



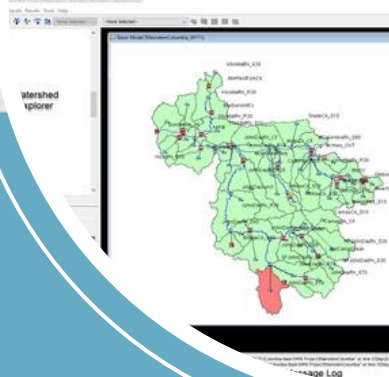
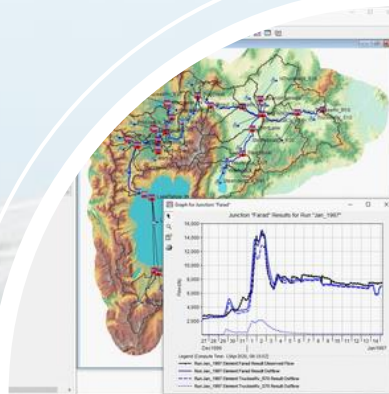
เอกสารประกอบการฝึกอบรม

โครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ

หลักสูตรการประเมินปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ด้วยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า HEC-HMS

ระหว่างวันที่ 23 - 27 มิถุนายน พ.ศ. 2568

ณ ห้องประชุมดงตาล อาคาร 99 ปี มล.ชูชาติ กำภู
กรมชลประทาน สามเสน กรุงเทพมหานคร





เอกสารประกอบการฝึกอบรม

โครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ

หลักสูตรการประเมินปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ด้วยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า HEC-HMS

ระหว่างวันที่ 23 – 27 มิถุนายน พ.ศ. 2568

ณ ห้องประชุมดงตาล อาคาร 99 ปี ม.ล.ชูชาติ กำภู

กรมชลประทาน สามเสน กรุงเทพมหานคร

ฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ ส่วนอุทกวิทยา

สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา

กรมชลประทาน

กำหนดการ
โครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ หลักสูตรการประเมินปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ
ด้วยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า HEC-HMS
ระหว่างวันที่ ๒๓ มิถุนายน – ๒๗ มิถุนายน ๒๕๖๘
ณ ห้องประชุมดงตาล อาคาร ๙๙ ปี มล.ชูชาติ กำภู กรมชลประทาน สามเสน กรุงเทพมหานคร

วัน-เดือน-ปี	เวลา	หัวข้ออบรม	วิทยากร
๒๓ มิ.ย. ๖๘	๐๘.๐๐ - ๐๘.๓๐ น. ๐๘.๓๐ - ๐๘.๔๕ น. ๐๘.๔๕ - ๐๙.๐๐ น. ๐๙.๐๐ - ๑๑.๐๐ น. ๑๑.๐๐ - ๑๒.๐๐ น. ๑๒.๐๐ - ๑๓.๐๐ น. ๑๓.๐๐ - ๑๖.๐๐ น.	ลงทะเบียน/ พิธีเปิด/ ทดสอบก่อนการฝึกอบรม ความรู้พื้นฐานทางอุทกวิทยา และแบบจำลองทางอุทกวิทยา หลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของแบบจำลอง HEC-HMS พักรับประทานอาหารกลางวัน การใช้งานแบบจำลอง และข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง HEC-HMS (แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ ๓ กลุ่ม วิทยากรกลุ่มละ ๑ คน)	นายเมธาฤทธิ์ นามสัย และคณะ
๒๔ มิ.ย. ๖๘	๐๙.๐๐ - ๑๑.๐๐ น. ๑๑.๐๐ - ๑๒.๐๐ น. ๑๒.๐๐ - ๑๓.๐๐ น. ๑๓.๐๐ - ๑๔.๐๐ น. ๑๔.๐๐ - ๑๕.๐๐ น. ๑๕.๐๐ - ๑๖.๐๐ น.	การนำเข้าข้อมูลและการจำลองน้ำท่าของแบบจำลอง HEC-HMS (แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ ๓ กลุ่ม วิทยากรกลุ่มละ ๑ คน) การนำเข้าข้อมูลและการจำลองการไหลผิวดิน ของแบบจำลอง HEC-HMS (แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ ๓ กลุ่ม วิทยากรกลุ่มละ ๑ คน) รับประทานอาหารกลางวัน การนำเข้าข้อมูลและการจำลองการไหลผิวดิน ของแบบจำลอง HEC-HMS (ต่อ) (แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ ๓ กลุ่ม วิทยากรกลุ่มละ ๑ คน) การนำเข้าข้อมูลและการจำลองการไหลพื้นฐาน ของแบบจำลอง HEC-HMS (แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ ๓ กลุ่ม วิทยากรกลุ่มละ ๑ คน) การนำเข้าข้อมูลและการเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำ ของแบบจำลอง HEC-HMS (แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ ๓ กลุ่ม วิทยากรกลุ่มละ ๑ คน)	นายเมธาฤทธิ์ นามสัย และคณะ
๒๕ มิ.ย. ๖๘	๐๙.๐๐ - ๑๒.๐๐ น. ๑๒.๐๐ - ๑๓.๐๐ น. ๑๓.๐๐ - ๑๖.๐๐ น.	การปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ ของแบบจำลอง HEC-HMS พักรับประทานอาหารกลางวัน การปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ ของแบบจำลอง HEC-HMS (ต่อ) (แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ ๓ กลุ่ม วิทยากรกลุ่มละ ๑ คน)	นายเมธาฤทธิ์ นามสัย และคณะ
๒๖ มิ.ย. ๖๘	๐๙.๐๐ - ๑๒.๐๐ น. ๑๒.๐๐ - ๑๓.๐๐ น. ๑๓.๐๐ - ๑๖.๐๐ น.	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในการจำลองข้อมูลน้ำท่าระยะยาว (แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ ๓ กลุ่ม วิทยากรกลุ่มละ ๑ คน) พักรับประทานอาหารกลางวัน การแสดงผลและการวิเคราะห์ข้อมูลจากน้ำท่าจากแบบจำลอง HEC-HMS (แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ ๓ กลุ่ม วิทยากรกลุ่มละ ๑ คน)	นายเมธาฤทธิ์ นามสัย และคณะ
๒๗ มิ.ย. ๖๘	๐๙.๐๐ - ๑๒.๐๐ น. ๑๒.๐๐ - ๑๓.๐๐ น. ๑๓.๐๐ - ๑๖.๐๐ น. ๑๖.๐๐ - ๑๗.๐๐ น.	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในงานอุทกวิทยา (แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ ๓ กลุ่ม วิทยากรกลุ่มละ ๑ คน) พักรับประทานอาหารกลางวัน การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในงานอุทกวิทยา (ต่อ) (แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ ๓ กลุ่ม วิทยากรกลุ่มละ ๑ คน) ประเมินผลโครงการ/พิธีปิด	นายเมธาฤทธิ์ นามสัย และคณะ

