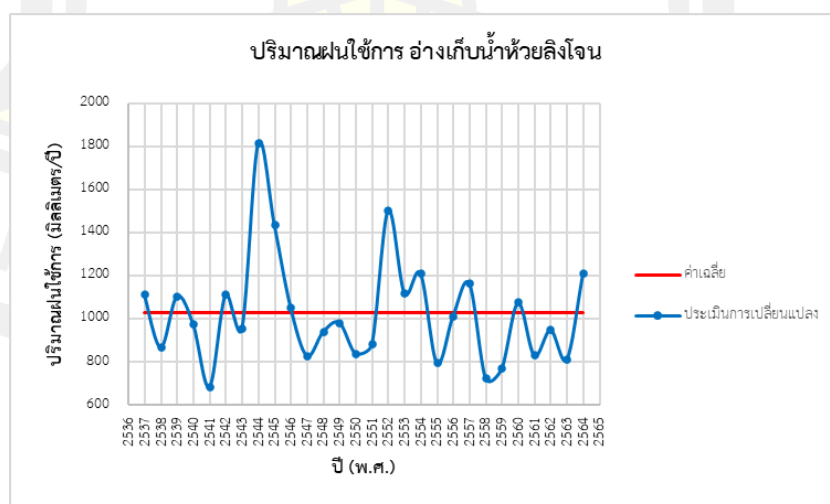
ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2557	15,754.2	15,754.2	15,754.2	15,754.2	15,754.2	15,754.2	15,754.2	15,754.2	15,754.2	15,754.2	15,754.2	15,754.2
2558	15,739.3	15,739.3	15,739.3	15,739.3	15,739.3	15,739.3	15,739.3	15,739.3	15,739.3	15,739.3	15,739.3	15,739.3
2559	15,746.8	15,746.8	15,746.8	15,746.8	15,746.8	15,746.8	15,746.8	15,746.8	15,746.8	15,746.8	15,746.8	15,746.8
2560	15,698.4	15,698.4	15,698.4	15,698.4	15,698.4	15,698.4	15,698.4	15,698.4	15,698.4	15,698.4	15,698.4	15,698.4
2561	15,720.7	15,720.7	15,720.7	15,720.7	15,720.7	15,720.7	15,720.7	15,720.7	15,720.7	15,720.7	15,720.7	15,720.7
2562	15,691.0	15,691.0	15,691.0	15,691.0	15,691.0	15,691.0	15,691.0	15,691.0	15,691.0	15,691.0	15,691.0	15,691.0
2563	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9	15,757.9
2564	15,836.0	15,836.0	15,836.0	15,836.0	15,836.0	15,836.0	15,836.0	15,836.0	15,836.0	15,836.0	15,836.0	15,836.0

4.1.3.3 ประเมินปริมาณฝนใช้การ

ข้อมูลที่นำมาพิจารณาเพื่อประเมินปริมาณฝนใช้การ คือ ปริมาณน้ำฝน ดังตาราง ผ-5 นำมาพิจารณากับตารางที่ 2 และพื้นที่ชลประทาน ซึ่งอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน มีพื้นที่ชลประทาน 14,544 ไร่ โดยจะพิจารณาจำนวนประชากรในช่วง ปี พ.ศ. 2537 - พ.ศ. 2564 และจะได้ผลการประเมินปริมาณฝนใช้การดังตารางที่ 20 และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างวิธีที่ใช้ในการดำเนินการศึกษากับวิธี Dependable Rainfall และวิธี Fixed percentage of rainfall (80%) เท่ากับ 0.97 และ 0.99 ตามลำดับ



ภาพที่ 35 ปริมาณฝนใช้การรายเดือน อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน



ภาพที่ 36 ปริมาณฝนใช้การรายปี อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

ตารางที่ 18 ผลการประเมินปริมาณฝนใช้การของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน (ลำนลูกบาศก์เมตร)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2537	-	0.1638	0.1942	0.3492	3.5324	4.7355	2.8958	6.5611	2.9500	1.0797	-	-
2538	-	0.0781	0.0403	0.1738	2.5314	3.4501	5.5360	3.8409	1.4074	1.6941	-	-
2539	-	-	0.0966	0.3556	2.7366	2.8718	3.1715	5.0834	8.4413	0.2718	0.0867	-
2540	-	0.1488	0.0682	0.2944	1.8765	3.2650	5.3906	4.6401	2.7105	1.8049	-	-
2541	-	0.0464	-	0.1533	3.3077	2.1828	3.4352	3.1943	1.8863	0.4859	0.0419	-
2542	-	-	0.2944	0.1654	4.4097	3.2778	4.4202	2.3261	5.8572	2.7171	0.0403	-
2543	-	0.1933	-	0.5071	1.6648	3.4966	4.2690	4.2969	3.7564	0.6720	-	-
2544	0.0589	-	0.2278	0.0816	3.2355	9.1755	5.4581	12.5474	5.6326	3.4892	0.0890	-
2545	-	-	0.0518	0.1728	5.0927	5.7222	5.4569	10.6986	5.1044	-	-	-
2546	-	-	0.3094	0.1139	1.8016	3.1960	3.5184	6.3970	6.7915	0.3016	-	-

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2547	-	0.2090	0.0397	0.1856	1.8961	2.3782	5.9142	3.5604	3.0075	-	-	-
2548	-	-	-	0.2195	3.3328	2.6600	5.6791	5.1544	3.1415	0.4058	0.0362	-
2549	-	-	0.1296	0.5256	2.8930	2.9726	3.2214	3.2138	3.9327	2.5851	0.0384	-
2550	-	0.1187	0.1222	-	3.1275	2.6454	1.4949	4.7390	2.5444	3.5452	-	-
2551	-	-	-	0.3623	3.3789	3.0773	1.8391	2.8832	4.5121	1.7022	0.1773	-
2552	-	-	0.1485	0.1280	4.2608	4.9903	9.9423	6.3109	6.6262	1.2473	-	-
2553	-	-	-	0.2176	2.2398	2.2789	4.8635	9.1732	3.4724	2.7366	-	-
2554	-	-	-	0.1840	3.1569	2.8669	4.6657	8.4355	5.8176	2.1339	-	-
2555	0.1683	-	0.2176	0.1485	2.9837	1.4335	2.1404	3.6553	3.8338	1.3348	-	-
2556	-	-	-	0.5174	3.0722	1.9677	5.6023	1.7071	7.3756	0.5864	-	0.0429

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2557	-	-	-	0.0832	2.0459	5.5756	11.0337	3.2965	4.2608	0.3667	-	-
2558	-	0.0835	0.0986	-	2.4450	0.7670	4.1258	3.2957	2.9956	1.7788	0.0672	-
2559	0.2019	-	-	0.1725	1.9335	3.1289	1.9759	3.0549	3.6313	0.6646	0.2355	-
2560	-	-	0.5275	0.0448	3.2714	3.6779	7.1079	2.4955	3.4194	1.7039	-	-
2561	-	0.1190	0.1062	0.4469	1.6643	2.2121	5.3545	3.0424	3.1096	-	-	-
2562	-	-	0.0442	-	2.3799	1.5545	2.9826	8.7601	4.4877	1.3497	0.0496	-
2563	-	-	0.0470	0.2131	3.0998	1.8765	2.6112	3.2546	3.2588	3.2893	-	-
2564	-	0.0474	-	0.4189	3.5964	3.1694	9.2616	4.0607	4.1805	1.2026	-	-

4.2 ผลการศึกษาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่พัฒนาโดยเทคนิค Harmony Search Algorithm

โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมที่พัฒนาจากเทคนิค Harmony Search Algorithm เชื่อมกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำและค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมจากเทคนิค Genetic Algorithm เพื่อนำมาเปรียบเทียบ โดยใช้ข้อมูลรายเดือนในอดีต ซึ่งแบ่งเป็นการใช้ค่าเฉลี่ยและการประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล มีรายละเอียดในการค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสม ดังนี้

4.2.1 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน

การค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน โดยใช้ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีตจำนวน 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ.2535 - พ.ศ.2564 โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ปริมาณเฉลี่ยการไหลล้นน้อยที่สุด

4.2.1.1 การค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยใช้ค่าเฉลี่ย

การค้นหาโค้งควบคุมโดยใช้ข้อมูลเฉลี่ย โดยใช้ข้อมูลประกอบไปด้วย ปริมาณฝนใช้การ อัตราการระเหย ปริมาณน้ำฝน และความต้องการด้านต่างๆ ซึ่งทำการค้นหาโค้งควบคุมเป็นจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 21 และ 22 แล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อนำไปประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์

4.2.1.2 การค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยการประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

การค้นหาโค้งควบคุมโดยการประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล จะประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ประกอบไปด้วย อัตราการระเหย ความต้องการด้านอุปโภค-บริโภค และ ปริมาณฝนใช้การ ร่วมกับการใช้ข้อมูลเฉลี่ย ประกอบไปด้วย ปริมาณน้ำฝน และความต้องการด้านอื่นๆ ซึ่งทำการค้นหาโค้งควบคุมเป็นจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 23 และ 24 แล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อนำไปประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์

ตารางที่ 19 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน โดยเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย
(ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด)

โค้งควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curves)	มกราคม	9.13	8.71	8.61	8.67	8.57	8.70	8.94	9.16	9.07	8.68	8.82
	กุมภาพันธ์	8.41	8.66	7.94	8.43	8.65	8.19	8.70	8.15	8.72	8.77	8.46
	มีนาคม	7.76	8.16	8.17	7.88	7.81	8.28	7.86	7.90	7.83	7.73	7.94
	เมษายน	7.56	7.44	7.51	7.28	7.25	7.64	7.38	7.65	7.34	7.47	7.45
	พฤษภาคม	5.07	5.07	5.08	5.07	5.10	5.08	5.07	5.08	5.07	5.08	5.08
	มิถุนายน	4.96	4.95	4.97	4.95	4.95	4.97	4.96	4.97	4.95	4.97	4.96
	กรกฎาคม	5.07	5.07	5.15	5.12	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.08
	สิงหาคม	6.94	6.93	6.90	6.94	6.95	6.95	6.41	6.89	6.94	6.95	6.88
	กันยายน	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94
	ตุลาคม	9.51	9.51	9.51	9.51	9.35	9.44	9.51	9.51	9.51	9.51	9.49
	พฤศจิกายน	9.51	9.50	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51
	ธันวาคม	9.23	9.21	9.22	9.23	9.18	9.19	9.24	9.24	9.21	9.22	9.22

ตารางที่ 19 (ต่อ)

โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curves)	มกราคม	3.81	3.51	3.79	3.66	3.50	3.45	3.87	3.55	3.56	3.49	3.62
	กุมภาพันธ์	3.29	3.31	3.41	3.09	3.30	3.09	3.16	3.10	3.33	3.28	3.24
	มีนาคม	2.67	2.53	2.71	2.79	2.61	2.89	2.87	2.80	2.84	2.88	2.76
	เมษายน	2.69	2.55	2.36	2.36	2.32	2.39	2.61	2.69	2.33	2.45	2.48
	พฤษภาคม	2.69	2.67	2.80	2.49	2.68	2.65	2.40	2.50	2.78	2.72	2.64
	มิถุนายน	2.67	2.44	2.58	2.66	2.36	2.55	2.38	2.72	2.57	2.38	2.53
	กรกฎาคม	2.33	2.43	2.32	2.46	2.69	2.55	2.57	2.38	2.40	2.42	2.46
	สิงหาคม	2.80	2.79	2.69	2.62	2.69	2.68	2.64	2.68	2.77	2.71	2.71
	กันยายน	3.11	3.38	3.46	3.47	3.14	3.14	3.53	3.34	3.52	3.21	3.33
	ตุลาคม	4.12	3.86	3.86	4.08	3.82	4.04	3.76	3.82	3.75	3.94	3.91
	พฤศจิกายน	4.16	4.12	4.23	4.30	4.19	4.14	4.23	4.19	4.60	4.52	4.27
	ธันวาคม	3.83	3.85	3.79	4.18	4.02	3.92	4.17	4.04	3.91	3.84	3.96

ตารางที่ 20 ผลการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน โดยเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด)

โค้งควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curves)	มกราคม	8.55	8.55	7.64	8.95	9.05	8.99	8.66	8.51	8.67	8.78	8.64
	กุมภาพันธ์	8.64	8.63	8.52	8.09	8.62	8.75	8.57	8.02	8.62	8.66	8.51
	มีนาคม	7.65	7.07	8.00	8.13	8.17	8.19	8.11	8.06	7.92	7.83	7.91
	เมษายน	7.45	7.04	7.07	7.57	7.64	7.40	7.16	7.13	7.46	7.57	7.35
	พฤษภาคม	5.07	6.24	5.09	5.08	5.07	5.08	5.09	5.07	5.07	5.33	5.22
	มิถุนายน	4.96	5.37	4.96	4.95	4.96	5.74	4.95	4.97	4.95	6.37	5.22
	กรกฎาคม	5.17	5.08	5.10	5.07	5.14	5.10	5.10	5.08	5.07	5.08	5.10
	สิงหาคม	6.74	6.92	6.60	6.55	6.76	6.58	6.59	6.54	6.57	6.58	6.64
	กันยายน	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.60	7.94	6.38	7.94	7.94	7.75
	ตุลาคม	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51
	พฤศจิกายน	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51
	ธันวาคม	9.23	9.23	9.05	9.23	9.22	9.23	9.20	9.18	9.24	9.24	9.21

ตารางที่ 20 (ต่อ)

โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมต่ำ (Lower Rule Curves)	มกราคม	3.55	3.55	3.62	3.71	3.72	3.78	3.76	3.84	3.48	3.42	3.64
	กุมภาพันธ์	3.26	3.03	3.11	3.22	3.19	3.38	3.34	3.25	3.34	3.39	3.25
	มีนาคม	2.57	2.49	2.91	2.60	2.86	2.57	2.71	2.76	2.86	2.64	2.70
	เมษายน	2.28	2.77	2.34	2.59	2.29	2.35	2.48	2.71	2.71	2.49	2.50
	พฤษภาคม	2.66	2.75	2.41	2.75	2.59	2.36	2.54	2.33	2.78	2.47	2.56
	มิถุนายน	2.50	2.63	2.47	2.63	2.30	2.69	2.72	2.72	2.48	2.63	2.58
	กรกฎาคม	2.68	2.50	2.45	2.31	2.65	2.59	2.49	2.47	2.40	2.52	2.51
	สิงหาคม	2.60	2.60	2.77	3.06	2.69	2.76	2.98	3.04	2.68	3.05	2.82
	กันยายน	3.58	3.43	3.44	3.20	3.41	3.32	3.51	3.49	3.56	3.58	3.45
	ตุลาคม	3.95	4.10	4.14	3.91	3.81	3.92	3.78	4.23	4.15	4.23	4.02
	พฤศจิกายน	4.21	4.53	4.35	4.36	4.33	4.35	4.21	4.34	4.41	4.50	4.36
	ธันวาคม	4.19	4.00	3.79	3.92	4.03	3.95	4.18	3.90	3.86	4.21	4.00

ตารางที่ 21 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน โดยเทคนิค Genetic Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย
(ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด)

โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curves)	มกราคม	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02
	กุมภาพันธ์	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24	8.24
	มีนาคม	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74
	เมษายน	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56
	พฤษภาคม	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07
	มิถุนายน	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95
	กรกฎาคม	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07
	สิงหาคม	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93
	กันยายน	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94
	ตุลาคม	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51
	พฤศจิกายน	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51
	ธันวาคม	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24

ตารางที่ 21 (ต่อ)

โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curves)	มกราคม	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71
	กุมภาพันธ์	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03
	มีนาคม	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
	เมษายน	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32
	พฤษภาคม	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
	มิถุนายน	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
	กรกฎาคม	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32
	สิงหาคม	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91
	กันยายน	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34
	ตุลาคม	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04
	พฤศจิกายน	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51
	ธันวาคม	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19

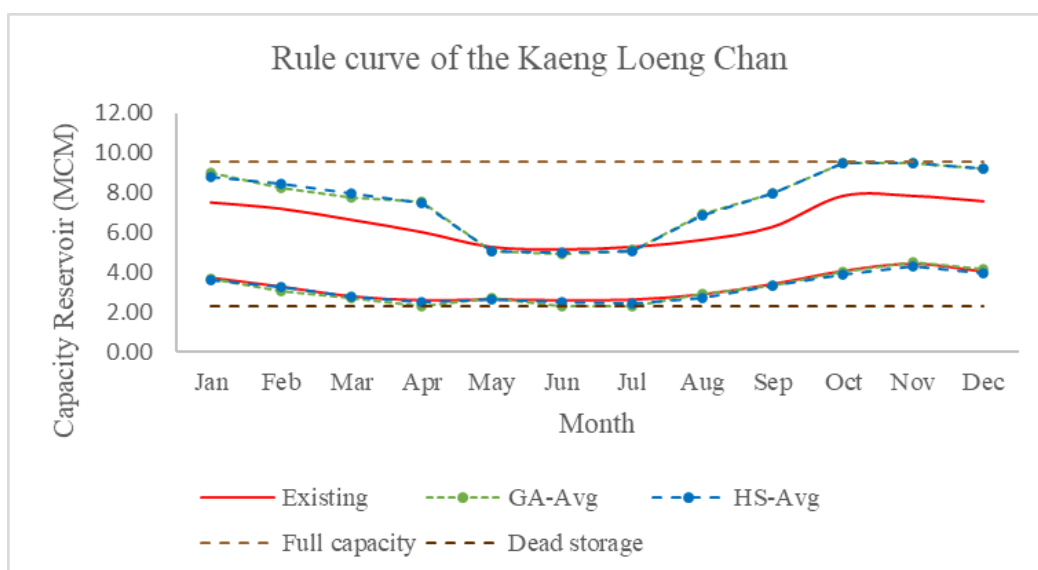


ตารางที่ 22 ผลการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน โดยเทคนิค Genetic Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล
(ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด)

