

โครงการวิศวกรรมชลประทาน

(207499)

ที่ 3/2549

เรื่อง

การประยุกต์ฟัซซีลอจิกสำหรับแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า
ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตะเพินโดยใช้โปรแกรม MATLAB

Application of Fuzzy Logic for Rainfall-Runoff Modeling
in Huai Taphoen Basin by MATLAB

โดย

นายชัยทัต ชีวะนอรรถ

นายชเรศ พิรนนท์

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

พ.ศ. 2550

ใบรับรองโครงการวิศวกรรมชลประทาน
 ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เรื่อง การประยุกต์ฟัซซีลอจิกสำหรับแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า
 ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตะเพิน โดยใช้โปรแกรม MATLAB
 Application of Fuzzy Logic for Rainfall-Runoff Modeling
 in Huai Taphoen Basin by MATLAB

นามผู้ทำโครงการ นายชัยทัต ชีวะนอรรถ
 นายชเรศ พิรินนท์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ
 (ผศ.ดร. เอกสิทธิ์ โสมสิตสกุลชัย)
/...../.....

หัวหน้าภาควิชา
 (รศ.ดร.บัญชา ขวัญยืน)
/...../.....

บทคัดย่อ

เรื่อง : การประยุกต์ฟัซซี่ลอจิกสำหรับแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า
ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตะเพิน โดยใช้โปรแกรม MATLAB

โดย : นายชัยทัต ชีวะนอรรถ และ นายธเรศ พิรินนท์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ :
(ผศ.ดร. เอกสิทธิ์ โสมิตสกุลชัย)
...../...../.....

โครงการวิศวกรรมนี้ เป็นการประยุกต์ฟัซซี่ลอจิกสำหรับศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่า โดยใช้โปรแกรม MATLAB ร่วมกับ Simulink และ Fuzzy Toolbox ในการพัฒนาแบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ที่ทำการศึกษาคือ ลุ่มน้ำห้วยตะเพิน ซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำแม่กลอง โดยใช้ข้อมูลน้ำฝนรายวันของที่สถานี 450201 (สตอ. จ.กาญจนบุรี) ตั้งแต่ปี ค.ศ.1999 – 2005 จำนวน 7 ปี

การพัฒนาแบบจำลองทำโดยใช้การปรับเงื่อนไขและฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (membership function, MF) ของฟัซซี่ลอจิก ซึ่งแบบจำลองแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ แบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Mamdani และแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Sugeno ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เข้ามาช่วยในการปรับ MF

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ทำโดยคำนวณค่าประสิทธิภาพของ Nash ของผลลัพธ์จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกทั้ง 2 ชนิดและจากแบบจำลอง RRL ค่า Nash ของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Mamdani = 0.301, ค่า Nash ของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Sugeno = 0.383 และค่า Nash ของแบบจำลอง RRL = 0.700

ฟัซซี่ลอจิก เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรมชลประทาน ถึงกระนั้น การนำไปใช้ต้องเข้าใจกระบวนการของระบบที่ศึกษาอย่างชัดเจน จึงจะทำให้การกำหนดเกณฑ์ทางตรรกะของแบบจำลองเป็นไปอย่างถูกต้องและเหมาะสม

ABSTRACT

Title : Application of Fuzzy Logic for Rainfall-Runoff Modeling
in Huai Taphoen Basin by MATLAB

By : Mr. Chaitat Cheevanaart and Mr. Thares Piranon

Project Advisor :
(Assist. Prof. Dr. Ekasit Kositsakulchai)
...../...../.....

This senior project applied the fuzzy logic for studying the rainfall-runoff relationship in Huai Taphoen basin, the tributary of Mae Klong river. The rainfall-runoff model was developed by MATLAB program, including Simulink and Fuzzy Toolbox. Daily rainfall data of station 450201 (Kanchanaburi) were selected from 1999 to 2005.

The development of fuzzy model was based on defining and adjusting membership functions (MF). Furthermore , two types of fuzzy rainfall-runoff model were implemented: (1) the Mamdani type and (2) the Sugeno type, using the artificial neural network (ANN) for adjusting the MFs.

In order to compare results, the Nash efficiency was calculated. The results from both types of fuzzy model and those from the referenced RRL model were considered. Finally, it was found that Nash efficiency of Mamdini model was 0.301, Sugeno, 0.383 and RRL, 0.700.

The fuzzy logic is an applicable approach in the field of irrigation engineering. However, its applications require a good understanding of the system in order to define the accurate and appropriate logic of the system.

คำนิยม

โครงการวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบคุณคุณยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในการสร้างแบบจำลอง และกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย ประธานกรรมการที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และคำปรึกษา รวมทั้งตรวจสอบและแก้ไขโครงการวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้จนสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบพระคุณ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณทุกท่านที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนจนประสบความสำเร็จในการศึกษา ตลอดจนทั้งครูบาอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ความสามารถ และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่คอยให้ความช่วยเหลือพร้อมทั้งกำลังใจที่มีให้เสมอมา

ผู้จัดทำ

มีนาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	iii
ABSTRACT	iv
คำนิยม	v
สารบัญ	vi
สารบัญภาพ	viii
สารบัญตาราง	x
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตะเพิน	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	5
2.1 ทฤษฎีฟuzzyเซต	5
2.2 โครงข่ายประสาทเทียม (ANN)	7
2.2.1 แนวคิดเบื้องต้นโครงข่ายประสาทเทียม	7
2.2.2 ANFIS	8
2.2.3 สมการ Nash Sutcliffe Criterion	8
2.3 แบบจำลอง	9
2.3.1 นิยามแบบจำลอง	9
2.3.2 ประเภทของแบบจำลอง (Types of Models)	9
2.4 กระบวนการพัฒนาแบบจำลอง	10
2.5 MATLAB (Matrix Laboratory)	10
2.5.1 ข้อดีของโปรแกรม MATLAB	11
2.5.2 โครงสร้างของ MATLAB	11
2.5.3 ประเภทของโปรแกรม MATLAB	12
2.5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง	13

	หน้า
2.6 Rainfall Runoff Library (RRL Model)	14
2.6.1 แบบจำลอง Tank	14
2.7 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำฝนและน้ำท่าที่ผ่านมาในอดีต	16
2.8 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของฟuzzyเซต	17
บทที่ 3 ข้อมูล อุปกรณ์ และวิธีการ	18
3.1 ข้อมูลที่ใช้	18
3.2 เครื่องมือ	20
3.3 วิธีการดำเนินงาน	20
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์	21
4.1 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า โดยฟuzzyลอจิก	21
4.2 ผลของการหาปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟuzzyลอจิก	29
4.2.1 แบบจำลอง RRL	29
4.2.2 แบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Mamdani	30
4.2.3 แบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS	31
4.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าระหว่างแบบจำลองฟuzzyลอจิก แบบจำลอง RRL และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง	33
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุป	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	42
ภาคผนวก ข Code แบบจำลองฟuzzy	52
ภาคผนวก ค วิธีการใช้โปรแกรม RRL	57

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงแผนที่ลุ่มน้ำห้วยตะเพิน	4
ภาพที่ 2 ความแตกต่างระหว่างตรรกศาสตร์แบบดั้งเดิม กับตรรกะแบบฟัซซี่	6
ภาพที่ 3 ค่าความเป็นสมาชิกของเทอม ร้อน, ไม่ร้อน, ร้อนมาก	6
ภาพที่ 4 หลักการทำงานเบื้องต้นของ ANN	7
ภาพที่ 5 ฟังก์ชันการกระตุ้น	8
ภาพที่ 6 แสดง Fuzzy Logic Toolbox	13
ภาพที่ 7 แสดงโครงสร้างของแบบจำลอง TANK	15
ภาพที่ 8 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด (สถานี K.12)	19
ภาพที่ 9 การนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม Matlab	23
ภาพที่ 10 การกำหนดค่า Membership Function ในฟัซซี่ลอจิกชนิด Mamdani	24
ภาพที่ 11 การกำหนด Membership Function ในฟัซซี่ลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS	25
ภาพที่ 12 หน้าต่างของเครื่องมือ Simulink Library Browser	26
ภาพที่ 13 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า (โดยฟัซซี่ลอจิก)	26
ภาพที่ 14 แบบจำลองระบบการตรวจสอบค่าความผิดพลาด	27
ภาพที่ 15 Output ของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกที่อยู่ในรูปตาราง	27
ภาพที่ 16 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Mamdani	28
ภาพที่ 17 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS	28
ภาพที่ 18 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการแบบจำลอง RRL	30
ภาพที่ 19 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Memdani	31
ภาพที่ 20 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS	32
ภาพที่ 21 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับแบบจำลอง RRL	34
ภาพที่ 22 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิดMamdani	34

ภาพที่ 23	กราฟ Scatter ระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Mamdani กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง	35
ภาพที่ 24	กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS	35
ภาพที่ 25	กราฟ Scatter ระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง	36
ภาพที่ 26	การจัดรูปแบบหัวเรื่องในการนำข้อมูลเข้าของโปรแกรม RRL	58
ภาพที่ 27	รูปแบบการจัดข้อมูลที่ใช้ในการนำเข้าข้อมูลใน โปรแกรม RRL	59
ภาพที่ 28	การสร้างแบบจำลองและการใส่ข้อมูล	60
ภาพที่ 29	การเลือกโมเดลเพื่อทำแบบจำลอง	60
ภาพที่ 30	การนำเข้าข้อมูลมาใน โปรแกรม	61
ภาพที่ 31	การนำเข้าข้อมูลมาใน โปรแกรม	61
ภาพที่ 32	การนำเข้าข้อมูลลงใน โปรแกรม	62
ภาพที่ 33	การทำการ Update ข้อมูล และ Warmup ข้อมูล	62
ภาพที่ 34	การปรับเทียบค่าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่า	63
ภาพที่ 35	กราฟแบบ Scatter Plot	63
ภาพที่ 36	กราฟแบบ Scatter Plot (monthly)	64
ภาพที่ 37	กราฟแบบ Observed and Calculated runoffs	64
ภาพที่ 38	กราฟแบบ Difference of the runoff	65
ภาพที่ 39	กราฟแบบ Duration Curve	65
ภาพที่ 40	การปรับค่าความอ่อนไหวและกราฟแสดงผล	66
ภาพที่ 41	กราฟผลการสังเคราะห์ข้อมูลแบบ Calculated Runoff	67
ภาพที่ 42	กราฟผลการสังเคราะห์ข้อมูลแบบ Duration Curve	67
ภาพที่ 43	กราฟผลการสังเคราะห์ข้อมูลแบบ Calculated Runoff (monthly)	68

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงค่าปริมาณน้ำฝนที่ได้จาก สตอ. กาญจนบุรี เฉลี่ยรายเดือน และรายปี (mm)	18
ตารางที่ 2 แสดงค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่สถานี k12 เฉลี่ยรายเดือน และรายปี (cms)	19
ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง RRL เฉลี่ยรายเดือน และรายปี (cms)	29
ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Mamdani เฉลี่ยรายเดือน และรายปี (cms)	30
ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS เฉลี่ยรายเดือน และรายปี (cms)	31

บทที่ 1 บทนำ

1.1 คำนำ

ในปัจจุบันแหล่งน้ำธรรมชาติต่าง ๆ ที่มนุษย์ใช้ประโยชน์กันอยู่ทั้งเพื่อการเกษตร การอุปโภค-บริโภค และอื่น ๆ ส่วนใหญ่จะเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ ที่อยู่บนผิวดิน ซึ่งมีปริมาณมาก และมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ดังนั้น จึงควรจะต้องมีการวางแผนในการใช้งาน และพัฒนาอย่างรอบคอบ เพื่อที่จะได้แก้ไขและใช้งานได้ตามสถานการณ์ที่เหมาะสม

การศึกษาและพัฒนาแหล่งน้ำในปัจจุบันได้ทำการศึกษาและพัฒนาโดยใช้องค์ความรู้ทางด้านอุทกวิทยา ซึ่งทำให้งานทางด้านอุทกวิทยาความเจริญก้าวหน้า และหลากหลายมากยิ่งขึ้น ทำให้การทำงานต้องการความถูกต้องและแม่นยำขึ้น นักอุทกวิทยาจึงได้ใช้เครื่องมือ และเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ที่มีการพัฒนาแล้วมาใช้ในงานทางด้านอุทกวิทยา เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผล ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นในการทำงาน ซึ่งเครื่องมือหนึ่งในการทำงานทางด้านอุทกวิทยา คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลากหลายชนิด เช่น โปรแกรม Hec-Ras, Hec-HMS, Hec-Ressim, MATLAB เป็นต้น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หมายถึงแบบจำลองที่แสดงระบบโดยใช้ความสัมพันธ์ทางด้านคณิตศาสตร์ (บัญชา, 2541) ในการศึกษาการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่า โดยโปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า ที่มีประสิทธิภาพในการ ให้ความถูกต้องและแม่นยำสูงในการวิเคราะห์ข้อมูล การประมวลผล และ การแสดงผล ได้เป็นอย่างดี จึงได้นำโปรแกรม MATLAB มาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่าในบริเวณที่ทำการศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์

1. ทำการสร้างแบบจำลองทางอุทกวิทยาขึ้นเพื่อจำลองข้อมูลน้ำท่า
2. ทำการทดสอบแบบจำลองที่ได้กับลุ่มน้ำลำตะเพิน
3. ทำการเปรียบเทียบข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง กับ ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม Matlab และโปรแกรม RRL Model

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาพื้นที่และสถานีวัดน้ำท่า และข้อมูลทางอุทกนิยวิทยาและลุ่มน้ำห้วยตะเพิน จังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมด 2,479 ตารางกิโลเมตร
2. ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา ในการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่า

1.4 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตะเพิน

1. ที่ตั้งและอาณาเขตพื้นที่

ลุ่มน้ำห้วยตะเพินเป็นหนึ่งในลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำแม่กลอง มีต้นกำเนิดจากเทือกเขา ไม้ตะแบก เขาใหญ่ เขาแดง ในเขตอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ห้วยตะเพินประกอบด้วยลำห้วยสาขาหลายสายมารวมกัน เช่น ห้วยพุตะเคียน ห้วยแม่ระวัง ห้วยแม่ตะกิง ห้วยกระพริ้อย เป็นต้น และไหลลงแม่น้ำแควใหญ่ที่บ้านท่าเสา อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี ลำน้ำมีความยาวจากต้นน้ำถึงจุดบรรจบแม่น้ำแควใหญ่ประมาณ 164 กิโลเมตร พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตะเพิน มีทั้งหมดเท่ากับ 2,479 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี และ อำเภอหนองปรือ อำเภอบ่อพลอย และอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตะเพิน มีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่ออำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี
ทิศตะวันออก	ติดต่ออำเภอเลาขวัญ อำเภอห้วยกระเจา และ อำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี
ทิศตะวันตก	ติดต่ออำเภอศรีสวัสดิ์ อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี
ทิศใต้	ติดต่ออำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

2. สภาพภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศมีลักษณะเป็นที่ราบสลับกับลูกเนินในหุบเขา กล่าวคือ จะมีภูเขาล้อมรอบพื้นที่ทั้งหมดและมีลำน้ำธรรมชาติหลายสายไหลลงมาจากภูเขาไหลลงสู่ใจกลางพื้นที่ จนเกิดเป็นลำน้ำสายหลัก คือ ลำตะเพินผ่านกลางพื้นที่อำเภอบ่อพลอย แต่ลักษณะลำห้วยที่ผ่านอำเภอส่วนใหญ่เป็นลำน้ำธรรมชาติ มีลักษณะต้นเนินด้วยดินตะกอนเกือบทุกสาย ลักษณะเช่นนี้มีผลทำให้กระแสน้ำในฤดูฝนที่ไหลบ่ามาจากภูเขารอบข้างจึงไหลอย่างรวดเร็วและรุนแรง

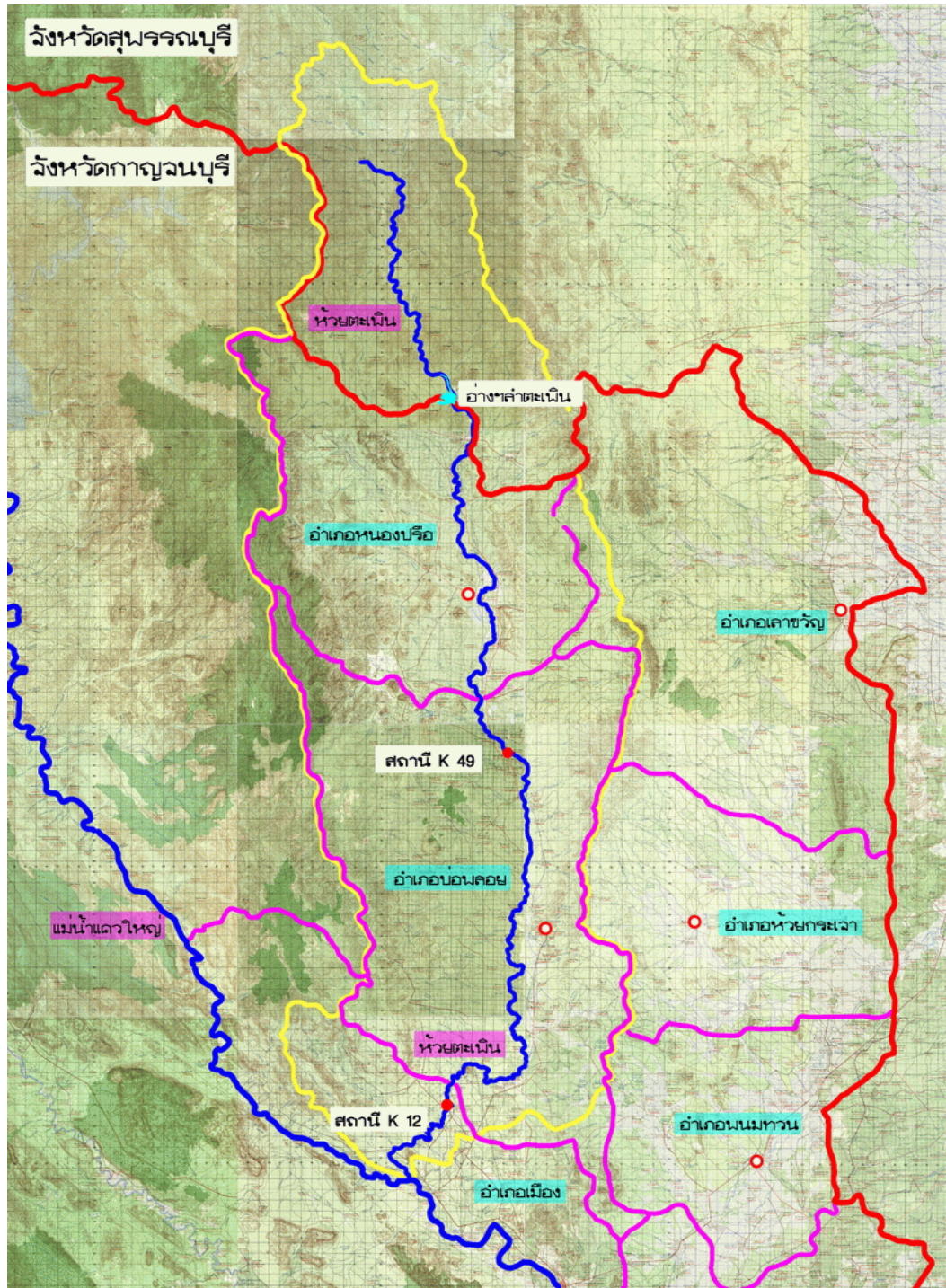
สภาพทั่วไปของพื้นที่ เป็นป่าและเขา มีภูเขาหินและภูเขาดินเป็นหย่อม ๆ อยู่โดยทั่วไป พื้นที่ราบมีน้อย

3. สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศ ของลุ่มน้ำห้วยตะเพินมีสภาพอากาศตามปกติ อบอุ่น หนาว ร้อน ตามที่มรสุมพัดผ่าน แตกต่างไปตามสภาพท้องที่ บริเวณที่ราบจะมีสภาพดินฟ้าอากาศคล้ายคลึงกับพื้นที่ทั่วไปในภาคกลางและภาคตะวันตก ส่วนที่เป็นป่าและภูเขาอากาศจะร้อนในฤดูร้อน และหนาวจัดในฤดูหนาว มีฝนตกชุกในฤดูฝน โดยเฉลี่ยแล้วปีหนึ่ง ๆ มีฝนตกประมาณ 70-60 วัน ปริมาณฝนตกเฉลี่ยวัดได้ 1,010 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ย 28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 33.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 22.6 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยเฉลี่ยตลอดปี 1,915.70 มิลลิเมตร สภาพภูมิอากาศเหมาะสำหรับปลูกพืชล้มลุกและพืชคาบปีบางชนิด มีช่วงฤดูฝนยาวปานกลางแต่มีฝนทิ้งช่วง

4. แหล่งน้ำธรรมชาติ

แหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญของลุ่มน้ำห้วยตะเพิน คือ ห้วยลำตะเพิน มีแหล่งต้นน้ำมาจากเขาไม้ตะแบก เขาขาด เขาบ้าน เขาพุเตย อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี ไหลผ่านเข้าตำบลหนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี ผ่านตำบลหนองปลาไหล หลุมรัก ช่างด่าน บ่อพลอย และหนองกุ่ม ไหลไปบรรจบแม่น้ำแควใหญ่ที่บ้านท่าเสา ตำบลลาดหญ้า อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี รวมระยะทาง 164 กิโลเมตร



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงแผนที่ลุ่มน้ำห้วยตะเพิน
ที่มา : กรมชลประทาน (2535)

บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร

2.1 ทฤษฎีฟัซซีเซต

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า ทฤษฎีความน่าจะเป็น เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์แรกที่ใช้แสดงและแก้ปัญหาเกี่ยวกับ “ความไม่แน่นอน” โดยให้ค่าเป็นสถิติจากการทดสอบและเก็บข้อมูลตัวอย่างเป็นจำนวนมาก ทฤษฎีฟัซซีเซต ก็เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์อีกชิ้นหนึ่งที่ใช้แสดงและแก้ปัญหาเกี่ยวกับ “ความไม่แน่นอน” เช่นกัน

ฟัซซีเป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งเลียนแบบการตัดสินใจของมนุษย์ คือ เป็นการประมาณ (Approximation) จากปัจจัยหรือตัวแปรต่างๆ ของระบบเพื่อทำการสรุปตามเหตุผล ดังนั้น ฟัซซีลอจิกจึงต่างจากตรรกศาสตร์แบบดั้งเดิมที่มีจริงกับเท็จ (1 กับ 0)

ฟัซซีลอจิกใช้แทนความหมายของตัวแปรโดยการบอกถึงระดับความเป็นสมาชิก ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ของตัวแปรนั้น ๆ เช่น “วันนี้อากาศร้อน” คำว่า “ร้อน” ในที่นี้ เมื่อแทนในฟัซซีเซตจะสามารถบอกถึงระดับความร้อน โดยค่าความเป็นสมาชิกที่มีของตัวแปรฟัซซีเซต คือ อุณหภูมิ นอกจากนี้ยังสามารถขยายคำว่า “ร้อน” ได้อีกเพื่อสร้างเป็นทอมใหม่ เช่น ไม่ร้อน ร้อนมาก เป็นต้น

นิยามฟัซซีเซต

การนิยามฟัซซีเซตสามารถแสดงดังสมการ

$$A = \{(x, \mu_A(x) \mid x \in X\}$$

$$\text{โดย } \mu_A(x) = \text{ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)}$$

$$A = \text{ฟัซซีเซต } A \text{ (Fuzzy Set } A)$$

$$X = \text{ระดับความเป็นสมาชิก (Membership Grade) มีค่า 0 ถึง 1}$$

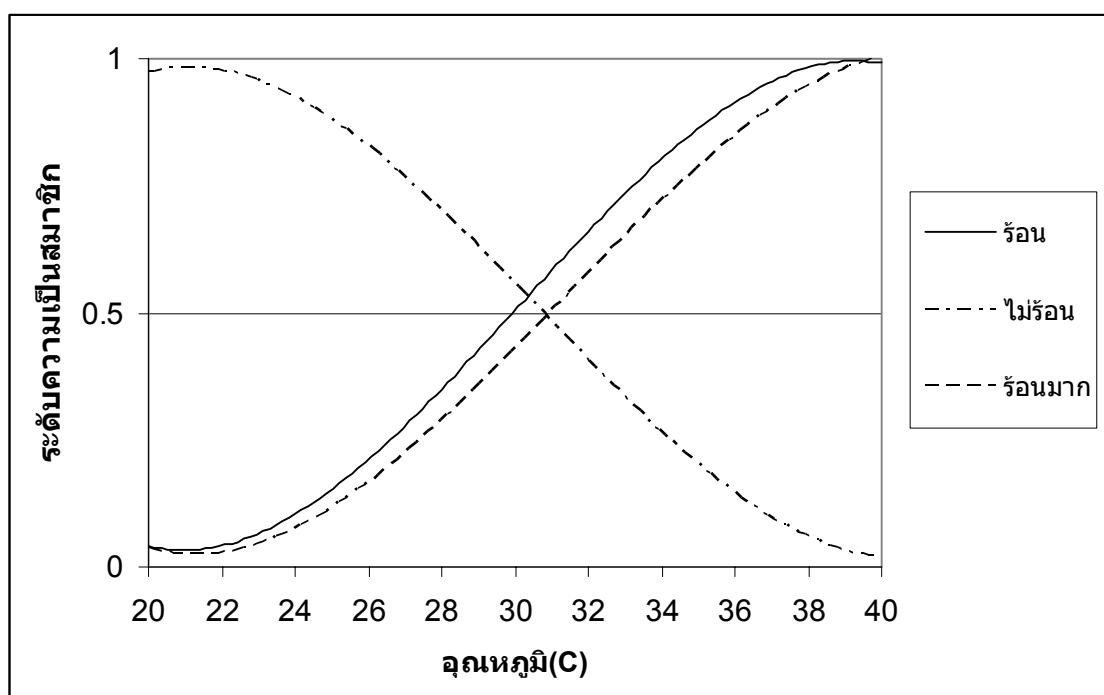
Boolean Logic



Fuzzy Logic



ภาพที่ 2 ความแตกต่างระหว่างตรรกศาสตร์แบบดั้งเดิม กับตรรกะแบบฟัซซี่
ที่มา: ยุทธนา (2545), ภาณุวัฒน์ (2546)