หมายเหตุ พักรับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่ม เวลา ๑๐.๓๐ – ๑๐.๔๕ น. และเวลา ๑๔.๓๐ – ๑๔.๔๕ น.
พักรับประทานอาหารกลางวัน เวลา ๑๒.๐๐ – ๑๓.๐๐ น.
กำหนดการอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม

วิทยากร

นายเมธาฤทธิ์ แนมสัย

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ (หัวหน้าฝ่ายฯ)
ฝ่ายวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมการบริหารจัดการน้ำ

ผู้ช่วยวิทยากร

นางสาวพรไพรินทร์ พรมอยู่

นักอุทกวิทยาชำนาญการพิเศษ
ฝ่ายวิจัยและอุทกวิทยาประยุกต์ ส่วนอุทกวิทยา
สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา

นายพีรวัส พึ่งพัฒน์

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
ฝ่ายวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมการป้องกันและบรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำ



QR Code เอกสารประกอบการฝึกอบรม
และข้อมูลประกอบการปฏิบัติการ

คำนำ

เอกสารประกอบการฝึกอบรมโครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ หลักสูตรการประเมินปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า HEC-HMS ฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับนักอุทกวิทยา สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน และผู้สนใจที่ต้องการเรียนรู้การสร้างแบบจำลองน้ำหลากและการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนในลุ่มน้ำ ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการ และวิธีการใช้งานแบบจำลอง HEC-HMS เบื้องต้นได้อย่างถูกต้อง และสามารถใช้งานแบบจำลองในการประเมินปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำขนาดกลางได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

เอกสารประกอบการฝึกอบรมเล่มนี้ประกอบด้วยความรู้พื้นฐานทางอุทกวิทยา และแบบจำลองทางอุทกวิทยาทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ โดยนำประเด็นสำคัญจากหลักสูตรการอบรม งานวิจัย ตำรา คู่มือของแบบจำลอง HEC-HMS หน่วยงาน HEC และประสบการณ์ มาสรุปเพื่อความง่ายต่อการใช้งานเบื้องต้น อย่างไรก็ตามการอบรมนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของแบบจำลองที่มีความสามารถมากมาย ในการประยุกต์กับงานทางอุทกวิทยา ซึ่งผู้สนใจสามารถเข้าไปศึกษาได้ทางเว็บไซต์ของหน่วยงาน HEC เพิ่มเติม จะสร้างประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ ส่วนอุทกวิทยา สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา ที่ให้โอกาสสมถายทอด แลกเปลี่ยนมุมมอง และสนับสนุนในด้านต่างๆ ขอขอบคุณ ดร.ฤทัยทิพย์ มะมา ที่ผลักดันให้เกิดหลักสูตรนี้ขึ้นมา เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้อบรมและกรมชลประทานของเรา