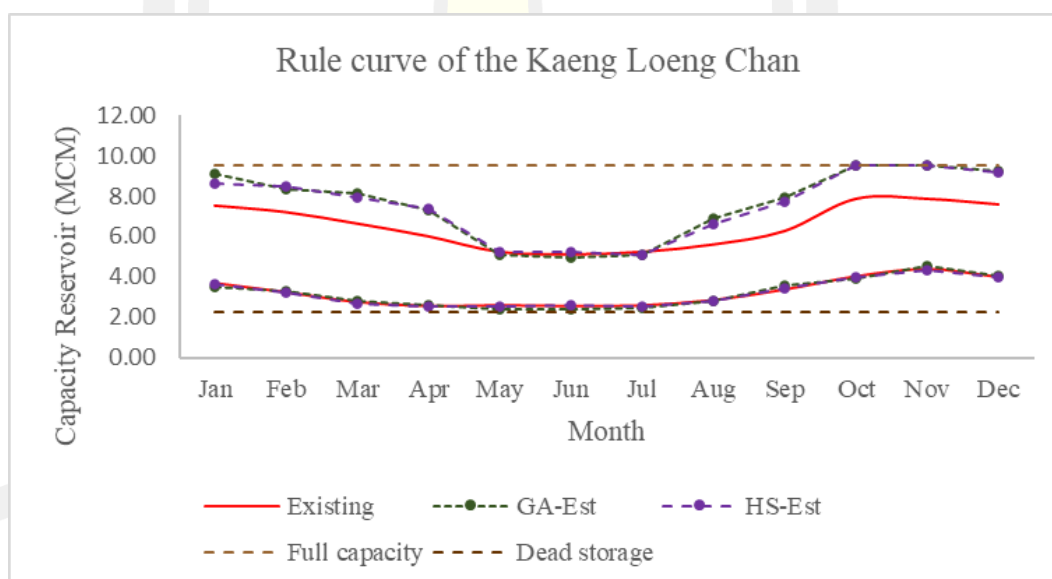
โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curves)	มกราคม	8.94	8.94	8.94	8.94	8.94	8.94	8.94	8.94	8.94	8.94	8.94
	กุมภาพันธ์	8.85	8.85	8.85	8.85	8.85	8.85	8.85	8.85	8.85	8.85	8.85
	มีนาคม	8.15	8.15	8.15	8.15	8.15	8.15	8.15	8.15	8.15	8.15	8.15
	เมษายน	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68	7.68
	พฤษภาคม	6.78	6.78	6.78	6.78	6.78	6.78	6.78	6.78	6.78	6.78	6.78
	มิถุนายน	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95
	กรกฎาคม	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07
	สิงหาคม	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05
	กันยายน	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94
	ตุลาคม	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51
	พฤศจิกายน	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51
	ธันวาคม	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24

ตารางที่ 22 (ต่อ)

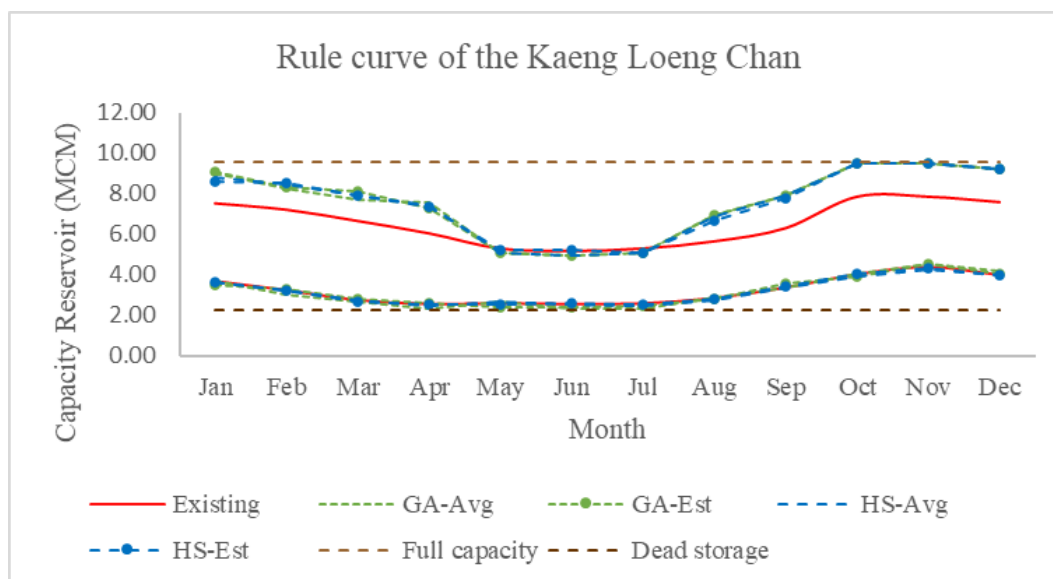
โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curves)	มกราคม	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71
	กุมภาพันธ์	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03
	มีนาคม	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
	เมษายน	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32
	พฤษภาคม	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
	มิถุนายน	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
	กรกฎาคม	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32
	สิงหาคม	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91
	กันยายน	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34
	ตุลาคม	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04
	พฤศจิกายน	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51
	ธันวาคม	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19



ภาพที่ 37 ได้ังควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย



ภาพที่ 38 ได้ังควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล



ภาพที่ 39 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ยและ
กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

4.2.2 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

การค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก โดยใช้ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีตจำนวน 26 ปี ตั้งแต่ พ.ศ.2539 - พ.ศ.2564 โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ปริมาณเฉลี่ยการไหลล้นน้อยที่สุด

4.2.2.1 การค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยใช้ค่าเฉลี่ย

การค้นหาค้างควบคุมโดยใช้ข้อมูลเฉลี่ย โดยใช้ข้อมูลประกอบไปด้วย ปริมาณฝนใช้การ อัตราการระเหย ปริมาณน้ำฝน และความต้องการด้านต่างๆ ซึ่งทำการค้นหาค้างควบคุมเป็นจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 25 และ 26 แล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อนำไปประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์

4.2.2.2 การค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยการประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

การค้นหาค้างควบคุมโดยการประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล จะประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ประกอบไปด้วย อัตราการระเหย ความต้องการด้านอุปโภค-บริโภค และ ปริมาณฝนใช้การ ร่วมกับการใช้ข้อมูลเฉลี่ย ประกอบไปด้วย ปริมาณน้ำฝน และความต้องการด้านอื่นๆ ซึ่งทำการค้นหาค้างควบคุมเป็นจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 27 และ 28 แล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อนำไปประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์

ตารางที่ 23 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก โดยเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย
(ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด)

โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curves)	มกราคม	34.04	34.16	34.20	33.96	34.14	34.09	33.71	33.98	33.88	33.94	34.01
	กุมภาพันธ์	33.03	32.28	32.79	33.17	33.74	33.26	32.74	31.89	32.85	32.02	32.78
	มีนาคม	32.81	33.06	32.00	31.80	30.61	32.32	32.11	33.74	31.63	31.70	32.18
	เมษายน	23.93	23.90	24.09	24.23	28.89	23.88	23.90	23.91	24.20	23.99	24.49
	พฤษภาคม	23.96	23.06	23.04	23.08	23.05	23.04	23.05	23.04	23.04	23.09	23.15
	มิถุนายน	27.38	22.48	22.48	22.48	22.48	22.48	22.48	22.48	22.48	22.48	22.97
	กรกฎาคม	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41
	สิงหาคม	27.78	27.49	27.71	27.85	27.72	27.87	27.85	27.39	27.87	27.52	27.71
	กันยายน	32.81	32.81	32.81	32.81	32.81	32.81	32.81	32.81	32.81	32.81	32.81
	ตุลาคม	35.70	35.44	35.42	35.65	35.67	35.17	35.47	35.69	35.69	35.50	35.54
	พฤศจิกายน	35.44	35.40	34.28	35.15	34.72	34.45	35.46	34.65	35.59	35.82	35.10
	ธันวาคม	34.11	33.22	34.00	34.39	33.65	34.10	34.16	34.13	33.60	34.14	33.95

ตารางที่ 23 (ต่อ)

โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curves)	มกราคม	7.56	7.39	7.62	9.18	8.56	7.53	7.78	9.55	9.04	9.14	8.34
	กุมภาพันธ์	6.21	6.86	6.63	5.58	6.58	7.48	5.50	8.14	6.20	5.53	6.47
	มีนาคม	7.97	8.47	7.21	8.04	9.88	7.67	9.46	8.68	8.25	7.05	8.27
	เมษายน	2.68	3.47	3.17	1.98	2.05	3.57	4.06	2.90	1.98	3.95	2.98
	พฤษภาคม	2.63	1.45	1.28	1.63	1.73	3.07	1.49	3.60	3.39	0.79	2.11
	มิถุนายน	1.77	2.37	1.98	3.00	1.91	1.30	2.92	3.45	2.96	3.62	2.53
	กรกฎาคม	2.14	2.20	3.79	2.76	3.99	3.50	2.75	3.86	1.91	2.15	2.91
	สิงหาคม	4.55	3.59	5.25	5.43	2.96	2.64	5.25	3.09	4.34	3.18	4.03
	กันยายน	6.09	6.70	7.46	5.45	7.43	6.19	6.48	5.30	5.83	6.47	6.34
	ตุลาคม	8.79	10.09	8.89	10.63	8.62	8.33	11.25	9.25	10.99	9.99	9.68
	พฤศจิกายน	12.47	9.69	11.15	10.08	12.45	9.92	11.74	11.74	10.26	12.53	11.20
	ธันวาคม	11.46	10.60	11.18	9.70	10.78	10.91	9.16	11.34	10.36	11.06	10.66

ตารางที่ 24 ผลการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก โดยเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด)

โค้งควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curves)	มกราคม	34.22	34.16	32.05	28.90	34.18	34.20	33.96	34.19	34.20	33.97	33.40
	กุมภาพันธ์	32.22	33.14	33.18	32.24	33.33	32.09	32.54	33.85	31.08	33.74	32.74
	มีนาคม	31.98	31.12	29.98	33.43	33.64	32.06	31.94	33.75	31.97	33.70	32.36
	เมษายน	23.88	23.88	23.89	23.88	23.89	23.89	24.03	23.89	24.22	24.05	23.95
	พฤษภาคม	23.04	23.05	27.10	23.16	23.08	23.13	23.05	23.05	23.05	23.04	23.48
	มิถุนายน	22.48	22.48	23.92	22.48	22.48	22.48	25.22	22.48	22.48	22.48	22.90
	กรกฎาคม	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41
	สิงหาคม	27.97	27.60	27.71	27.92	27.90	27.91	27.84	27.82	27.75	27.74	27.82
	กันยายน	32.81	32.81	32.81	32.81	32.81	32.81	31.65	32.81	27.40	32.81	32.15
	ตุลาคม	35.62	35.58	35.70	35.68	35.39	35.40	35.40	35.66	35.58	35.31	35.53
	พฤศจิกายน	34.75	35.56	35.12	35.48	34.07	34.78	35.44	35.27	35.59	35.77	35.18
	ธันวาคม	33.82	34.78	34.38	34.28	34.77	33.98	33.17	33.79	34.30	32.78	34.01

ตารางที่ 24 (ต่อ)

โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curves)	มกราคม	8.97	8.17	7.48	8.09	8.70	9.10	7.40	7.59	9.89	7.26	8.27
	กุมภาพันธ์	8.11	6.00	8.14	6.25	6.66	6.37	5.81	6.24	5.97	7.72	6.73
	มีนาคม	7.09	8.93	8.23	6.94	9.37	8.07	7.46	9.81	9.62	9.15	8.47
	เมษายน	2.12	3.47	4.53	3.88	1.86	1.89	1.45	1.87	3.20	4.15	2.84
	พฤษภาคม	2.79	2.70	3.38	3.30	2.34	2.82	0.92	2.76	3.16	2.82	2.70
	มิถุนายน	2.41	2.99	1.98	2.80	3.02	3.24	2.57	1.21	3.58	2.10	2.59
	กรกฎาคม	3.77	1.78	1.24	2.07	3.21	1.18	2.58	3.00	3.16	3.61	2.56
	สิงหาคม	4.56	5.55	4.49	2.87	5.49	3.41	5.16	4.51	3.60	5.34	4.50
	กันยายน	8.28	5.97	6.50	5.76	6.11	5.99	5.85	5.79	5.61	6.83	6.27
	ตุลาคม	9.39	9.99	10.42	10.88	10.95	9.47	10.14	10.71	10.30	9.84	10.21
	พฤศจิกายน	12.31	12.39	11.45	11.61	11.28	10.58	10.36	11.26	10.87	10.72	11.28
	ธันวาคม	10.29	9.46	10.65	11.70	10.15	10.85	10.38	11.45	10.87	11.04	10.68

ตารางที่ 25 ผลการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก โดยเทคนิค Genetic Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย
(ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด)

โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curves)	มกราคม	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20
	กุมภาพันธ์	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70
	มีนาคม	33.29	33.29	33.29	33.29	33.29	33.29	33.29	33.29	33.29	33.29	33.29
	เมษายน	23.90	23.90	23.90	23.90	23.90	23.90	23.90	23.90	23.90	23.90	23.90
	พฤษภาคม	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
	มิถุนายน	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50
	กรกฎาคม	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40
	สิงหาคม	27.18	27.18	27.18	27.18	27.18	27.18	27.18	27.18	27.18	27.18	27.18
	กันยายน	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80
	ตุลาคม	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70
	พฤศจิกายน	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70
	ธันวาคม	33.82	33.82	33.82	33.82	33.82	33.82	33.82	33.82	33.82	33.82	33.82

ตารางที่ 25 (ต่อ)

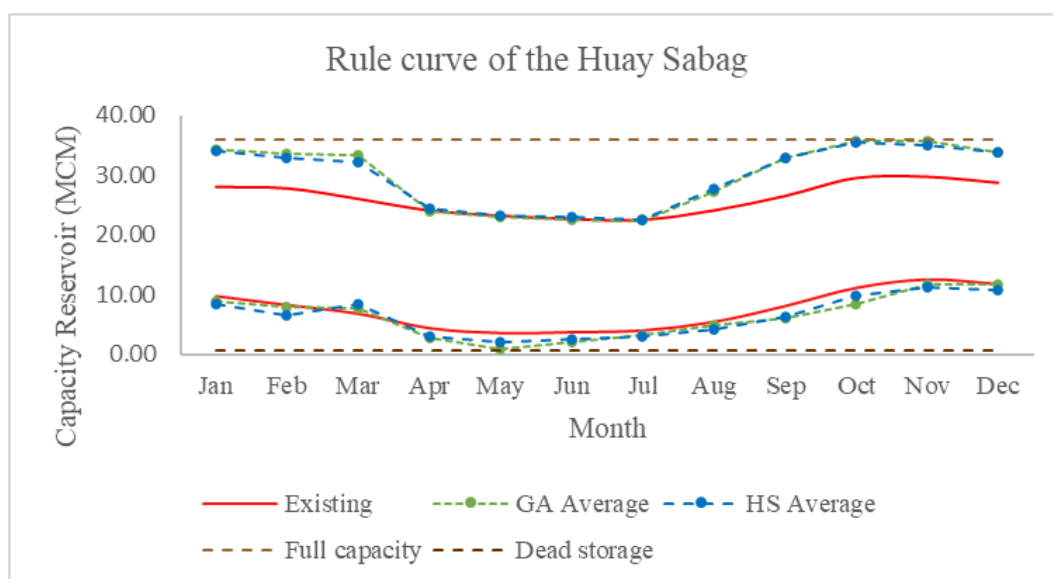
โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curves)	มกราคม	8.82	8.82	8.82	8.82	8.82	8.82	8.82	8.82	8.82	8.82	8.82
	กุมภาพันธ์	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99
	มีนาคม	7.66	7.66	7.66	7.66	7.66	7.66	7.66	7.66	7.66	7.66	7.66
	เมษายน	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
	พฤษภาคม	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
	มิถุนายน	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09
	กรกฎาคม	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
	สิงหาคม	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82
	กันยายน	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96
	ตุลาคม	8.38	8.38	8.38	8.38	8.38	8.38	8.38	8.38	8.38	8.38	8.38
	พฤศจิกายน	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77
	ธันวาคม	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78