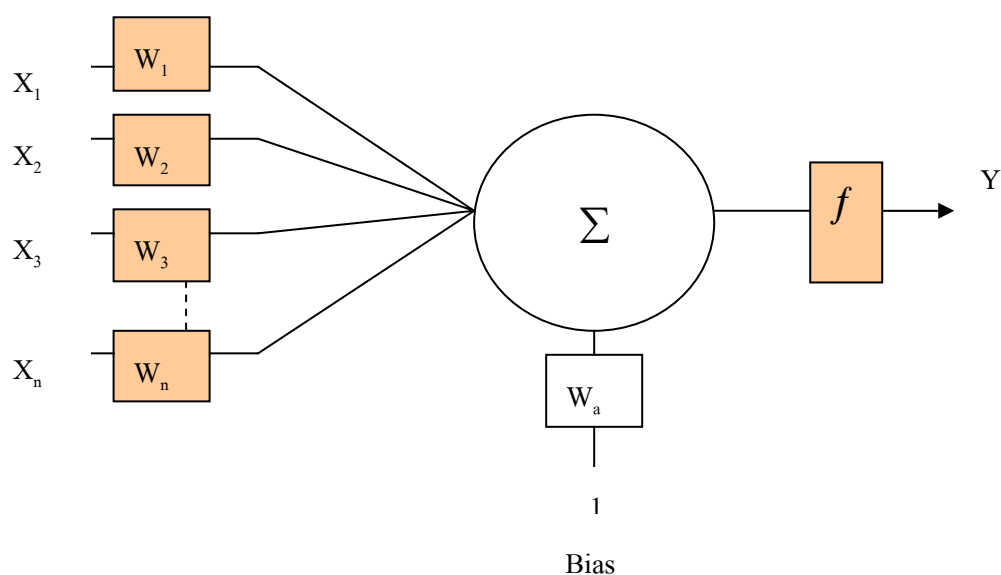


ภาพที่ 3 ค่าความเป็นสมาชิกของเทอม ร้อน, ไม่ร้อน, ร้อนมาก
ที่มา: ยุทธนา (2545), ภาณุวัฒน์ (2546)

2.2 โครงข่ายประสาทเทียม (ANN)

2.2.1 แนวคิดเบื้องต้นโครงข่ายประสาทเทียม

หลักการทํางานเบื้องต้นของโครงข่ายประสาทเทียม แสดงไว้ดังภาพที่ 4 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการทํางานของโครงข่ายอาจจะมี input หลายตัวที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิด output โดยที่แต่ละ input จะมีอิทธิพลต่อ output ต่างกัน ซึ่งวัดได้จากค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) นั้นเอง

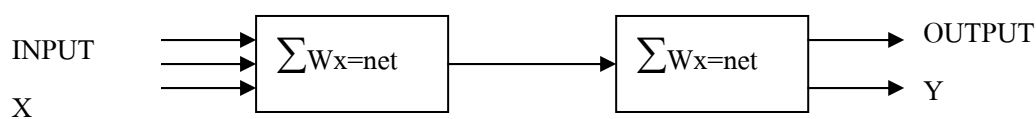


ภาพที่ 4 หลักการทํางานเบื้องต้นของ ANN

ที่มา : เสรี (2544)

จากภาพที่ 4 X_1, X_2, X_3 จะเป็น input ที่มีความสัมพันธ์กับ Y ที่เป็น output แบบไม่เชิงเส้น ดังนั้นจะได้ฟังก์ชัน $f(\text{net})$ ที่เป็นแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear function) ดังสมการ

$$\text{Net} = X_1W_1 + X_2W_2 + X_3W_3 = \sum XW$$



ภาพที่ 5 ฟังก์ชันการกระตุ้น
ที่มา : เสรี (2544)

2.2.2 ANFIS

ANFIS ย่อมาจากคำว่า “Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System” เป็นโครงสร้างระบบการอนุมานตัวแปรฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยใช้วิธีคิดแบบ backpropagation หรือในการรวมเข้าแบบ least squares และระบบจะเรียนรู้จากข้อมูลที่เป็นแบบตัวอย่าง

2.2.3 สมการ Nash Sutcliffe Criterion

สมการ Nash Sutcliffe Criterion ใช้การตรวจสอบเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองหรือการคำนวณต่างๆ

$$\text{Nash} = 1 - \frac{\sum (q_{\text{obs}} - q_{\text{cal}})^2}{\sum (q_{\text{obs ave}} - q_{\text{obs}})^2}$$

q_{obs} = daily measured streamflow

q_{cal} = daily simulated streamflow

$q_{\text{obs ave}}$ = mean measured streamflow

2.3 แบบจำลอง

2.3.1 นิยามแบบจำลอง

แบบจำลอง (model) คือสิ่งที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาโดยการจำลองเหตุการณ์ (simulation model) ที่เกิดขึ้น โดยการนำเอาสมการทางคณิตศาสตร์มาใช้เป็นตัวแทนในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นภายในระบบ เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบหรือผลสำเร็จของเหตุการณ์ (Output) ออกมา

การสร้างแบบจำลองนี้จะขึ้นกับสมมติฐานที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการอ้างอิงกับทฤษฎีที่มีมาแล้วในอดีต เพราะหากไม่มีจุดอ้างอิงแล้ว การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกิดจากการสร้างแบบจำลองอาจมีมากมายหลายรูปแบบ ดังนั้นการอ้างอิงกับทฤษฎีจะช่วยลดทอนความซับซ้อนของสมการได้มาก

2.3.2 ประเภทของแบบจำลอง (Types of Models)

แบบจำลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท (นุชนารถ, 2545) กล่าวคือ

1. แบบจำลองดีเทอร์มินนิสติก (Deterministic) คือแบบจำลองที่เมื่อเราใส่ข้อมูลด้านเข้า (input) ที่เหมือนกันจะได้ข้อมูลด้านออก (output) ที่เหมือนกันเสมอ ดังนั้นแบบจำลองประเภทนี้จะไม่พิจารณาความแปรปรวนที่เกิดขึ้น (randomness) ในกระบวนการทางอุทกวิทยา (hydrological processes)
2. แบบจำลองสโตคาสติก (Stochastic) คือแบบจำลองที่เมื่อเราใส่ข้อมูลด้านเข้าที่เหมือนกัน ไม่จำเป็นต้องได้ข้อมูลด้านออกที่เหมือนกันก็ได้ ดังนั้นแบบจำลองประเภทนี้จะพิจารณาสภาพเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการทางอุทกวิทยา (variability in hydrological processes) อย่างไรก็ตามความเปลี่ยนแปลงดังกล่าวควรจะพิจารณาตามความถูกต้องและเหมาะสมกับข้อมูลที่มีอยู่สำหรับแบบจำลองนั้น

2.4 กระบวนการพัฒนาแบบจำลอง

กระบวนการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการจัดการน้ำทั้งลุ่มน้ำ (เอกสิทธิ์, 2546) ประกอบไปด้วย

1. การกำหนดขอบเขตของการพิจารณา ซึ่งเป็นการแยกระบบ (System) ออกจากสิ่งที่อยู่รอบ ๆ (Environment)
2. การแยกองค์ประกอบย่อยภายในของระบบ (Subsystems/ Components) ซึ่งควรรักษาความสำคัญกับองค์ประกอบที่มีอิทธิพลสูงต่อพฤติกรรมโดยรวมของทั้งระบบ
3. พิจารณาตัวแปรที่หมุนเวียนเข้าออกจากระบบและองค์ประกอบ ซึ่งแยกออกมาได้คือ สสาร (Matter) พลังงาน (Energy) และข้อมูล สารสนเทศ (Information)

2.5 MATLAB (Matrix Laboratory)

MATLAB เป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูปเพื่องานคำนวณทางคณิตศาสตร์ และแสดงภาพกราฟในหลายมิติด้วยภาพที่สวยงามและสื่อความหมายเพื่อการวิเคราะห์เป็นอย่างดี การจำลองพฤติกรรมทางกายภาพของระบบหรือสิ่งประดิษฐ์ทางวิศวกรรมศาสตร์ให้มาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และหาคำตอบทางคณิตศาสตร์ โปรแกรม MATLAB จะช่วยให้ผู้ใช้งานแก้ปัญหาหรือออกแบบระบบให้ทำงานตามความต้องการอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ของสมการจนได้ผลที่น่าพอใจ จึงนำไปสู่การสร้างหรือประดิษฐ์จริง ซึ่งหลักการและวิธีการโดยละเอียดสามารถศึกษาได้จากคู่มือการใช้โปรแกรม MATLAB (มนัส, 2543)

2.5.1 ข้อดีของโปรแกรม MATLAB

1. โปรแกรม Matlab มีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ให้เลือกใช้ในการคำนวณมากมายตลอดจนเราสามารถสร้างฟังก์ชันมาใช้งานเองในสาขาที่ต้องการ
2. Algorithm พัฒนาได้ง่ายไม่ยุ่งยาก สามารถแก้ไขปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนได้ง่าย และรวดเร็วกว่าโปรแกรมอื่น ๆ เช่น C Fortran Basic เป็นต้น
3. มีโครงสร้างแบบจำลอง (Simulink) ซึ่งเป็น package ที่เรานำไปสร้างบล็อกไดอะแกรมเพื่อใช้ทดสอบ และประเมินผลระบบ Dynamic ต่าง ๆ ก่อนนำไปใช้งานจริง
4. สามารถวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็ว
5. ทำการประมวลผลร่วมกับโปรแกรมอื่นได้ เช่น Fortran, Borland C/C++, Microsoft Visual C++ และ Watcom C/C++ ด้วยการเขียนฟังก์ชันที่เป็น mex ไฟล์โดยโปรแกรม MATLAB จะเรียกใช้รoutines จากโปรแกรมภาษา C และ Fortran

เนื่องด้วยคุณสมบัติดังกล่าวมานี้ เป็นผลให้โปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และมีการพัฒนาตัวโปรแกรมมากขึ้น จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณในการแก้ไขปัญหาในทางคณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์มากขึ้น

2.5.2 โครงสร้างของ MATLAB

โครงสร้างของ MATLAB ประกอบด้วย 5 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. ภาษาโปรแกรม MATLAB (The MATLAB language)

MATLAB เป็นโปรแกรมขั้นสูงที่ใช้ควบคุม flow statements ฟังก์ชัน โครงสร้างข้อมูล อินพุต/เอาต์พุต และลักษณะโปรแกรม Object-Oriented Programming ทำให้การเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยากเมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาอื่นๆ เช่น C, Fortran, Basic เป็นต้น

2. ฟังก์ชันในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

MATLAB จะมีไลบรารีทั่วไปที่ใช้ในการคำนวณอย่างกว้าง เช่น sine, cosine และพีชคณิตเชิงซ้อน โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟังก์ชันหรือไลบรารีเพิ่มเติมขึ้นจากไลบรารีที่ใช้กันโดยทั่วไป

3. สภาพัฒนธรรมในการทำงานของ MATLAB (The MATLAB working environment)

MATLAB จะมีกลุ่มของเครื่องมือที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำงานของผู้ใช้โปรแกรม หรือโปรแกรมเมอร์ ประโยชน์ที่กล่าวนี้กล่าวนี้ก็คือการจัดการตัวแปรใน workspace การนำข้อมูลหรือการผ่านค่าตัวแปรเข้า/ออกและกลุ่มของเครื่องมือต่าง ๆ นี้ก็จะใช้สำหรับพัฒนา จัดการ ตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรม ที่ได้เขียนขึ้น

4. Handle Graphics

ระบบกราฟิกของ MATLAB จะประกอบด้วยคำสั่งสำหรับการพล็อตกราฟโดยมีพื้นฐานอยู่บนแนวความคิดที่ว่าทุก ๆ สิ่งบนหน้าต่างภาพภาพของโปรแกรม MATLAB จะเป็นวัตถุ (Object) ซึ่งมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว Handle Graphics ประกอบด้วยคำสั่งชั้นสูงให้คุณได้เลือกใช้ในการสร้าง Graphic User Interface บนพื้นฐานการประยุกต์ใช้งานของคุณ นอกจากนี้โปรแกรม MATLAB ยังมีฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการแสดงภาพสองมิติ ภาพสามมิติและการสร้างภาพเคลื่อนไหว

5. The MATLAB Application Program Interface (API)

API จะใช้เพื่อสนับสนุนการติดต่อจากภายนอกโดยใช้โปรแกรมที่เป็น mex ไฟล์ซึ่งเป็นไฟล์ที่เขียนขึ้นโดยใช้ mex ฟังก์ชันใน MATLAB ซึ่งจะเรียกใช้รูทีนจากโปรแกรม ภาษา C และ Fortran หรืออาจกล่าวได้ว่า API เป็นไลบรารีที่เขียนด้วยโปรแกรมภาษา C และ Fortran ที่มีการเชื่อมต่อกับโปรแกรม MATLAB ด้วยไฟล์ที่เป็น mex ฟังก์ชันอีกทั้ง MATLAB API นี้ยังมีความสามารถสำหรับการเรียก routine จาก MATLAB (dynamic linking) ก็ได้

2.5.3 ประเภทของโปรแกรม MATLAB

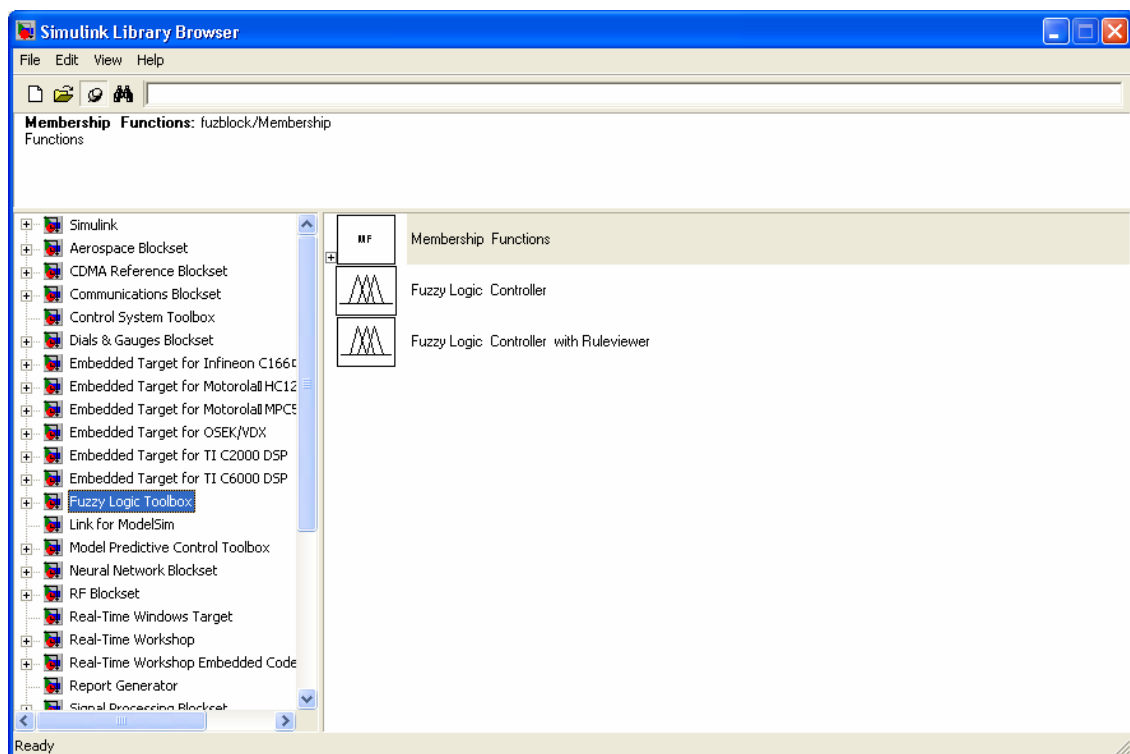
โปรแกรม MATLAB แบ่งออกเป็น 2 Version คือ

1. Student Version ใช้ในการคำนวณอย่างง่าย ๆ เหมาะสำหรับผู้ที่เริ่มศึกษาเบื้องต้น โดยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาไม่ต้องมี สเปกที่สูงมากนัก
2. Profession Version เป็น software ชั้นสูงที่มีราคาแพง ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนมาก มีความถูกต้องแม่นยำสูง และยังมีฟังก์ชันมากขึ้นด้วย

ทั้งนี้โดยโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าได้มีผู้ที่ศึกษาเบื้องต้นมาแล้ว โดยใช้ในการวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

2.5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง

Simulink เป็นเครื่องมือ (toolbox) อยู่ในโปรแกรม MATLAB ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับจำลองสถานการณ์ ทดสอบ และวิเคราะห์การทำงานของระบบเชิงพลวัต (Dynamical Systems) โดยจะงานภายใต้หน้าต่างที่เป็นการเชื่อมต่อทางภาพภาพของ Simulink เท่านั้นคำว่า Simulink มาจากคำว่า Simulation และ Link จะกระทำโดยการนำ block diagram แต่ละ block ในหน้าต่าง Simulink Library Browser ดังภาพที่ มาต่อกันตามที่เรต้องการ และสามารถจำลองระบบได้ทั้งที่เป็นเชิงเส้น ไม่เชิงเส้น ระบบเวลาต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง การจำลองระบบสามารถกระทำได้ โดยการป้อนข้อมูลอินพุตให้กับระบบที่สร้างไว้แล้วดูผลเอาต์พุตของระบบเนื่องจากอินพุตที่ป้อนเข้าไป (มนัส, 2543)



ภาพที่ 6 แสดง Fuzzy Logic Toolbox

2.6 Rainfall Runoff Library (RRL Model)

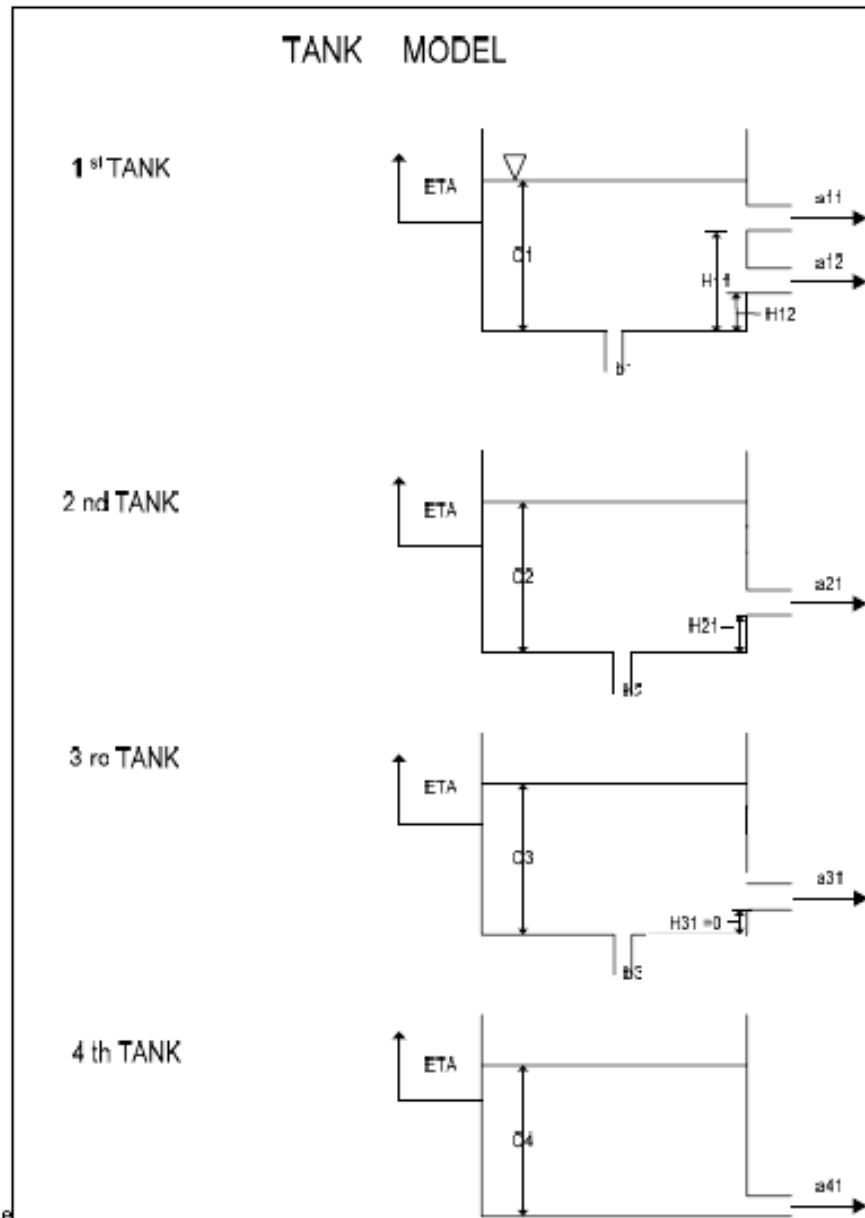
RRL Model เป็นโปรแกรมทางอุทกวิทยาที่ใช้ในการจำลองน้ำท่ารายวันโดยใช้ข้อมูล น้ำฝน และค่าการคายระเหยของพืช (ET) โดยอ้างอิงจากโครงสร้างของแบบจำลองชนิดต่าง ๆ คือ

1. AWBM
2. Sacramento
3. Simhyd
4. SMAR
5. TANK

ซึ่งหลักการทำงานและวิธีการใช้โปรแกรมอย่างละเอียดศึกษาได้จาก Rainfall-Runoff Library User Guide (Podger, 2004)

2.6.1 แบบจำลอง Tank

หลักการของแบบจำลอง Tank คือ สมมุติชั้นดินแต่ละชั้นเปรียบเสมือนถังน้ำ ชั้นบนสุดเปรียบเสมือนชั้น Surface Discharge ชั้นกลางเปรียบเสมือนชั้นดินตรงกลาง ชั้นล่างจะเปรียบเสมือน Base Discharge เมื่อมีฝนตกลงมาที่ในพื้นที่ซึ่งเปรียบเสมือนถังใบบนสุด จะมีน้ำส่วนหนึ่งระเหยขึ้นไปบนชั้นบรรยากาศ อีกส่วนหนึ่งจะซึมลงไปชั้นดินด้านล่าง ซึ่งเปรียบเสมือนถังใบถัดลงมา น้ำที่เหลือจะไหลเป็นน้ำท่า ซึ่งจะเป็นอย่างนี้เรื่อย ๆ ในถังใบถัดลงมาจนถึงชั้น Base Discharge ซึ่งจะไม่มีการซึมลงไปด้านล่างแต่จะเกิดเป็นน้ำใต้ดิน



ภาพที่ 7 แสดงโครงสร้างของแบบจำลอง TANK

ที่มา: Podger (2004)

2.7 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำฝนและน้ำท่าที่ผ่านมาในอดีต

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในทางอุทกวิทยา ใช้แบบจำลอง Hec-Hms และ Top Model ในการทำนายน้ำท่าของกลุ่มน้ำภาชีทั้งแบบเดี่ยวและแบบต่อเนื่อง (ชัยวัฒน์, 2546.)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ในการหาโอกาสและข้อจำกัดในการพัฒนา และการจัดการที่เหมาะสมที่สุดของอ่างเก็บน้ำแบบอนกประสงค์ในประเทศเนปาล เมื่อปี 2533 (Basnyat, 1990.)

แบบจำลอง Kunitver.1.0 ในการพยากรณ์อัตราการไหลของแม่น้ำ โดยใช้หลักการสมดุลของน้ำ ในการประเมินน้ำท่า (สุวัฒนา, 2547. พงษ์ศักดิ์ และ วารินทร์, 2542.)

2.8 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของพีชชีเซต

ทฤษฎีพีชชีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ใช้ในการหาความต้องการน้ำชลประทานในเขตพื้นที่ปลูกอ้อย โดยการพัฒนาแบบจำลองในการเปรียบเทียบของสมการสมมูลน้ำในดิน และข้อมูลการส่งน้ำในพื้นที่ (ยุทธนา, 2547.)

ทฤษฎีพีชชีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการจัดการอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์ โดยเป็นการสร้างแบบจำลองระบบพลวัต และกระบวนการตัดสินใจในการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ(ภาณุวัฒน์,2546.)

ทฤษฎีพีชชีใช้ในการพยากรณ์น้ำท่วม บริเวณ อ.เมือง จ.สุโขทัย เพื่อลดผลกระทบที่มีต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน (ยุพา และคณะ, 2547.)

บทที่ 3 ข้อมูล อุปกรณ์ และวิธีการ

3.1 ข้อมูลที่ใช้

1. ข้อมูลน้ำฝน จำนวน 7 ปี ปี ค.ศ. 1999-2005 ที่สถานี 450201 (สตอ. จ.กาญจนบุรี) ที่ตั้ง อ.เมือง จ. กาญจนบุรี ละติจูด $14^{\circ}01'00''$ ลองจิจูด $99^{\circ}32'00''$ ระดับ 28 ม.รทก. ซึ่งค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและรายปี ดังแสดงในตารางที่ 1
2. ข้อมูลน้ำท่า จำนวน 7 ปี ปี ค.ศ. 1999-2005 ที่สถานี K12 ที่ตั้ง บ้านทุ่งนางนงหรง อ.เมือง จ.กาญจนบุรี ละติจูด $14^{\circ}09'15''$ ลองจิจูด $99^{\circ}25'06''$
3. ข้อมูลการระเหย จำนวน 7 ปี ปี ค.ศ. 1999-2005 จ.กาญจนบุรี ละติจูด $14^{\circ}01' 00''$ ลองจิจูด $99^{\circ}32' 00''$ ระดับ 28 ม.รทก.