คณะผู้จัดทำ

เมธาฤทธิ์ แนมสัย

พีรวัส พิงพาพัฒน์

พรไพรินทร์ พรมอยู่

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของแบบจำลอง HEC-HMS	1
1.2 วัตถุประสงค์ของคู่มือ	2
1.3 ขอบเขตการใช้งานของคู่มือ	2
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานทางอุทกวิทยา และแบบจำลองทางอุทกวิทยา	4
2.1 ความรู้พื้นฐานทางอุทกวิทยา	4
2.2 ความรู้เกี่ยวกับแบบจำลองทางอุทกวิทยา	19
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของแบบจำลอง HEC-HMS	26
3.1 ลักษณะของแบบจำลอง	26
3.2 ความสามารถของแบบจำลอง	31
3.3 การคำนวณของแบบจำลอง	32
บทที่ 4 ภาพรวมของแบบจำลอง HEC-HMS และการเตรียมข้อมูลนำเข้า	42
4.1 ภาพรวมของแบบจำลอง HEC-HMS	42
4.2 การวางแผนคิดการจำลองระบบลุ่มน้ำ	61
4.3 การเตรียมข้อมูลนำเข้า	64
บทที่ 5 การติดตั้งแบบจำลอง HEC-HMS	73
5.1 การดาวน์โหลดโปรแกรมและคู่มือ	73
5.2 การติดตั้งแบบจำลอง	74
บทที่ 6 การจัดทำแบบจำลอง HEC-HMS	80
6.1 การสร้างแบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Models)	80
6.2 การสร้างข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-Series Data)	91
6.3 การสร้างแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (Meteorologic Models)	97
6.4 การสร้างแบบจำลองข้อกำหนดการควบคุม (Control Specifications)	100
6.5 การรันแบบจำลอง (Simulation Runs)	102
6.6 การแสดงผลการจำลอง (Results)	105
บทที่ 7 การปรับแก้พารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS	108
7.1 การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)	108
7.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)	116
บทที่ 8 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในการจำลองข้อมูลน้ำท่าระยะยาว	122
8.1 การใส่ข้อมูลระยะยาวในข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-Series Data)	122
8.2 การแก้ไขแบบจำลองข้อกำหนดการควบคุม (Control Specifications)	125
8.3 การรันแบบจำลองระยะยาว (Simulation Runs)	125

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 9 การแสดงผลและการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าจากแบบจำลอง HEC-HMS	128
9.1 การแสดงผลการจำลองระยะยาว	128
9.2 การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่า	136
บทที่ 10 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในงานอุทกวิทยา	142
10.1 การจำลองกระบวนการไหลของน้ำในลุ่มน้ำ	142
10.2 การวิเคราะห์และพยากรณ์อุทกภัย	142
10.3 การออกแบบโครงสร้างควบคุมน้ำ	142
10.4 การวิเคราะห์การจัดการน้ำในลุ่มน้ำ	142
10.5 การประเมินและจัดทำแผนบริหารจัดการน้ำ	143

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของแบบจำลอง HEC-HMS

การบริหารจัดการน้ำเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความมั่นคงทางสังคมและเศรษฐกิจของประเทศ โดยมีอ่างเก็บน้ำเป็นโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่มนุษย์สร้างขึ้น เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลตามธรรมชาติให้เกิดความสมดุลระหว่างช่วงที่มีปริมาณน้ำมากในฤดูฝนและช่วงที่มีปริมาณน้ำน้อยในฤดูแล้ง การใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำให้บรรลุวัตถุประสงค์และเต็มศักยภาพ จำเป็นต้องมีการบริหารจัดการน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ซึ่งข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเป็นข้อมูลที่สำคัญเป็นอย่างมาก การมีเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมของน้ำในระบบลุ่มน้ำจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือหนึ่งสำหรับการใช้ในการจำลองและวิเคราะห์น้ำฝนเป็นน้ำท่า ซึ่งแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ Hydrologic Engineering Centers Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) หรือ แบบจำลอง HEC-HMS เป็นแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (rainfall-runoff model) ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำท่า (runoff) จากข้อมูลปริมาณฝน (rainfall) ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ร่วมกับข้อมูลลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ (USACE, 1994, 2000, 2016) เป็นของหน่วยงาน Hydrologic Engineering Centers สังกัด U.S. Army Corps of Engineers ประเทศสหรัฐอเมริกา เผยแพร่ต่อสาธารณชนทั่วไปโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย (freeware)

ในปัจจุบัน (พ.ศ. 2568) ประเทศไทย มีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ทั้งสิ้น 35 แห่ง เป็นอ่างเก็บน้ำที่อยู่ในความดูแลของกรมชลประทาน จำนวน 25 แห่ง และ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จำนวน 10 แห่ง ในขณะที่อ่างเก็บน้ำขนาดกลางซึ่งอยู่ในการดูแลของกรมชลประทานเพียงหน่วยงานเดียว มีจำนวนถึง 435 แห่ง จากอดีตจวบจนปัจจุบัน กรมชลประทานได้ดำเนินงานโดยมุ่งเน้นการบริหารจัดการน้ำของอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่เป็นหลัก ซึ่งทำให้มีข้อมูลการไหลของน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำครบถ้วน สมบูรณ์ ถูกต้องและมีระยะยาว อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันอ่างเก็บน้ำขนาดกลางกำลังประสบกับปัญหาภัยแล้งและการบริหารจัดการน้ำเช่นเดียวกัน แต่ข้อมูลการไหลของน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำค่อนข้างมีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งความน่าเชื่อถือของข้อมูลทางอุทกวิทยาที่จะนำมาวิเคราะห์ควรมีอย่างน้อย 30 ปี ข้อมูลระยะยาวของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางที่พบส่วนใหญ่จะมาจาก การคำนวณอุทกวิทยาอย่างง่าย ($Q = CiA$ เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของน้ำ i คือ ปริมาณฝน A คือ พื้นที่รับน้ำ และ C คือสัมประสิทธิ์น้ำท่า ซึ่งจะใช้ C เท่ากับ 0.6) ซึ่งก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง การนำแบบจำลอง HEC-HMS มาเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมของน้ำในระบบลุ่มน้ำลงสู่อ่างเก็บน้ำขนาดกลาง จะทำให้ได้ข้อมูลเป็นไปตามหลักวิชาการมากขึ้น