ตารางที่ 26 ผลการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก โดยเทคนิค Genetic Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล
(ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด)

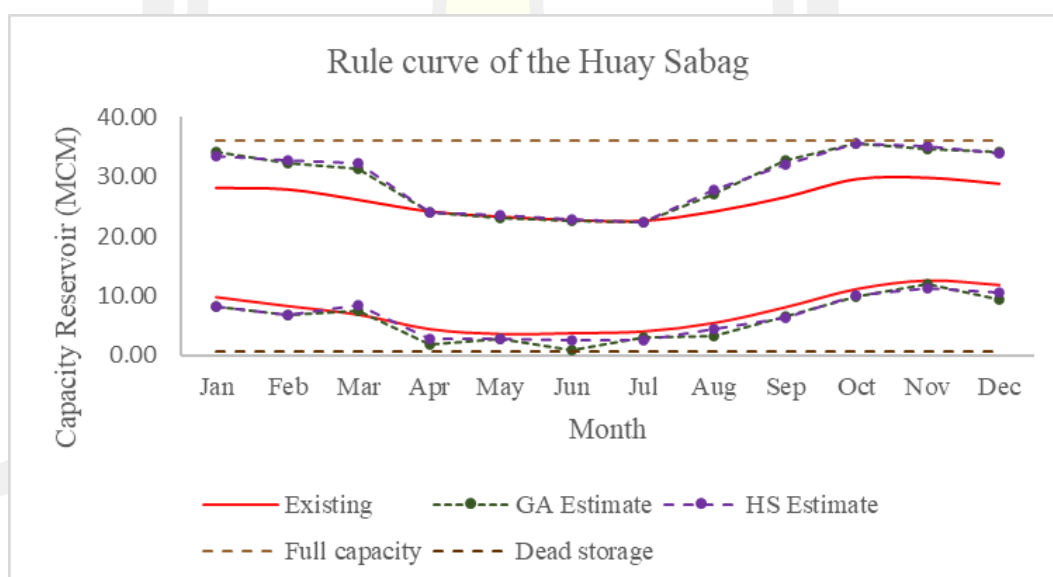
โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curves)	มกราคม	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20	34.20
	กุมภาพันธ์	32.37	32.37	32.37	32.37	32.37	32.37	32.37	32.37	32.37	32.37	32.37
	มีนาคม	31.29	31.29	31.29	31.29	31.29	31.29	31.29	31.29	31.29	31.29	31.29
	เมษายน	23.91	23.91	23.91	23.91	23.91	23.91	23.91	23.91	23.91	23.91	23.91
	พฤษภาคม	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
	มิถุนายน	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50
	กรกฎาคม	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40	22.40
	สิงหาคม	27.17	27.17	27.17	27.17	27.17	27.17	27.17	27.17	27.17	27.17	27.17
	กันยายน	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80	32.80
	ตุลาคม	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70	35.70
	พฤศจิกายน	34.63	34.63	34.63	34.63	34.63	34.63	34.63	34.63	34.63	34.63	34.63
	ธันวาคม	34.21	34.21	34.21	34.21	34.21	34.21	34.21	34.21	34.21	34.21	34.21

ตารางที่ 26 (ต่อ)

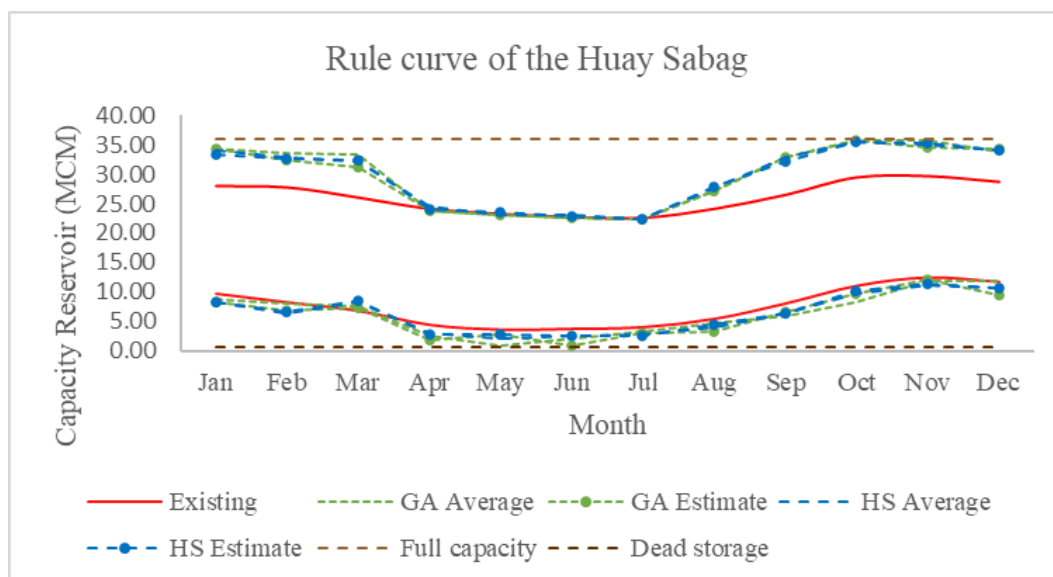
โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curves)	มกราคม	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18
	กุมภาพันธ์	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88
	มีนาคม	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40	7.40
	เมษายน	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
	พฤษภาคม	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74
	มิถุนายน	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
	กรกฎาคม	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13
	สิงหาคม	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28
	กันยายน	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57
	ตุลาคม	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81
	พฤศจิกายน	12.01	12.01	12.01	12.01	12.01	12.01	12.01	12.01	12.01	12.01	12.01
	ธันวาคม	9.49	9.49	9.49	9.49	9.49	9.49	9.49	9.49	9.49	9.49	9.49



ภาพที่ 40 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย



ภาพที่ 41 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล



ภาพที่ 42 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ยและ
กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

4.2.3 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

การค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน โดยใช้ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอดีตจำนวน 29 ปี ตั้งแต่ พ.ศ.2537 - พ.ศ.2564 โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ปริมาณเฉลี่ยการขาดแคลนน้อยที่สุด

4.2.3.1 การค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยใช้ค่าเฉลี่ย

การค้นหาค้างควบคุมโดยใช้ข้อมูลเฉลี่ย โดยใช้ข้อมูลประกอบไปด้วย ปริมาณฝนใช้การ อัตราการระเหย ปริมาณน้ำฝน และความต้องการด้านต่างๆ ซึ่งทำการค้นหาค้างควบคุมเป็นจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 29 และ 30 แล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อนำไปประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์

4.2.3.2 การค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยการประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

การค้นหาค้างควบคุมโดยการประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล จะประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ประกอบไปด้วย อัตราการระเหย ความต้องการด้านอุปโภค-บริโภค และ ปริมาณฝนใช้การ ร่วมกับการใช้ข้อมูลเฉลี่ย ประกอบไปด้วย ปริมาณน้ำฝน และความต้องการด้านอื่นๆ ซึ่งทำการค้นหาค้างควบคุมเป็นจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 31 และ 32 แล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อนำไปประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์

ตารางที่ 27 ผลการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน โดยเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย
(ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การขาดแคลนน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุด)

โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curves)	มกราคม	15.48	17.85	20.83	18.46	18.55	15.51	21.70	16.94	21.79	19.44	18.66
	กุมภาพันธ์	20.01	18.46	15.07	16.22	20.25	16.23	15.58	16.87	15.85	20.02	17.46
	มีนาคม	19.78	20.85	17.89	21.30	15.32	17.54	19.72	16.48	15.32	16.57	18.08
	เมษายน	15.34	18.62	18.08	17.69	14.90	18.69	18.27	17.17	14.36	18.66	17.18
	พฤษภาคม	16.46	15.40	16.16	15.68	15.94	17.25	15.56	17.38	15.49	16.15	16.15
	มิถุนายน	13.23	10.39	10.64	15.03	14.95	17.01	16.67	14.45	15.13	10.49	13.80
	กรกฎาคม	11.20	9.43	11.38	11.24	10.04	11.34	11.48	10.51	12.94	11.94	11.15
	สิงหาคม	13.88	13.95	13.88	13.61	13.89	13.86	11.18	13.89	13.94	14.00	13.61
	กันยายน	17.72	17.99	17.44	17.73	17.94	17.98	17.98	17.95	17.89	17.93	17.86
	ตุลาคม	20.32	19.12	19.51	22.84	23.15	23.57	20.32	19.80	23.79	20.88	21.33
	พฤศจิกายน	23.07	17.48	21.37	20.42	22.87	22.18	23.25	18.79	19.33	21.22	21.00
	ธันวาคม	17.95	22.51	22.09	21.94	17.30	17.62	17.74	22.27	19.76	21.31	20.05

ตารางที่ 27 (ต่อ)

โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curves)	มกราคม	6.85	6.67	9.54	6.14	5.09	5.82	6.05	7.20	6.58	6.58	6.65
	กุมภาพันธ์	2.98	4.17	3.14	4.41	6.92	4.52	5.10	4.27	4.66	2.87	4.30
	มีนาคม	2.34	1.82	1.77	2.72	3.22	6.69	2.87	2.43	2.43	1.82	2.81
	เมษายน	0.79	0.71	1.76	0.78	0.70	0.96	0.79	0.73	0.76	0.76	0.87
	พฤษภาคม	0.60	0.51	0.53	0.97	0.52	0.53	1.15	0.56	0.65	5.35	1.14
	มิถุนายน	1.20	3.93	3.71	3.06	1.10	3.21	3.46	3.47	1.11	3.36	2.76
	กรกฎาคม	4.91	2.42	0.76	2.19	5.04	5.32	6.27	4.65	5.29	4.30	4.12
	สิงหาคม	3.11	1.00	3.55	2.49	5.39	0.88	1.45	4.14	2.56	4.73	2.93
	กันยายน	8.82	8.95	7.68	7.78	6.97	7.50	7.68	3.79	6.45	8.65	7.43
	ตุลาคม	7.17	7.45	7.32	7.76	7.31	7.07	7.53	10.19	7.03	7.95	7.68
	พฤศจิกายน	8.88	9.48	8.95	10.15	10.27	8.66	8.53	9.85	8.91	10.36	9.40
	ธันวาคม	8.56	8.97	9.48	8.63	8.99	7.99	8.94	8.81	8.18	9.27	8.78

ตารางที่ 28 ผลการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน โดยเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การขาดแคลนน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุด)

โค้งควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curves)	มกราคม	15.56	16.54	19.62	16.17	20.74	18.25	19.90	15.51	18.85	15.23	17.64
	กุมภาพันธ์	20.21	18.44	21.13	16.62	15.12	16.65	20.73	17.12	18.83	21.58	18.64
	มีนาคม	19.54	19.83	17.35	17.37	21.36	18.36	19.76	18.59	21.45	21.54	19.52
	เมษายน	16.57	18.02	17.01	14.27	13.02	18.46	17.22	18.06	17.50	16.07	16.62
	พฤษภาคม	15.66	17.99	16.95	16.95	15.22	15.36	17.03	16.12	15.43	15.17	16.19
	มิถุนายน	12.59	15.19	11.69	15.02	15.63	15.02	13.21	16.74	17.49	16.70	14.93
	กรกฎาคม	12.44	10.88	11.43	11.22	12.16	11.85	10.49	11.67	12.03	10.53	11.47
	สิงหาคม	13.53	13.51	13.51	13.37	13.35	13.62	13.73	13.34	13.99	13.88	13.58
	กันยายน	17.98	17.99	17.78	18.00	17.81	17.95	16.91	17.87	12.93	17.88	17.31
	ตุลาคม	20.93	19.67	18.36	21.91	20.21	18.46	23.70	22.72	20.23	18.63	20.48
	พฤศจิกายน	21.44	21.60	17.44	22.73	18.03	17.44	21.69	18.20	21.21	20.78	20.06
	ธันวาคม	17.38	23.54	23.87	22.99	20.24	17.03	16.98	15.67	23.83	23.47	20.50

ตารางที่ 28 (ต่อ)

โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curves)	มกราคม	5.27	6.09	5.28	5.39	8.62	5.64	5.40	6.72	5.50	6.72	6.06
	กุมภาพันธ์	4.44	3.81	3.55	3.75	4.20	3.84	3.49	3.84	3.86	7.42	4.22
	มีนาคม	2.27	2.31	2.02	2.34	2.42	2.24	2.81	2.42	2.22	2.24	2.33
	เมษายน	1.21	1.12	0.74	0.73	1.22	0.89	0.73	0.82	0.97	5.97	1.44
	พฤษภาคม	1.44	1.30	5.70	1.59	1.46	1.33	1.04	1.47	1.55	1.53	1.84
	มิถุนายน	2.03	2.32	1.93	0.88	3.04	2.05	0.65	1.78	3.67	2.00	2.04
	กรกฎาคม	3.10	0.81	2.77	1.21	1.26	1.16	1.97	3.33	2.30	1.18	1.91
	สิงหาคม	4.69	6.12	4.17	4.67	5.89	2.06	3.75	2.59	4.88	5.40	4.42
	กันยายน	8.89	7.02	4.29	8.73	8.87	6.10	8.98	5.15	6.37	8.84	7.32
	ตุลาคม	9.60	7.98	11.29	10.65	9.05	11.09	11.52	9.67	7.89	10.08	9.88
	พฤศจิกายน	10.06	9.80	8.89	8.50	10.67	9.06	9.10	8.20	8.10	9.84	9.22
	ธันวาคม	8.33	8.13	7.92	7.88	9.46	10.81	9.90	8.04	7.87	7.72	8.61

ตารางที่ 29 ผลการค้นหาค้างควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน โดยเทคนิค Genetic Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย
(ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การขาดแคลนน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุด)

โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curves)	มกราคม	19.51	19.51	19.51	19.51	19.51	19.51	19.51	19.51	19.51	19.51	19.51
	กุมภาพันธ์	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48
	มีนาคม	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83
	เมษายน	18.31	18.31	18.31	18.31	18.31	18.31	18.31	18.31	18.31	18.31	18.31
	พฤษภาคม	15.26	15.26	15.26	15.26	15.26	15.26	15.26	15.26	15.26	15.26	15.26
	มิถุนายน	13.09	13.09	13.09	13.09	13.09	13.09	13.09	13.09	13.09	13.09	13.09
	กรกฎาคม	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23
	สิงหาคม	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83	13.83
	กันยายน	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
	ตุลาคม	23.10	23.10	23.10	23.10	23.10	23.10	23.10	23.10	23.10	23.10	23.10
	พฤศจิกายน	19.43	19.43	19.43	19.43	19.43	19.43	19.43	19.43	19.43	19.43	19.43
	ธันวาคม	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35

ตารางที่ 29 (ต่อ)

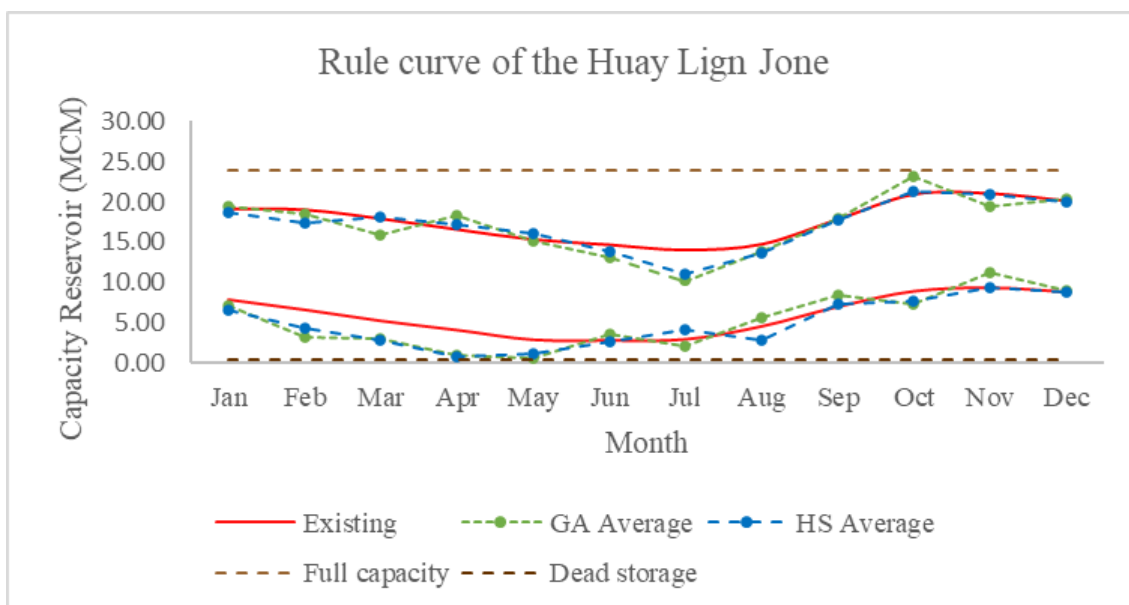
โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curves)	มกราคม	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07
	กุมภาพันธ์	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22
	มีนาคม	2.99	2.99	2.99	2.99	2.99	2.99	2.99	2.99	2.99	2.99	2.99
	เมษายน	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	พฤษภาคม	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
	มิถุนายน	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68
	กรกฎาคม	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19
	สิงหาคม	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69
	กันยายน	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40
	ตุลาคม	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43
	พฤศจิกายน	11.28	11.28	11.28	11.28	11.28	11.28	11.28	11.28	11.28	11.28	11.28
	ธันวาคม	8.99	8.99	8.99	8.99	8.99	8.99	8.99	8.99	8.99	8.99	8.99