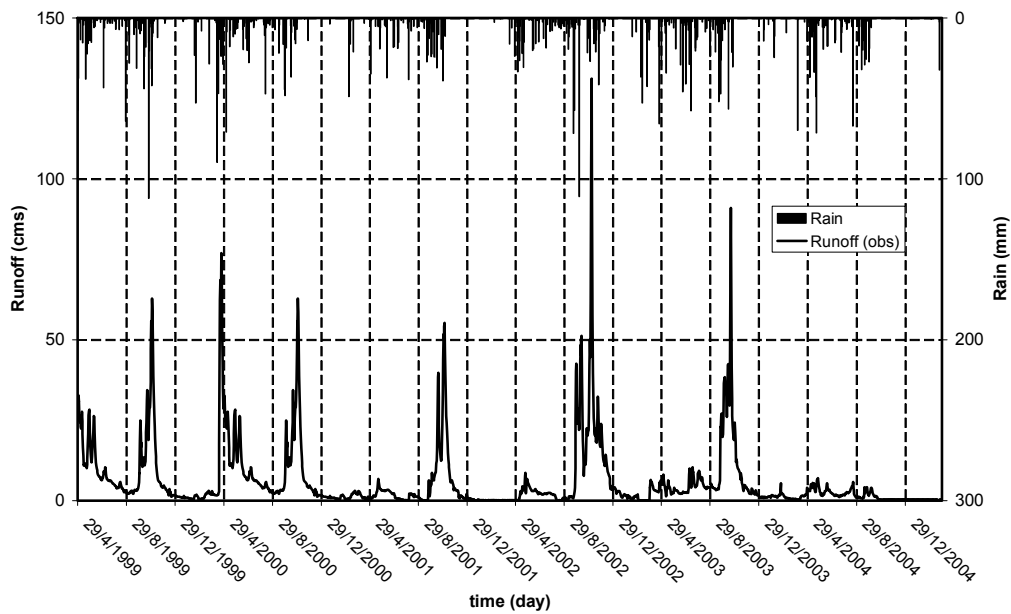
ตารางที่ 1 แสดงค่าปริมาณน้ำฝนที่ได้จาก สตอ. กาญจนบุรี เฉลี่ยรายเดือน และรายปี (mm)

เดือน	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
ปี 1999	94.90	153.40	38.50	70.20	93.80	102.80	343.40	38.80	4.70	3.30	79.50	36.70	1060.00
ปี 2000	267.30	142.20	108.00	21.00	103.80	158.90	133.00	15.70	0.00	3.90	0.00	101.60	1055.40
ปี 2001	7.90	76.30	92.70	50.40	72.10	138.70	222.80	11.20	0.00	0.00	0.20	3.60	675.90
ปี 2002	49.10	174.40	81.00	57.80	41.50	251.80	168.20	146.30	18.70	0.00	20.30	167.20	1176.30
ปี 2003	116.60	72.60	198.90	184.70	52.50	244.50	127.20	0.00	0.00	25.50	37.70	9.50	1069.70
ปี 2004	88.60	232.90	79.30	71.50	95.50	231.60	9.90	0.10	0.00	0.60	0.00	36.90	846.90
เฉลี่ย	104.07	141.97	99.73	75.93	76.53	188.05	167.42	35.35	3.90	5.55	22.95	59.25	980.70

ค่าปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดได้จริงซึ่งได้จากการตรวจวัดที่สถานีตรวจวัดน้ำ K12 ซึ่งจะแสดง ตารางที่ 2 และภาพที่ 8

ตารางที่ 2 แสดงค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่สถานี k12 เฉลี่ยรายเดือน และรายปี (cms)

เดือน	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
ปี 1999	2.01	19.38	12.05	6.66	3.8	3.19	23.34	15.35	2.43	1.06	0.9	1.69	7.65
ปี 2000	22.84	18.74	11.87	6.58	3.73	3.73	24.76	13.4	2.34	1.06	0.91	1.64	9.30
ปี 2001	1.16	2.66	2.79	0.4	1.37	1.26	18.99	15.21	1.43	0.25	0.1	0.1	3.81
ปี 2002	0.11	3.25	3.07	2.16	0.6	6.66	26.4	35.89	8.88	2.32	1.08	0.14	7.55
ปี 2003	4.09	3.98	2.6	5.82	5.2	9.11	34.58	6.93	2.31	1.14	1.79	0.64	6.52
ปี 2004	1.43	4.15	2.77	1.61	2.63	1.71	1.45	0.29	0.3	0.29	0.28	0.24	1.43
เฉลี่ย	5.27	8.69	5.86	3.87	2.89	4.28	21.59	14.51	2.95	1.02	0.84	0.74	6.04



ภาพที่ 8 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด (สถานี K.12)

3.2 เครื่องมือ

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ รุ่น Pentium 4 หน่วยความจำ 512 MB
2. โปรแกรม MATLAB ที่มีชุดเครื่องมือของ Fuzzy logic และ Simulink
3. โปรแกรม Rainfall Runoff Library (RRL)

3.3 วิธีการดำเนินงาน

1. เลือกพื้นที่ลุ่มน้ำที่จะดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์ โดยการคัดเลือกพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตะเพิน ซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง
2. ออกสำรวจพื้นที่ศึกษาจริง เพื่อให้เห็นซึ่งสภาพพื้นที่จริงว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร ซึ่งเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในการออกแบบแบบจำลองที่สอดคล้องกับพื้นที่ลุ่มน้ำมากที่สุด
3. รวบรวมและตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลข้างต้น เพื่อมาคำนวณในโปรแกรม RRL Model และใช้ข้อมูลบางส่วนเป็นตัวแปรในการอินพุตในแบบจำลอง Fuzzy logic
4. พัฒนาแบบจำลองโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก ในการหาปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ที่ประกอบด้วย Fuzzy Logic Toolbox ซึ่งใช้ข้อมูลฝนและข้อมูลฝนย้อนหลังเฉลี่ย 30 วันเป็นตัวนำอินพุต
5. สร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB ที่ประกอบด้วย Simulink โดยการสร้างบล็อกเชื่อมโยงระหว่าง Fuzzy logic Toolbox ทั้ง 2 กระบวนการเข้าในบล็อกต่าง ๆ ของในแบบจำลอง
6. ปรับกฎการควบคุมแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก
7. ตรวจสอบแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อหาปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ลุ่มน้ำ
8. ประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น โดยใช้ข้อมูลฝนรายวันเพื่อหาค่าน้ำท่ารายวันตั้งแต่ปี 1999-2005
9. เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าน้ำท่าจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก กับแบบจำลอง RRL และค่าน้ำท่าที่ตรวจวัดจริง จากนั้นทำการวิเคราะห์ผล

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์

จากการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าโดยใช้ฟัซซี่ลอจิกในการคำนวณปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า ได้ผลการวิเคราะห์แบ่งออกย่อย ได้ดังนี้

1. แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าโดยฟัซซี่ลอจิก
2. ผลของการหาปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก
3. ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าระหว่างแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก
แบบจำลอง RRL และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง

4.1 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า โดยฟัซซี่ลอจิก

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า โดยฟัซซี่ลอจิก จะจำลองสถานการณ์ (Simulation) ในรูปแบบของระบบเชิงพลวัต (Dynamical Systems) โดยระบบการทำงานจะแสดงในภาพที่ 13 และภาพที่ 14 ซึ่งระบบประกอบด้วย

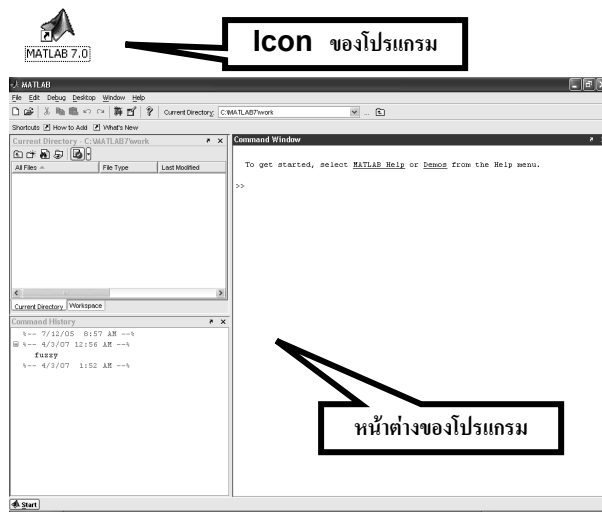
1. บล็อกสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าซึ่งได้จากการประมวลผลของระบบโดยฟัซซี่ลอจิกชนิด Mamdani และฟัซซี่ลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS
2. บล็อกของระบบย่อยในส่วนของตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจริง

ข้อมูลที่น่าเข้าทั้งหมดจะถูกจัดเรียงในรูปแบบเดียวกัน คือ จัดเรียงกันในแนวนอน 2 แถว โดยแถวแรกจะเป็นลำดับของจำนวนนับ (1,2,3,...) ส่วนแถวที่สองจะเป็นค่าของข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่น่าเข้าจะถูกเก็บเป็นไฟล์นามสกุล .mat ดังแสดงในภาพที่ 9 (ข) ข้อมูลที่น่าเข้าในแบบจำลองนี้คือ ข้อมูลน้ำฝนรายวัน (rain.mat) และข้อมูลฝนรายวันเฉลี่ย 30 วัน ก่อนวันที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูล (rain_d30.mat)

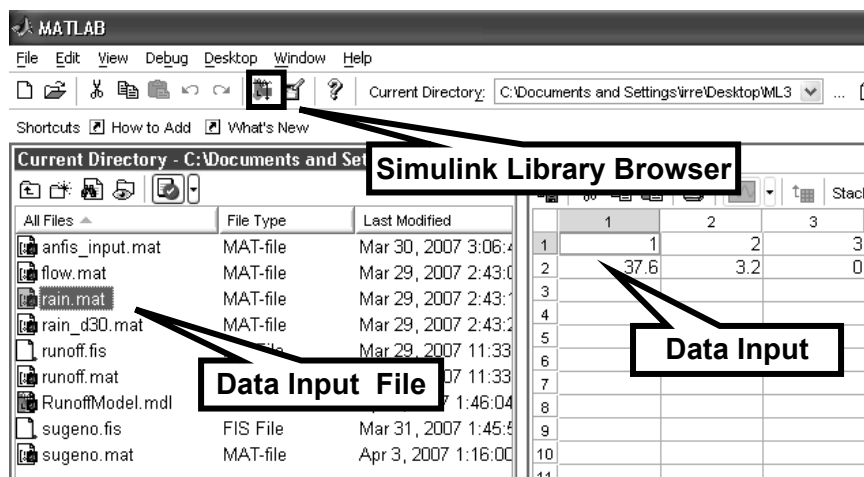
เมื่อข้อมูลถูกนำเข้าแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสร้างฟัซซี่ลอจิกโดยใช้ FIS Editor ซึ่งจะมีการปรับ membership function ในฟัซซี่ลอจิกชนิด Mamdani และ Sugeno ดังแสดงในภาพที่ 10 และภาพที่ 11 โดยการปรับ membership function ของในฟัซซี่ลอจิกชนิด Mamdani นั้นจะปรับแบบ manual คือ ปรับตามความเหมาะสมที่ผู้พัฒนาแบบจำลองเห็นสมควร ส่วนการปรับ membership function ของในฟัซซี่ลอจิกชนิด sugeno จะปรับ membership function โดยใช้ ANFIS เข้ามาช่วย

จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่าโดยใช้ Simulink Library Browser ซึ่งเป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างบล็อกต่าง ๆ ในแบบจำลอง ดังแสดงในภาพที่ 12 ภาพที่ 13 และภาพที่ 14

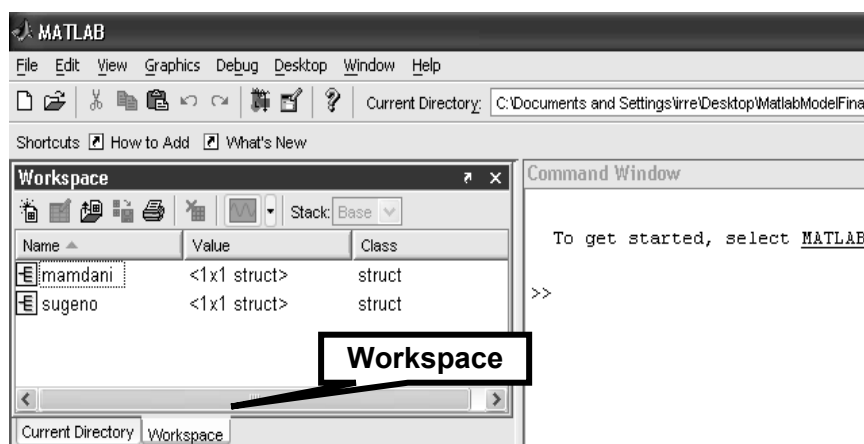
แบบจำลองจะทำการวิเคราะห์และให้ค่าปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝนและแสดงออกมาเป็นข้อมูลตารางอยู่ใน Workspace (RunoffData) ดังภาพที่ 15 และกราฟปริมาณน้ำท่าดังภาพที่ 16 และภาพที่ 17



ก) เปิดโปรแกรม Matlab



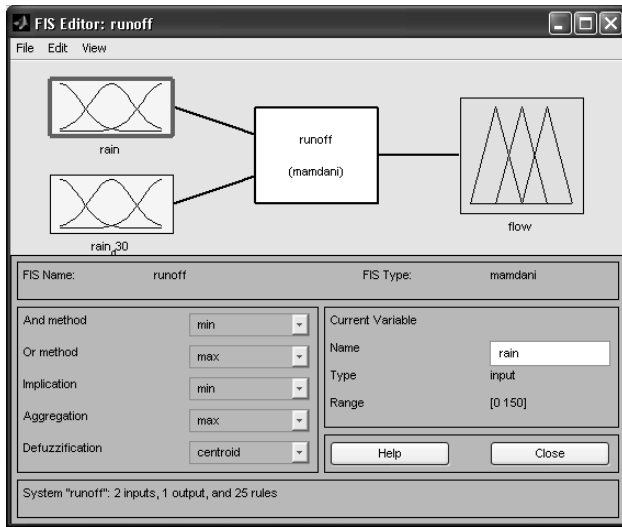
(ข) นำเข้าข้อมูลมาเก็บไว้ใน current directory



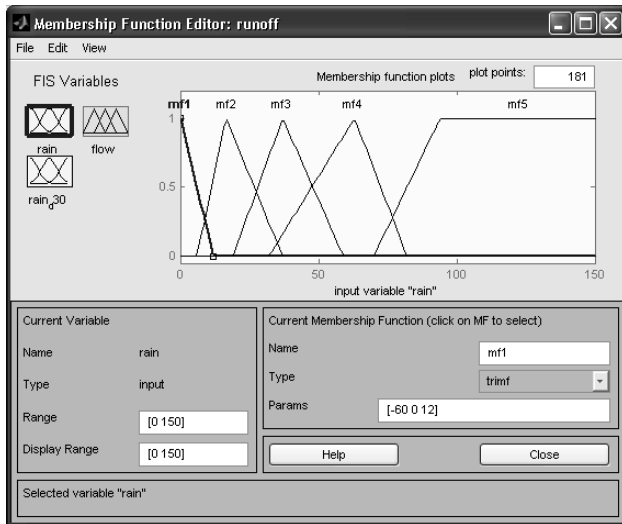
(ค) เรียก Fuzzy Logic ที่สร้างขึ้นมาไว้ที่

Workspace

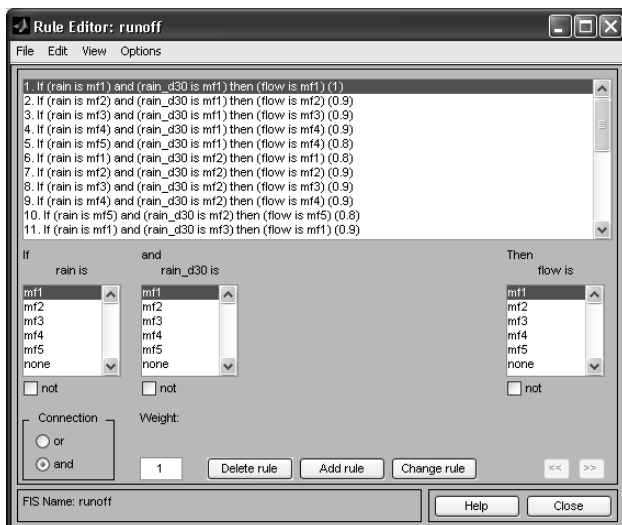
ภาพที่ 9 การนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม Matlab



(ก). กำหนดตัวแปรที่ใช้นำเข้า (input) และแสดงผล (output)

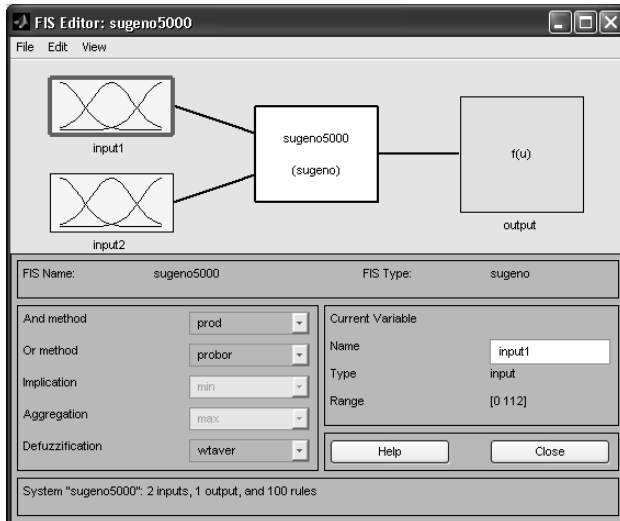


(ข). กำหนดช่วงข้อมูลและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของแต่ละตัวแปร

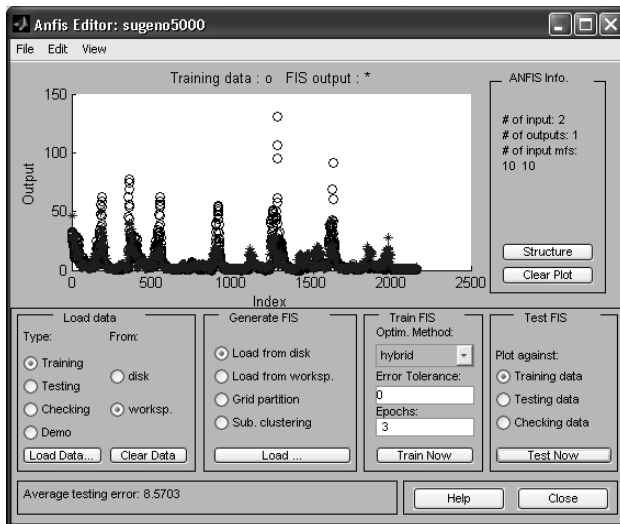


(ค). กำหนดเงื่อนไขที่เป็นไปได้

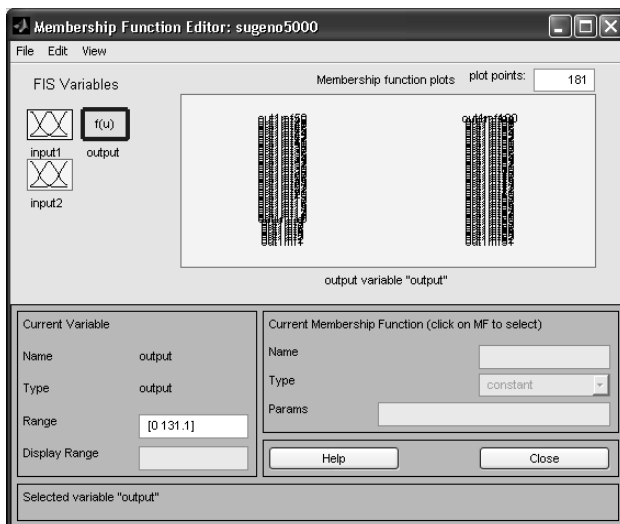
ภาพที่ 10 การกำหนดค่า Membership Function ในพีชคณิตลอจิกชนิด Mamdani



(ก). กำหนดตัวแปรที่ใช้นำเข้า (input) และแสดงผล (output)

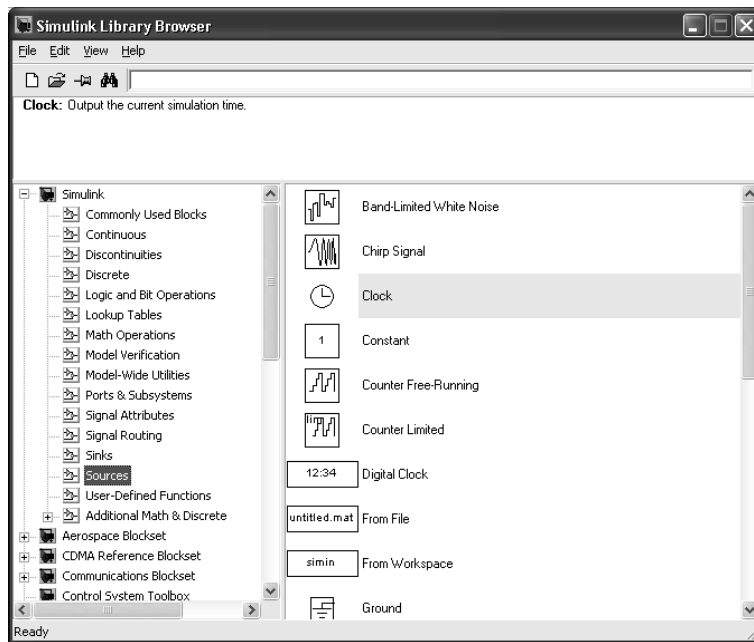


(ข). ใช้ ANFIS .ช่วยปรับ Membership function

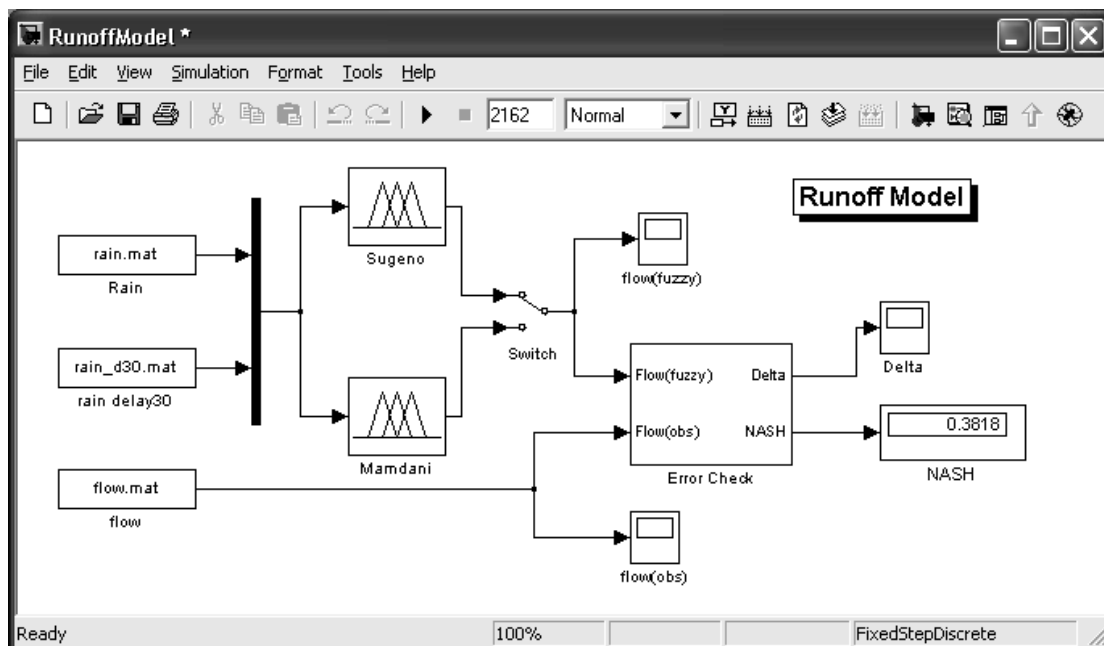


(ค). Output ที่ได้จาก ANFIS

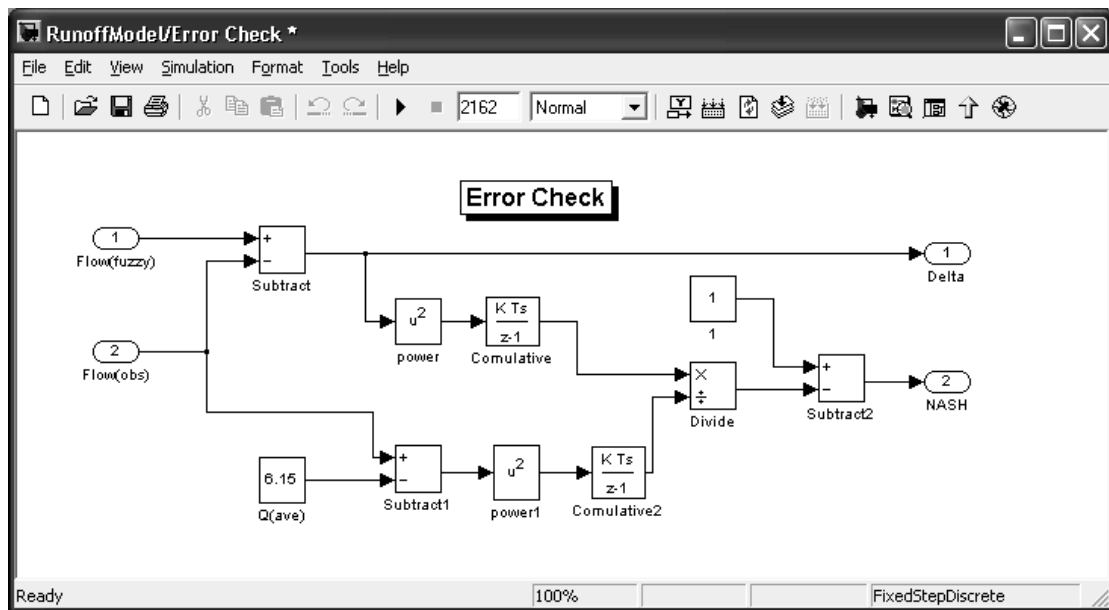
ภาพที่ 11 การกำหนด Membership Function ในฟuzzy logic ชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS



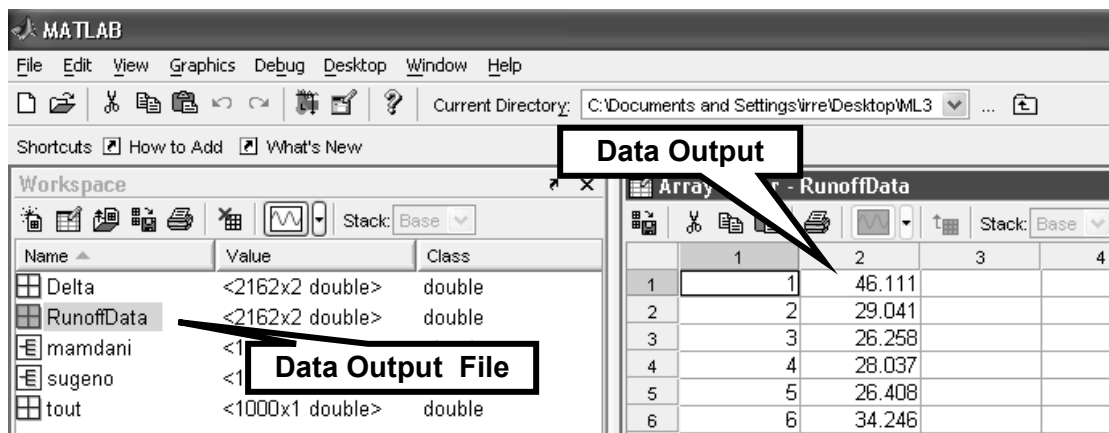
ภาพที่ 12 หน้าต่างของเครื่องมือ Simulink Library Browser



ภาพที่ 13 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า (โดยฟัซซี่ลอจิก)

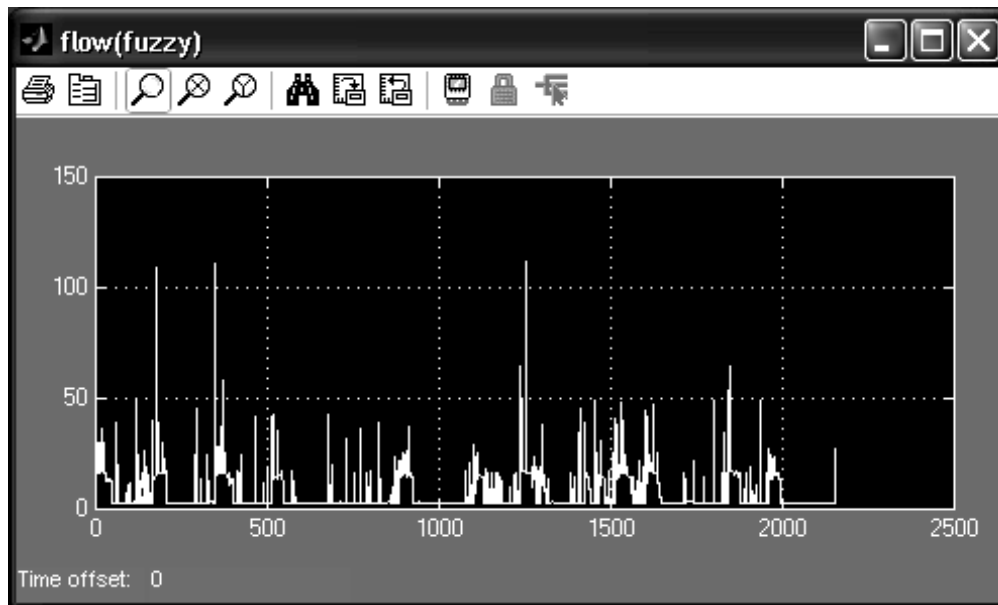


ภาพที่ 14 แบบจำลองระบบการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อน

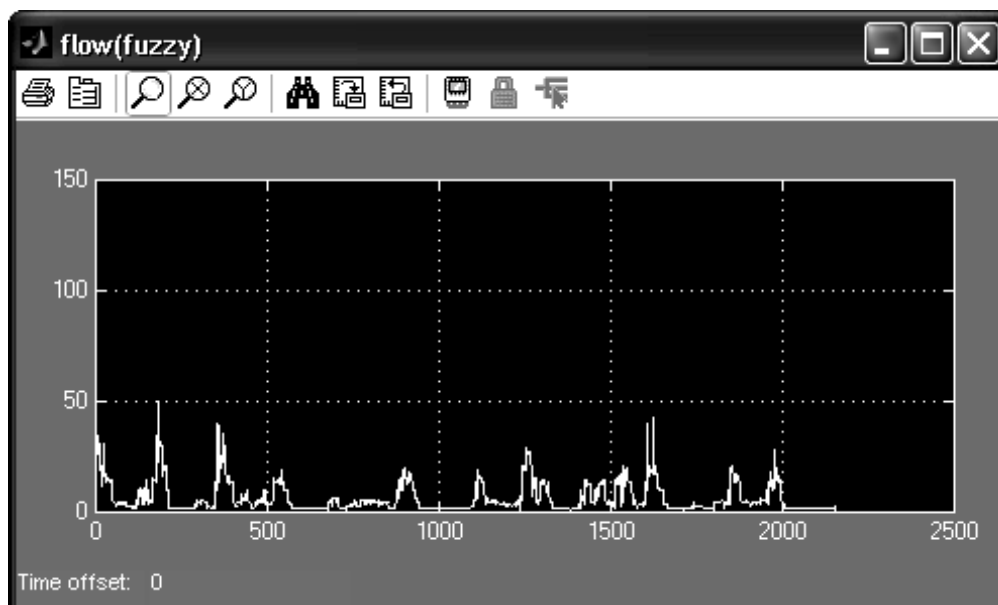


ภาพที่ 15 Output ของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกที่อยู่ในรูปตาราง

ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง
กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง



ภาพที่ 16 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองพีชชีลอจิกชนิด Mamdani



ภาพที่ 17 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองพีชชีลอจิกชนิด Sugeno
ที่ปรับ membership function โดย ANFIS

4.2 ผลของการหาปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองพืชซีลोजิก

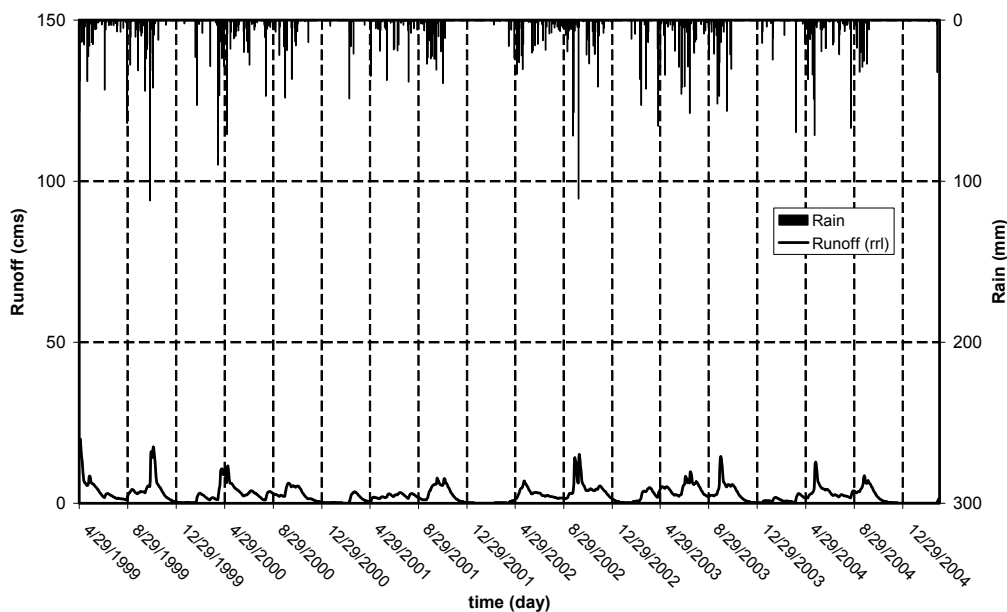
ผลลัพธ์จากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าเป็นการนำปริมาณน้ำท่าที่ได้จากผลการรันแบบจำลอง RRL และผลการรันแบบจำลองพืชซีลोजิกที่สร้างขึ้นมา ใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตะเพิน ซึ่งใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 1999-2005 ได้ผลดังต่อไปนี้

4.2.1 แบบจำลอง RRL

ผลที่ได้จากโปรแกรม RRL ซึ่งเป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่ใช้ในการหาปริมาณน้ำท่าที่ใช้ข้อมูลน้ำฝน และข้อมูลการใช้น้ำของพืชในการนำเข้า และข้อมูลน้ำท่าในการอ้างอิงปรับค่าพารามิเตอร์ ซึ่งผลการรันจะแสดงใน ตารางที่ 3 และภาพที่ 18

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง RRL เฉลี่ยรายเดือน และรายปี (cms)

เดือน	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
ปี 1999	1.11	8.8	4.02	2.35	1.51	3.56	6.78	6.89	1.06	0.17	1.18	1.82	3.27
ปี 2000	5.6	6.5	2.96	2.87	2.52	2.56	5.48	2.72	0.69	0.14	0.08	2.14	2.85
ปี 2001	1.11	1.68	2.3	2.71	2.33	2	6.09	4.27	0.59	0.06	0.01	0.08	1.94
ปี 2002	0.49	4.51	3.36	2.34	1.66	4.94	7.16	4.47	2.93	0.45	0.27	2.75	2.94
ปี 2003	3.47	4.45	3.42	7.09	3.36	5.02	6.13	2.47	0.3	0.54	1.26	0.55	3.17
ปี 2004	2.06	5.28	4.4	2.48	2.6	5.14	4.03	0.55	0.06	0.02	0.01	0.24	2.24
เฉลี่ย	2.31	5.20	3.41	3.31	2.33	3.87	5.95	3.56	0.94	0.23	0.47	1.26	2.74



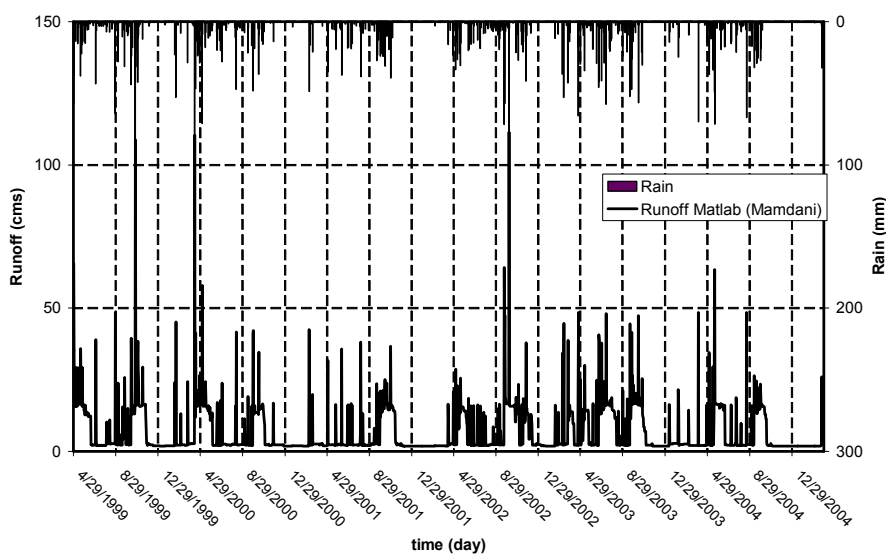
ภาพที่ 18 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการแบบจำลอง RRL

4.2.2 แบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Mamdani

ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการรันแบบจำลองฟuzzyลอจิก Mamdani ดังแสดงได้ในตารางที่ 4 และดังภาพที่ 16

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Mamdani เฉลี่ยรายเดือน และรายปี (cms)

เดือน	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
ปี 1999	3.36	18.72	8.3	3.3	4.63	6.67	16.66	14.1	2.15	1.9	4.34	3.38	7.29
ปี 2000	15.7	16.97	5.33	2.38	4.14	7.04	14.68	2.77	2.2	1.9	1.91	4.96	6.66
ปี 2001	2.27	3.72	4.32	3.2	3.78	6.22	17.04	6.98	1.88	1.86	1.86	1.92	4.59
ปี 2002	3.32	13.39	6.26	3.78	2.53	12.06	18.37	10.98	4.11	1.96	2.97	8.45	7.35
ปี 2003	8.28	8.9	9.78	17.33	6.81	11.54	16.4	2.6	1.86	3.13	3.62	2.56	7.73
ปี 2004	4.14	13.67	10.3	4.02	3.99	12.84	8.64	1.87	1.86	1.87	1.86	2.8	5.65
เฉลี่ย	6.18	12.56	7.36	5.67	4.31	9.39	15.3	6.55	2.34	2.1	2.76	4.01	6.55



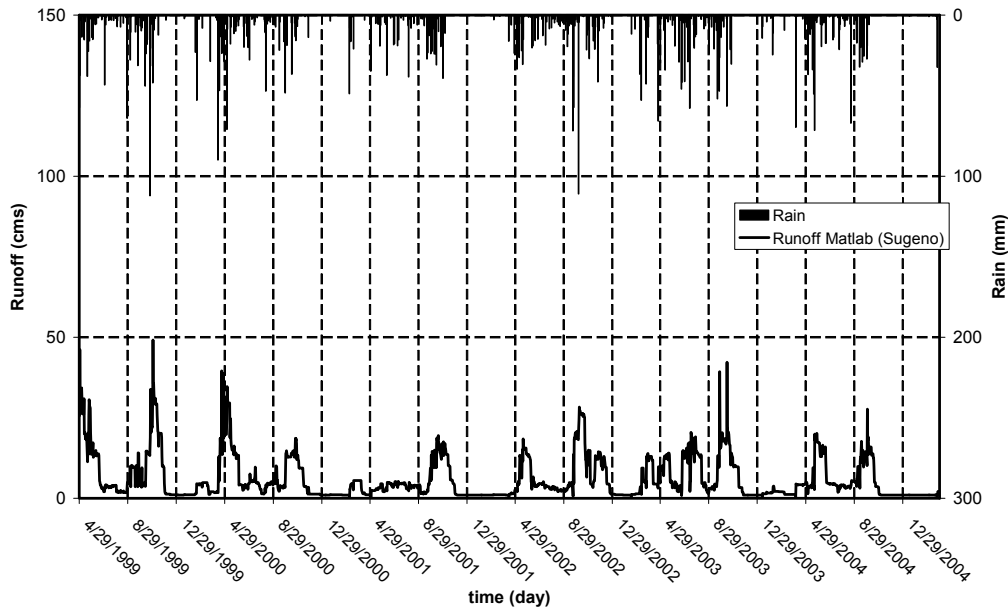
ภาพที่ 19 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Mamdani

4.2.3 แบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS

ผลของค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการรันแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS แสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 20

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS เฉลี่ยรายเดือน และรายปี (cms)

เดือน	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
ปี 1999	2.39	22.51	9.56	3.72	2.35	7.85	13.61	20.76	1.19	1.04	2.50	3.39	7.57
ปี 2000	12.10	19.24	4.49	4.94	3.78	5.17	13.95	5.24	1.20	1.04	1.05	3.82	6.34
ปี 2001	2.22	2.93	3.74	4.47	3.83	3.38	14.42	9.04	1.02	1.01	1.01	1.06	4.01
ปี 2002	1.37	10.57	6.31	3.77	2.70	7.56	20.56	9.86	6.27	1.07	1.10	6.18	6.44
ปี 2003	7.82	9.85	6.17	14.58	6.55	8.68	17.17	5.05	1.01	1.34	2.25	1.29	6.81
ปี 2004	3.96	9.13	10.68	3.83	4.22	11.43	9.69	1.02	1.01	1.02	1.01	1.15	4.85
เฉลี่ย	4.98	12.37	6.82	5.89	3.91	7.34	14.90	8.50	1.95	1.09	1.49	2.81	6.00



ภาพที่ 20 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS

ซึ่งผลที่ได้ในขั้นตอนนี้จะได้ว่าค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFISจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงมากกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Memdani ซึ่งผลการเปรียบเทียบจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

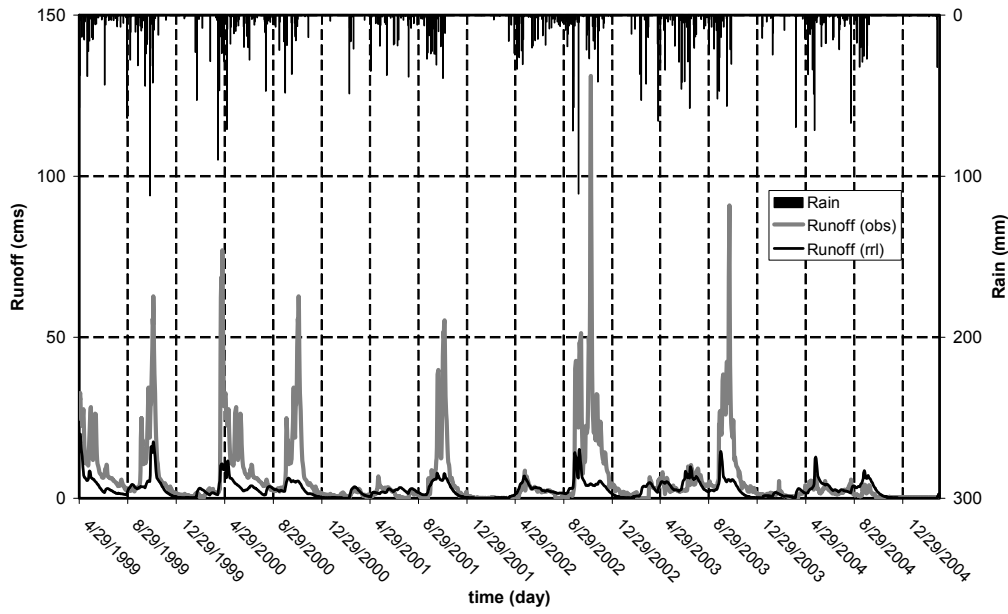
4.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าระหว่างแบบจำลองฟuzzyลอจิก แบบจำลอง RRL และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง

การตรวจสอบผลลัพธ์ทำโดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดจริงกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง RRL และแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS และเปรียบเทียบค่าของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง RRL กับ แบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS ซึ่งจะได้ค่า Nash ของแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด mamdani = 0.301, ค่า Nash ของแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด sugeno = 0.383 และค่า Nash ของแบบจำลอง RRL = 0.700

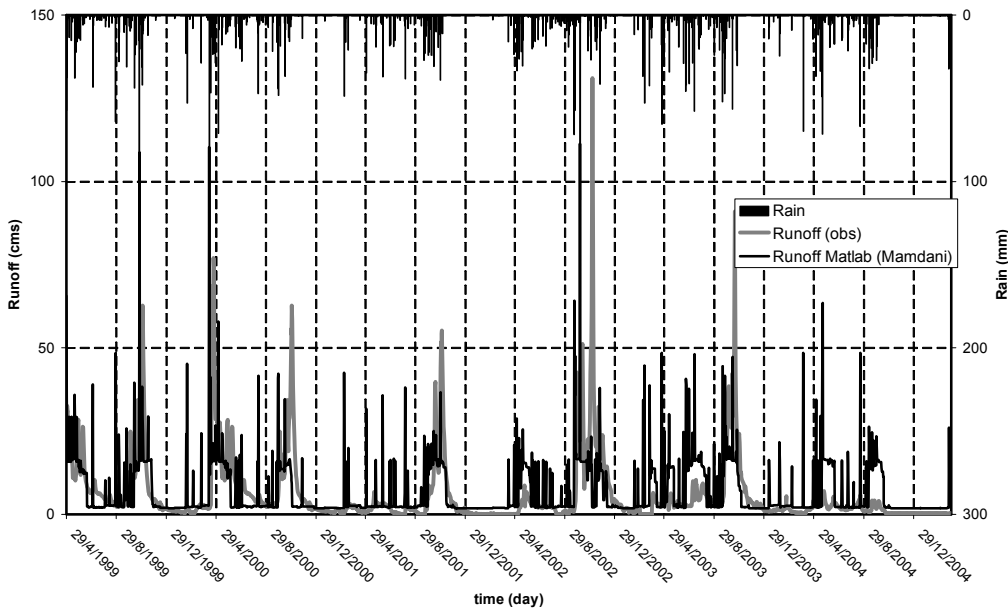
โดยภาพที่ 21, ภาพที่ 22 และภาพที่ 24 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากค่าตรวจวัดจริงกับแบบจำลอง RRL แบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Mamdani และแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากกราฟของแบบจำลอง RRL จะมีลักษณะเส้นกราฟที่จะดูเข้าหาเส้นกราฟของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงมากเพียงแต่ปริมาณน้ำท่าสูงสุดของแบบจำลอง RRL ต่ำกว่าความเป็นจริง สำหรับในส่วนของแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Mamdani จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำท่าสูงสุดค่อนข้างใกล้เคียงกับความเป็นจริง แต่เส้นกราฟจะค่อนข้างไม่สม่ำเสมอและเกิดปริมาณน้ำสูงสูงซึ่งสูงกว่าความเป็นจริงเป็นระยะ ส่วนแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Sugeno เส้นกราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายกับความเป็นจริง ปริมาณน้ำสูงสุดยังต่ำกว่าความเป็นจริงแต่ใกล้เคียงกว่าแบบจำลอง RRL

ภาพที่ 23 และภาพที่ 25 แสดงแผนภาพ Scatter ของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Mamdani กับปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดจริง และ ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS กับปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดจริง จะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟ Scatter ของแบบจำลองชนิด Mamdani จะมีลักษณะการกระจายตัวมากกว่าของแบบจำลองชนิด Sugeno แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Sugeno มีความถูกต้องกว่าแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Mamdani

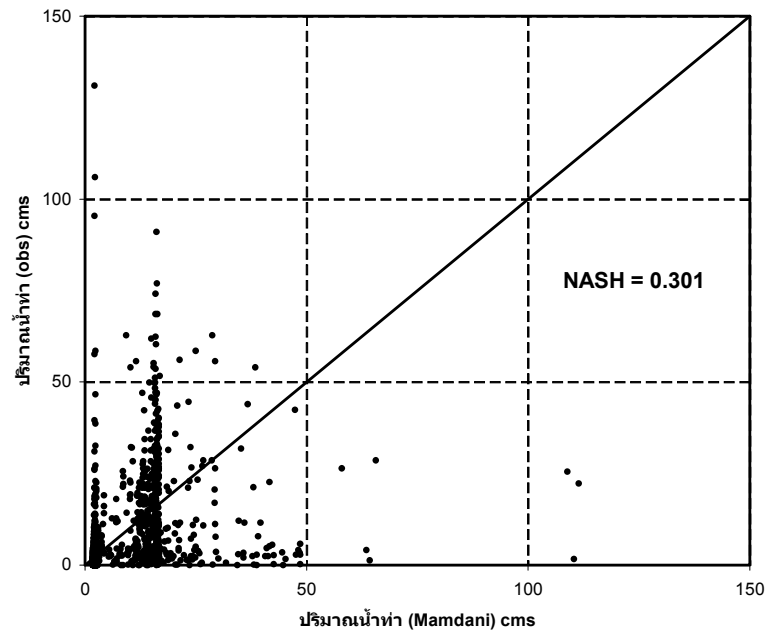
จากที่กล่าวมาพอที่จะสรุปได้เบื้องต้นว่าแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด Mamdani



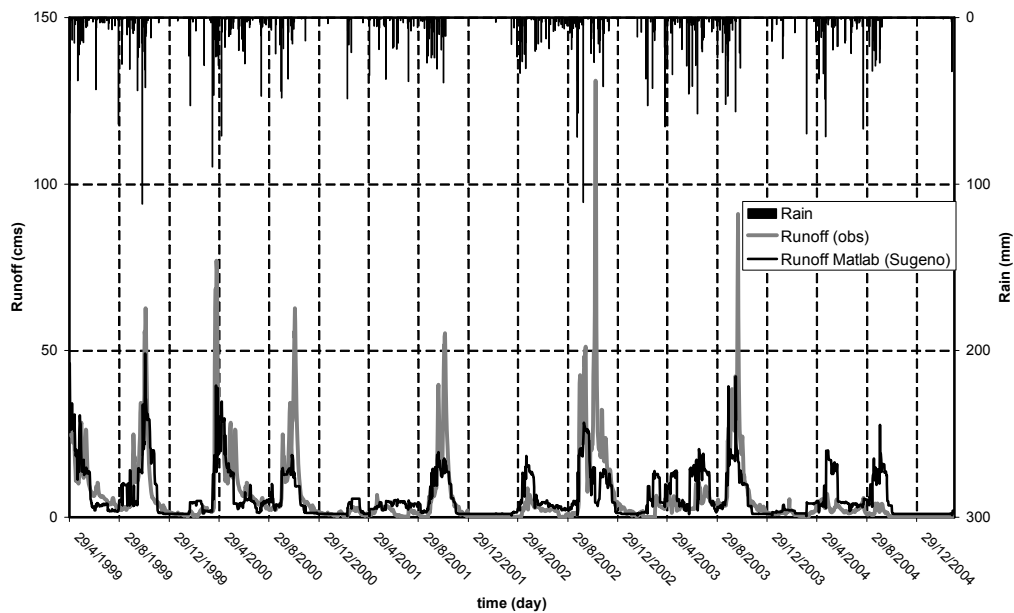
ภาพที่ 21 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับแบบจำลอง RRL