ดังนั้น แบบจำลอง HEC-HMS มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับนักอุทกวิทยา ของสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา โดยเฉพาะฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ มีหน้าที่ความรับผิดชอบ

ในการศึกษา พัฒนาแบบจำลองทางอุทกวิทยา และพยากรณ์น้ำท่า น้ำไหลลงอ่าง เพื่อสนับสนุนภารกิจในการพัฒนาแหล่งน้ำ การบริหารจัดการน้ำ และการบรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำอย่างเป็นระบบ

1.2 วัตถุประสงค์ของคู่มือ

คู่มือการใช้โปรแกรม HEC-HMS ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับนักอุทกวิทยา สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน ที่ต้องการเรียนรู้การสร้างแบบจำลองน้ำหลาก และการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนในลุ่มน้ำ โดยมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้

1.2.1 เพื่อสร้างความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับหลักการ และวิธีการใช้งานแบบจำลอง HEC-HMS ได้อย่างถูกต้อง

1.2.2 เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้แบบจำลองในการประเมินปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ รวมถึงการประยุกต์ใช้กับงานด้านพยากรณ์น้ำและงานด้านอุทกวิทยาได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

1.3 ขอบเขตการใช้งานของคู่มือ

คู่มือนี้ครอบคลุมตั้งแต่ความรู้พื้นฐานทางทฤษฎีเบื้องต้น และการปฏิบัติ โดยเนื้อหาจะมีการอธิบายแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด พร้อมตัวอย่างประกอบเพื่อให้เข้าใจง่าย นอกจากนี้ ยังรวมถึงคำแนะนำและเคล็ดลับในการใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยและงานปฏิบัติจริงได้ มีดังต่อไปนี้

1.3.1 ความรู้พื้นฐานทางอุทกวิทยา และแบบจำลองทางอุทกวิทยา

1.3.2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของแบบจำลอง HEC-HMS ประกอบด้วย ลักษณะของแบบจำลอง ความสามารถของแบบจำลอง และการคำนวณของแบบจำลอง

1.3.3 องค์ประกอบของแบบจำลอง HEC-HMS การวางแผนคิดระบบลุ่มน้ำ และการเตรียมข้อมูลนำเข้า

1.3.4 การติดตั้งแบบจำลอง HEC-HMS ประกอบด้วย การดาวน์โหลดโปรแกรมและคู่มือ และการติดตั้งแบบจำลอง

1.3.5 การจัดทำแบบจำลอง HEC-HMS ประกอบด้วย การสร้างแบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Models) การสร้างข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-Series Data) การสร้างแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (Meteorologic Models) การสร้างแบบจำลองข้อกำหนดการควบคุม (Control Specifications) การรันแบบจำลอง (Simulation Runs) และการแสดงผลการจำลอง (Results)

1.3.6 การปรับแก้พารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS ประกอบด้วย การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) และการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)

1.3.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในการจำลองข้อมูลน้ำท่าระยะยาว ประกอบด้วย การใส่ข้อมูลระยะยาวในข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-Series Data) การแก้ไขแบบจำลอง



ข้อกำหนดการควบคุม (Control Specifications) และการรันแบบจำลองระยะยาว (Simulation Runs)

1.3.8 การแสดงผลและการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าจากแบบจำลอง HEC-HMS

1.3.9 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในงานอุทกวิทยา

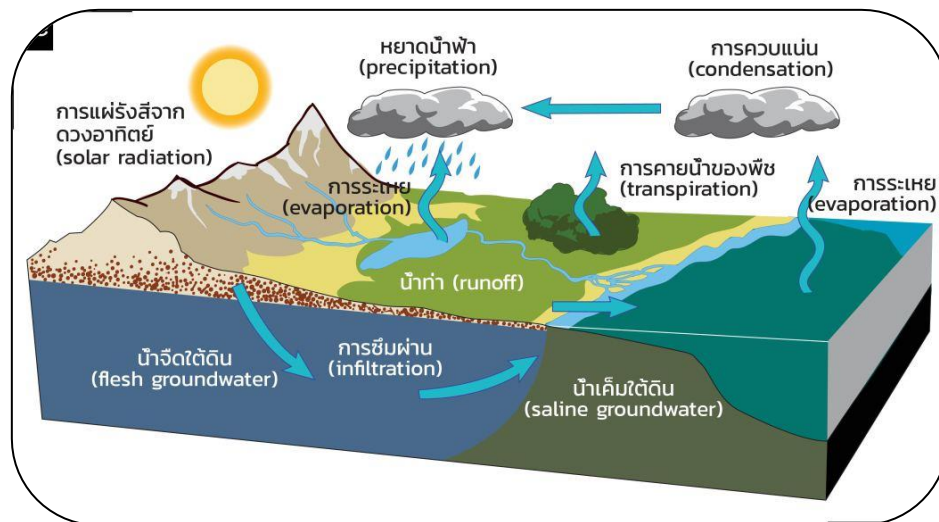
บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานทางอุทกวิทยา และแบบจำลองทางอุทกวิทยา