ตารางที่ 30 ผลการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน โดยเทคนิค Genetic Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล
(ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: การขาดแคลนน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุด)

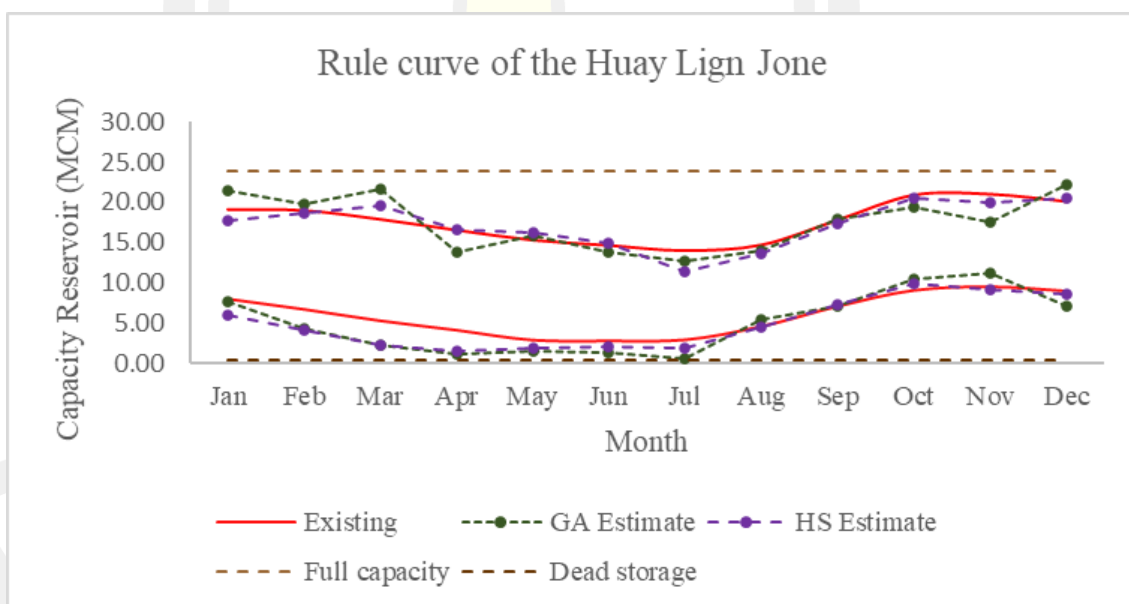
โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมบน (Upper Rule Curves)	มกราคม	21.53	21.53	21.53	21.53	21.53	21.53	21.53	21.53	21.53	21.53	21.53
	กุมภาพันธ์	19.83	19.83	19.83	19.83	19.83	19.83	19.83	19.83	19.83	19.83	19.83
	มีนาคม	21.65	21.65	21.65	21.65	21.65	21.65	21.65	21.65	21.65	21.65	21.65
	เมษายน	13.79	13.79	13.79	13.79	13.79	13.79	13.79	13.79	13.79	13.79	13.79
	พฤษภาคม	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83	15.83
	มิถุนายน	13.87	13.87	13.87	13.87	13.87	13.87	13.87	13.87	13.87	13.87	13.87
	กรกฎาคม	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64
	สิงหาคม	13.96	13.96	13.96	13.96	13.96	13.96	13.96	13.96	13.96	13.96	13.96
	กันยายน	17.96	17.96	17.96	17.96	17.96	17.96	17.96	17.96	17.96	17.96	17.96
	ตุลาคม	19.48	19.48	19.48	19.48	19.48	19.48	19.48	19.48	19.48	19.48	19.48
	พฤศจิกายน	17.46	17.46	17.46	17.46	17.46	17.46	17.46	17.46	17.46	17.46	17.46
	ธันวาคม	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26	22.26

ตารางที่ 30 (ต่อ)

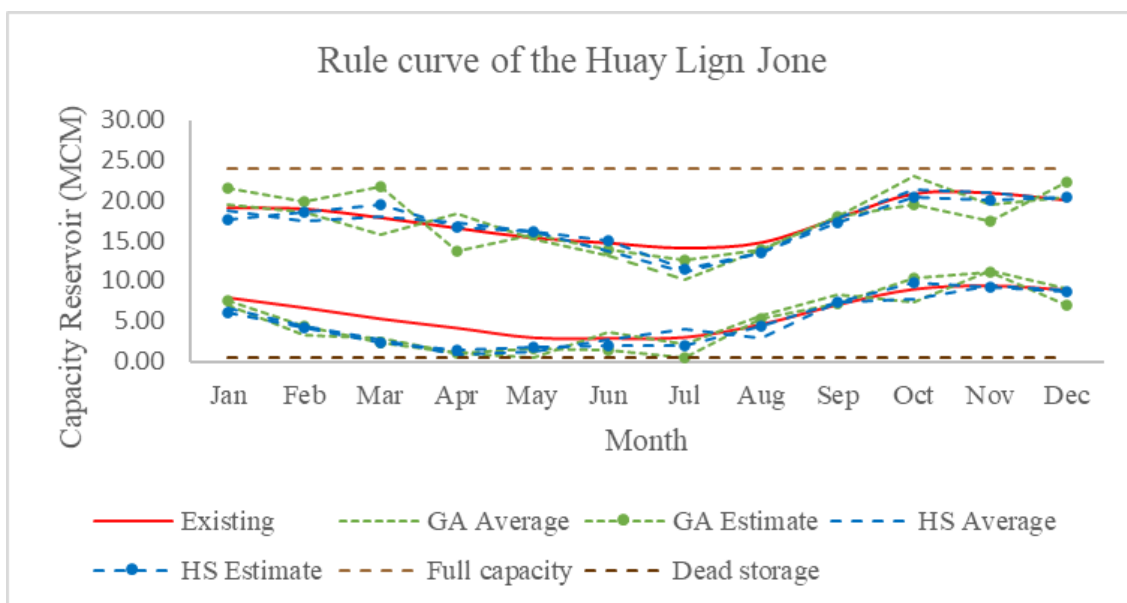
โค้ง ควบคุม	เดือน	ครั้งที่										เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
โค้งควบคุมล่าง (Lower Rule Curves)	มกราคม	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64	7.64
	กุมภาพันธ์	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32
	มีนาคม	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33
	เมษายน	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
	พฤษภาคม	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58
	มิถุนายน	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
	กรกฎาคม	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
	สิงหาคม	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40
	กันยายน	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17
	ตุลาคม	10.39	10.39	10.39	10.39	10.39	10.39	10.39	10.39	10.39	10.39	10.39
	พฤศจิกายน	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12
	ธันวาคม	7.09	7.09	7.09	7.09	7.09	7.09	7.09	7.09	7.09	7.09	7.09



ภาพที่ 43 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย



ภาพที่ 44 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล



ภาพที่ 45 โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ยและ
กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพระหว่างโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่มีอยู่เดิมที่ใช้งานในปัจจุบันกับ โค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาด้วยเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm)

4.3.1 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน

4.3.1.1 ประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำในอดีต

การประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำ จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน จำนวน 30 ปี (พ.ศ.2535 – พ.ศ.2564) เพื่อประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนและไหลล้น โดยเปรียบเทียบโค้งที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ช จากสองกรณี (HS-Avg และ HS-Est) กับโค้งควบคุมที่มีอยู่เดิม (Existing) และโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Genetic Algorithm ทั้งสองกรณี (GA-Avg และ GA-Est) โดยจะแสดงผลในรูปของความถี่ ปริมาณและช่วงเวลา ดังแสดงในตาราง 4.23

ตารางที่ 31 ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำในอดีต 30 ปี
(พ.ศ.2535 – พ.ศ.2564)

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่	ปริมาณ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
		ครั้ง/ปี	เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	ยาวที่สุด
การขาดแคลนน้ำ	Existing	0.07	0.07	1.00	2.00	2.00
	GA-Avg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GA-Est	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	HS-Avg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	HS-Est	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
การไหลล้น	Existing	1.00	32.21	136.00	30.00	30.00
	GA-Avg	1.00	31.73	135.75	30.00	30.00
	GA-Est	1.00	31.73	135.75	30.00	30.00
	HS-Avg	1.00	31.73	135.73	30.00	30.00
	HS-Est	1.00	31.76	135.73	30.00	30.00

จากตารางที่ 33 พบว่า ความถี่ ปริมาณเฉลี่ยและช่วงเวลาเฉลี่ยของการไหลล้น ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ของโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนิเชิร์ช โดยการใช้ข้อมูลเฉลี่ย (HS-Avg) มีค่าเท่ากับ 1.00 ครั้งต่อปี 31.73 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 30 ปี ตามลำดับ และกรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (HS-Est) มีค่าเท่ากับ 1.00 ครั้งต่อปี 31.76 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 30 ปี ตามลำดับ และผลลัพธ์จากตารางดังกล่าว พบว่า โค้งควบคุม HS-Avg และ HS-Est มีประสิทธิภาพมากกว่าโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ และ โค้งควบคุม HS-Avg มีประสิทธิภาพเท่ากับ GA-Avg และ GA-Est

4.3.1.2 ประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำสังเคราะห์

ประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำสังเคราะห์ เป็นการสังเคราะห์ข้อมูลน้ำทำในอดีตจำนวน 30 ปี (พ.ศ.2535 – พ.ศ.2564) เป็นข้อมูล 100 ปี จำนวน 500 ชุด เพื่อประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนและไหลล้น โดยเปรียบเทียบโค้งที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนิเชิร์ช จากสองกรณี (HS-Avg และ HS-Est) กับโค้งควบคุมที่มีอยู่เดิม (Existing) และโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค

Genetic Algorithm ทั้งสองกรณี กรณี (GA-Avg และ GA-Est) โดยจะแสดงผลในรูปของความถี่ ปริมาณและช่วงเวลา ดังแสดงในตารางที่ 34

ตารางที่ 32 ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ แก่งเลิงจานสังเคราะห์ 100 ปี จำนวน 500 ชุดข้อมูล

สถานการณ์	โครงสร้าง		ความถี่	ปริมาณ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			ครั้ง/ปี	เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	ยาวที่สุด
การขาดแคลนน้ำ	Existing	μ	0.06	0.09	1.43	0.93	0.99
		σ	0.04	0.07	0.88	0.47	0.57
	GA-Avg	μ	0.01	0.02	0.41	0.34	0.34
		σ	0.02	0.03	0.66	0.51	0.51
	GA-Est	μ	0.01	0.02	0.48	0.39	0.39
		σ	0.02	0.03	0.73	0.55	0.55
	HS-Avg	μ	0.01	0.02	0.47	0.36	0.36
		σ	0.02	0.03	0.75	0.53	0.53
	HS-Est	μ	0.02	0.02	0.57	0.45	0.45
		σ	0.02	0.03	0.77	0.55	0.56
การไหลล้น	Existing	μ	0.96	31.00	186.18	17.64	22.45
		σ	0.04	7.53	94.90	8.83	6.63
	GA-Avg	μ	0.96	30.52	185.55	18.26	22.76
		σ	0.04	7.54	94.91	8.85	6.67
	GA-Est	μ	0.96	30.53	185.56	18.34	22.84
		σ	0.04	7.54	94.91	8.86	6.66
	HS-Avg	μ	0.96	30.53	185.57	18.36	22.85
		σ	0.04	7.54	94.91	8.85	6.65
	HS-Est	μ	0.96	30.55	185.52	18.22	22.74
		σ	0.04	7.53	94.92	8.86	6.73

μ = ค่าเฉลี่ย, σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 34 พบว่า สถานการณ์ขาดแคลน โดยมีความถี่ของการขาดแคลน ปริมาณเฉลี่ยของการขาดแคลนและช่วงเวลาของการขาดแคลน ของโครงควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ซ กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย (HS-Avg) มีค่าเท่ากับ 0.01 ± 0.02 ครั้งต่อปี 0.02 ± 0.03 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 0.36 ± 0.53 ปี ตามลำดับ และกรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (HS-Est) มีค่าเท่ากับ 0.02 ± 0.02 ครั้งต่อปี 0.02 ± 0.03 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 0.45 ± 0.55 ปี ตามลำดับ สถานการณ์ไหลล้น โดยมีความถี่ของการไหลล้น ปริมาณเฉลี่ยของการไหลล้นและช่วงเวลาของการไหลล้น ของโครงควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ซ กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย (HS-Avg) มีค่าเท่ากับ 0.96 ± 0.04 ครั้งต่อปี 30.53 ± 7.54 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 18.36 ± 8.85 ปี ตามลำดับ และกรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (HS-Est) มีค่าเท่ากับ 0.96 ± 0.04 ครั้งต่อปี 30.55 ± 7.53 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 18.22 ± 8.86 ปี ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบโครงควบคุมตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โครงควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ซ กับโครงควบคุมเดิมที่มีอยู่ (Existing) และโครงควบคุมที่ได้จากเทคนิค Genetic Algorithm (GA) พบว่าโดยภาพรวมโครงควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ซมีประสิทธิภาพดีกว่าโครงควบคุมเดิมที่มีอยู่ และมีประสิทธิภาพแตกต่างจากโครงควบคุมที่ได้จากเทคนิค Genetic Algorithm เล็กน้อย

4.3.2 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก

4.3.2.1 ประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำในอดีต

การประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำ จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก จำนวน 26 ปี (พ.ศ.2539 – พ.ศ.2564) เพื่อประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนและไหลล้น โดยเปรียบเทียบโครงที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ซ จากสองกรณี (HS-Avg และ HS-Est) กับโครงควบคุมเดิมที่มีอยู่ (Existing) และโครงควบคุมที่ได้จากเทคนิค Genetic Algorithm ทั้งสองกรณี กรณี (GA-Avg และ GA-Est) โดยจะแสดงผลในรูปของความถี่ ปริมาณและช่วงเวลา ดังแสดงในตารางที่ 35

พหุ ประสิทธิภาพ

ตารางที่ 33 ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำในอดีต 26 ปี
(พ.ศ.2539 – พ.ศ.2564)

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่	ปริมาณ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
		ครั้ง/ปี	เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	ยาวที่สุด
การขาดแคลนน้ำ	Existing	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GA-Avg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GA-Est	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	HS-Avg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	HS-Est	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
การไหลล้น	Existing	1.00	23.40	47.69	26.00	26.00
	GA-Avg	1.00	22.84	45.39	26.00	26.00
	GA-Est	1.00	22.84	45.39	26.00	26.00
	HS-Avg	1.00	22.86	45.44	26.00	26.00
	HS-Est	1.00	22.89	46.11	26.00	26.00

จากตารางที่ 35 พบว่า ความถี่ ปริมาณเฉลี่ยและช่วงเวลาเฉลี่ยของการไหลล้น ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ของโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนิเชิร์ช โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ย (HS-Avg) มีค่าเท่ากับ 1.00 ครั้งต่อปี 22.86 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 26 ปี ตามลำดับ และกรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (HS-Est) มีค่าเท่ากับ 1.00 ครั้งต่อปี 22.89 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 26 ปี ตามลำดับ และผลลัพธ์จากตารางดังกล่าว พบว่า โค้งควบคุม HS-Avg และ HS-Est มีประสิทธิภาพมากกว่าโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ และแตกต่างจากโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค GA อยู่ 0.02 ล้าน ลบ.ม. และ 0.05 ล้าน ลบ.ม. สำหรับโค้ง HS-Avg และ HS-Est ตามลำดับ

4.3.2.2 ประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำสังเคราะห์

ประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำสังเคราะห์ เป็นการสังเคราะห์ข้อมูลน้ำทำในอดีตจำนวน 26 ปี (พ.ศ.2539 – พ.ศ.2564) เป็นข้อมูล 100 ปี จำนวน 500 ชุด เพื่อประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนและไหลล้น โดยเปรียบเทียบโค้งที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนิเชิร์ช จาก

สองกรณี (HS-Avg และ HS-Est) กับโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ (Existing) และโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Genetic Algorithm ทั้งสองกรณี กรณี (GA-Avg และ GA-Est) โดยจะแสดงผลในรูปแบบของความถี่ ปริมาณและช่วงเวลา ดังแสดงในตารางที่ 36