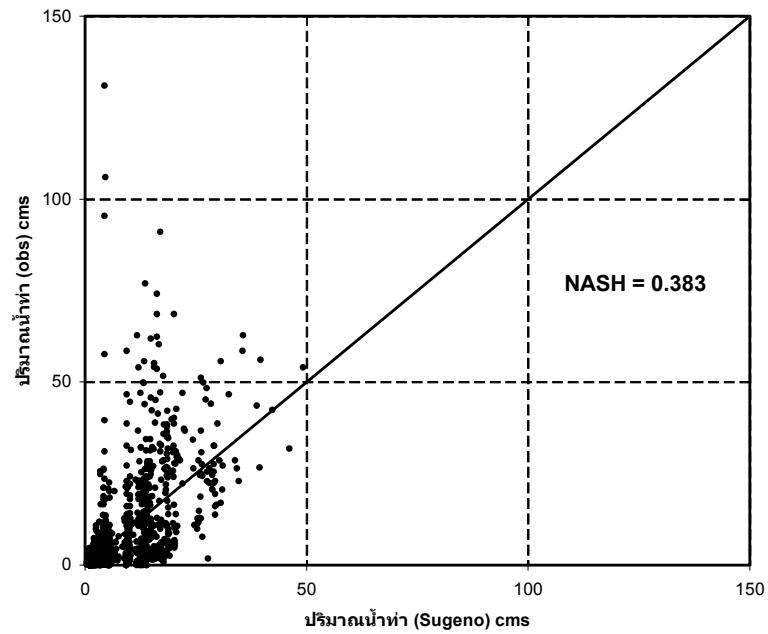
ภาพที่ 22 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิดMamdani



ภาพที่ 23 กราฟ Scatter ระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Mamdani กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง



ภาพที่ 24 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS



ภาพที่ 25 กราฟ Scatter ระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองฟuzzyลอจิกชนิด sugeno ที่ปรับ membership function โดย ANFIS กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

การศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าโดยใช้โปรแกรม MATLAB ร่วมกับ Simulink และ Fuzzy Toolbox ในการพัฒนาแบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ที่ทำการศึกษาคือ กลุ่มน้ำห้วยตะเพิน ซึ่งเป็นกลุ่มน้ำสาขาของกลุ่มน้ำแม่กลอง

ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง คือ ข้อมูลน้ำฝนรายวัน ที่สถานี 450201 (สตอ. จ.กาญจนบุรี) ตั้งแต่ปี ค.ศ.1999-2005 และ ซึ่งผลลัพธ์ที่จะได้ออกมาจากแบบจำลองคือ ปริมาณน้ำท่า ปี ค.ศ.1999-2005

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในแบบจำลองนี้ เป็นการวิเคราะห์โดยใช้การปรับเงื่อนไขและรูปแบบความเป็นสมาชิกของฟัซซี่ลอจิก แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ชนิด Mamdani ซึ่งปรับด้วยระบบ manual ได้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง และชนิด Sugeno ที่ใช้ ANFIS เข้ามาช่วยในการปรับเงื่อนไขและรูปแบบความเป็นสมาชิกของฟัซซี่ลอจิก ซึ่งจะ ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงยิ่งขึ้น

การตรวจสอบผลลัพธ์ทำโดยใช้สมการ Nash เปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดจริงกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง RRL และแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกทั้ง 2 ซึ่งจะ ได้ค่า Nash ของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Mamdani = 0.301, ค่า Nash ของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกชนิด Sugeno = 0.383 และค่า Nash ของแบบจำลอง RRL = 0.700

ผลการทดสอบแบบจำลองนี้ ปริมาณน้ำท่าที่วิเคราะห์ได้ค่อนข้างแตกต่างที่ตรวจวัดจริง ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับปรับเงื่อนไขและรูปแบบความเป็นสมาชิกของฟัซซี่ลอจิก และพื้นที่ลุ่มน้ำที่ได้ทำการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมไปจากธรรมชาติเป็นอย่างมาก

จากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิกในการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ซึ่งแบบจำลองสามารถวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าได้ถูกต้องในระดับหนึ่ง จึงเป็นแนวทางที่ดีในการพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำอื่น ๆ ซึ่งมีความสะดวก ไม่ซับซ้อน และให้ผลลัพธ์ค่อนข้างแม่นยำและน่าเชื่อถือได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic) เพื่อใช้ในการหาปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น มีข้อเสนอ ดังนี้

1. เพิ่มจำนวนตัวแปรอินพุตและจำนวนข้อมูลเข้าไปในแบบจำลอง เพื่อให้เกิดความละเอียดและถูกต้องมากยิ่งขึ้น
2. ในการเลือกสถานีวัดน้ำฝนที่จะใช้เป็นข้อมูลแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกนี้ควรเลือกสถานีที่สามารถเป็นตัวแทนของปริมาณน้ำฝนทั้งพื้นที่ได้ เพราะจะทำให้การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าที่มีความถูกต้องและเหมาะสมกับสภาพพื้นที่จริง
3. การพัฒนาแบบจำลองนั้น ผู้พัฒนาจะต้องมีความรู้และเข้าใจในเรื่องของทฤษฎีฟัซซี่ลอจิกและการสร้างแบบจำลองเป็นอย่างดี จึงจะให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและถูกต้อง

เอกสารอ้างอิง

- กรมชลประทาน. 2535. รายงานการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำ ในเขต อำเภอบ่อพลอย อำเภอห้วยกระเจาและอำเภอเลาขวัญ จังหวัดกาญจนบุรี. กรมชลประทาน, กาญจนบุรี.
- กรมชลประทาน. มปป. แนวทางการพัฒนาโครงการลุ่มน้ำห้วยตะเพิน จังหวัดกาญจนบุรี – จังหวัดสุพรรณบุรี. กรมชลประทาน, กาญจนบุรี.
- ชัยวัฒน์ ภู่วรกุลชัย. 2546. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำฝนและน้ำท่า ในลุ่มน้ำลำภาชี โดยแบบจำลองน้ำฝนและน้ำท่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ฉัตร บูรณ์เรืองศักดิ์. 2543. การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการศึกษาการใช้น้ำในลุ่มน้ำอย่างเป็นระบบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. 2545. การจำลองสภาวะน้ำท่วม Flood Modelling. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บัญชา ขวัญยืน. 2541. การวิเคราะห์ระบบเพื่อการวางแผนการจัดการ โครงการชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 186 น.
- พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุตikul และ วารินทร์ จิระสุขทวี .2550 “แบบจำลองน้ำท่าและ ผลกระทบทางอุทกวิทยา หลังการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้เป็นสวนยางพารา ที่ จ. ระยอง”.
- ภาณุวัฒน์ ปิ่นทอง. 2546. การใช้เกณฑ์แบบฟิชชีจำลองอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ภาณุวัฒน์ ปิ่นทอง และ เอกสิทธิ์ โสมสิตสกุลชัย. 2547ก. การพัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจแบบฟิชชีสำหรับการจัดการอ่างเก็บน้ำ: กรณีศึกษาเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์. ใน: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9, จ.เพชรบุรี, 19-21 พฤษภาคม 2547. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และ วสท., กรุงเทพฯ. น. WRE-1 -WRE-6.
- ภาณุวัฒน์ ปิ่นทอง และ เอกสิทธิ์ โสมสิตสกุลชัย. 2547ข. การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการจัดการอ่างเก็บน้ำโดยเกณฑ์แบบฟิชชี: กรณีศึกษาเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์. ใน: เรื่องเต็มการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42 เล่มที่ 3, 3-6 กุมภาพันธ์ 2547. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. น. 15-23.
- ภาณุวัฒน์ ปิ่นทอง และ เอกสิทธิ์ โสมสิตสกุลชัย. 2548. แบบจำลองโดยเกณฑ์แบบฟิชชีสำหรับการจัดการอ่างเก็บน้ำ: กรณีศึกษาเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์. วิศวกรรมสาร มก., 51 (ช.ค. – มี.ค.): 17-30.
- มนัส สัจจวรศิลป์. 2543. คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์ โรงพิมพ์ธนรัช การพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

- ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์. 2545. การพัฒนาแบบจำลองความต้องการน้ำชลประทานโดยใช้พีชชีลอจิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์ และ เอกสิทธิ์ โสมสิตสกุลชัย. 2546. การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้พีชชีลอจิก. ใน: เรื่องเติมการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41, 4-7 กุมภาพันธ์ 2546. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. น. 89-96.
- ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์ และ เอกสิทธิ์ โสมสิตสกุลชัย. 2547. การพัฒนาแบบจำลองความต้องการน้ำชลประทานใช้พีชชีลอจิก. ใน: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9, จ.เพชรบุรี, 19-21 พฤษภาคม 2547. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์และ วสท., กรุงเทพฯ. น. WRE-7 -WRE-12.
- ยุพา ชิดทอง, วิภาดา แซ่อึ้ง, เมธี สายมงคล และ เสรี สุภรชาติย์. 2547. การพยากรณ์น้ำท่วมโดยแบบจำลอง พีชชีลอจิก. ใน: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9, จ.เพชรบุรี, 19-21 พฤษภาคม 2547. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์และ วสท., กรุงเทพฯ.
- สุวัฒนา จิตตลดากร และ รสกร ด้านกุล. 2547. KUnet Ver. 1.0 : แบบจำลองสำหรับพยากรณ์การไหลในลำน้ำ. ใน: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9, จ.เพชรบุรี, 19-21 พฤษภาคม 2547. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์และ วสท., กรุงเทพฯ.
- เสรี สุภรชาติย์. 2544. คู่มือการพยากรณ์น้ำโดยโครงข่ายประสาทเทียม. คณะอนุกรรมการศึกษาวิจัยด้านบริหารจัดการน้ำ. สถาบันพัฒนาการชลประทาน (IDI), นนทบุรี.
- Basnyat, D.B. 1990. Optimal Development and Management for Multipurpose Reservoir on the Karnali River, Nepal. M.Eng. Thesis, Asian Institute of Technology.
- Podger, G. 2004. RRL: Rainfall Runoff Library. User Guide. CRC for Catchment Hydrology, Australia. <http://www.toolkit.net.au/rrl>.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตัวอย่างข้อมูลน้ำฝน (จำนวน 2 รอบปี)

*			
1990 91 0 .	1990 155 3 .	1990 219 7.4 .	1990 283 0 .
1990 92 0 .	1990 156 26.8 .	1990 220 0 .	1990 284 0 .
1990 93 0 .	1990 157 10 .	1990 221 15.2 .	1990 285 0 .
1990 94 0 .	1990 158 0 .	1990 222 0 .	1990 286 0 .
1990 95 0 .	1990 159 0.1 .	1990 223 0 .	1990 287 0 .
1990 96 0 .	1990 160 0.2 .	1990 224 0 .	1990 288 3.3 .
1990 97 26 .	1990 161 0 .	1990 225 0 .	1990 289 3.3 .
1990 98 0 .	1990 162 0.1 .	1990 226 0 .	1990 290 42.2 .
1990 99 0 .	1990 163 7.5 .	1990 227 0 .	1990 291 0 .
1990 100 0 .	1990 164 0 .	1990 228 0 .	1990 292 29.1 .
1990 101 0 .	1990 165 0 .	1990 229 0 .	1990 293 29.9 .
1990 102 0 .	1990 166 0 .	1990 230 0 .	1990 294 4.4 .
1990 103 0 .	1990 167 0.1 .	1990 231 2.4 .	1990 295 0 .
1990 104 0 .	1990 168 0 .	1990 232 1 .	1990 296 0 .
1990 105 0 .	1990 169 0 .	1990 233 0.1 .	1990 297 0 .
1990 106 0 .	1990 170 0 .	1990 234 0 .	1990 298 29 .
1990 107 3.7 .	1990 171 0 .	1990 235 0 .	1990 299 0 .
1990 108 0 .	1990 172 0 .	1990 236 0 .	1990 300 0 .
1990 109 0 .	1990 173 5 .	1990 237 0.2 .	1990 301 0 .
1990 110 9.8 .	1990 174 0 .	1990 238 0 .	1990 302 0 .
1990 111 0 .	1990 175 0 .	1990 239 6.9 .	1990 303 0 .
1990 112 0 .	1990 176 0.2 .	1990 240 0 .	1990 304 0 .
1990 113 0 .	1990 177 0.2 .	1990 241 0.5 .	1990 305 2.2 .
1990 114 0 .	1990 178 0 .	1990 242 0 .	1990 306 3.8 .
1990 115 14.5 .	1990 179 0 .	1990 243 0 .	1990 307 0 .
1990 116 27.2 .	1990 180 0 .	1990 244 0 .	1990 308 3.6 .
1990 117 0 .	1990 181 0 .	1990 245 0 .	1990 309 0 .
1990 118 0 .	1990 182 0.7 .	1990 246 0 .	1990 310 0 .
1990 119 0 .	1990 183 5 .	1990 247 0.6 .	1990 311 0 .
1990 120 0 .	1990 184 0 .	1990 248 0.5 .	1990 312 24.3 .
1990 121 0 .	1990 185 0.1 .	1990 249 0 .	1990 313 6.3 .
1990 122 0 .	1990 186 9.1 .	1990 250 0 .	1990 314 0.4 .
1990 123 0.2 .	1990 187 9 .	1990 251 0 .	1990 315 0 .
1990 124 0 .	1990 188 14.3 .	1990 252 0 .	1990 316 0 .
1990 125 0 .	1990 189 1 .	1990 253 0 .	1990 317 10 .
1990 126 0 .	1990 190 1 .	1990 254 10.2 .	1990 318 0 .
1990 127 0 .	1990 191 0 .	1990 255 27.9 .	1990 319 0 .
1990 128 0 .	1990 192 0.1 .	1990 256 25 .	1990 320 0 .
1990 129 0 .	1990 193 0 .	1990 257 6.8 .	1990 321 0 .
1990 130 0 .	1990 194 0 .	1990 258 1.5 .	1990 322 0 .
1990 131 0 .	1990 195 0.1 .	1990 259 0.2 .	1990 323 0 .
1990 132 0 .	1990 196 0 .	1990 260 1.5 .	1990 324 0 .
1990 133 0 .	1990 197 0.2 .	1990 261 0 .	1990 325 0 .
1990 134 0 .	1990 198 0 .	1990 262 11.1 .	1990 326 0 .
1990 135 7 .	1990 199 0 .	1990 263 8.6 .	1990 327 0 .
1990 136 0 .	1990 200 19.1 .	1990 264 1.8 .	1990 328 0 .
1990 137 0 .	1990 201 2.2 .	1990 265 0 .	1990 329 0 .
1990 138 0.2 .	1990 202 6.1 .	1990 266 8 .	1990 330 0 .
1990 139 12 .	1990 203 0 .	1990 267 0 .	1990 331 0 .
1990 140 0 .	1990 204 0.2 .	1990 268 0 .	1990 332 0 .
1990 141 8.6 .	1990 205 0 .	1990 269 4.8 .	1990 333 0 .
1990 142 53.7 .	1990 206 0 .	1990 270 0.2 .	1990 334 0 .
1990 143 29.6 .	1990 207 0 .	1990 271 1.9 .	1990 335 0 .
1990 144 10 .	1990 208 0 .	1990 272 4.7 .	1990 336 0 .
1990 145 79.5 .	1990 209 0 .	1990 273 0 .	1990 337 0 .
1990 146 15.6 .	1990 210 0 .	1990 274 1.2 .	1990 338 0 .
1990 147 7 .	1990 211 0 .	1990 275 2.5 .	1990 339 0 .
1990 148 0 .	1990 212 0.1 .	1990 276 16.2 .	1990 340 0 .
1990 149 0 .	1990 213 0 .	1990 277 49.3 .	1990 341 0 .
1990 150 1 .	1990 214 0 .	1990 278 3.7 .	1990 342 0 .
1990 151 0 .	1990 215 0 .	1990 279 2.3 .	1990 343 0 .
1990 152 0 .	1990 216 0 .	1990 280 4.5 .	1990 344 0 .
1990 153 0 .	1990 217 0 .	1990 281 39.1 .	1990 345 0 .
1990 154 1 .	1990 218 13.8 .	1990 282 39.8 .	1990 346 0 .

1990 347 0 .	1991 51 4.8 .	1991 120 0 .	1991 189 2.2 .
1990 348 0 .	1991 52 20.7 .	1991 121 0 .	1991 190 3.3 .
1990 349 0 .	1991 53 0 .	1991 122 0 .	1991 191 0 .
1990 350 0 .	1991 54 0 .	1991 123 0 .	1991 192 0 .
1990 351 0 .	1991 55 0 .	1991 124 0 .	1991 193 0 .
1990 352 0 .	1991 56 0 .	1991 125 68.6 .	1991 194 0 .
1990 353 0 .	1991 57 0 .	1991 126 0 .	1991 195 0.2 .
1990 354 0 .	1991 58 0 .	1991 127 0 .	1991 196 13.8 .
1990 355 0 .	1991 59 0 .	1991 128 0 .	1991 197 0.5 .
1990 356 0 .	1991 60 3.1 .	1991 129 0 .	1991 198 0 .
1990 357 0 .	1991 61 0 .	1991 130 0 .	1991 199 0 .
1990 358 0 .	1991 62 0 .	1991 131 0 .	1991 200 3.2 .
1990 359 0 .	1991 63 0 .	1991 132 4 .	1991 201 0 .
1990 360 0 .	1991 64 0 .	1991 133 38.2 .	1991 202 0 .
1990 361 0 .	1991 65 0 .	1991 134 0 .	1991 203 0 .
1990 362 0 .	1991 66 0 .	1991 135 0 .	1991 204 0 .
1990 363 0 .	1991 67 0 .	1991 136 0 .	1991 205 0 .
1990 364 0 .	1991 68 0 .	1991 137 0 .	1991 206 1.6 .
1990 365 0 .	1991 69 0 .	1991 138 0 .	1991 207 4.3 .
1991 1 0 .	1991 70 0 .	1991 139 0 .	1991 208 13.5 .
1991 2 0 .	1991 71 0 .	1991 140 39 .	1991 209 1.5 .
1991 3 0 .	1991 72 0 .	1991 141 0 .	1991 210 0.2 .
1991 4 0 .	1991 73 0 .	1991 142 0 .	1991 211 0.5 .
1991 5 0 .	1991 74 0 .	1991 143 0 .	1991 212 0.3 .
1991 6 0 .	1991 75 0 .	1991 144 0 .	1991 213 0 .
1991 7 0 .	1991 76 0 .	1991 145 0 .	1991 214 0 .
1991 8 0 .	1991 77 0 .	1991 146 0 .	1991 215 0 .
1991 9 0 .	1991 78 0 .	1991 147 0.3 .	1991 216 0 .
1991 10 0 .	1991 79 0 .	1991 148 3 .	1991 217 0 .
1991 11 0 .	1991 80 0 .	1991 149 4.7 .	1991 218 0 .
1991 12 0 .	1991 81 0 .	1991 150 38.4 .	1991 219 0 .
1991 13 0 .	1991 82 0 .	1991 151 0 .	1991 220 0 .
1991 14 0 .	1991 83 0 .	1991 152 0 .	1991 221 0 .
1991 15 0 .	1991 84 0 .	1991 153 0 .	1991 222 0 .
1991 16 0 .	1991 85 0 .	1991 154 10.5 .	1991 223 1.8 .
1991 17 0 .	1991 86 0 .	1991 155 0 .	1991 224 1.3 .
1991 18 0 .	1991 87 0 .	1991 156 1.8 .	1991 225 1.4 .
1991 19 0 .	1991 88 0 .	1991 157 0 .	1991 226 2.6 .
1991 20 0 .	1991 89 0 .	1991 158 13.3 .	1991 227 0 .
1991 21 0 .	1991 90 11.7 .	1991 159 0 .	1991 228 0.1 .
1991 22 0 .	1991 91 0 .	1991 160 0 .	1991 229 0.3 .
1991 23 0 .	1991 92 0 .	1991 161 1 .	1991 230 15.8 .
1991 24 0 .	1991 93 0 .	1991 162 0 .	1991 231 7.2 .
1991 25 0 .	1991 94 0 .	1991 163 0 .	1991 232 5.1 .
1991 26 0 .	1991 95 0 .	1991 164 3 .	1991 233 3.4 .
1991 27 0 .	1991 96 0 .	1991 165 0 .	1991 234 1.2 .
1991 28 0 .	1991 97 0 .	1991 166 6.6 .	1991 235 0 .
1991 29 0 .	1991 98 0 .	1991 167 0 .	1991 236 0 .
1991 30 0 .	1991 99 0 .	1991 168 0.6 .	1991 237 0 .
1991 31 0 .	1991 100 0 .	1991 169 6.5 .	1991 238 0 .
1991 32 0 .	1991 101 0 .	1991 170 0.2 .	1991 239 28.6 .
1991 33 0 .	1991 102 0 .	1991 171 0 .	1991 240 5.8 .
1991 34 0 .	1991 103 0 .	1991 172 32.6 .	1991 241 0 .
1991 35 0 .	1991 104 0 .	1991 173 0 .	1991 242 1.2 .
1991 36 0 .	1991 105 0 .	1991 174 1 .	1991 243 3.6 .
1991 37 0 .	1991 106 0 .	1991 175 0 .	1991 244 0 .
1991 38 0 .	1991 107 0 .	1991 176 0 .	1991 245 0 .
1991 39 0 .	1991 108 0 .	1991 177 1.2 .	1991 246 0 .
1991 40 0 .	1991 109 0 .	1991 178 0.2 .	1991 247 0 .
1991 41 0 .	1991 110 0 .	1991 179 0 .	1991 248 0 .
1991 42 0 .	1991 111 0 .	1991 180 0 .	1991 249 0 .
1991 43 0 .	1991 112 32.2 .	1991 181 0 .	1991 250 0.4 .
1991 44 0 .	1991 113 0 .	1991 182 0 .	1991 251 0 .
1991 45 0 .	1991 114 1 .	1991 183 2.3 .	1991 252 0 .
1991 46 0 .	1991 115 19.1 .	1991 184 0 .	1991 253 0 .
1991 47 0 .	1991 116 0 .	1991 185 0 .	1991 254 3.5 .
1991 48 0 .	1991 117 0 .	1991 186 0 .	1991 255 0 .
1991 49 0 .	1991 118 0 .	1991 187 0 .	1991 256 7.4 .
1991 50 0 .	1991 119 0 .	1991 188 3.8 .	1991 257 5.8 .

1991 258 36.4 .
1991 259 0 .
1991 260 5 .
1991 261 0 .
1991 262 2.3 .
1991 263 0.1 .
1991 264 0 .
1991 265 0 .
1991 266 6 .
1991 267 27.8 .
1991 268 7.3 .
1991 269 1 .
1991 270 0.2 .
1991 271 0.5 .

1991 341 0 .
1991 342 0 .
1991 343 0 .
1991 344 0 .
1991 345 0 .
1991 346 0 .
1991 347 0 .
1991 348 0 .
1991 349 0 .
1991 350 0 .
1991 351 0 .
1991 352 0 .
1991 353 0 .
1991 354 0 .
1991 355 0 .
1991 356 0 .
1991 357 0 .
1991 358 0 .
1991 359 0 .
1991 360 0 .
1991 361 0 .
1991 362 41.8 .
1991 363 2.5 .
1991 364 0 .
1991 365 0 .