2.1 ความรู้พื้นฐานทางอุทกวิทยา

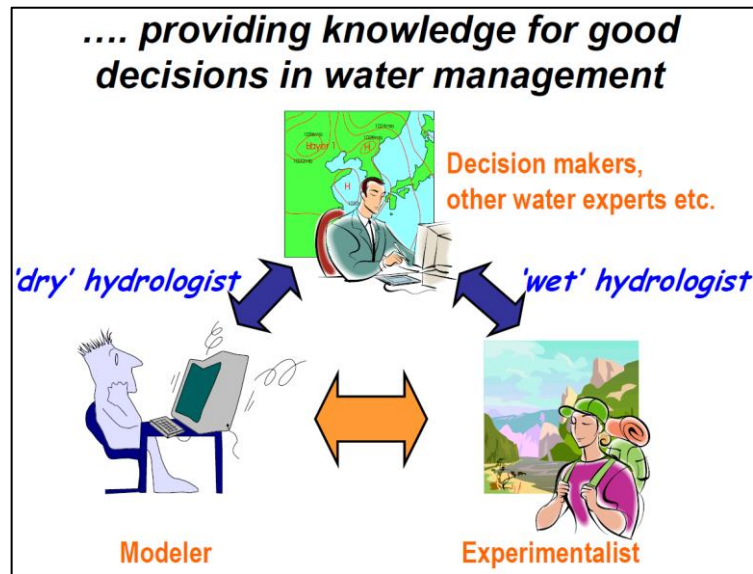
2.1.1 ภาพรวมของอุทกวิทยา

นิยามของวิชา อุทกวิทยา หรือ hydrology หมายถึง วิชาทางวิทยาศาสตร์สาขาหนึ่งที่กล่าวถึง การเกิด (occurrence) การเคลื่อนที่ (movement) การกระจาย (distribution) และคุณสมบัติของน้ำ (properties of water) ที่มีอยู่ในบรรยากาศ บนผิวดิน และที่อยู่ใต้ ผิวดิน ทั้งทางกายภาพและทางเคมี ที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศวิทยา ของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายในโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของน้ำทั้งปริมาณ (quantity) คุณภาพ (quality) สถานที่ (space) และเวลา (time) (กิริติ ลีวิจกุล, 2552) โดยภาพรวมของอุทกวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 ภาพรวมของอุทกวิทยา

ขอบเขตของวิชาอุทกวิทยา ประกอบด้วย 1) การวัด บันทึกลง และเผยแพร่ข้อมูล ได้แก่ ฝน ระดับน้ำ การไหลของน้ำในลำน้ำ คุณภาพน้ำ ตะกอน 2) การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพัฒนาเป็นทฤษฎี และกฎเกณฑ์ต่างๆ ทางอุทกวิทยา และ 3) การประยุกต์ใช้ทฤษฎี และกฎเกณฑ์ต่างๆ เพื่อใช้งานในทางปฏิบัติ ดังแสดงในรูปที่ 2-2



(ที่มา : USGS)

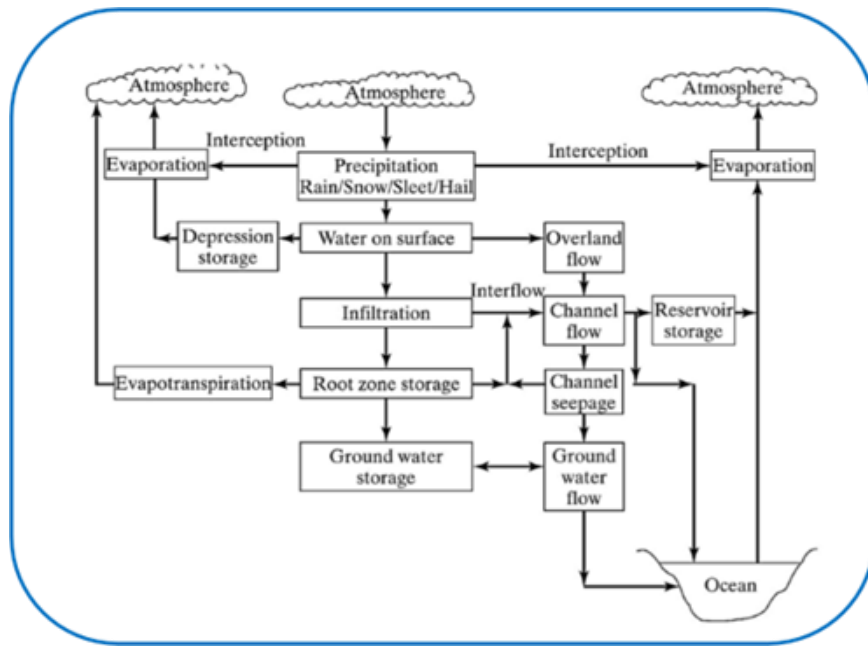
รูปที่ 2-2 การปฏิบัติงานทางอุทกวิทยา

วัฏจักรอุทกวิทยา หรือวงจรอุทกวิทยา (hydrologic Cycle) คือ ปรากฏการณ์ที่ น้ำจาก แหล่งต่างๆ บนพื้นโลก เช่น ทะเล แม่น้ำ คลอง การคายน้ำของพืช เป็นต้น เปลี่ยนแปลงสถานะของ น้ำระหว่างของเหลว ของแข็งและก๊าซ ตามสภาพแวดล้อมที่น้ำอาศัยอยู่หมุนเวียนไปเรื่อยๆ ดังแสดง ในรูปที่ 2-3 และสามารถอธิบายเป็นแผนผังเพื่อให้เข้าใจได้อย่างเป็นระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2-4



(ที่มา : USGS)