ตารางที่ 34 ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ห้วยสะแบก สังกะหรณ์ 100 ปี จำนวน 500 ชุดข้อมูล

สถานการณ์	โค้งควบคุม		ความถี่	ปริมาณ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			ครั้ง/ปี	เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	ยาวที่สุด
การขาดแคลนน้ำ	Existing	μ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		σ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GA-Avg	μ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		σ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GA-Est	μ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		σ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	HS-Avg	μ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		σ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	HS-Est	μ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		σ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
การไหลล้น	Existing	μ	1.00	23.40	56.71	25.76	25.89
		σ	0.01	2.37	22.11	1.80	0.92
	GA-Avg	μ	1.00	22.88	55.10	25.97	26.00
		σ	0.00	2.35	22.16	0.60	0.09
	GA-Est	μ	1.00	22.88	55.10	25.97	26.00
		σ	0.00	2.35	22.16	0.60	0.09
	HS-Avg	μ	1.00	22.90	55.19	25.97	26.00
		σ	0.00	2.35	22.14	0.60	0.09
	HS-Est	μ	1.00	22.94	55.41	25.97	26.00
		σ	0.00	2.35	22.10	0.60	0.09

μ = ค่าเฉลี่ย, σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 36 พบว่าไม่ว่าจะเป็นโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ หรือโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาจากทั้งสองเทคนิค ไม่ทำให้เกิดสถานการณ์น้ำขาดแคลน แต่ยังคงมีสถานการณ์ไหลล้น โดยมีความถี่ของการไหลล้น ปริมาณเฉลี่ยของการไหลล้นและช่วงเวลาของการไหลล้น ของโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ซ กรณิใช้ข้อมูลเฉลี่ย (HS-Avg) มีค่าเท่ากับ 1.00 ± 0.00 ครั้งต่อปี 22.90 ± 2.35 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 25.97 ± 0.60 ปี ตามลำดับ และกรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (HS-Est) มีค่าเท่ากับ 1.00 ± 0.00 ครั้งต่อปี 22.94 ± 2.35 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 25.97 ± 0.60 ปี ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบโค้งควบคุมตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ซ กับโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ (Existing) และโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Genetic Algorithm (GA) พบว่าโดยภาพรวมโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ซมีประสิทธิภาพดีกว่าโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ และแตกต่างจากโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค GA อยู่ 0.02 ล้าน ลบ.ม. และ 0.06 ล้าน ลบ.ม. สำหรับโค้ง HS-Avg และ HS-Est ตามลำดับ

4.3.3 อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน

4.3.3.1 ประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำในอดีต

การประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำ จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน จำนวน 28 ปี (พ.ศ.2537 – พ.ศ.2564) เพื่อประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนและไหลล้น โดยเปรียบเทียบโค้งที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนีเซิร์ซ จากสองกรณี (HS-Avg และ HS-Est) กับโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ (Existing) และโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Genetic Algorithm ทั้งสองกรณี (GA-Avg และ GA-Est) โดยจะแสดงผลในรูปแบบของความถี่ ปริมาณและช่วงเวลา ดังแสดงในตารางที่ 37

ตารางที่ 35 ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำในอดีต 28 ปี
(พ.ศ.2537 – พ.ศ.2564)

สถานการณ์	โค้งควบคุม	ความถี่	ปริมาณ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
		ครั้ง/ปี	เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	ยาวที่สุด
การขาดแคลนน้ำ	Existing	0.14	0.54	6.00	2.00	2.00
	GA-Avg	0.14	0.32	4.00	1.33	2.00
	GA-Est	0.11	0.21	3.00	1.50	2.00
	HS-Avg	0.14	0.29	4.00	1.33	2.00
	HS-Est	0.11	0.32	4.00	1.50	2.00
การไหลล้น	Existing	0.82	12.63	32.28	4.60	10.00
	GA-Avg	0.86	12.30	32.30	6.00	14.00
	GA-Est	0.86	12.32	31.17	6.00	14.00
	HS-Avg	0.86	12.31	31.83	6.00	14.00
	HS-Est	0.82	12.34	31.33	4.60	10.00

จากตารางที่ 37 พบว่า ความถี่ ปริมาณเฉลี่ยและช่วงเวลาเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำ ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ของโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนิเชิร์ช โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ย (HS-Avg) มีค่าเท่ากับ 0.14 ครั้งต่อปี 0.29 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 1.33 ปี ตามลำดับ และกรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (HS-Est) มีค่าเท่ากับ 0.11 ครั้งต่อปี 0.32 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 1.50 ปี ตามลำดับ ผลลัพธ์จากตารางดังกล่าว พบว่า พบว่า โค้งควบคุม HS-Avg และ HS-Est มีประสิทธิภาพมากกว่าโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ และโค้งควบคุม HS-Avg มีประสิทธิภาพมากกว่า GA-Avg

4.3.3.2 ประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำสังเคราะห์

ประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำสังเคราะห์ เป็นการสังเคราะห์ข้อมูลน้ำทำในอดีตจำนวน 28 ปี (พ.ศ.2537 – พ.ศ.2564) เป็นข้อมูล 100 ปี จำนวน 500 ชุด เพื่อประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนและไหลล้น โดยเปรียบเทียบโค้งที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนิเชิร์ช จากสองกรณี (HS-Avg และ HS-Est) กับโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ (Existing) และโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค

Genetic Algorithm ทั้งสองกรณี กรณี (GA-Avg และ GA-Est) โดยจะแสดงผลในรูปของความถี่ ปริมาณและช่วงเวลา ดังแสดงในตารางที่ 38

ตารางที่ 36 ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์น้ำจากข้อมูลน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ห้วยลิงโจน สังกะหรณ์ 100 ปี จำนวน 500 ชุดข้อมูล

สถานการณ์	โครงสร้าง		ความถี่	ปริมาณ (ล้าน ลบ.ม.)		ช่วงเวลา (ปี)	
			ครั้ง/ปี	เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย	ยาวที่สุด
การขาดแคลนน้ำ	Existing	μ	0.16	0.47	4.31	1.69	2.21
		σ	0.08	0.29	1.71	0.65	1.05
	GA-Avg	μ	0.15	0.31	3.13	1.65	2.21
		σ	0.08	0.22	1.82	0.73	1.14
	GA-Est	μ	0.12	0.25	2.64	1.68	2.02
		σ	0.08	0.22	1.92	0.83	1.12
	HS-Avg	μ	0.13	0.28	3.15	1.57	1.99
		σ	0.08	0.21	1.88	0.80	1.09
	HS-Est	μ	0.12	0.29	3.25	1.62	1.97
		σ	0.08	0.23	1.99	0.82	1.08
การไหลล้น	Existing	μ	0.81	12.59	44.56	5.30	10.60
		σ	0.07	2.13	10.40	2.66	4.21
	GA-Avg	μ	0.81	12.29	43.71	5.57	10.99
		σ	0.08	2.14	10.38	2.97	4.51
	GA-Est	μ	0.81	12.32	44.08	5.37	10.67
		σ	0.08	2.16	10.42	2.35	4.22
	HS-Avg	μ	0.81	12.30	43.88	5.53	10.88
		σ	0.08	2.15	10.36	2.95	4.55
	HS-Est	μ	0.81	12.33	44.14	5.35	10.70
		σ	0.08	2.15	10.39	2.54	4.34

μ = ค่าเฉลี่ย, σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 38 พบว่า สถานการณ์ขาดแคลน โดยมีความถี่ของการขาดแคลน ปริมาณเฉลี่ยของการขาดแคลนและช่วงเวลาของการขาดแคลน ของโครงควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนิเชิร์ช กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย (HS-Avg) มีค่าเท่ากับ 0.13 ± 0.08 ครั้งต่อปี 0.28 ± 0.21 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 1.57 ± 0.80 ปี ตามลำดับ และกรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (HS-Est) มีค่าเท่ากับ 0.12 ± 0.08 ครั้งต่อปี 0.29 ± 0.23 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 1.62 ± 0.82 ปี ตามลำดับ สถานการณ์ไหลล้น โดยมีความถี่ของการไหลล้น ปริมาณเฉลี่ยของการไหลล้นและช่วงเวลาของการไหลล้น ของโครงควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนิเชิร์ช กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย (HS-Avg) มีค่าเท่ากับ 0.81 ± 0.08 ครั้งต่อปี 12.30 ± 2.15 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 5.53 ± 2.95 ปี ตามลำดับ และกรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (HS-Est) มีค่าเท่ากับ 0.81 ± 0.08 ครั้งต่อปี 12.33 ± 2.15 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 5.35 ± 2.54 ปี ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบโครงควบคุมตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โครงควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนิเชิร์ช กับโครงควบคุมเดิมที่มีอยู่ (Existing) และโครงควบคุมที่ได้จากเทคนิค Genetic Algorithm (GA) พบว่าโดยภาพรวมโครงควบคุมที่ได้จากเทคนิคฮาร์โมนิเชิร์ชมีประสิทธิภาพดีกว่าโครงควบคุมเดิมที่มีอยู่รวมถึงโครงควบคุม GA-Avg และแตกต่างจากโครงควบคุม GA-Est อยู่ 0.02 ล้าน ลบ.ม. และ 0.03 ล้าน ลบ.ม. สำหรับ โครง HS-Avg และ HS-Est ตามลำดับ



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปต่อยอดในอนาคต ดังหัวข้อต่อไปนี้

- (1) สรุปผล
- (2) ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 3 วัตถุประสงค์ ดังนี้ ลำดับแรกคือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการระเหย ความต้องการด้านอุปโภค-บริโภค และปริมาณฝนใช้การ ของอ่างเก็บน้ำทั้งสามแห่ง เทียบกับจำนวนปีของปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ ซึ่งการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงนี้ เพื่อนำไปใช้ในการค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ ตามวัตถุประสงค์ลำดับถัดมา คือการประยุกต์ใช้วิธีฮาร์โมนิเชิร์ช เพื่อค้นหาโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งแบ่งเป็นการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยใช้ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยาแบบใช้ค่าเฉลี่ย ประกอบด้วย ปริมาณฝนใช้การ อัตราการระเหย ปริมาณน้ำฝน ความต้องการด้านอุปโภค-บริโภค ความต้องการด้านอุตสาหกรรม และความต้องการด้านชลประทาน และการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยใช้ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยาแบบใช้ค่าเฉลี่ยร่วมกับวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงข้อมูลตามวัตถุประสงค์ข้อแรก จากนั้นนำโค้งควบคุมที่ได้ มาประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงตามวัตถุประสงค์ข้อแรก แทนการใช้ค่าคงที่แบบค่าเฉลี่ย ต่อปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ข้อสุดท้าย ผลการศึกษาของแต่ละวัตถุประสงค์แสดงรายละเอียดดังนี้

5.1.1 การประเมินการเปลี่ยนแปลงอัตราการระเหย ความต้องการด้านอุปโภค-บริโภค และปริมาณฝนใช้การ

จากการประเมินการเปลี่ยนแปลงอัตราการระเหย โดยวิธี Thornwaite พบว่าอัตราการระเหยในแต่ละอ่างเก็บน้ำ มีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในแต่ละเดือน โดยมีรายละเอียดดังนี้ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน มีอัตราการระเหยเฉลี่ยต่อปีคือ 1498.21 มิลลิเมตรและมีช่วงพิสัยรายเดือนคือ 51.99 – 199.32 มิลลิเมตร ซึ่งอัตราการระเหยมีค่าน้อยที่สุดในเดือนธันวาคมและมากที่สุดในเดือน

เดือนเมษายน และในกรณีข้อมูลเฉลี่ยมีช่วงพิสัยรายเดือนคือ 84.94 – 155.96 มิลลิเมตร อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก มีอัตราการระเหยเฉลี่ยต่อปีคือ 1444.97 มิลลิเมตรและมีช่วงพิสัยรายเดือนคือ 77.80 – 192.60 มิลลิเมตร ซึ่งอัตราการระเหยมีค่าน้อยที่สุดในเดือนสิงหาคมและมากที่สุดในเดือนเมษายน และอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน มีอัตราการระเหยเฉลี่ยต่อปีคือ 1441.08 มิลลิเมตรและมีช่วงพิสัยรายเดือนคือ 77.80 – 192.60 มิลลิเมตร ซึ่งอัตราการระเหยมีค่าน้อยที่สุดในเดือนสิงหาคมและมากที่สุดในเดือนเมษายน เมื่อเปรียบเทียบอัตราการระเหยที่ทำการประเมินการเปลี่ยนแปลงกับอัตราการระเหยของกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่าอัตราการระเหยของแต่ละอ่าง มีปีที่มากกว่าและน้อยกว่า

จากการประเมินความต้องการน้ำอุปโภค-บริโภค โดยพิจารณาจากจำนวนประชากรรายปีในพื้นที่ชลประทานที่มีส่วนใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค ร่วมกับอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย พบว่า อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานและอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก ประชากรรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่อ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ประชากรรายปีมีแนวโน้มลดลง โดยมีรายละเอียดดังนี้ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานมีประชากรที่มีส่วนใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค เฉลี่ยรายปีในปี พ.ศ. 2535 เท่ากับ 1,189 คน จะได้ปริมาณความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภคเท่ากับ 52,078,200 ลิตรต่อปี และมีประชากรเพิ่มขึ้น จนมาถึงปี พ.ศ. 2564 มีประชากรเท่ากับ 1,415 คน จะได้ปริมาณความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภคเท่ากับ 61,977,000 ลิตรต่อปี อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกมีประชากรที่มีส่วนใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค เฉลี่ยรายปีในปี พ.ศ. 2539 เท่ากับ 3,912 คน จะได้ปริมาณความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภคเท่ากับ 171,345,600 ลิตรต่อปี และมีประชากรเพิ่มขึ้น จนมาถึงปี พ.ศ. 2564 มีประชากรเท่ากับ 4,004 คน จะได้ปริมาณความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภคเท่ากับ 175,375,200 ลิตรต่อปี และอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจนมีประชากรที่มีประชากรที่มีส่วนใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค เฉลี่ยรายปีในปี พ.ศ. 2537 เท่ากับ 5,571 คน จะได้ปริมาณความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภคเท่ากับ 244,009,800 ลิตรต่อปี และมีประชากรลดลง จนมาถึงปี พ.ศ. 2564 มีประชากรเท่ากับ 4,257 คน จะได้ปริมาณความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภคเท่ากับ 186,456,600 ลิตรต่อปี ซึ่งหากพิจารณาเปรียบเทียบกรณีการประเมินความต้องการน้ำอุปโภค-บริโภค กับกรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย ที่ข้อมูลมีค่าเท่ากันทุกปี จะมีความแตกต่างกัน

จากการประเมินปริมาณฝนใช้การโดยพิจารณาช่วงของ Weighted rainfall มีรายละเอียดดังนี้ อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน มีปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยต่อปี เท่ากับ 826.77 มิลลิเมตรมากที่สุดเท่ากับ 1,106.20 มิลลิเมตร ในปีพ.ศ. 2551 และน้อยที่สุดเท่ากับ 614.92 มิลลิเมตร ในปีพ.ศ. 2558 อ่างเก็บน้ำห้วยสะแบกและอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน มีปริมาณฝนใช้เท่ากัน โดยมีปริมาณฝน

ใช้การเฉลี่ยต่อปี เท่ากับ 1029.74 มิลลิเมตร มากที่สุดเท่ากับ 1,813.40 มิลลิเมตร ในปีพ.ศ. 2544 และน้อยที่สุดเท่ากับ 683.17 มิลลิเมตร ในปีพ.ศ. 2541 เมื่อพิจารณาการประเมินปริมาณฝนใช้การ ที่ทำการประเมินจากปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นจริงในทุกเดือน สามารถยอมรับได้ที่จะนำไปใช้ พบว่าค่าที่ทำการประเมินมีค่ามากกว่าและค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยเดิม ซึ่งจะมีค่าคงที่ทุกๆปี

5.1.2 การเปรียบเทียบโค้งควบคุมที่ได้จากการค้นหาแบบใช้ค่าเฉลี่ยและการค้นหาแบบ ประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

โค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Harmony Search Algorithm เชื่อมต่อกับแบบจำลอง อ่างเก็บน้ำ พบว่าโค้งควบคุมใหม่ที่ได้ของอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานและอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก ทั้งใน กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ยและกรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เป็นไป ตามวัตถุประสงค์คือปริมาณการไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังแสดงได้จาก ในช่วงฤดูฝน โค้งควบคุมเส้น บน มีเกณฑ์เก็บกักน้ำสูงขึ้นกว่าเกณฑ์เก็บกักของโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ ซึ่งหมายความว่า อ่างเก็บน้ำ จะสามารถเก็บกักน้ำได้มากขึ้น เพื่อลดสถานการณ์การไหลล้น พร้อมทั้งมีปริมาณน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดู แล้ง สำหรับอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานจะพร่องน้ำในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม แต่สำหรับอ่าง เก็บน้ำห้วยสะแบกจะพร่องน้ำในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน สังเกตได้จากโค้งควบคุมเส้นบน มี เกณฑ์การเก็บกักลดลงอย่างเห็นได้ชัด เพื่อรองรับการมาของฤดูฝน ส่วนโค้งควบคุมเส้นล่าง เกณฑ์ เก็บกักมีแนวโน้มต่ำกว่าเกณฑ์เก็บกักของโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ ทำให้สามารถปล่อยน้ำออกจากอ่างได้ มากขึ้น ซึ่งช่วยลดโอกาสในการเกิดสถานการณ์น้ำขาดแคลนได้ดียิ่งขึ้น