ตัวอย่างข้อมูลน้ำท่า (จำนวน 2 รอบปี)

ข

1999 92 2.04 .	1999 156 17.04 .	1999 221 4.1 .	1999 286 11.57 .
1999 93 2.04 .	1999 157 18.12 .	1999 222 3.92 .	1999 287 10.92 .
1999 94 1.92 .	1999 158 18.87 .	1999 223 4.3 .	1999 288 11.7 .
1999 95 1.98 .	1999 159 21.2 .	1999 224 5.1 .	1999 289 12.15 .
1999 96 1.86 .	1999 160 26.27 .	1999 225 5.7 .	1999 290 17.04 .
1999 97 1.8 .	1999 161 26.04 .	1999 226 5.8 .	1999 291 21.2 .
1999 98 1.8 .	1999 162 21.2 .	1999 227 5.3 .	1999 292 24.2 .
1999 99 1.8 .	1999 163 16.68 .	1999 228 4.7 .	1999 293 31.35 .
1999 100 1.8 .	1999 164 13.65 .	1999 229 4.1 .	1999 294 34.38 .
1999 101 1.62 .	1999 165 11.85 .	1999 230 3.92 .	1999 295 28.34 .
1999 102 1.68 .	1999 166 10.79 .	1999 231 3.84 .	1999 296 21.8 .
1999 103 1.68 .	1999 167 9.92 .	1999 232 3.92 .	1999 297 18.87 .
1999 104 1.68 .	1999 168 9.44 .	1999 233 3.68 .	1999 298 25.58 .
1999 105 1.86 .	1999 169 8.96 .	1999 234 3.12 .	1999 299 28.57 .
1999 106 1.92 .	1999 170 8.36 .	1999 235 2.8 .	1999 300 29.03 .
1999 107 2.48 .	1999 171 8 .	1999 236 2.56 .	1999 301 31.1 .
1999 108 2.88 .	1999 172 7.8 .	1999 237 3.04 .	1999 302 36.76 .
1999 109 17.58 .	1999 173 7.5 .	1999 238 3.2 .	1999 303 47.04 .
1999 110 45.12 .	1999 174 7.4 .	1999 239 3.12 .	1999 304 55.75 .
1999 111 62.38 .	1999 175 7.4 .	1999 240 2.88 .	1999 305 54 .
1999 112 68.6 .	1999 176 7 .	1999 241 2.56 .	1999 306 62.76 .
1999 113 56.1 .	1999 177 6.6 .	1999 242 2.34 .	1999 307 58.58 .
1999 114 77 .	1999 178 6.6 .	1999 243 2.4 .	1999 308 46.72 .
1999 115 74.2 .	1999 179 6.4 .	1999 244 2.34 .	1999 309 38.72 .
1999 116 53.65 .	1999 180 6.5 .	1999 245 2.28 .	1999 310 32.6 .
1999 117 43.6 .	1999 181 6.5 .	1999 246 2.22 .	1999 311 27.19 .
1999 118 34.64 .	1999 182 7.3 .	1999 247 2.28 .	1999 312 23 .
1999 119 28.57 .	1999 183 7.2 .	1999 248 2.48 .	1999 313 19.44 .
1999 120 28.57 .	1999 184 7.9 .	1999 249 2.34 .	1999 314 16.14 .
1999 121 31.85 .	1999 185 9.2 .	1999 250 2.4 .	1999 315 13.8 .
1999 122 32.6 .	1999 186 8.72 .	1999 251 2.56 .	1999 316 11.7 .
1999 123 30.87 .	1999 187 8.36 .	1999 252 2.96 .	1999 317 10.66 .
1999 124 25.81 .	1999 188 10.4 .	1999 253 2.72 .	1999 318 9.08 .
1999 125 24.43 .	1999 189 10.28 .	1999 254 2.88 .	1999 319 7.7 .
1999 126 26.5 .	1999 190 8.36 .	1999 255 3.12 .	1999 320 6.8 .
1999 127 23 .	1999 191 7.3 .	1999 256 3.12 .	1999 321 6.4 .
1999 128 22.4 .	1999 192 6.8 .	1999 257 2.56 .	1999 322 6 .
1999 129 25.58 .	1999 193 6.7 .	1999 258 2.16 .	1999 323 5.9 .
1999 130 27.65 .	1999 194 6.7 .	1999 259 2.16 .	1999 324 5.8 .
1999 131 24.66 .	1999 195 6.5 .	1999 260 2.64 .	1999 325 5.6 .
1999 132 20.6 .	1999 196 6.2 .	1999 261 2.96 .	1999 326 5.4 .
1999 133 16.5 .	1999 197 6.4 .	1999 262 3.36 .	1999 327 5.3 .
1999 134 13.95 .	1999 198 6.2 .	1999 263 3.28 .	1999 328 4.9 .
1999 135 10.92 .	1999 199 6.1 .	1999 264 3.2 .	1999 329 4.5 .
1999 136 11.44 .	1999 200 6.3 .	1999 265 3.04 .	1999 330 4.3 .
1999 137 11.05 .	1999 201 6.3 .	1999 266 3.12 .	1999 331 4.2 .
1999 138 10.79 .	1999 202 6.2 .	1999 267 3.2 .	1999 332 4.1 .
1999 139 11.31 .	1999 203 6 .	1999 268 3.44 .	1999 333 4.1 .
1999 140 11.57 .	1999 204 5.8 .	1999 269 3.28 .	1999 334 4.3 .
1999 141 10.79 .	1999 205 5.6 .	1999 270 3.44 .	1999 335 4.7 .
1999 142 10.16 .	1999 206 5.6 .	1999 271 3.76 .	1999 336 4.3 .
1999 143 11.18 .	1999 207 5.4 .	1999 272 4.6 .	1999 337 4.2 .
1999 144 12.9 .	1999 208 5.3 .	1999 273 5.6 .	1999 338 4.1 .
1999 145 17.04 .	1999 209 5.2 .	1999 274 8.48 .	1999 339 3.76 .
1999 146 20.8 .	1999 210 5.1 .	1999 275 18.49 .	1999 340 3.44 .
1999 147 26.5 .	1999 211 5 .	1999 276 24.89 .	1999 341 3.36 .
1999 148 27.88 .	1999 212 4.8 .	1999 277 21 .	1999 342 3.36 .
1999 149 28.34 .	1999 213 4.6 .	1999 278 16.68 .	1999 343 3.28 .
1999 150 22.2 .	1999 214 4.6 .	1999 279 18.12 .	1999 344 2.8 .
1999 151 17.04 .	1999 215 4.4 .	1999 280 13.65 .	1999 345 2.88 .
1999 152 14.4 .	1999 216 4.1 .	1999 281 10.92 .	1999 346 2.28 .
1999 153 12.6 .	1999 217 3.76 .	1999 282 10.53 .	1999 347 1.56 .
1999 154 11.85 .	1999 218 4 .	1999 283 12 .	1999 348 2.96 .
1999 155 13.65 .	1999 219 4.2 .	1999 284 12.3 .	1999 349 3.68 .
	1999 220 4.1 .	1999 285 13.5 .	1999 350 2.16 .

1999 351 2.48 .	2000 55 1.26 .	2000 124 25.81 .	2000 193 6.7 .
1999 352 2.8 .	2000 56 1.08 .	2000 125 24.43 .	2000 194 6.7 .
1999 353 1.56 .	2000 57 0.56 .	2000 126 26.5 .	2000 195 6.5 .
1999 354 1.2 .	2000 58 0.38 .	2000 127 23 .	2000 196 6.2 .
1999 355 1.16 .	2000 59 0.48 .	2000 128 22.4 .	2000 197 6.4 .
1999 356 1.44 .	2000 60 0.56 .	2000 129 25.58 .	2000 198 6.2 .
1999 357 1.74 .	2000 61 0.56 .	2000 130 27.65 .	2000 199 6.1 .
1999 358 1.8 .	2000 62 0.48 .	2000 131 24.66 .	2000 200 6.3 .
1999 359 1.62 .	2000 63 0.6 .	2000 132 20.6 .	2000 201 6.3 .
1999 360 1.74 .	2000 64 0.48 .	2000 133 16.5 .	2000 202 6.2 .
1999 361 1.74 .	2000 65 0.48 .	2000 134 13.95 .	2000 203 6 .
1999 362 1.68 .	2000 66 0.64 .	2000 135 10.92 .	2000 204 5.8 .
1999 363 1.62 .	2000 67 0.4 .	2000 136 11.44 .	2000 205 5.6 .
1999 364 1.62 .	2000 68 0.32 .	2000 137 11.05 .	2000 206 5.6 .
1999 365 1.56 .	2000 69 0.64 .	2000 138 10.79 .	2000 207 5.4 .
2000 1 1.44 .	2000 70 0.92 .	2000 139 11.31 .	2000 208 5.3 .
2000 2 1.44 .	2000 71 0.96 .	2000 140 11.57 .	2000 209 5.2 .
2000 3 1.32 .	2000 72 1.12 .	2000 141 10.79 .	2000 210 5.1 .
2000 4 1.26 .	2000 73 1.5 .	2000 142 10.16 .	2000 211 5 .
2000 5 1.2 .	2000 74 1.8 .	2000 143 11.18 .	2000 212 4.8 .
2000 6 1.2 .	2000 75 2.1 .	2000 144 12.9 .	2000 213 4.6 .
2000 7 1.16 .	2000 76 2.16 .	2000 145 17.04 .	2000 214 4.6 .
2000 8 1.16 .	2000 77 2.04 .	2000 146 20.8 .	2000 215 4.4 .
2000 9 1.2 .	2000 78 2.4 .	2000 147 26.5 .	2000 216 4.1 .
2000 10 1.08 .	2000 79 2.72 .	2000 148 27.88 .	2000 217 3.76 .
2000 11 1.08 .	2000 80 2.4 .	2000 149 28.34 .	2000 218 4 .
2000 12 1.08 .	2000 81 2.4 .	2000 150 22.2 .	2000 219 4.2 .
2000 13 1.08 .	2000 82 3.12 .	2000 151 17.04 .	2000 220 4.1 .
2000 14 1.08 .	2000 83 2.96 .	2000 152 14.4 .	2000 221 4.1 .
2000 15 0.96 .	2000 84 2.4 .	2000 153 12.6 .	2000 222 3.92 .
2000 16 1.08 .	2000 85 2.1 .	2000 154 11.85 .	2000 223 4.3 .
2000 17 1 .	2000 86 2.34 .	2000 155 13.65 .	2000 224 5.1 .
2000 18 0.92 .	2000 87 2.16 .	2000 156 17.04 .	2000 225 5.7 .
2000 19 1.12 .	2000 88 1.92 .	2000 157 18.12 .	2000 226 5.8 .
2000 20 1.44 .	2000 89 1.86 .	2000 158 18.87 .	2000 227 5.3 .
2000 21 1.04 .	2000 90 1.92 .	2000 159 21.2 .	2000 228 4.7 .
2000 22 0.84 .	2000 91 2.9 .	2000 160 26.27 .	2000 229 4.1 .
2000 23 1 .	2000 92 2.04 .	2000 161 26.04 .	2000 230 3.92 .
2000 24 1 .	2000 93 2.04 .	2000 162 21.2 .	2000 231 3.84 .
2000 25 0.92 .	2000 94 1.92 .	2000 163 16.68 .	2000 232 3.92 .
2000 26 0.96 .	2000 95 1.98 .	2000 164 13.65 .	2000 233 3.68 .
2000 27 0.88 .	2000 96 1.86 .	2000 165 11.85 .	2000 234 3.12 .
2000 28 0.92 .	2000 97 1.8 .	2000 166 10.79 .	2000 235 2.8 .
2000 29 1 .	2000 98 1.8 .	2000 167 9.92 .	2000 236 2.56 .
2000 30 0.96 .	2000 99 1.8 .	2000 168 9.44 .	2000 237 3.04 .
2000 31 0.88 .	2000 100 1.8 .	2000 169 8.96 .	2000 238 3.2 .
2000 32 0.72 .	2000 101 1.62 .	2000 170 8.36 .	2000 239 3.12 .
2000 33 0.68 .	2000 102 1.68 .	2000 171 8 .	2000 240 2.88 .
2000 34 0.6 .	2000 103 1.68 .	2000 172 7.8 .	2000 241 2.56 .
2000 35 0.52 .	2000 104 1.68 .	2000 173 7.5 .	2000 242 2.34 .
2000 36 0.64 .	2000 105 1.86 .	2000 174 7.4 .	2000 243 2.4 .
2000 37 0.68 .	2000 106 1.92 .	2000 175 7.4 .	2000 244 2.34 .
2000 38 0.64 .	2000 107 2.48 .	2000 176 7 .	2000 245 2.28 .
2000 39 0.68 .	2000 108 2.88 .	2000 177 6.6 .	2000 246 2.22 .
2000 40 0.6 .	2000 109 17.58 .	2000 178 6.6 .	2000 247 2.28 .
2000 41 0.52 .	2000 110 45.12 .	2000 179 6.4 .	2000 248 2.48 .
2000 42 0.34 .	2000 111 62.38 .	2000 180 6.5 .	2000 249 2.34 .
2000 43 0.32 .	2000 112 68.6 .	2000 181 6.5 .	2000 250 2.4 .
2000 44 0.4 .	2000 113 56.1 .	2000 182 7.3 .	2000 251 2.56 .
2000 45 0.48 .	2000 114 77 .	2000 183 7.2 .	2000 252 2.96 .
2000 46 1.08 .	2000 115 74.2 .	2000 184 7.9 .	2000 253 2.72 .
2000 47 1.56 .	2000 116 53.65 .	2000 185 9.2 .	2000 254 2.88 .
2000 48 1.56 .	2000 117 43.6 .	2000 186 8.72 .	2000 255 3.12 .
2000 49 1.56 .	2000 118 34.64 .	2000 187 8.36 .	2000 256 3.12 .
2000 50 1.62 .	2000 119 28.57 .	2000 188 10.4 .	2000 257 2.56 .
2000 51 1.68 .	2000 120 28.57 .	2000 189 10.28 .	2000 258 2.16 .
2000 52 1.86 .	2000 121 31.85 .	2000 190 8.36 .	2000 259 2.16 .
2000 53 1.62 .	2000 122 32.6 .	2000 191 7.3 .	2000 260 2.64 .
2000 54 1.44 .	2000 123 30.87 .	2000 192 6.8 .	2000 261 2.96 .

2000 262 3.36 .	2000 331 4.2 .
2000 263 3.28 .	2000 332 4.1 .
2000 264 3.2 .	2000 333 4.1 .
2000 265 3.04 .	2000 334 4.3 .
2000 266 3.12 .	2000 335 4.7 .
2000 267 3.2 .	2000 336 4.3 .
2000 268 3.44 .	2000 337 4.2 .
2000 269 3.28 .	2000 338 4.1 .
2000 270 3.44 .	2000 339 3.76 .
2000 271 3.76 .	2000 340 3.44 .
2000 272 4.6 .	2000 341 3.36 .
2000 273 5.6 .	2000 342 3.36 .
2000 274 8.48 .	2000 343 3.28 .
2000 275 18.49 .	2000 344 2.8 .
2000 276 24.89 .	2000 345 2.88 .
2000 277 21 .	2000 346 2.28 .
2000 278 16.68 .	2000 347 1.56 .
2000 279 18.12 .	2000 348 2.96 .
2000 280 13.65 .	2000 349 3.68 .
2000 281 10.92 .	2000 350 2.16 .
2000 282 10.53 .	2000 351 2.48 .
2000 283 12 .	2000 352 2.8 .
2000 284 12.3 .	2000 353 1.56 .
2000 285 13.5 .	2000 354 1.2 .
2000 286 11.57 .	2000 355 1.16 .
2000 287 10.92 .	2000 356 1.44 .
2000 288 11.7 .	2000 357 1.74 .
2000 289 12.15 .	2000 358 1.8 .
2000 290 17.04 .	2000 359 1.62 .
2000 291 21.2 .	2000 360 1.74 .
2000 292 24.2 .	2000 361 1.74 .
2000 293 31.35 .	2000 362 1.68 .
2000 294 34.38 .	2000 363 1.62 .
2000 295 28.34 .	2000 364 1.62 .
2000 296 21.8 .	2000 365 1.56 .
2000 297 18.87 .	2000 366 1.5 .
2000 298 25.58 .	
2000 299 28.57 .	
2000 300 29.03 .	
2000 301 31.1 .	
2000 302 36.76 .	
2000 303 47.04 .	
2000 304 55.75 .	
2000 305 54 .	
2000 306 62.76 .	
2000 307 58.58 .	
2000 308 46.72 .	
2000 309 38.72 .	
2000 310 32.6 .	
2000 311 27.19 .	
2000 312 23 .	
2000 313 19.44 .	
2000 314 16.14 .	
2000 315 13.8 .	
2000 316 11.7 .	
2000 317 10.66 .	
2000 318 9.08 .	
2000 319 7.7 .	
2000 320 6.8 .	
2000 321 6.4 .	
2000 322 6 .	
2000 323 5.9 .	
2000 324 5.8 .	
2000 325 5.6 .	
2000 326 5.4 .	
2000 327 5.3 .	
2000 328 4.9 .	
2000 329 4.5 .	
2000 330 4.3 .	

ตัวอย่างข้อมูลการระเหย (จำนวน 2 รอบปี)

*

1990 91 5.47 .	1990 156 4.23 .	1990 222 4 .	1990 288 3.71 .
1990 92 5.47 .	1990 157 4.23 .	1990 223 4 .	1990 289 3.71 .
1990 93 5.47 .	1990 158 4.23 .	1990 224 4 .	1990 290 3.71 .
1990 94 5.47 .	1990 159 4.23 .	1990 225 4 .	1990 291 3.71 .
1990 95 5.47 .	1990 160 4.23 .	1990 226 4 .	1990 292 3.71 .
1990 96 5.47 .	1990 161 4.23 .	1990 227 4 .	1990 293 3.71 .
1990 97 5.47 .	1990 162 4.23 .	1990 228 4 .	1990 294 3.71 .
1990 98 5.47 .	1990 163 4.23 .	1990 229 4 .	1990 295 3.71 .
1990 99 5.47 .	1990 164 4.23 .	1990 230 4 .	1990 296 3.71 .
1990 100 5.47 .	1990 165 4.23 .	1990 231 4 .	1990 297 3.71 .
1990 101 5.47 .	1990 166 4.23 .	1990 232 4 .	1990 298 3.71 .
1990 102 5.47 .	1990 167 4.23 .	1990 233 4 .	1990 299 3.71 .
1990 103 5.47 .	1990 168 4.23 .	1990 234 4 .	1990 300 3.71 .
1990 104 5.47 .	1990 169 4.23 .	1990 235 4 .	1990 301 3.71 .
1990 105 5.47 .	1990 170 4.23 .	1990 236 4 .	1990 302 3.71 .
1990 106 5.47 .	1990 171 4.23 .	1990 237 4 .	1990 303 3.71 .
1990 107 5.47 .	1990 172 4.23 .	1990 238 4 .	1990 304 3.71 .
1990 108 5.47 .	1990 173 4.23 .	1990 239 4 .	1990 305 3.6 .
1990 109 5.47 .	1990 174 4.23 .	1990 240 4 .	1990 306 3.6 .
1990 110 5.47 .	1990 175 4.23 .	1990 241 4 .	1990 307 3.6 .
1990 111 5.47 .	1990 176 4.23 .	1990 242 4 .	1990 308 3.6 .
1990 112 5.47 .	1990 177 4.23 .	1990 243 4 .	1990 309 3.6 .
1990 113 5.47 .	1990 178 4.23 .	1990 244 3.8 .	1990 310 3.6 .
1990 114 5.47 .	1990 179 4.23 .	1990 245 3.8 .	1990 311 3.6 .
1990 115 5.47 .	1990 180 4.23 .	1990 246 3.8 .	1990 312 3.6 .
1990 116 5.47 .	1990 181 4.23 .	1990 247 3.8 .	1990 313 3.6 .
1990 117 5.47 .	1990 182 4.19 .	1990 248 3.8 .	1990 314 3.6 .
1990 118 5.47 .	1990 183 4.19 .	1990 249 3.8 .	1990 315 3.6 .
1990 119 5.47 .	1990 184 4.19 .	1990 250 3.8 .	1990 316 3.6 .
1990 120 5.47 .	1990 185 4.19 .	1990 251 3.8 .	1990 317 3.6 .
1990 121 4.81 .	1990 186 4.19 .	1990 252 3.8 .	1990 318 3.6 .
1990 122 4.81 .	1990 187 4.19 .	1990 253 3.8 .	1990 319 3.6 .
1990 123 4.81 .	1990 188 4.19 .	1990 254 3.8 .	1990 320 3.6 .
1990 124 4.81 .	1990 189 4.19 .	1990 255 3.8 .	1990 321 3.6 .
1990 125 4.81 .	1990 190 4.19 .	1990 256 3.8 .	1990 322 3.6 .
1990 126 4.81 .	1990 191 4.19 .	1990 257 3.8 .	1990 323 3.6 .
1990 127 4.81 .	1990 192 4.19 .	1990 258 3.8 .	1990 324 3.6 .
1990 128 4.81 .	1990 193 4.19 .	1990 259 3.8 .	1990 325 3.6 .
1990 129 4.81 .	1990 194 4.19 .	1990 260 3.8 .	1990 326 3.6 .
1990 130 4.81 .	1990 195 4.19 .	1990 261 3.8 .	1990 327 3.6 .
1990 131 4.81 .	1990 196 4.19 .	1990 262 3.8 .	1990 328 3.6 .
1990 132 4.81 .	1990 197 4.19 .	1990 263 3.8 .	1990 329 3.6 .
1990 133 4.81 .	1990 198 4.19 .	1990 264 3.8 .	1990 330 3.6 .
1990 134 4.81 .	1990 199 4.19 .	1990 265 3.8 .	1990 331 3.6 .
1990 135 4.81 .	1990 200 4.19 .	1990 266 3.8 .	1990 332 3.6 .
1990 136 4.81 .	1990 201 4.19 .	1990 267 3.8 .	1990 333 3.6 .
1990 137 4.81 .	1990 202 4.19 .	1990 268 3.8 .	1990 334 3.6 .
1990 138 4.81 .	1990 203 4.19 .	1990 269 3.8 .	1990 335 3.45 .
1990 139 4.81 .	1990 204 4.19 .	1990 270 3.8 .	1990 336 3.45 .
1990 140 4.81 .	1990 205 4.19 .	1990 271 3.8 .	1990 337 3.45 .
1990 141 4.81 .	1990 206 4.19 .	1990 272 3.8 .	1990 338 3.45 .
1990 142 4.81 .	1990 207 4.19 .	1990 273 3.8 .	1990 339 3.45 .
1990 143 4.81 .	1990 208 4.19 .	1990 274 3.71 .	1990 340 3.45 .
1990 144 4.81 .	1990 209 4.19 .	1990 275 3.71 .	1990 341 3.45 .
1990 145 4.81 .	1990 210 4.19 .	1990 276 3.71 .	1990 342 3.45 .
1990 146 4.81 .	1990 211 4.19 .	1990 277 3.71 .	1990 343 3.45 .
1990 147 4.81 .	1990 212 4.19 .	1990 278 3.71 .	1990 344 3.45 .
1990 148 4.81 .	1990 213 4 .	1990 279 3.71 .	1990 345 3.45 .
1990 149 4.81 .	1990 214 4 .	1990 280 3.71 .	1990 346 3.45 .
1990 150 4.81 .	1990 215 4 .	1990 281 3.71 .	1990 347 3.45 .
1990 151 4.81 .	1990 216 4 .	1990 282 3.71 .	1990 348 3.45 .
1990 152 4.23 .	1990 217 4 .	1990 283 3.71 .	1990 349 3.45 .
1990 153 4.23 .	1990 218 4 .	1990 284 3.71 .	1990 350 3.45 .
1990 154 4.23 .	1990 219 4 .	1990 285 3.71 .	1990 351 3.45 .
1990 155 4.23 .	1990 220 4 .	1990 286 3.71 .	1990 352 3.45 .
	1990 221 4 .	1990 287 3.71 .	1990 353 3.45 .

1991 265 3.8 .	1991 334 3.6 .
1991 266 3.8 .	1991 335 3.45 .
1991 267 3.8 .	1991 336 3.45 .
1991 268 3.8 .	1991 337 3.45 .
1991 269 3.8 .	1991 338 3.45 .
1991 270 3.8 .	1991 339 3.45 .
1991 271 3.8 .	1991 340 3.45 .
1991 272 3.8 .	1991 341 3.45 .
1991 273 3.8 .	1991 342 3.45 .
1991 274 3.71 .	1991 343 3.45 .
1991 275 3.71 .	1991 344 3.45 .
1991 276 3.71 .	1991 345 3.45 .
1991 277 3.71 .	1991 346 3.45 .
1991 278 3.71 .	1991 347 3.45 .
1991 279 3.71 .	1991 348 3.45 .
1991 280 3.71 .	1991 349 3.45 .
1991 281 3.71 .	1991 350 3.45 .
1991 282 3.71 .	1991 351 3.45 .
1991 283 3.71 .	1991 352 3.45 .
1991 284 3.71 .	1991 353 3.45 .
1991 285 3.71 .	1991 354 3.45 .
1991 286 3.71 .	1991 355 3.45 .
1991 287 3.71 .	1991 356 3.45 .
1991 288 3.71 .	1991 357 3.45 .
1991 289 3.71 .	1991 358 3.45 .
1991 290 3.71 .	1991 359 3.45 .
1991 291 3.71 .	1991 360 3.45 .
1991 292 3.71 .	1991 361 3.45 .
1991 293 3.71 .	1991 362 3.45 .
1991 294 3.71 .	1991 363 3.45 .
1991 295 3.71 .	1991 364 3.45 .
1991 296 3.71 .	1991 365 3.45 .
1991 297 3.71 .	
1991 298 3.71 .	
1991 299 3.71 .	
1991 300 3.71 .	
1991 301 3.71 .	
1991 302 3.71 .	
1991 303 3.71 .	
1991 304 3.71 .	
1991 305 3.6 .	
1991 306 3.6 .	
1991 307 3.6 .	
1991 308 3.6 .	
1991 309 3.6 .	
1991 310 3.6 .	
1991 311 3.6 .	
1991 312 3.6 .	
1991 313 3.6 .	
1991 314 3.6 .	
1991 315 3.6 .	
1991 316 3.6 .	
1991 317 3.6 .	
1991 318 3.6 .	
1991 319 3.6 .	
1991 320 3.6 .	
1991 321 3.6 .	
1991 322 3.6 .	
1991 323 3.6 .	
1991 324 3.6 .	
1991 325 3.6 .	
1991 326 3.6 .	
1991 327 3.6 .	
1991 328 3.6 .	
1991 329 3.6 .	
1991 330 3.6 .	
1991 331 3.6 .	
1991 332 3.6 .	
1991 333 3.6 .	