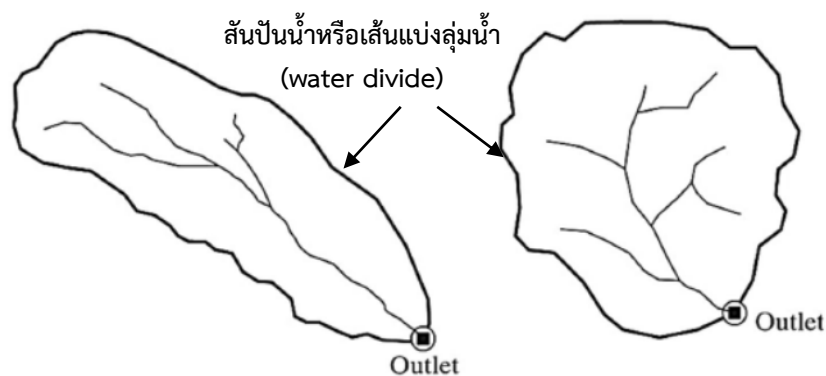
รูปที่ 2-3 วัฏจักรอุทกวิทยา



(ที่มา : กิรติ สิวัจจนกุล, 2552)

รูปที่ 2-4 ผังวัฏจักรอุทกวิทยา

ลุ่มน้ำ หรือ พื้นที่รับน้ำ (watershed, river basin, catchment area, drainage area) คือ พื้นที่ทั้งหมดซึ่งน้ำท่าผิวดินที่เกิดจากฝนที่ตกลงบนพื้นที่นี้จะไหลออกสู่ทางออก (outlet) โดยขอบเขตของลุ่มน้ำเรียกว่าสันปันน้ำหรือเส้นแบ่งลุ่มน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2-5

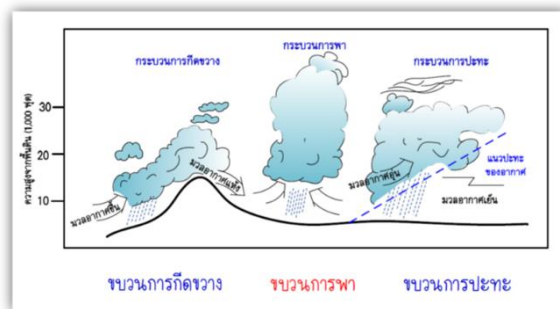


รูปที่ 2-5 ลุ่มน้ำหรือพื้นที่รับน้ำ

การศึกษาวิชาอุทกวิทยา จึงต้องเข้าใจกระบวนการทางอุทกวิทยา ประกอบด้วย น้ำจากอากาศ การตกและกักขังบนผิวดิน การระเหย การคายน้ำ และการคายระเหย การซึม อุทกวิทยาน้ำใต้ดิน การไหลในลำน้ำ สภาพการไหลในลำน้ำ การเคลื่อนตัวของน้ำหลาก

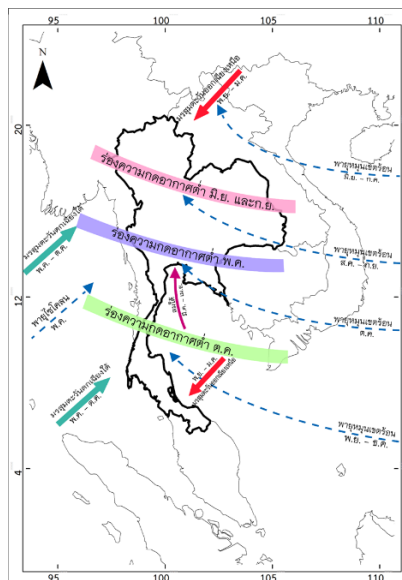
2.1.2 น้ำจากอากาศ

น้ำจากอากาศเป็นองค์ประกอบสำคัญ ที่มีอิทธิพลต่อวงจรอุทกวิทยาของพื้นที่หนึ่งๆ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ไอน้ำที่มีอยู่ในบรรยากาศได้รับความเย็นและกลั่นตัวรวมกัน จนมีขนาดโต และมีน้ำหนักมากขึ้น ไม่สามารถลอยอยู่ในบรรยากาศได้ จึงตกลงมาสู่พื้นดินในลักษณะต่างๆ ทั้งของเหลว เช่น ฝน (rain) ของแข็ง เช่น ลูกเห็บ (hail) และผลึกน้ำแข็ง เช่น หิมะ (snow) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 กระบวนการเกิดน้ำจากฟ้า