โค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Harmony Search Algorithm เชื่อมต่อกับแบบจำลอง อ่างเก็บน้ำ พบว่าโค้งควบคุมใหม่ที่ได้ของอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน ทั้งในกรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ยและกรณี ประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ในช่วงฤดูแล้ง มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เป็นไปตาม วัตถุประสงค์คือปริมาณการขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังแสดงได้จาก โค้งควบคุมเส้นล่าง มีเกณฑ์เก็บ กักน้ำต่ำขึ้นกว่าเกณฑ์เก็บกักของโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่ ซึ่งหมายความว่า สามารถปล่อยน้ำออกจาก อ่างเก็บน้ำได้มากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการด้านชลประทานในฤดูแล้ง ส่งผลให้สามารถลด สถานการณ์น้ำขาดแคลน และโค้งควบคุมเส้นล่างเริ่มสูงขึ้นในเดือนกันยายน เพื่อเก็บกักน้ำให้มากขึ้น ในช่วงฤดูฝน

5.1.3 การประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์ของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ

ผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์ของโค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากปริมาณน้ำท่าในอดีต ด้วยเทคนิค Harmony Search Algorithm และ Genetic Algorithm ในกรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ยและประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล เพื่อประเมินความถี่ ปริมาณเฉลี่ย และช่วงเวลาเฉลี่ย โดยใช้ข้อมูลสถานการณ์น้ำท่าในอดีต ตามวัตถุประสงค์ของแต่ละอ่างเก็บน้ำ ผลการประเมินพบว่า การประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์ของโค้งควบคุมใหม่ที่ได้จากปริมาณน้ำท่าในอดีตสำหรับอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานและอ่างเก็บน้ำห้วยสะแบก โค้งควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Genetic Algorithm กรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ย (GA-Avg) และโค้งควบคุมที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดคือโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (HS-Est) สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยลิงโจน โค้งควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Genetic Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (GA-Est) และโค้งควบคุมที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดคือโค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Harmony Search Algorithm กรณีประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (HS-Est)

และผลการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์ของโค้งควบคุมใหม่ โดยข้อมูลสังเคราะห์น้ำท่าในอดีต 100 ปี จำนวน 500 เหตุการณ์ ตามวัตถุประสงค์ของแต่ละอ่างเก็บน้ำ พบว่าสำหรับทั้งสามอ่างเก็บน้ำ โค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Genetic Algorithm มีประสิทธิภาพมากที่สุดจากที่กล่าวมา สามารถสรุปได้ว่า โค้งควบคุมที่ได้จากเทคนิค Genetic Algorithm มีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งในกรณีใช้ข้อมูลเฉลี่ยและประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล เนื่องจากสามารถลดโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ขาดแคลนน้ำและไหลล้นได้ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การประเมินอัตราการระเหย โดยวิธีของ Thornthwaite เป็นการประเมินอัตราการระเหย โดยใช้ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เพียงปัจจัยเดียว คือ อุณหภูมิ ซึ่งเป็นเพียงหนึ่งในปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการระเหยเท่านั้น ส่งผลให้ในการประเมินอัตราการระเหยโดยวิธีนี้มีความแม่นยำน้อย ดังนั้นหากสามารถเพิ่มปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาอื่นๆ เช่น ชั่วโมงแสงแดด ความเร็วลม เป็นต้น จะส่งผลให้การประเมินอัตราการระเหย มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น

2. ในการประเมินความต้องการด้านอุปโภค-บริโภค นอกจากจะพิจารณาจากจำนวนประชากรรายปีร่วมกับอัตราการใช้น้ำต่อคนต่อวันแล้ว ควรมีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากพื้นที่จริง เพื่อ

นำมาเปรียบเทียบ รวมถึงหากสามารถพิจารณาประชากรเป็นรายเดือนได้ จะทำให้สามารถประเมินความต้องการด้านอุปโภค-บริโภค ได้ตามสถานการณ์จริงมากขึ้นกว่าครั้งนี้ เนื่องจากงานวิจัยในครั้งนี้มีข้อจำกัดด้านเวลา

3. ในการประเมินปริมาณฝนใช้การ นอกจากจะพิจารณาจากช่วงของปริมาณน้ำฝนร่วมกับพื้นที่ชลประทานแล้ว ควรมีการลงพื้นที่เก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษา จะส่งผลให้การประเมินปริมาณฝนใช้การมีหลายมิติและมีความแม่นยำมากขึ้น

4. ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ควรพิจารณาข้อมูลที่ทำให้การประเมินการเปลี่ยนแปลง ว่ามีปัจจัยสำคัญต่ออ่างเก็บน้ำหรือไม่ หากข้อมูลที่ทำให้การประเมินการเปลี่ยนแปลง ไม่มีปัจจัยส่งผลต่ออ่างเก็บน้ำ ส่งผลให้โค้งควบคุมใหม่ที่ค้นหามีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากโค้งควบคุมเดิมที่มีอยู่

5. ในการประเมินประสิทธิภาพและสถานการณ์ของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ควรเพิ่มการสังเคราะห์ข้อมูลในปัจจัยอื่นให้เกิดเหตุการณ์ที่หลากหลาย นอกจากปริมาณน้ำท่าในอดีต เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของโค้งควบคุมที่ทำการค้นหา

6. ในการค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณเป็นข้อมูลในอดีต ซึ่งในปัจจุบันสภาพภูมิอากาศ และปัจจัยต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้น ควรมีการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ให้หลากหลายมิติ และควรปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ เป็นระยะ เพื่อให้สามารถบรรเทาสถานการณ์น้ำในช่วงเวลานั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บรรณานุกรม

- กรมชลประทาน. (2554a). คู่มือการปฏิบัติงาน เล่มที่ 6/16 คำนวณฝนใช้การ (*Effective Rainfall*). กรุงเทพฯ: กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- กรมชลประทาน. (2554b). คู่มือการปฏิบัติงาน เล่มที่ 8/16 การประเมินการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ. กรุงเทพฯ: กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- เฉลิม วงศ์วิเศษรุ่งสี, & เล็ก มอญเจริญ. (2538). การศึกษาวิจัยวิธีการหาค่า การคายระเหยน้ำและสมดุลของน้ำ. กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ปกรณ ฌ ศรี, & ปกรณ ดิษฐกิจ. (2561). โค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมโดยใช้วิธีฮาร์โมนีเซอร์ช: กรณีศึกษา อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำใส. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 19.
- ปรเมศร์ อมาตยกุล. (2549). การประมาณค่าฝนใช้การรายเดือนจากปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่มีความเชื่อมั่นว่าเป็นไปได้ร้อยละ 80 ในประเทศไทย. กลุ่มวิชาการอุทกนิยมนิเทศศาสตร์ สำนักพัฒนาอุทกนิยมนิเทศศาสตร์ กรมอุทกนิยมนิเทศศาสตร์
- ศตวรรษ ทวงชน. (2560). เอกสารประกอบการสอนวิศวกรรมการประปาและสุขาภิบาล. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สชิล ลีลาชัย, & สิตางค์ พิสัยหล้า. (2020). การประเมินความต้องการใช้น้ำ กลุ่มที่พิกัดภัยในพื้นที่รับผิดชอบของการประปาส่วนหลวง แบบรายพื้นที่. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, 25, WRE09-WRE09.
- อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง. (2563). การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดขั้นสูงสำหรับการจัดการน้ำ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- อารียา ฤทธิมา. (2561). เอกสารประกอบการสอนอุทกวิทยา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อารียา ฤทธิมา, กิตติพัฒน์ สาลิกกิจ, กฤตยา สมานวงศ์รักษ์, พรพนทิพา ศรีธรรมมา, & อิทธิพล ชื่นนวนิชย์. (2013). การศึกษาการสูญเสียจากการระเหยของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กในประเทศไทย. *Engineering Journal of Research and Development*, 24(1), 27-36.
- Ahmadianfar, I., Gong, W., Heidari, A. A., Golilarz, N. A., Samadi-Kouchehsaraee, A., & Chen, H. (2021). Gradient-based optimization with ranking mechanisms for parameter identification of photovoltaic systems. *Energy Reports*, 7, 3979-3997.
- Chaleeraktragoon, C., & Kangrang, A. (2007). Dynamic programming with the principle of progressive optimality for searching rule curves. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34(2), 170-176.
- Draper, A. J., & Lund, J. R. (2004). Optimal hedging and carryover storage value. *Journal*

- of water resources planning and management*, 130(1), 83-87.
- Gao, X. Z., Govindasamy, V., Xu, H., Wang, X., & Zenger, K. (2015). Harmony search method: theory and applications. *Computational intelligence and neuroscience*, 2015.
- Geem, Z. W., Kim, J. H., & Loganathan, G. V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *simulation*, 76(2), 60-68.
- Jain, S. K., & Singh, V. P. (2003). *Water resources systems planning and management*. Elsevier.
- Jensen, M. E. (2010). Estimating evaporation from water surfaces. CSU/ARS Evapotranspiration Workshop, Fort Collins, CO,
- Kangrang, A., Lehner, A., & Mayrhofer, P. (2011). An improvement of small reservoir rule curves using genetic algorithms and water balance equation. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12), 707-714.
- Kangrang, A., Prasanchum, H., Hormwichian, R., Techarungruengsakul, R., Ngamsert, R., Phookinghin, N., & Wangthken, J. (2019). Improvement of water management project by correcting irrigation water requirement in farmer participation and optimization. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25(5), 852-863.
- Knisel Jr, W. G. (1970). A factor analysis of reservoir losses. *Water Resources Research*, 6(2), 491-498.
- Neelakantan, T., & Pundarikanthan, N. (1999). Hedging rule optimisation for water supply reservoirs system. *Water resources management*, 13(6), 409-426.
- Palayasoot, P. (1965). Estimation of pan evaporation and potential evapotranspiration of rice in the central plain of Thailand by using various formulas based on climatological data.
- Prasanchum, H., & Kangrang, A. (2018). Optimal reservoir rule curves under climatic and land use changes for Lampao Dam using Genetic Algorithm. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(1), 351-364.
- Senturk, K., & Oruc, F. (2010). A case study: Evaporation estimation at Oymapinar Dam. *BALWOIS. Ohrid, Republic of Macedonia*, 25-29.
- Shiau, J., & Lee, H. (2005). Derivation of optimal hedging rules for a water-supply reservoir through compromise programming. *Water resources management*,

19(2), 111-132.

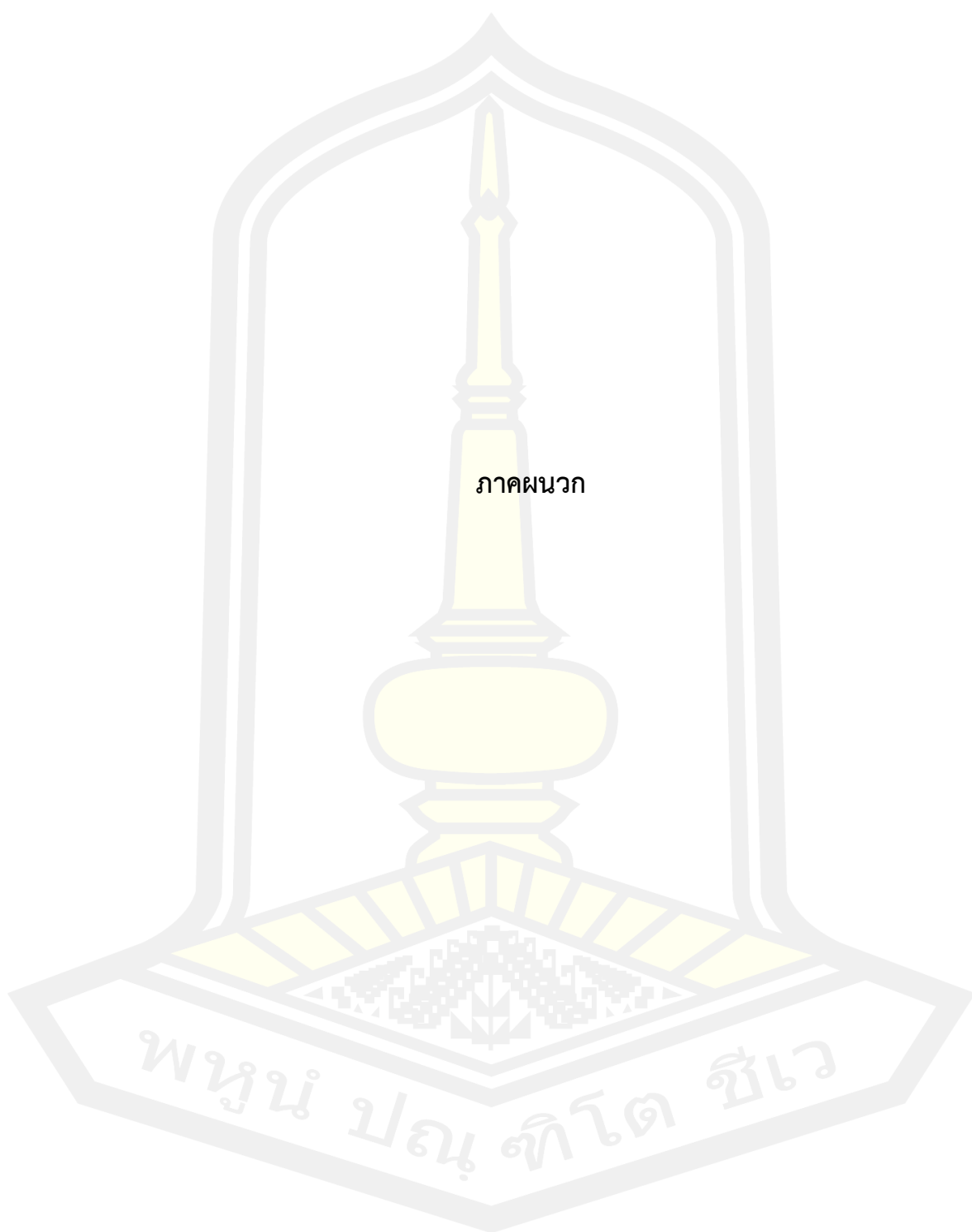
Sivapragasam, C., Vasudevan, G., Maran, J., Bose, C., Kaza, S., & Ganesh, N. (2009).

Modeling evaporation-seepage losses for reservoir water balance in semi-arid regions. *Water resources management*, 23(5), 853-867.

Sriworamas, K., Kangrang, A., Thongwan, T., & Prasanchum, H. (2021). Optimal Reservoir of Small Reservoirs by Optimization Techniques on Reservoir Simulation Model. *Advances in Civil Engineering*, 2021.

Teegavarapu, R. S., & Simonovic, S. P. (2002). Optimal operation of reservoir systems using simulated annealing. *Water resources management*, 16(5), 401-428.