ภาคผนวก ข
Code แบบจำลองไฟชี

FUZZY MODEL CODE (Mamdani)

```

[System]
Name='runoff'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=25
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='rain'
Range=[0 150]
NumMFs=5
MF1='mf1': 'trimf', [-60 0 12]
MF2='mf2': 'trimf', [6 16.5 37]
MF3='mf3': 'trimf', [19 37 59]
MF4='mf4': 'trimf', [32 63 82]
MF5='mf5': 'trapmf', [70 94 150 200]

[Input2]
Name='rain_d30'
Range=[0 15]
NumMFs=5
MF1='mf1': 'trimf', [-6 0 1]
MF2='mf2': 'trimf', [0.5 2 4.3]
MF3='mf3': 'trimf', [3 4 7]
MF4='mf4': 'trimf', [4 6.5 9]
MF5='mf5': 'trapmf', [7.2 10.2 16.2 21.2]

[Output1]
Name='flow'
Range=[0 150]
NumMFs=5
MF1='mf1': 'trimf', [-60 0 7]
MF2='mf2': 'trimf', [3.3 12.5 31.5]
MF3='mf3': 'trimf', [14.5 27.2 45.8]
MF4='mf4': 'trimf', [25.5 48.2 71.5]
MF5='mf5': 'trapmf', [63 81.5 155 205]

[Rules]
1 1, 1 (1) : 1
2 1, 2 (0.9) : 1
3 1, 3 (0.9) : 1
4 1, 4 (0.9) : 1
5 1, 4 (0.8) : 1
1 2, 1 (0.8) : 1
2 2, 2 (0.9) : 1
3 2, 3 (0.9) : 1
4 2, 4 (0.9) : 1
5 2, 5 (0.8) : 1
1 3, 1 (0.9) : 1
2 3, 2 (1) : 1
3 3, 3 (1) : 1
4 3, 4 (1) : 1
5 3, 5 (0.9) : 1
1 4, 2 (0.9) : 1
2 4, 2 (1) : 1
3 4, 3 (1) : 1
4 4, 4 (1) : 1
5 4, 5 (1) : 1
1 5, 2 (0.9) : 1
2 5, 3 (0.9) : 1
3 5, 3 (1) : 1
4 5, 4 (1) : 1
5 5, 5 (1) : 1

```

FUZZY MODEL CODE (Sugeno)

```
[System]
Name='sugeno5000'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=100
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'
```

```
[Input1]
Name='input1'
Range=[0 112]
NumMFs=10
MF1='in1mf1': 'gaussmf', [5.67297318744703 0.239163853664477]
MF2='in1mf2': 'gaussmf', [4.33347153066983 12.5012560130798]
MF3='in1mf3': 'gaussmf', [5.25317063004332 24.2615567563302]
MF4='in1mf4': 'gaussmf', [5.53751580493707 37.0728674993364]
MF5='in1mf5': 'gaussmf', [5.13042377736773 49.8360138646233]
MF6='in1mf6': 'gaussmf', [5.29101347119318 62.1950924409454]
MF7='in1mf7': 'gaussmf', [5.28210561817357 74.6659074998798]
MF8='in1mf8': 'gaussmf', [5.28303997083446 87.1116449262316]
MF9='in1mf9': 'gaussmf', [5.28012032475245 99.5535156185457]
MF10='in1mf10': 'gaussmf', [5.28469601344379 111.999856472886]
```

```
[Input2]
Name='input2'
Range=[0 11.91]
NumMFs=10
MF1='in2mf1': 'gaussmf', [0.399700314342684 -0.0750336464260309]
MF2='in2mf2': 'gaussmf', [0.23952758999359 1.2574917604557]
MF3='in2mf3': 'gaussmf', [0.316311422815751 2.11241666749001]
MF4='in2mf4': 'gaussmf', [0.0484199489357375 3.83375394331719]
MF5='in2mf5': 'gaussmf', [0.0805642958963984 4.77618089805694]
MF6='in2mf6': 'gaussmf', [0.144969593138607 6.53728198894443]
MF7='in2mf7': 'gaussmf', [0.149747616688531 8.35139623016592]
MF8='in2mf8': 'gaussmf', [0.00520527367282685 9.43594035029066]
MF9='in2mf9': 'gaussmf', [0.145156815216901 11.2126393422288]
MF10='in2mf10': 'gaussmf', [0.0767416187228089 12.2865863461859]
```

```
[Output1]
Name='output'
Range=[0 131.1]
NumMFs=100
MF1='out1mf1': 'linear', [0.0846212169833609 0.482208414419771 1.02498594336493]
MF2='out1mf2': 'linear', [0.11941203872311 0.940405580172179 0.863673402405663]
MF3='out1mf3': 'linear', [-0.11421507373556 1.34881611017262 1.01930249141707]
MF4='out1mf4': 'linear', [-0.465926924588801 2.40734078539219 0.666458339693288]
MF5='out1mf5': 'linear', [0.480085415680732 2.62576334379472 0.588662931931424]
MF6='out1mf6': 'linear', [-0.511033805265488 2.33090825920753 0.119374941092361]
MF7='out1mf7': 'linear', [0.97840660303815 2.21941700527691 0.236767448330514]
MF8='out1mf8': 'linear', [0.0679181329513845 0.574136365006796 0.0640436664939643]
MF9='out1mf9': 'linear', [0.970162501997061 2.50647848912774 0.206961949634078]
MF10='out1mf10': 'linear', [0.111584520178224 0.792104588927046 0.0684898534608817]
MF11='out1mf11': 'linear', [0.0238155601856774 0.0138661160233321 0.0308716904236896]
MF12='out1mf12': 'linear', [0.285541963196528 0.0575307314604439 0.0515754535672927]
MF13='out1mf13': 'linear', [0.300618667146549 0.215986866521766 0.0730949747130117]
MF14='out1mf14': 'linear', [0.233459069889843 0.142399669681251 0.0364459223477398]
MF15='out1mf15': 'linear', [0.835207980426088 0.625214114652931 0.138677542624379]
MF16='out1mf16': 'linear', [0.916237128952136 1.22735485378013 0.17425740354272]
MF17='out1mf17': 'linear', [0.427555870128759 0.856225110380222 0.110800033051507]
MF18='out1mf18': 'linear', [0.136890143124255 0.169148234134965 0.0185782841598833]
MF19='out1mf19': 'linear', [1.01170019921917 2.15082901170359 0.17354520277741]
```


MF20='out1mf20': 'linear', [0.235139784173768 0.338388307580525 0.0290299126376414]
 MF21='out1mf21': 'linear', [-0.00721057068009643 -0.000183001841512455 -0.000340155523426084]
 MF22='out1mf22': 'linear', [0.0677509187924305 0.00304922010588244 0.00259950324228818]
 MF23='out1mf23': 'linear', [0.0784543963060352 0.0405432845948603 0.00813796502977152]
 MF24='out1mf24': 'linear', [0.44659867268416 0.130380417925257 0.0299848991692692]
 MF25='out1mf25': 'linear', [0.210918535762727 0.0472372337988352 0.00797603167766449]
 MF26='out1mf26': 'linear', [0.385259070475219 -0.064147451734392 -0.00924345817373187]
 MF27='out1mf27': 'linear', [1.65295352929211 0.505825449814697 0.0709498199381598]
 MF28='out1mf28': 'linear', [0.173694027114738 0.0634317383743109 0.00695349995929828]
 MF29='out1mf29': 'linear', [0.487513259474694 -0.0230501239556919 -0.0010564593514775]
 MF30='out1mf30': 'linear', [0.0084887052120425 0.00737822909317885 0.000643838494089782]
 MF31='out1mf31': 'linear', [-0.000693382638342705 -2.03964409955548e-005 -1.98760772137263e-005]
 MF32='out1mf32': 'linear', [-0.00102961695207687 0.000421811104615308 0.00022653216575066]
 MF33='out1mf33': 'linear', [0.0572464450537488 -0.00442034835634833 -0.00264227425927561]
 MF34='out1mf34': 'linear', [0.0198365665840708 -0.00798890359955436 -0.00256135658953753]
 MF35='out1mf35': 'linear', [0.0390964461061803 -0.0250039375616595 -0.00283843917836097]
 MF36='out1mf36': 'linear', [0.368099429876652 0.0558567037377007 0.00455877938849211]
 MF37='out1mf37': 'linear', [-0.43574803560263 -0.149203491088485 -0.0191779122922118]
 MF38='out1mf38': 'linear', [0.258889983475841 0.0687157385113459 0.00723054730944824]
 MF39='out1mf39': 'linear', [1.16026193648502 0.402277103187736 0.0354415383712847]
 MF40='out1mf40': 'linear', [0.195202731049557 0.0530940019340386 0.00464344405949355]
 MF41='out1mf41': 'linear', [-0.000660142538842653 -2.17111769925192e-005 -1.35886157645884e-005]
 MF42='out1mf42': 'linear', [-0.0823080274678136 -0.00261414560572441 -0.00167689678559358]
 MF43='out1mf43': 'linear', [0.0959298189041949 0.0202139745364908 0.00490695807428891]
 MF44='out1mf44': 'linear', [0.0192498017203439 0.00851193645029363 0.00164061931003798]
 MF45='out1mf45': 'linear', [0.136953563568888 0.0101486794479629 0.00497280555370361]
 MF46='out1mf46': 'linear', [0.0442170446994063 0.0417533491689511 0.00286248189441165]
 MF47='out1mf47': 'linear', [0.799347715766825 0.134397500385854 0.0178448536931506]
 MF48='out1mf48': 'linear', [0.650690282903094 0.109709804921402 0.0116515950252923]
 MF49='out1mf49': 'linear', [0.898387055169278 0.238166178629545 0.0205472663826665]
 MF50='out1mf50': 'linear', [0.101081051427708 0.0274792249691651 0.00240087220865767]
 MF51='out1mf51': 'linear', [-2.58945431504394e-005 -8.6234223491113e-007 -5.31370826291385e-007]
 MF52='out1mf52': 'linear', [-0.00331716757988724 -0.000107987948072085 -6.84058682943441e-005]
 MF53='out1mf53': 'linear', [0.0458043111953578 0.00297331511783737 0.000191964865788332]
 MF54='out1mf54': 'linear', [0.0294912338524889 -0.000403650547255343 5.03410410716516e-005]
 MF55='out1mf55': 'linear', [-0.0704162951609788 -0.00627689401414471 -0.00138756102317415]
 MF56='out1mf56': 'linear', [-0.0167201089626062 -0.00163126992709489 -0.000341756898742455]
 MF57='out1mf57': 'linear', [-0.304618765567285 -0.037437842456315 -0.00534374155486422]
 MF58='out1mf58': 'linear', [0.7900915658571 0.1317202319211 0.0139917741217561]
 MF59='out1mf59': 'linear', [0.186484253805627 0.0304528891562243 0.00287625465995227]
 MF60='out1mf60': 'linear', [0.0336544213668812 0.0053687215288078 0.000476015473241749]
 MF61='out1mf61': 'linear', [-4.24962723483988e-008 -1.5978316343509e-009 -6.3337717671229e-010]
 MF62='out1mf62': 'linear', [6.08076866301489e-007 1.27662230430018e-007 1.62114134217733e-008]
 MF63='out1mf63': 'linear', [-0.0166466556949421 -0.000103185035631571 -0.000192206624917538]
 MF64='out1mf64': 'linear', [0.111155788691558 0.00587249158715911 0.00163720975976386]
 MF65='out1mf65': 'linear', [0.0270079022999073 0.00191382299155359 0.000376262838110505]
 MF66='out1mf66': 'linear', [0.0043734542226568 0.000447343648151381 6.10307163228449e-005]
 MF67='out1mf67': 'linear', [0.125575038254765 0.0140330310261502 0.00174751080597002]
 MF68='out1mf68': 'linear', [0.00463628755144833 0.00073149772125434 7.89217862836061e-005]
 MF69='out1mf69': 'linear', [0.386893354643029 0.0614528215115989 0.005450020332359]
 MF70='out1mf70': 'linear', [0.104463856779783 0.0165920977064422 0.0014713220169656]
 MF71='out1mf71': 'linear', [-2.66275600319127e-010 -1.01585924919723e-011 -3.82007411162685e-012]
 MF72='out1mf72': 'linear', [-2.11238205341201e-008 -5.39984044693908e-010 -3.77115865451196e-010]
 MF73='out1mf73': 'linear', [0.00115113907463519 5.59321696105115e-005 1.16714285999349e-005]
 MF74='out1mf74': 'linear', [0.0201869362936627 0.000925052430238818 0.000225883033519662]
 MF75='out1mf75': 'linear', [0.0122074803773044 0.000569541304536287 0.000137196842506333]
 MF76='out1mf76': 'linear', [7.81155612983571e-005 7.4248244998216e-006 1.06579955346906e-006]
 MF77='out1mf77': 'linear', [0.00195166623674928 0.000218465009699727 2.72804135878121e-005]
 MF78='out1mf78': 'linear', [1.35616137895431e-005 1.56742296994204e-006 1.86844014439852e-007]
 MF79='out1mf79': 'linear', [0.00471974695520162 0.000749217207521461 6.64351925904864e-005]
 MF80='out1mf80': 'linear', [0.00128275336092382 0.000203283991942338 1.80231128655992e-005]
 MF81='out1mf81': 'linear', [-7.11078538440534e-016 2.02476778181669e-017 -3.04056417228262e-017]
 MF82='out1mf82': 'linear', [5.19633088061342e-009 2.37450323799758e-010 5.78613212461175e-011]
 MF83='out1mf83': 'linear', [0.000314238029364582 1.43588003551419e-005 3.4992764715733e-006]
 MF84='out1mf84': 'linear', [0.00411759373239509 0.000188148392732488 4.58529477449991e-005]
 MF85='out1mf85': 'linear', [0.00243095826500173 0.000111080462208402 2.70708849054386e-005]
 MF86='out1mf86': 'linear', [0.000122745410084691 9.15531474402336e-006 1.10004914423538e-006]

MF87='out1mf87': 'linear', [0.0110654996342723 0.000830297913540283 9.88001286001646e-005]
 MF88='out1mf88': 'linear', [0.00261580142639779 0.000196274972698402 2.33554068955416e-005]
 MF89='out1mf89': 'linear', [0.0207075112077097 0.0021926880216319 0.000186553610371016]
 MF90='out1mf90': 'linear', [0.0226401981911918 0.0023980285140607 0.000203966056240512]
 MF91='out1mf91': 'linear', [5.09175372060118e-018 2.32666990937462e-019 5.66986561691975e-020]
 MF92='out1mf92': 'linear', [4.20580468276743e-012 1.9217904736986e-013 4.68352409896342e-014]
 MF93='out1mf93': 'linear', [2.54672291470726e-007 1.16369355720274e-008 2.83599433345112e-009]
 MF94='out1mf94': 'linear', [3.33380598022257e-006 1.52334143494065e-007 3.71247881935578e-008]
 MF95='out1mf95': 'linear', [1.99501253900504e-006 9.18676984938758e-008 2.21628987411737e-008]
 MF96='out1mf96': 'linear', [0.0019367705197943 0.000145314810533636 1.72925972382239e-005]
 MF97='out1mf97': 'linear', [0.177251462920268 0.0132996902111286 0.00158260393076038]
 MF98='out1mf98': 'linear', [0.0418705859038843 0.00314165842645586 0.000373844857599827]
 MF99='out1mf99': 'linear', [0.213013348673746 0.0225518676749024 0.00191901241823521]
 MF100='out1mf100': 'linear', [0.232246444499738 0.0245992923152769 0.00209231031078533]

[Rules]

1 1, 1 (1) : 1
 1 2, 2 (1) : 1
 1 3, 3 (1) : 1
 1 4, 4 (1) : 1
 1 5, 5 (1) : 1
 1 6, 6 (1) : 1
 1 7, 7 (1) : 1
 1 8, 8 (1) : 1
 1 9, 9 (1) : 1
 1 10, 10 (1) : 1
 2 1, 11 (1) : 1
 2 2, 12 (1) : 1
 2 3, 13 (1) : 1
 2 4, 14 (1) : 1
 2 5, 15 (1) : 1
 2 6, 16 (1) : 1
 2 7, 17 (1) : 1
 2 8, 18 (1) : 1
 2 9, 19 (1) : 1
 2 10, 20 (1) : 1
 3 1, 21 (1) : 1
 3 2, 22 (1) : 1
 3 3, 23 (1) : 1
 3 4, 24 (1) : 1
 3 5, 25 (1) : 1
 3 6, 26 (1) : 1
 3 7, 27 (1) : 1
 3 8, 28 (1) : 1
 3 9, 29 (1) : 1
 3 10, 30 (1) : 1
 4 1, 31 (1) : 1
 4 2, 32 (1) : 1
 4 3, 33 (1) : 1
 4 4, 34 (1) : 1
 4 5, 35 (1) : 1
 4 6, 36 (1) : 1
 4 7, 37 (1) : 1
 4 8, 38 (1) : 1
 4 9, 39 (1) : 1
 4 10, 40 (1) : 1
 5 1, 41 (1) : 1
 5 2, 42 (1) : 1
 5 3, 43 (1) : 1
 5 4, 44 (1) : 1
 5 5, 45 (1) : 1
 5 6, 46 (1) : 1
 5 7, 47 (1) : 1
 5 8, 48 (1) : 1
 5 9, 49 (1) : 1
 5 10, 50 (1) : 1

6 1, 51 (1) : 1
 6 2, 52 (1) : 1
 6 3, 53 (1) : 1
 6 4, 54 (1) : 1
 6 5, 55 (1) : 1
 6 6, 56 (1) : 1
 6 7, 57 (1) : 1
 6 8, 58 (1) : 1
 6 9, 59 (1) : 1
 6 10, 60 (1) : 1
 7 1, 61 (1) : 1
 7 2, 62 (1) : 1
 7 3, 63 (1) : 1
 7 4, 64 (1) : 1
 7 5, 65 (1) : 1
 7 6, 66 (1) : 1
 7 7, 67 (1) : 1
 7 8, 68 (1) : 1
 7 9, 69 (1) : 1
 7 10, 70 (1) : 1
 8 1, 71 (1) : 1
 8 2, 72 (1) : 1
 8 3, 73 (1) : 1
 8 4, 74 (1) : 1
 8 5, 75 (1) : 1
 8 6, 76 (1) : 1
 8 7, 77 (1) : 1
 8 8, 78 (1) : 1
 8 9, 79 (1) : 1
 8 10, 80 (1) : 1
 9 1, 81 (1) : 1
 9 2, 82 (1) : 1
 9 3, 83 (1) : 1
 9 4, 84 (1) : 1
 9 5, 85 (1) : 1
 9 6, 86 (1) : 1
 9 7, 87 (1) : 1
 9 8, 88 (1) : 1
 9 9, 89 (1) : 1
 9 10, 90 (1) : 1
 10 1, 91 (1) : 1
 10 2, 92 (1) : 1
 10 3, 93 (1) : 1
 10 4, 94 (1) : 1
 10 5, 95 (1) : 1
 10 6, 96 (1) : 1
 10 7, 97 (1) : 1
 10 8, 98 (1) : 1
 10 9, 99 (1) : 1
 10 10, 100 (1) : 1

ภาคผนวก ค
วิธีการใช้โปรแกรม RRL

วิธีการใช้โปรแกรม RRL

การเตรียมข้อมูล

เตรียมข้อมูล น้ำฝน น้ำท่า และข้อมูลการระเหย ที่มีอยู่โดยการใช้

1. ข้อมูลน้ำฝน จำนวน 7 ปี*
2. ข้อมูลน้ำท่า จำนวน 7 ปี*
3. ข้อมูลการระเหย จำนวน 7 ปี*

ทำได้โดยการจัดรูปแบบข้อมูล น้ำฝน น้ำท่า และข้อมูลการระเหย ให้เป็นแบบ .tts แสดงดังรูป

8.2.9 Tarsier daily time series format (.tts)

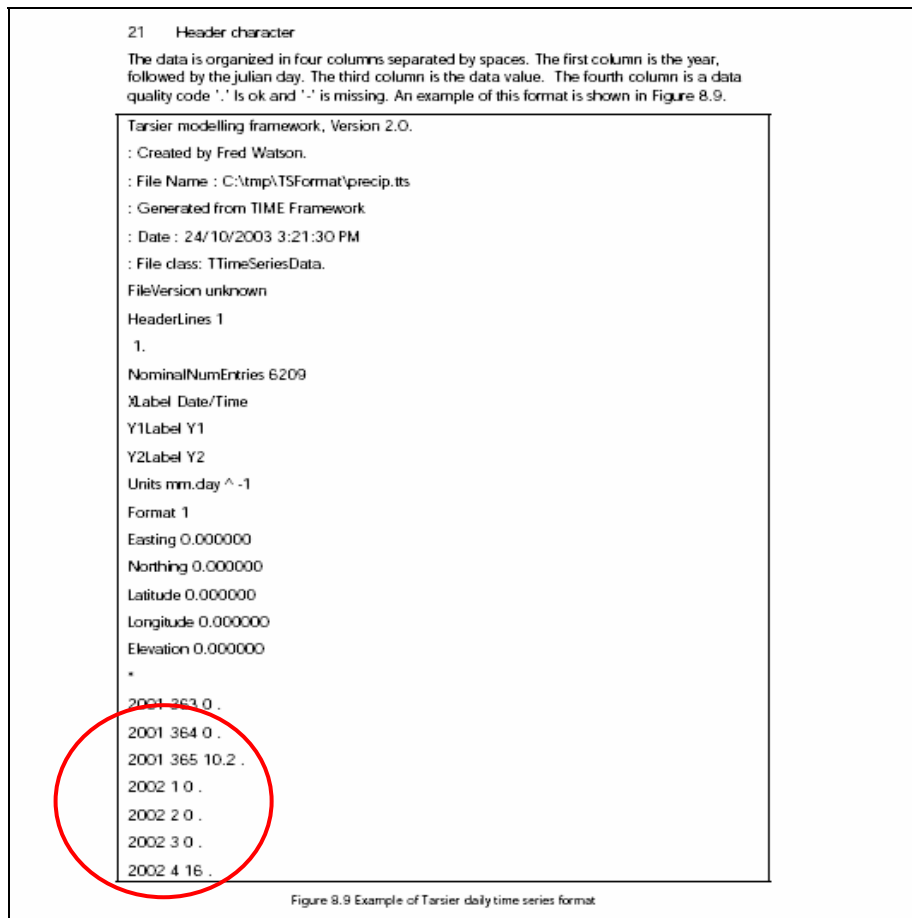
An Tarsier daily time series format file is an ASCII text file that contains daily time series data. The file has a 21 line header followed by daily data values.

The four lines of information contained within the header are:

- 1 The Tarsier version number header
- 2 Reference to author of Tarsier
- 3 File path and name
- 4 Name of software used to create the file
- 5 Date and time file was created
- 6 Tarsier timer series data class (TTimeSeriesData)
- 7 File version number
- 8 Number of header lines (set to 1)
- 9 1.
- 10 Number of daily data entries in the file
- 11 'Xlabel' is always Date/Time for time series data
- 12 'Y1Label Y1' fixed field
- 13 'Y2Label Y2' fixed field
- 14 Data units
- 15
- 16 Grid position east in metres
- 17 Grid position north in metres
- 18 'Latitude' followed by the latitude of the site in degrees
- 19 'Longitude' followed by the longitude of the site in degrees
- 20 'Elevation' followed by the elevation of the site in metres

ภาพที่ 26 การจัดรูปแบบหัวเรื่องในการนำข้อมูลเข้าของโปรแกรม RRL

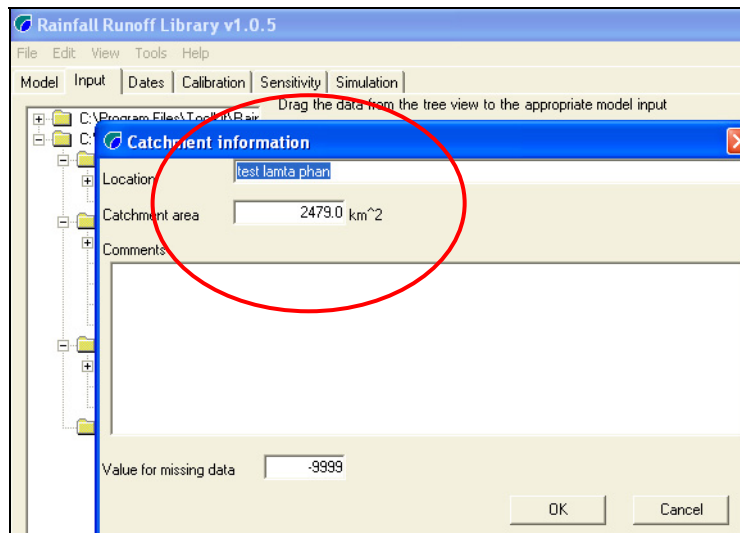
ทำการจัดเรียงข้อมูลให้เป็น การเรียงลำดับเวลาโดยในรูปแบบของ (ปี วัน ค่า.)