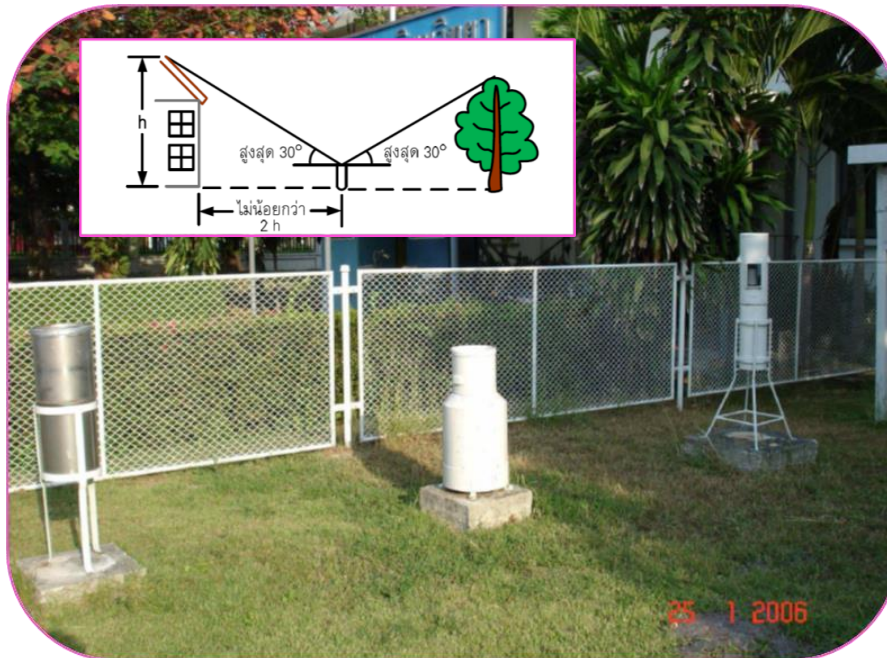
ในประเทศไทยน้ำจากฟ้าจะเป็นฝนเป็นหลัก ซึ่งเป็นฝนที่เกิดจากสิ่งก่อกองหรือภูเขา ฝนที่เกิดจากการพาความร้อน และฝนที่เกิดจากแนวปะทะ ทั้งแนวปะทะอากาศอุ่นอากาศเย็น โดยทั่วไปประเทศไทยจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 2-7



(ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา)

รูปที่ 2-7 แนวร่องความกดอากาศและทางเดินพายุที่ผ่านประเทศไทย

การวัดปริมาณฝน จะใช้เครื่องวัดน้ำฝน ดังแสดงในรูปที่ 2-8 องค์การอุตุนิยมวิทยาโลกกำหนดมาตรฐานการติดตั้งให้ระยะห่างจากอาคารหรือต้นไม้ไม่น้อยกว่า 2 เท่าของความสูงอาคารหรือต้นไม้ หรือทำมุมไม่เกิน 30 องศา



รูปที่ 2-8 เครื่องวัดน้ำฝน

ถึงแม้ว่าจะมีเครื่องวัดน้ำฝน แต่อาจมีบางช่วงเวลาที่ข้อมูลขาดหาย จึงมีวิธีการประมาณค่าข้อมูลที่ขาดหาย มี 3 วิธี คือ 1) วิธีเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ 2) วิธีสัดส่วนปกติ และ 3) วิธีคิดดัชนีน้ำหนักตามระยะห่างสถานี ดังแสดงในรูปที่ 2-9

วิธีเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์

$$P_x = \frac{1}{3}(P_A + P_B + P_C) \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้

ค่าเฉลี่ยฝนรายปีแตกต่างกันไม่เกิน 10%

P_x คือ ปริมาณน้ำฝนที่ขาดหายไปของสถานี x

N_x คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรายปีของสถานีที่มีข้อมูลหายไป

N_1, N_2, N_3 คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรายปีของสถานีที่ 1, 2 และ 3 ที่เลือกเป็นสถานีตรวจ

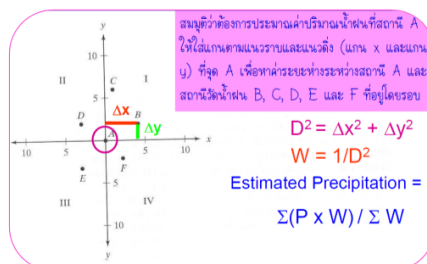
P_1, P_2, P_3 คือ ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ที่สถานี 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ในช่วงเวลาเดียวกันที่ข้อมูลของสถานี x หายไป

วิธีสัดส่วนปกติ

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{N_x}{N_1} P_1 + \frac{N_x}{N_2} P_2 + \frac{N_x}{N_3} P_3 \right]$$