ตารางที่ ผ-1 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจังหวัดมหาสารคาม

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2535	22.1	25.9	30.1	32.1	30.7	28.3	28.2	27.7	27.4	25.4	23.3	23.3
2536	22	24.7	28.5	30	29.3	28.9	29	27.8	27.4	26.3	25	22.3
2537	23.7	27.8	29.2	30.6	29.3	28.4	28.4	27.5	26.7	25.8	25	24.3
2538	23.4	25.2	29	31.1	29.8	29.2	27.9	28	28	27	24.7	22.4
2539	23.5	23.5	25.2	26.9	28.5	28.5	28.3	28	27.2	27.2	25.6	22.1
2540	22.8	25.1	27	28.4	30	29.8	28.2	28.3	27.8	27.6	26	25.1
2541	25.5	27.6	28.7	29.8	30.8	30.2	29.5	28.7	28	27.3	26	23.7
2542	23.7	25.9	29.5	29.1	28.6	28.5	28.5	28.1	27.5	27.1	25.4	20.8
2543	24.3	26.3	28.3	29	28.6	28.4	28	27.6	27.2	26.1	24.9	24.7
2544	25.6	26.3	27.3	29.3	28.9	28.4	28.6	27.9	27.9	27.6	23.8	23.6
2545	23.2	26.1	28.2	29.9	29.7	29.4	29.3	27.8	27.3	27.5	26.5	25.8
2546	22.8	26.3	27.5	30.6	30.5	29.2	29	28.4	27.6	27.7	26.2	22.9
2547	23.7	24.1	28.9	30	29.2	28.5	28	28.3	28	26.9	26.1	22.9
2548	23.9	28.5	29.3	30.1	29.8	29.3	28.5	27.9	27.3	27.6	26.4	23.4
2549	24.3	26.3	28.8	29.2	28.8	29.6	28.6	27.9	28	27.6	27.3	23.8
2550	23.4	26.5	29.7	29.8	29.7	29.6	29	27.8	27.7	26.5	23.8	24.9
2551	23.4	25.4	27.3	28.8	28.1	28.9	28.3	28	27.5	26.4	25.3	22.8
2552	21.8	27.4	28.5	30	28.6	28.6	28.6	28.6	28.2	27	25.8	24.7

ตาราง ผ-1 (ต่อ)

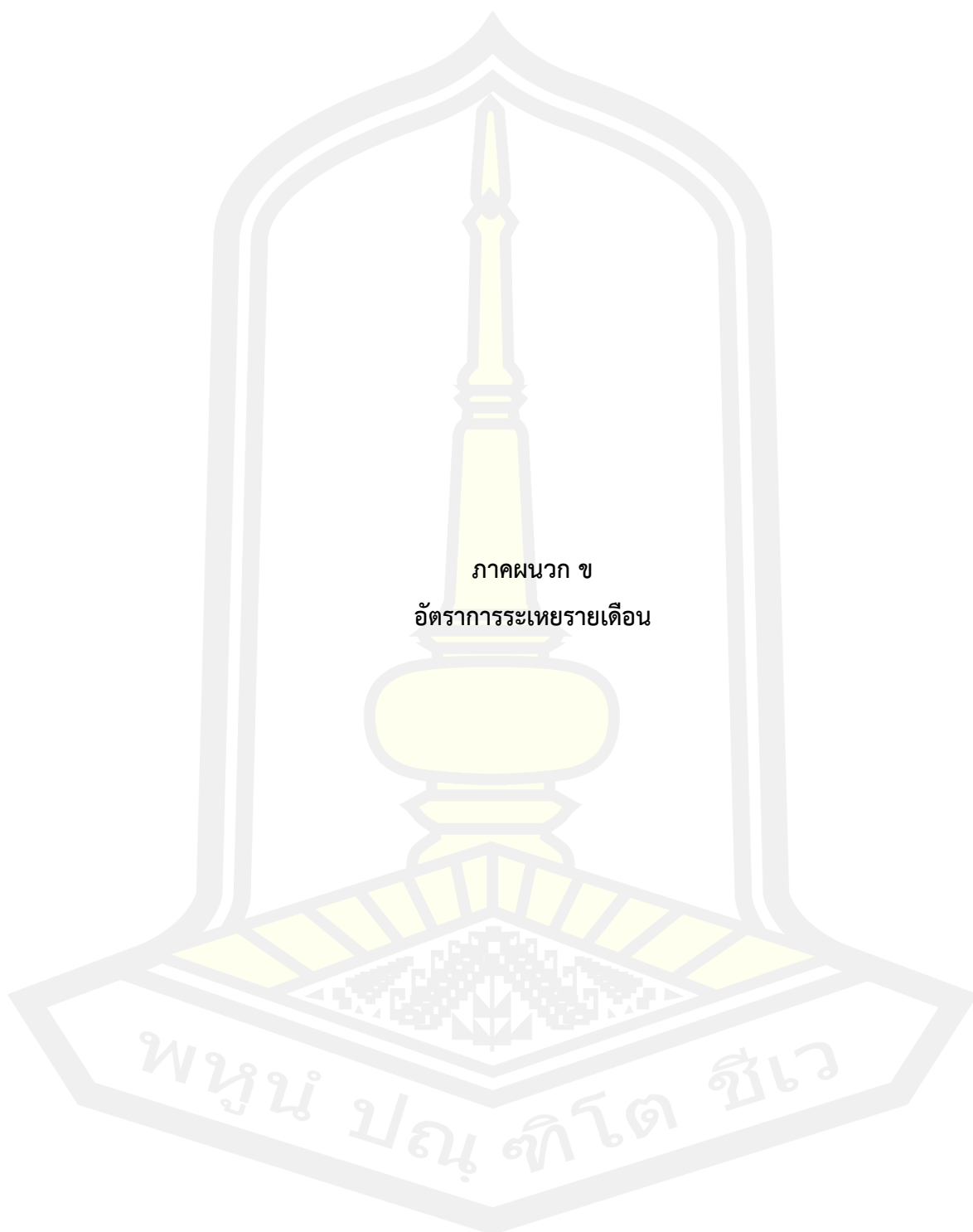
ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2553	105.39	124.96	142.28	183.25	175.83	160.76	146.94	124.96	129.72	138.10	107.24	91.47
2554	63.87	118.90	132.88	136.03	140.72	143.84	131.30	123.37	113.75	139.93	130.06	72.17
2555	94.95	127.58	128.14	142.28	140.72	140.72	131.30	121.77	126.55	121.77	110.52	127.58
2556	85.51	118.57	154.65	168.33	154.65	145.39	131.30	121.77	115.36	139.27	132.75	122.40
2557	54.11	123.62	153.11	157.71	162.28	154.65	132.88	129.72	126.55	118.57	108.90	82.75
2558	67.11	116.27	151.58	165.31	175.83	159.24	136.03	129.72	128.14	110.52	130.44	118.22
2559	96.89	115.36	154.65	199.32	172.84	153.11	134.45	136.03	123.37	128.14	134.91	93.44
2560	112.55	138.24	126.55	156.18	142.28	134.45	124.96	134.45	136.03	112.14	129.90	80.30
2561	99.50	124.54	116.97	136.03	137.59	142.28	126.55	126.55	123.37	120.18	122.61	122.61
2562	105.54	137.59	168.33	186.20	159.24	165.31	153.11	131.30	126.55	120.18	121.46	77.11
2563	118.27	128.38	153.11	165.31	177.32	153.11	154.65	131.30	112.14	118.27	120.24	79.36
2564	60.45	107.54	137.59	148.49	162.28	156.18	143.84	143.84	120.18	113.75	128.16	83.59

ตาราง ผ-2 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจังหวัดมุกดาหาร

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2535	20.7	24	28.5	31	29.3	27.6	27.3	27.2	27.2	24.9	22.4	22.7
2536	21.1	24.2	27.6	29.4	28.5	28.2	28	27	27.2	25.6	24.4	21
2537	23	26.2	25.6	30.1	29.3	27.4	27.5	26.8	27.2	25.6	24.5	23.8
2538	22.5	24	28.1	30.2	29	28.7	27.2	27.3	27.6	26.4	23.5	21.2
2539	22.7	22.3	28.3	27.3	28.2	28.4	27.8	27.5	26.8	26.4	24.7	21.3
2540	22.4	23.9	27.1	27.9	29.2	28.4	27.4	27.1	27.2	27.3	25.5	24.3
2541	25.1	26.6	30.1	30.9	30.6	29.5	28.9	28.1	26.9	26.6	25	22.8
2542	22.8	25.1	29.6	28.8	27.2	28.1	27.9	27.5	27.1	26.8	24.5	19.9
2543	23.5	23.6	28	28.5	27.6	27.6	27.2	27.5	26.4	26.6	23.7	23.7
2544	24.8	25.2	27.2	31.2	28.2	27.6	27.8	27.3	27.4	27.4	23.4	22.8
2545	22.6	25.7	28.3	29.9	28.5	28.1	27.6	26.8	26.7	27	25.5	25.1
2546	22.2	26	27.3	30.2	30.4	28.5	28.5	27.5	27.1	27	25.4	22.1
2547	23.4	23.1	27.9	28.9	29.1	28.4	27.2	27.6	27	26.1	25.2	22.6
2548	23.2	27.8	26.5	29.2	29.7	28.6	27.8	27.1	27.5	26.9	25.6	21.8
2549	23.4	25.4	28	29	28.7	29.5	27.6	27.3	27.8	26.8	26.7	22.9
2550	22.4	26.5	29	29.6	29.2	29.2	28.5	27.5	27.5	25.8	23	24.1
2551	22.5	20.8	26.8	29.3	27.4	28	27.8	27.6	27.2	27.3	24.3	21.5
2552	20.6	27.3	28.3	29.1	28.2	28.7	27.8	28.1	27.8	27.4	24.6	23.7

ตาราง ผ-2 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2553	24.3	27.6	28.7	30.8	30.1	30	29.2	27.4	27.9	25.8	24.4	23.4
2554	20.3	24.7	23.8	28.3	29.2	28.3	27.9	27.3	26.8	26	25.4	21.1
2555	22.9	25.5	27.6	28.8	29.3	28.5	28.2	27.6	28.1	27.9	27.9	25.8
2556	23.3	27.1	29.5	29.6	29	28.7	27.5	27.7	27.1	26.5	25.5	20
2557	20.9	24.9	29.5	29.8	30.2	28.8	27.8	28	27.7	27.7	26.9	22.5
2558	22.1	25	29.4	30.3	30.8	30	28.1	28.4	28.4	27	27.3	24.9
2559	24.4	22.4	28.8	33	30.7	29.4	28.5	28.6	27.9	27.9	26	23.8
2560	24.4	24.3	27.5	29.1	28.9	28.5	27.1	28.6	28.4	27.1	25.3	22.4
2561	23.7	23.4	26.6	28.5	28.6	28.6	27.1	27.4	28.4	28	26.6	25.1
2562	24.2	28.4	30.1	31.6	29.8	30.2	28.6	27.5	27.6	28.1	25.7	23.4
2563	25.2	25.8	29.4	29	31.8	30.2	29.5	27.7	28.8	25.2	25.3	22.5
2564	20.9	24.8	29.1	29.6	30.4	29.2	28.7	29	27.6	26.7	25.3	22.6



ตาราง ผ-3 อัตราการระเหยรายเดือนจังหวัดมหาสารคาม

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2535	118.1	144.0	199.0	199.8	165.4	135.7	121.8	120.1	120.1	116.8	119.4	117.5
2536	115.7	131.1	184.4	189.1	187.5	176.4	174.1	155.0	143.6	146.1	136.6	136.9
2537	140.4	164.8	170.6	178.2	159.3	132.8	135.0	129.5	128.9	137.0	128.2	130.6
2538	137.6	144.3	185.7	194.5	184.5	149.8	128.0	128.7	123.0	118.5	134.8	143.0
2539	132.2	132.2	185.0	189.0	190.0	162.3	136.3	130.6	129.8	129.8	124.0	118.1
2540	117.3	120.4	136.6	157.7	176.5	163.5	147.4	132.8	130.9	133.5	128.6	128.6
2541	129.4	138.1	172.1	188.9	177.9	157.0	142.8	130.1	128.8	127.5	126.0	126.0
2542	133.3	162.6	179.3	166.2	153.1	139.9	141.3	128.4	133.3	138.1	137.3	99.4
2543	145.4	149.2	153.0	160.5	135.6	123.8	115.5	113.0	110.5	124.9	130.7	136.5
2544	121.8	136.5	151.1	194.4	161.7	149.3	138.4	127.4	127.4	120.5	120.5	121.4
2545	120.3	124.6	154.8	168.1	139.3	129.8	120.3	110.6	108.9	131.0	127.8	118.2
2546	123.8	126.4	131.0	178.2	172.8	144.1	140.5	131.4	123.4	143.7	139.1	136.9
2547	112.2	118.5	172.9	175.1	149.5	147.2	141.8	137.9	143.6	154.7	150.0	132.1
2548	123.2	146.6	160.1	175.6	170.1	166.4	149.7	134.4	108.4	117.6	127.9	133.8
2549	119.2	127.9	154.9	163.1	162.7	160.2	135.6	133.7	127.1	121.7	126.1	125.3
2550	136.9	147.1	164.7	181.5	164.4	148.8	127.1	127.1	122.6	130.2	124.2	126.0
2551	133.2	132.8	160.9	161.2	159.4	161.2	153.3	147.0	132.4	130.0	120.2	109.3
2552	113.1	125.0	156.3	162.7	153.3	145.4	135.2	129.6	113.8	122.8	122.8	134.1

ตาราง ผ-3 (ต่อ)

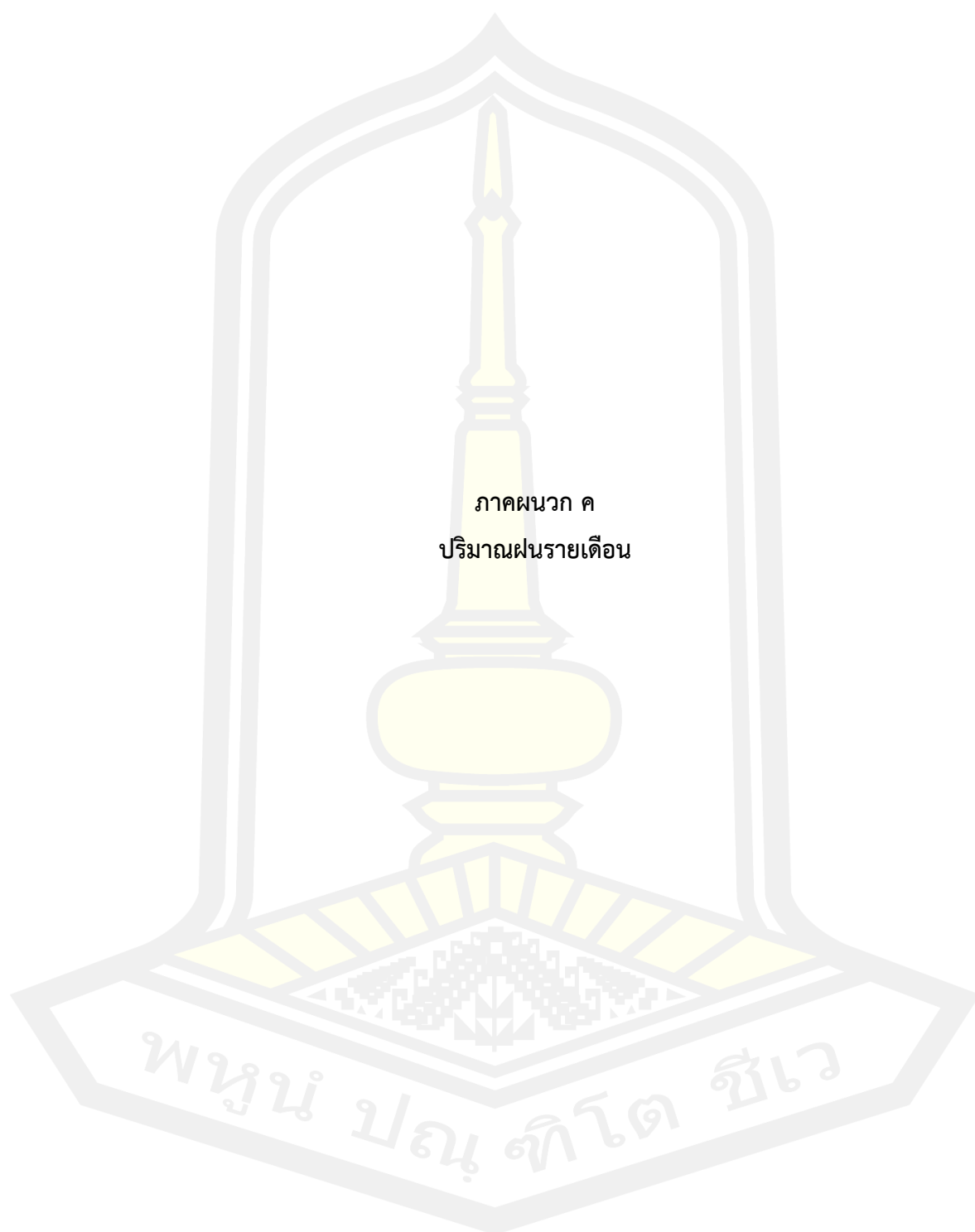
ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2553	121.8	143.6	175.5	193.0	168.1	158.4	131.8	117.4	119.1	127.4	121.8	107.0
2554	112.0	115.4	130.3	134.4	139.8	138.1	117.5	115.3	120.7	127.4	118.7	117.6
2555	111.3	115.1	142.2	151.1	144.4	137.7	131.0	124.7	119.7	117.1	115.6	122.5
2556	121.5	133.6	167.0	172.2	164.3	156.5	148.7	140.9	127.7	115.7	119.4	99.4
2557	104.8	139.1	152.0	181.7	165.8	146.2	113.7	101.2	104.8	104.5	105.2	114.7
2558	103.8	120.5	137.4	169.6	168.3	143.3	138.3	129.5	121.9	112.7	122.1	121.0
2559	128.2	128.9	169.8	212.1	184.7	138.3	126.4	113.4	115.3	111.8	119.4	112.1
2560	119.0	132.1	155.1	175.8	130.4	123.4	124.8	127.5	122.5	128.8	136.3	115.5
2561	114.5	128.3	143.3	139.0	147.5	136.6	117.3	115.7	115.2	118.0	121.9	121.9
2562	128.4	147.4	172.2	199.8	162.8	161.1	152.2	131.6	112.4	134.4	130.6	115.4
2563	123.6	136.3	156.8	158.1	174.2	140.8	131.7	124.0	107.8	123.6	113.0	112.1
2564	110.0	114.6	129.7	138.6	162.0	158.6	137.3	138.1	134.7	131.4	128.1	127.4