ภาพที่ 27 รูปแบบการจัดข้อมูลที่ใช้ในการนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม RRL

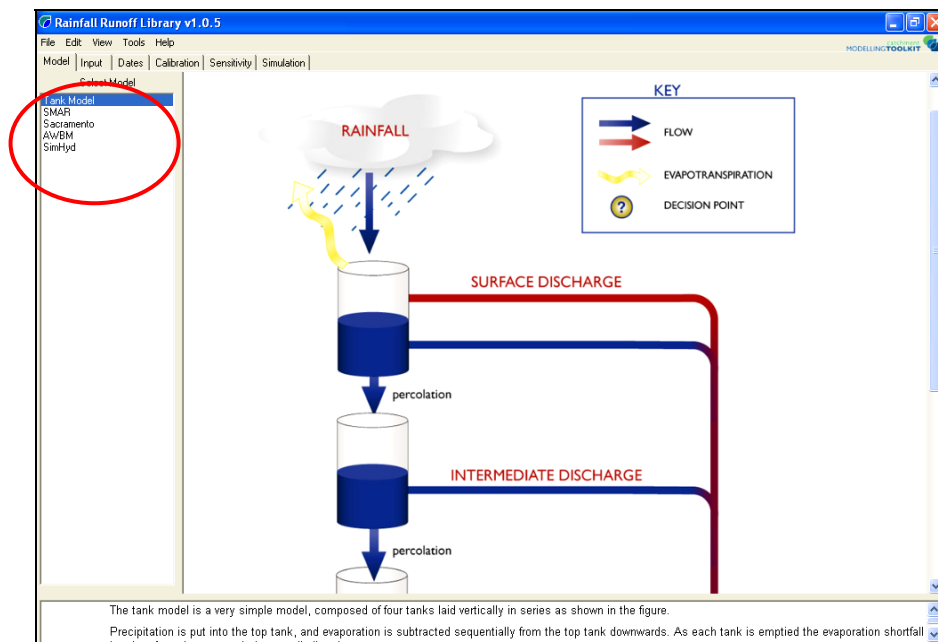
การสร้างแบบจำลอง

ทำการสร้างแบบจำลองใหม่ โดยการใส่ชื่อ ขนาดพื้นที่ และ comment



ภาพที่ 28 การสร้างแบบจำลองและการใส่ข้อมูล

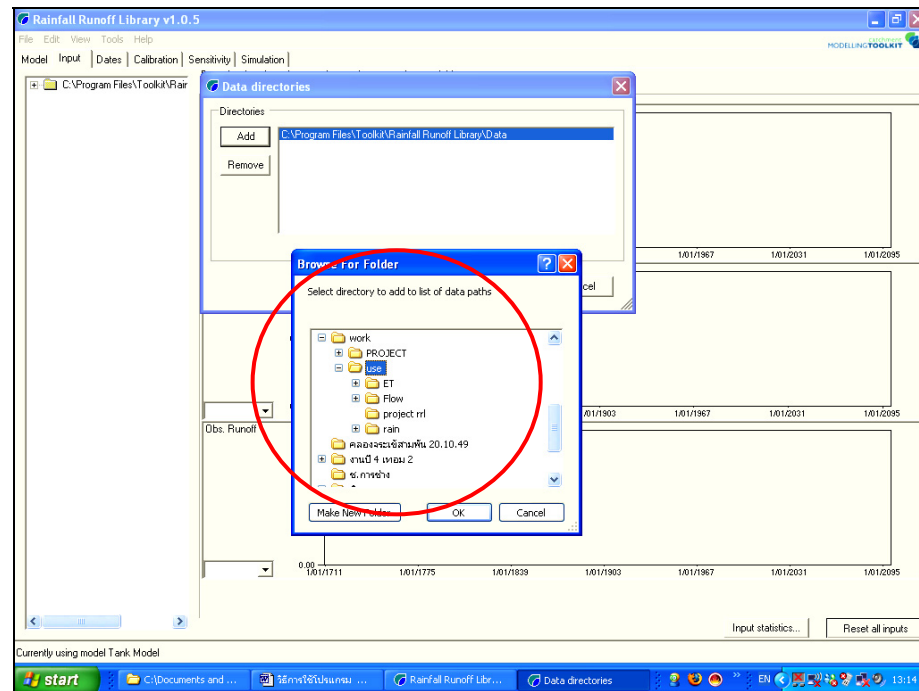
เลือกชนิดแบบจำลองที่ต้องการใช้ ในที่นี้เลือกใช้แบบจำลองชนิด Tank Model



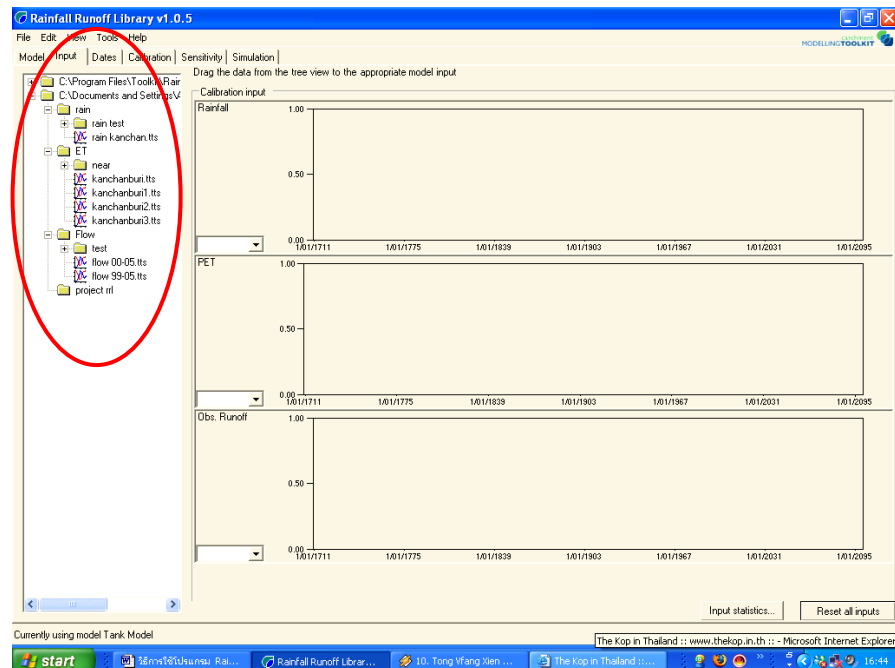
ภาพที่ 29 การเลือกโมเดลเพื่อทำแบบจำลอง

การนำเข้าข้อมูล

เลือกที่เมนู tool จากนั้นทำการ Add ข้อมูลที่ต้องการเข้ามาในโปรแกรม

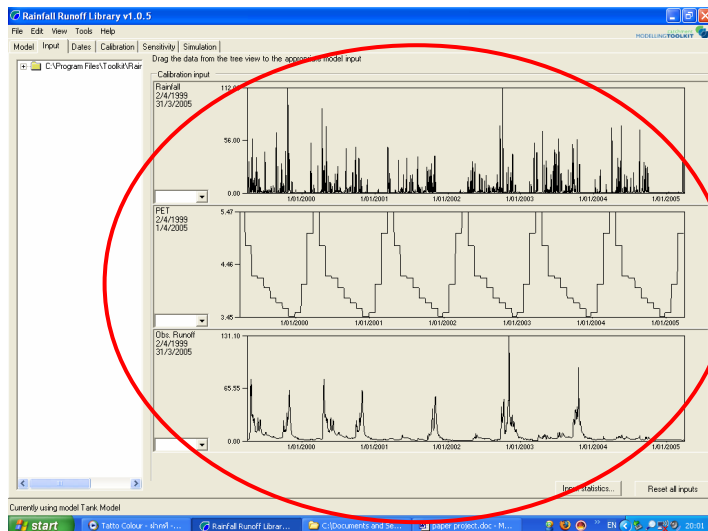


ภาพที่ 30 การนำเข้าข้อมูลมาในโปรแกรม



ภาพที่ 31 การนำเข้าข้อมูลมาในโปรแกรม

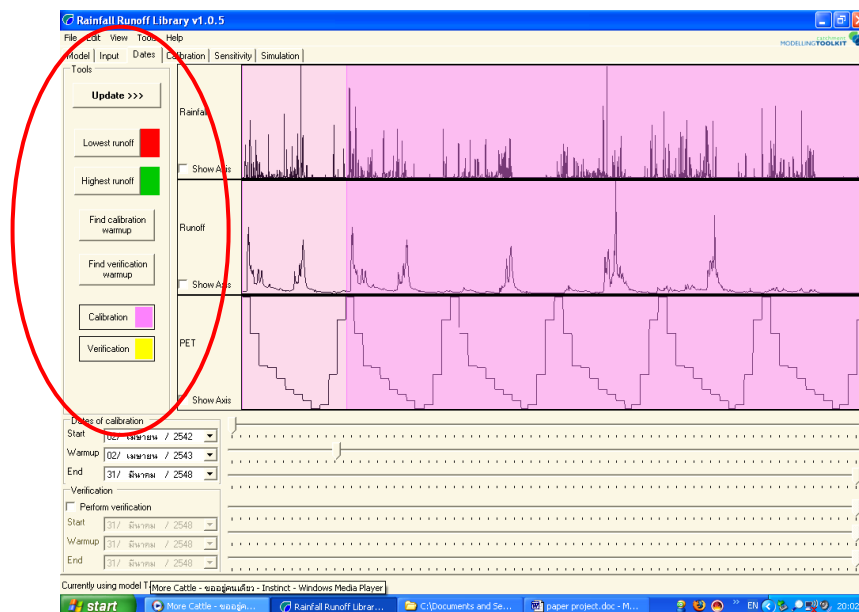
นำข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์เข้ลงในโปรแกรมเตรียมวิเคราะห์ข้อมูล



ภาพที่ 32 การนำเข้าข้อมูลลงในโปรแกรม

การปรับแต่งข้อมูล

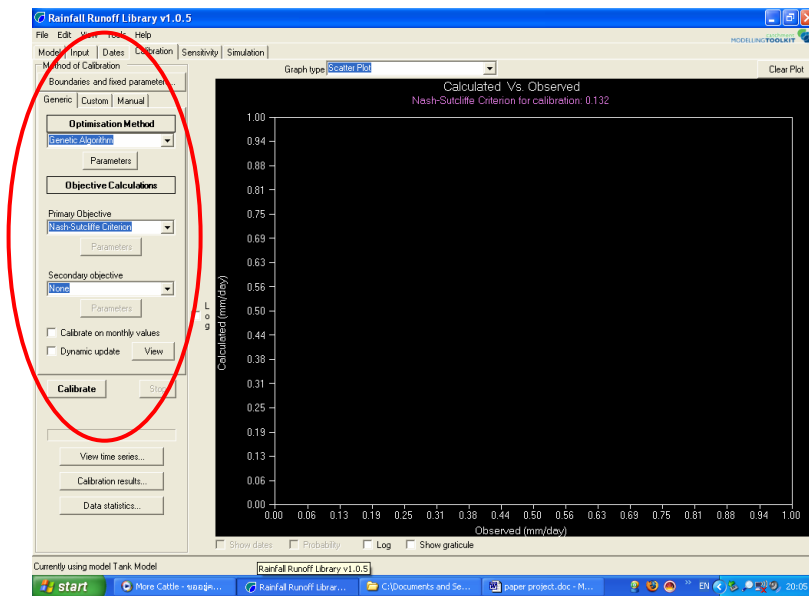
ทำการ Update ข้อมูลที่จะทำการปรับเทียบค่า โดยการกำหนดวันที่ที่จะเริ่มทำการ ปรับเทียบค่า ช่วงเวลาที่ทำการ Warmup ข้อมูล และวันที่ที่สิ้นสุดในการปรับเทียบค่า



ภาพที่ 33 การทำการ Update ข้อมูล และ Warmup ข้อมูล

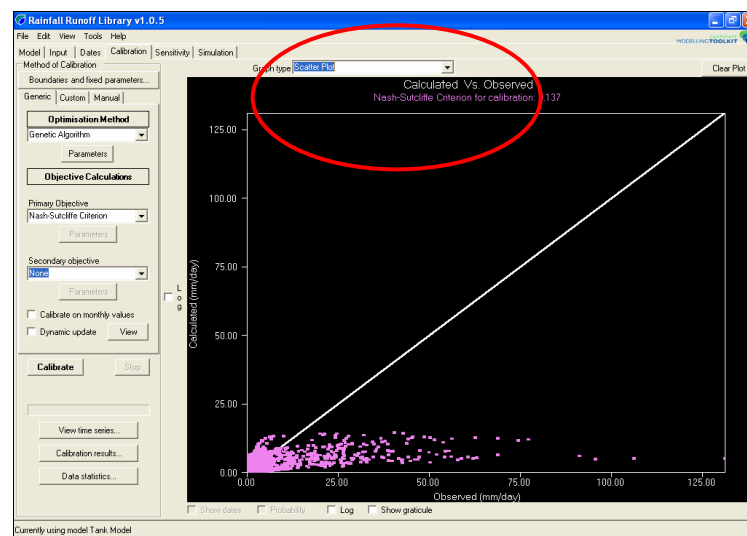
การปรับเทียบค่า

ทำการเลือก Optimisation Method และ Objective Calculations โดย
 Optimisation Method เลือกใช้วิธี Genetic Algorithm
 Objective Calculations เลือกใช้วิธี Nash-Sutcliffe Criterion



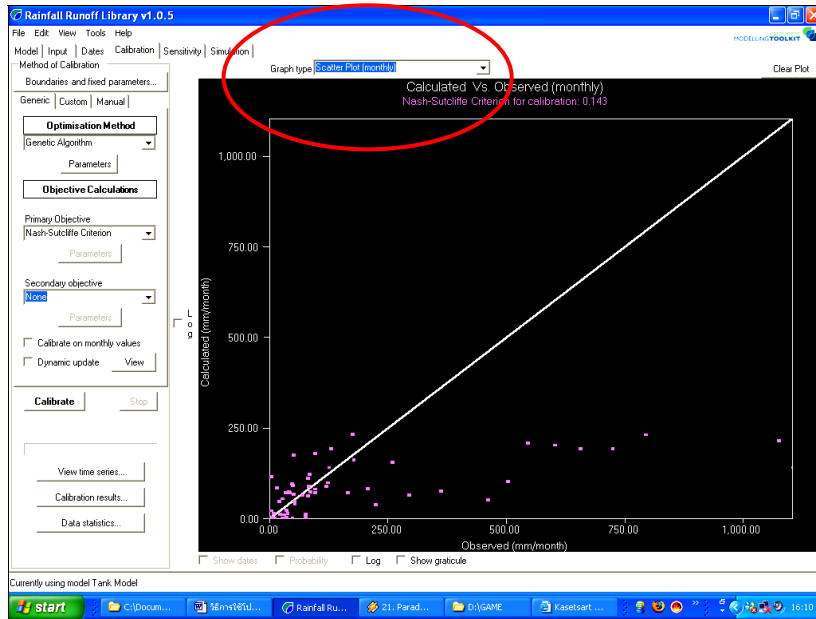
ภาพที่ 34 การปรับเทียบค่าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่า

ทำการปรับเทียบค่า และเลือกชนิดของกราฟที่ต้องการให้แสดงผลแบบ Scatter Plot



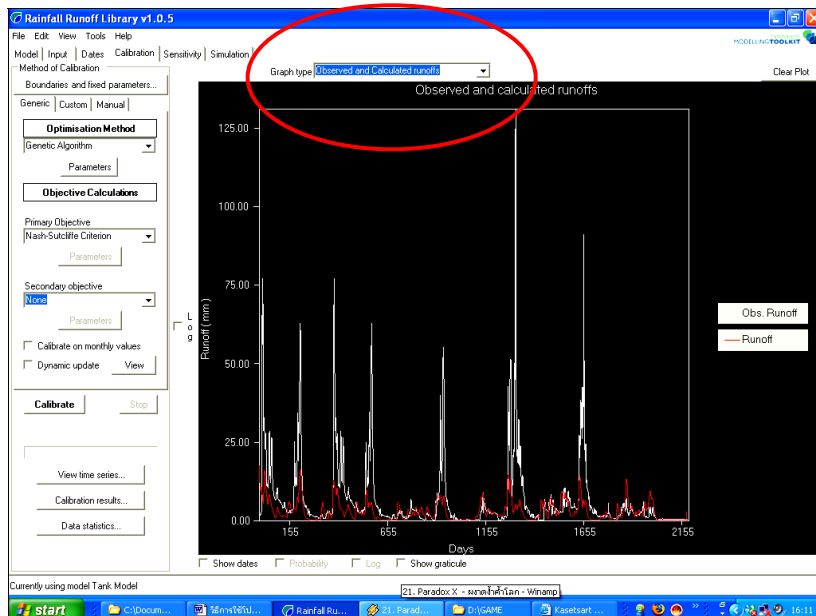
ภาพที่ 35 กราฟแบบ Scatter Plot

เลือกชนิดของกราฟที่ต้องการให้แสดงผลแบบ Scatter Plot (monthly)



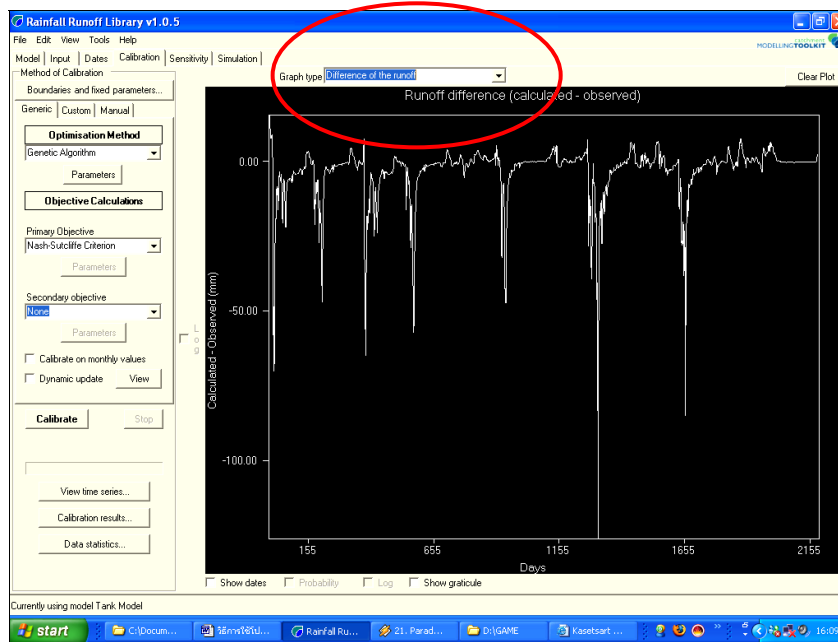
ภาพที่ 36 กราฟแบบ Scatter Plot (monthly)

Observed and Calculated runoffs



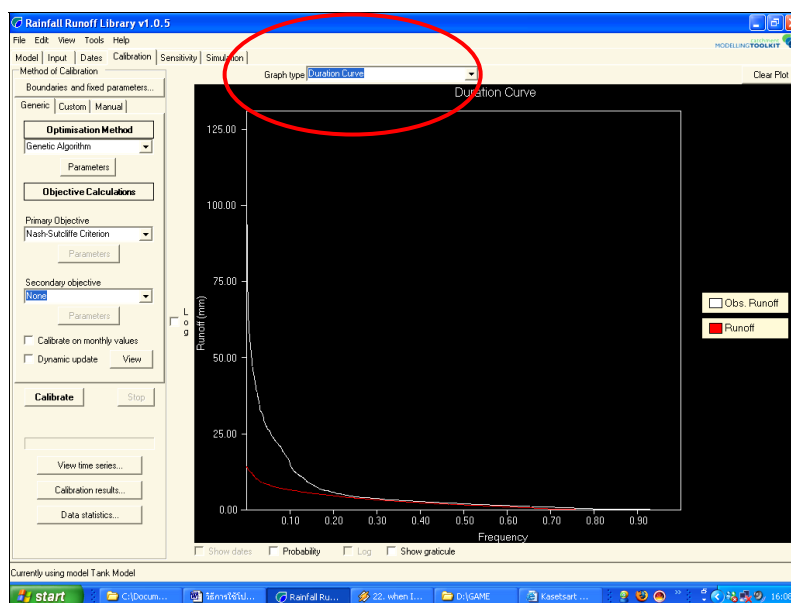
ภาพที่ 37 กราฟแบบ Observed and Calculated runoffs

Difference of the runoff



ภาพที่ 38 กราฟแบบ Difference of the runoff

Duration Curve

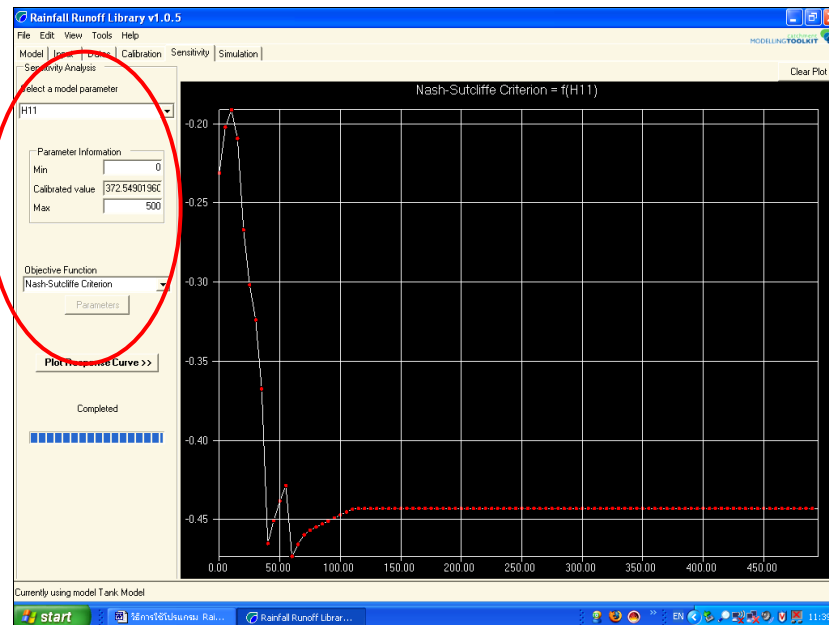


ภาพที่ 39 กราฟแบบ Duration Curve

ทำการปรับค่าความอ่อนไหว

ปรับค่าความอ่อนไหวในการวิเคราะห์โดยการเลือกค่า parameter เป็น H11

เลือกค่า Objective Function เป็นแบบ Nash-Sutcliffe Criterion ดังแสดงในภาพที่ 40

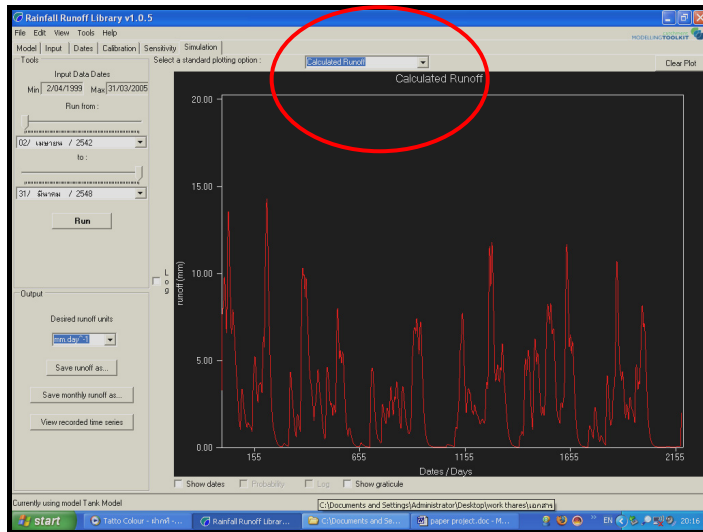


ภาพที่ 40 การปรับค่าความอ่อนไหวและกราฟแสดงผล

ทำการสังเคราะห์ข้อมูล

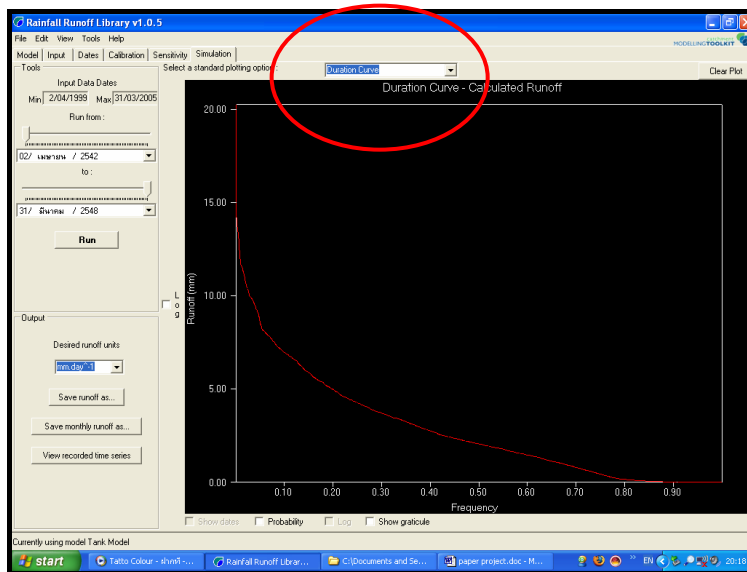
ปรับช่วงเวลาที่ทำการสังเคราะห์ข้อมูล และทำการ Run จะได้กราฟที่ได้จากการสังเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรม RRL จากนั้นนำกราฟที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่า โดยการแสดงผลด้วยกราฟแสดงได้ 3 แบบ คือ

Calculated Runoff



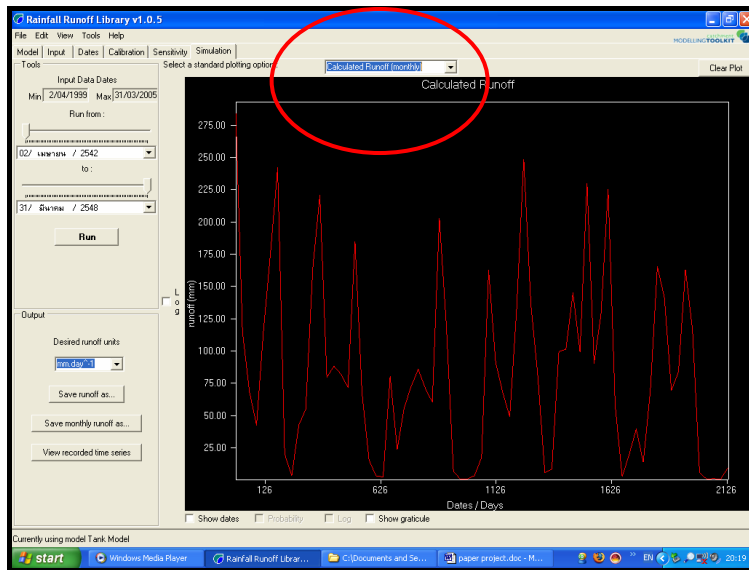
ภาพที่ 41 กราฟผลการสังเคราะห์ข้อมูลแบบ Calculated Runoff

Duration Curve



ภาพที่ 42 กราฟผลการสังเคราะห์ข้อมูลแบบ Duration Curve

Calculated Runoff (monthly)



ภาพที่ 43 กราฟผลการสังเคราะห์ข้อมูลแบบ Calculated Runoff (monthly)