ตาราง ผ-4 อัตราการระเหยรายเดือนจังหวัดมุกดาหาร

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2535	107.9	121.5	176.8	188.8	175	106	115.9	105.7	115.2	134.2	139.5	118
2536	122.8	133	177.7	183.3	156.9	125.2	135.7	112.8	116.6	139.2	133.7	140
2537	124.7	127	144.8	174.1	159.2	114.1	107.2	100.3	102.7	133.9	126.4	125.2
2538	129.5	124.4	172.1	170	163.2	119.8	106.6	121.3	118.2	114	108.5	109.8
2539	116.1	127.1	173.6	120.7	125.4	127.8	123.9	107.3	99.8	108.1	103.6	109.6
2540	104.3	104.9	144.5	143.4	150.1	122.4	93.9	93.5	117.5	117.7	113.3	113.3
2541	114.7	121.6	172.5	180.6	170.5	141.9	134.1	123.2	88.9	118.2	110	113.3
2542	112.7	130.5	169.5	144.1	101.4	118	104.6	108.3	97.6	107.7	93.7	100.1
2543	110.3	110.9	151.4	117.9	107.8	104.3	99.3	106.3	92.4	109.1	114.4	111.1
2544	110.4	113.1	135.1	181.8	126.5	100.7	113.7	89.5	104.2	121.8	104.3	107.9
2545	106.3	112.5	138	155.2	137.7	114.7	106.9	76.5	77.4	118.1	108.4	109.1
2546	114.3	111.9	144.9	162	158.3	119.1	109.1	100.9	96.6	126.1	111.6	109.4
2547	107.2	94.8	137.3	147.8	134.6	123.1	81.4	84.1	107	121.7	116	111.5
2548	106.2	127.5	148.2	130.3	135	100.1	95.4	83.6	100.7	120.3	99.5	101.2
2549	117.9	122.7	139.5	140.6	137.7	135.3	86.3	83.5	110.7	102.7	103.6	106.3
2550	118.5	112.6	141.8	162.9	141.8	114.5	134.8	89	111.1	98.1	109.9	104.5
2551	114.5	121.9	142.4	146	103.4	98.5	102.1	103.2	88.3	110.3	110.7	97.7
2552	114.7	128.2	131.5	155.8	117.2	117.8	102	111.4	108.2	131.6	133.4	117.9

ตาราง ผ-4 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2553	119.9	125.3	188.1	178.4	148	143.1	140.1	77.8	103.8	102.1	122.8	114.2
2554	127	120.9	160.8	167.3	148.7	111.6	117.4	92.6	72.2	116.4	122.6	132.9
2555	105.6	128.7	161.5	130.4	139.4	107.9	113.1	101.6	126.8	151.3	127.8	141.9
2556	129.8	151.2	166.9	140.3	128.9	116.5	103.6	103.1	90	131.9	122	110.8
2557	118.9	118.4	172.1	156.3	168.2	121.1	104.9	111.1	105.7	137	128	144.4
2558	131.6	115.4	147.5	187	165.9	160.4	106.8	107.7	116.1	115.3	117.5	130.7
2559	108.5	141.4	176.7	192.6	151.2	128.9	124.6	123.5	97.2	134	115.4	131.6
2560	130.5	134.4	146.4	137.9	162.7	116.9	70.8	122.4	112.9	122.7	126.6	144.2
2561	125.6	130.4	156.3	159.3	147.1	125.3	114.2	115.6	126.4	150.5	49.3	134.4
2562	130.9	129.1	170.2	185.6	154	148.4	130.5	99.1	120.6	143	124.4	130.4
2563	133.9	154.6	156.4	181.8	175.6	148.3	133.9	111.5	110.1	90.1	124.3	129.3
2564	125.8	134.9	160.7	149.2	146.5	149.2	156.4	135	117.7	111.9	138	132.3



ตาราง ผ-5 ปริมาณฝนรายเดือนจังหวัดมหาสารคาม

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2535	7.5	13.2	0.0	24.0	93.5	273.4	325.1	173.7	261.8	89.0	0.0	117.5
2536	2.4	7.9	7.3	132.5	196.1	134.2	214.3	123.2	177.6	58.7	0.0	136.9
2537	0.0	35.3	81.4	20.0	149.9	317.5	7.0	278.0	312.3	44.3	0.0	130.6
2538	0.0	23.0	10.7	21.0	62.3	263.8	315.0	240.5	144.4	136.7	10.2	143.0
2539	0.0	2.5	116.7	148.1	169.2	143.6	118.2	240.1	402.9	99.8	59.9	118.1
2540	0.0	36.0	55.3	53.4	94.5	78.0	205.8	94.6	135.6	122.1	0.0	128.6
2541	0.0	0.0	69.4	118.6	176.9	272.1	69.8	193.2	173.4	32.9	27.3	126.0
2542	11.8	10.5	0.0	151.9	186.8	97.0	263.4	66.5	225.3	91.6	36.9	99.4
2543	0.0	0.0	52.5	154.9	243.3	324.0	199.0	273.7	166.1	101.9	0.0	136.5
2544	0.0	2.2	99.3	3.8	74.6	375.4	149.3	167.5	196.7	122.2	38.5	121.4
2545	0.0	18.5	94.1	46.8	328.3	159.7	140.6	420.7	353.4	116.3	1.8	118.2
2546	35.0	61.5	0.5	62.0	83.0	87.5	43.3	244.5	374.3	20.0	0.0	136.9
2547	0.0	0.0	3.7	99.4	127.8	174.0	504.2	341.7	79.1	0.0	0.0	132.1
2548	0.0	8.7	81.5	105.2	142.2	129.9	222.5	286.1	141.1	35.2	67.8	133.8
2549	0.0	8.7	81.5	37.9	173.2	83.9	183.7	147.8	166.0	224.5	147.8	125.3
2550	0.0	0.0	0.0	48.5	191.3	56.7	146.1	309.3	194.3	166.9	1.0	126.0
2551	18.2	4.0	31.3	126.9	156.0	107.5	129.5	182.6	285.3	105.5	107.0	109.3
2552	0.0	0.0	23.3	54.5	131.3	119.1	181.1	98.2	171.9	16.5	0.0	134.1

ตาราง ผ-5 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2553	12.0	34.7	7.2	48.8	57.3	76.8	110.4	318.6	125.2	119.2	0.0	5.0
2554	0.0	9.5	11.4	39.9	73.4	103.3	169.7	132.4	228.3	119.8	0.0	0.0
2555	40.6	14.0	0.0	21.0	60.2	21.7	26.3	136.1	182.2	59.0	6.0	0.0
2556	3.0	0.0	0.0	58.6	78.7	37.3	117.9	101.9	232.3	12.0	0.0	4.5
2557	0.0	0.0	13.6	79.6	75.1	82.4	169.8	154.9	219.8	34.8	0.0	0.0
2558	0.0	12.5	0.0	25.0	97.2	77.7	178.5	159.1	104.3	64.1	3.0	0.0
2559	20.3	0.0	0.0	98.8	124.9	124.9	192.0	231.5	308.0	120.5	33.2	0.0
2560	0.0	0.0	85.5	33.0	261.8	90.0	426.0	109.4	210.9	111.6	0.0	0.0
2561	0.0	0.0	8.5	78.0	158.0	115.3	261.6	128.7	141.3	5.0	0.0	0.0
2562	0.0	13.5	13.3	55.6	121.4	46.5	28.7	364.5	144.0	8.3	0.0	0.0
2563	0.0	0.0	27.7	15.0	84.2	38.3	42.4	205.6	207.5	148.5	5.0	0.0
2564	0.0	45.0	82.0	85.7	58.0	211.0	95.5	113.0	270.5	70.5	0.0	0.0

ตาราง ผ-6 ปริมาณฝนรายเดือนจังหวัดมุกดาหาร

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2535	0.0	101.8	64.5	27.1	275.5	271.7	230.1	296.3	422.6	124.9	32.1	3.1
2536	0.0	6.0	1.8	92.9	205.0	162.7	244.4	174.9	165.0	72.7	22.9	0.6
2537	0.0	0.4	23.6	193.4	146.8	210.8	141.6	173.4	553.2	83.3	98.5	0.0
2538	0.6	3.6	62.2	73.5	175.4	302.2	366.6	282.2	131.6	50.0	0.0	0.0
2539	0.0	54.6	0.0	68.2	395.3	203.4	150.3	262.1	229.3	79.2	139.6	0.4
2540	0.0	42.2	71.8	71.9	285.6	181.4	250.8	114.9	160.8	203.4	15.0	0.1
2541	0.0	3.8	0.6	233.6	484.4	312.3	381.4	329.0	199.1	77.7	0.0	0.0
2542	0.6	16.6	61.3	48.8	120.6	359.8	228.2	330.2	367.7	283.9	54.6	1.9
2543	0.0	0.0	1.1	28.8	136.1	124.9	456.4	346.6	339.7	135.2	8.5	4.4
2544	0.0	52.9	18.1	56.9	233.1	147.4	76.1	331.9	313.6	43.6	0.1	0.0
2545	20.0	19.6	16.3	71.5	143.9	373.8	185.3	315.9	287.7	39.0	0.0	0.0
2546	0.0	0.0	15.7	26.1	131.6	334.2	294.4	299.8	261.8	34.3	85.4	1.3
2547	0.0	14.0	2.1	87.0	87.1	215.9	397.5	486.4	235.1	228.9	35.6	0.9
2548	0.5	0.2	41.8	33.5	485.8	195.4	314.3	437.2	286.3	185.0	10.8	0.0
2549	0.1	1.7	59.6	28.8	318.2	124.3	120.5	321.6	416.1	208.1	22.7	0.6
2550	0.0	1.7	84.0	209.5	141.0	208.1	495.0	246.5	425.8	10.6	0.1	0.0
2551	0.0	101.8	64.5	27.1	275.5	271.7	230.1	296.3	422.6	124.9	32.1	3.1
2552	0.0	6.0	1.8	92.9	205.0	162.7	244.4	174.9	165.0	72.7	22.9	0.6

ตาราง ผ-6 (ต่อ)

ปี	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2553	15.5	16.0	0.0	76.3	145.7	191.3	280.2	437.0	297.4	117.7	1.1	0.0
2554	0.0	25.2	18.5	79.9	176.9	213.0	165.6	469.7	312.4	162.5	0.0	0.0
2555	8.8	0.0	19.2	73.5	270.2	86.1	160.0	294.7	287.1	28.8	38.3	0.0
2556	1.1	0.0	41.7	95.3	199.7	142.1	396.2	115.7	502.1	80.4	4.6	66.3
2557	0.0	8.4	0.1	123.0	54.1	715.8	664.8	162.6	442.6	114.2	0.0	5.0
2558	0.0	18.6	0.2	7.4	94.4	157.2	314.1	180.6	271.5	197.5	17.6	0.0
2559	4.8	0.0	0.0	60.7	216.1	494.7	185.1	155.0	347.9	105.3	4.8	14.0
2560	0.4	0.0	63.9	69.4	343.2	285.2	488.9	233.0	153.8	79.7	7.0	0.4
2561	0.0	1.5	72.4	51.4	166.3	352.8	398.2	377.4	387.7	96.4	14.9	12.0
2562	0.0	9.5	12.6	9.5	249.8	77.5	252.6	350.1	508.7	53.4	17.4	0.0
2563	0.0	1.2	29.1	124.2	201.5	237.2	202.2	347.4	182.8	1.4	0.1	0.0
2564	0.0	2.5	3.9	46.1	139.4	257.9	263.1	241.1	347.0	186.7	0.0	6.1

ตาราง ผ-7 ประชากรในพื้นที่ศึกษา

อ่างเก็บน้ำ	หมู่บ้าน/ปี	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544
อ่างเก็บน้ำ แก่งเลิงจาน	กุดเป่ง	383	383	383	383	383	383	380	377	378	386
	เม่นใหญ่	316	316	316	316	316	316	309	291	294	296
	เม่นน้อย	394	394	394	394	394	394	355	351	343	343
	โนนหัวฝาย	167	167	167	167	167	167	164	175	175	172
อ่างเก็บน้ำ ห้วยสะแบก	หนองยางใต้	-	-	-	-	1053	1053	1059	1075	1097	1091
	ป่าขี้ยาง	-	-	-	-	636	636	625	619	609	613
	หนองแคน	-	-	-	-	552	552	565	573	576	598
	โคกก่อง	-	-	-	-	496	496	473	481	484	489
	ไร่สีสุก	-	-	-	-	1180	1180	1166	1147	1095	1100
อ่างเก็บน้ำ ห้วยลิงโจน	ห้องแซง	-	-	1479	1479	1479	1479	1496	1485	1461	1473
	ห้องแซง	-	-	1322	1322	1322	1322	1312	1284	1271	1260
	โพธิ์ทอง	-	-	580	580	580	580	576	566	558	551
	ไทยเจริญ	-	-	368	368	368	368	378	384	390	384
	แสงสุวรรณ	-	-	235	235	235	235	235	258	262	270
	นาเซ	-	-	225	225	225	225	225	235	237	237
	นาจาน	-	-	456	456	456	456	456	465	468	470
	โคกวิไล	-	-	522	522	522	522	522	550	546	543
	หวาย	-	-	610	610	610	610	610	602	603	605

ตาราง ผ-7 (ต่อ)

อ่างเก็บน้ำ	หมู่บ้าน/ปี	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554
อ่างเก็บน้ำ แก่งเลิงจาน	กุดเป่ง	383	387	398	405	402	409	402	397	396	397
	เม่นใหญ่	300	300	306	302	292	302	300	301	299	299
	เม่นน้อย	350	352	355	357	363	367	366	376	376	371
	โนนหัวฝาย	170	179	192	201	203	210	216	213	230	222
อ่างเก็บน้ำ ห้วยสะแบก	หนองยางใต้	1097	1103	1098	1087	1107	1095	1087	1083	1096	1080
	ป่าซึ่ยาง	601	605	629	627	629	643	643	647	647	651
	หนองแคน	606	613	633	641	656	668	673	684	698	703
	โคกก่อง	493	499	511	512	510	497	499	509	518	525
	ไร่สีสุก	1106	1099	1096	1064	1055	1011	994	1007	1005	1002
อ่างเก็บน้ำ ห้วยลิงโจน	ห้องแซง	690	682	653	612	607	604	595	599	596	584
	ห้องแซง	1243	1228	1190	569	569	563	555	558	553	566
	โพธิ์ทอง	561	551	539	533	511	498	496	480	470	456
	ไทยเจริญ	386	380	375	377	379	372	367	372	374	370
	แสงสุวรรณ	273	275	288	283	298	292	299	298	297	299
	นาเซ	240	239	223	225	232	233	231	235	233	225
	นาจาน	466	461	466	470	477	482	486	493	502	496
	โคกวิไล	546	546	576	589	609	615	618	628	620	627
	หวาย	594	603	592	578	581	575	585	592	577	579

ตาราง ผ-7 (ต่อ)

อ่างเก็บน้ำ	หมู่บ้าน/ปี	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564
อ่างเก็บน้ำ แก่งเลิงจาน	กุดเป่ง	414	423	421	421	429	424	423	435	426	422
	เม่นใหญ่	302	307	306	310	304	309	307	308	307	307
	เม่นน้อย	370	371	373	374	381	392	398	396	397	395
	โนนหัวฝาย	233	239	257	263	276	283	283	287	290	291
อ่างเก็บน้ำ ห้วยสะแบก	หนองยางใต้	1083	1099	1107	1108	1115	1121	1133	1126	1107	1115
	ป่าขี้ยาง	651	654	665	670	669	667	656	658	653	651
	หนองแคน	720	724	724	733	743	744	750	759	756	755
	โคกก่อง	531	524	524	530	522	522	519	531	516	515
	ไร่สีสุก	1000	1018	1017	1010	1009	1024	1002	1005	988	968
อ่างเก็บน้ำ ห้วยลิงโจน	ห้องแซง	578	557	553	546	549	542	539	541	538	540
	ห้องแซง	569	557	577	579	575	565	568	570	572	560
	โพธิ์ทอง	466	468	474	474	466	466	457	456	448	450
	ไทยเจริญ	378	378	376	386	388	390	390	403	408	415
	แสงสุวรรณ	307	311	330	352	343	345	339	331	329	331
	นาเซ	227	222	222	219	223	225	231	221	226	230
	นาจาน	494	490	486	472	477	487	490	490	492	491
	โคกวิไล	631	632	627	626	630	624	627	625	631	643
	หวาย	579	596	590	577	582	576	585	581	592	597

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย ชีรเจตส์ ไชยสอน
วันเกิด	วันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2542
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 3 ซอย 9 ถนนมหาชัยคำริ ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัด มหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2559 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสกลราชวิทยานุกูล จังหวัด สกลนคร พ.ศ. 2563 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรม โยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2565 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