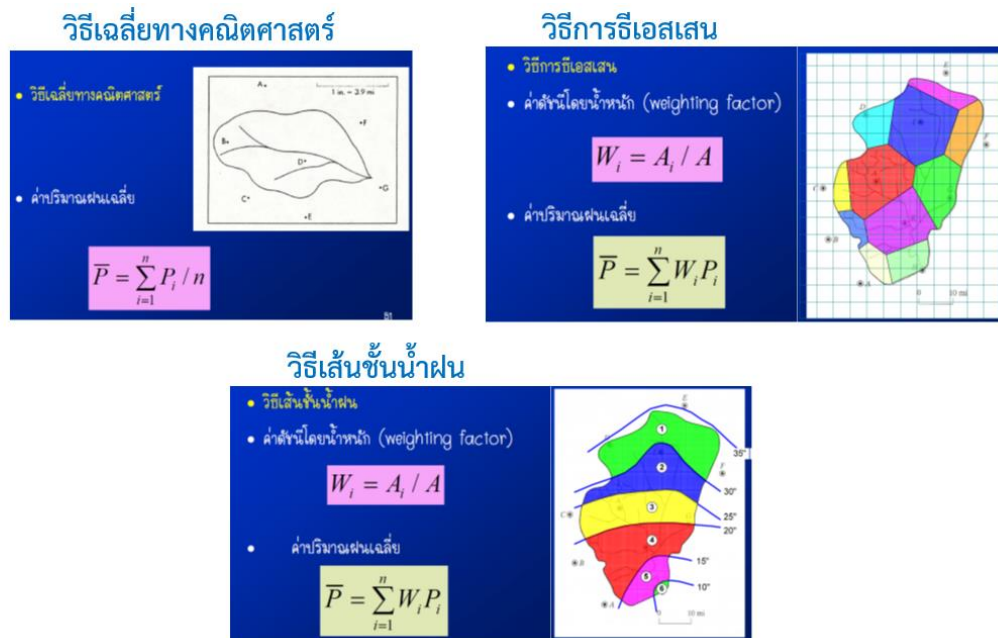
ค่าเฉลี่ยฝนรายปีแตกต่างกันเกิน 10%

วิธีคิดดัชนีน้ำหนักตามระยะห่างสถานี



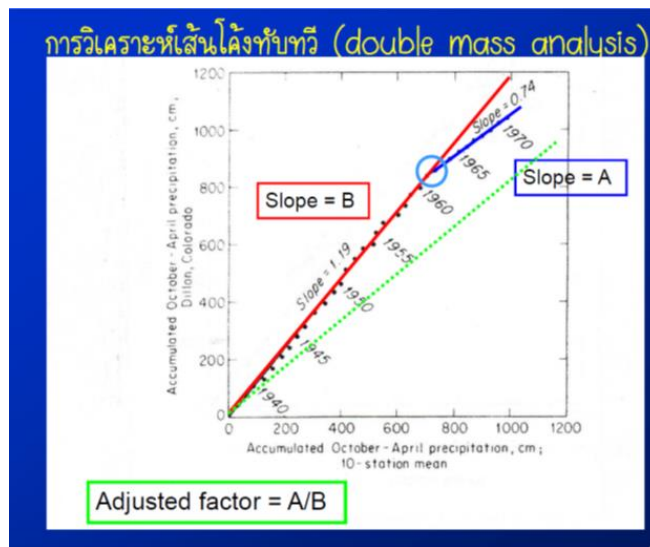
รูปที่ 2-9 วิธีการประมาณค่าข้อมูลที่ขาดหาย

เครื่องวัดน้ำฝนจะวัดข้อมูลเฉพาะตำแหน่งที่เครื่องติดตั้ง การหาปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่ลุ่มน้ำ จะใช้ข้อมูลจากเครื่องวัดน้ำฝนมาคำนวณ โดยมีวิธีการหลัก 3 วิธี คือ วิธีเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ วิธีการถ่วงน้ำหนัก และ วิธีเส้นชั้นน้ำฝน โดยวิธีเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์จะใช้เครื่องวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ลุ่มน้ำเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 วิธีการหาปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่

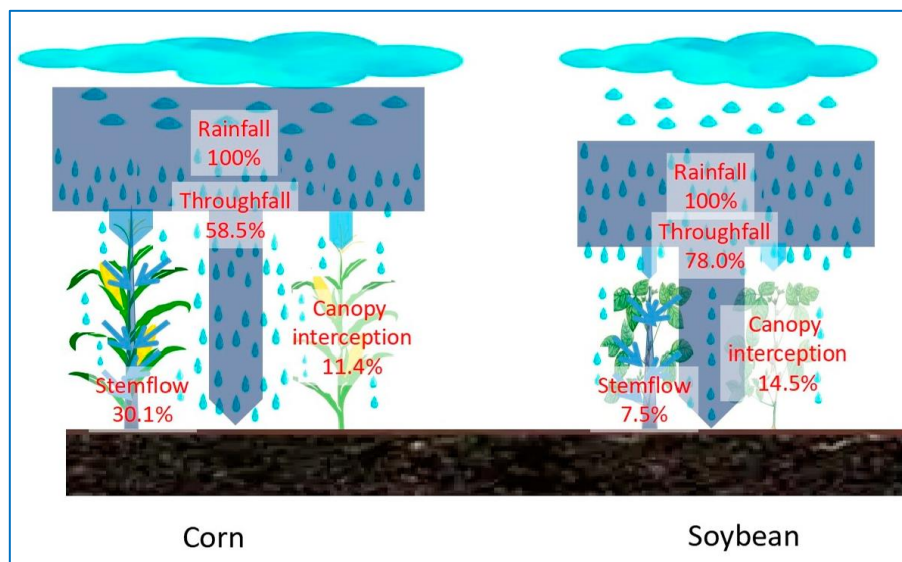
การตรวจสอบความเชื่อถือได้ของข้อมูล (consistency) เป็นการตรวจสอบข้อมูลก่อนนำไปใช้หรือการจะไม่ใช้ข้อมูลที่สถานีวัดปริมาณฝนแห่งนั้น ความไม่แน่นอนของข้อมูลเกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่ตั้งสถานี การเปลี่ยนแปลงเครื่องวัด ผู้เก็บข้อมูลหรือวิธีการเก็บ และสภาพแวดล้อมรอบๆ ที่เปลี่ยนไป วิธีการที่ได้รับความนิยมคือวิธีเส้นโค้งทับทวี (double mass curve) ดังแสดงในรูปที่ 2-11 ถ้าเส้นกราฟเปลี่ยนแปลงความลาดชันแสดงว่าข้อมูลมีความไม่แน่นอน หากต้องการนำข้อมูลไปใช้ต้องมีการปรับแก้ค่าให้อยู่ในความลาดชันใดลาดชันหนึ่ง



รูปที่ 2-11 วิธีเส้นโค้งทาบหัว

2.1.3 การดักและกักขังบนผิวดิน

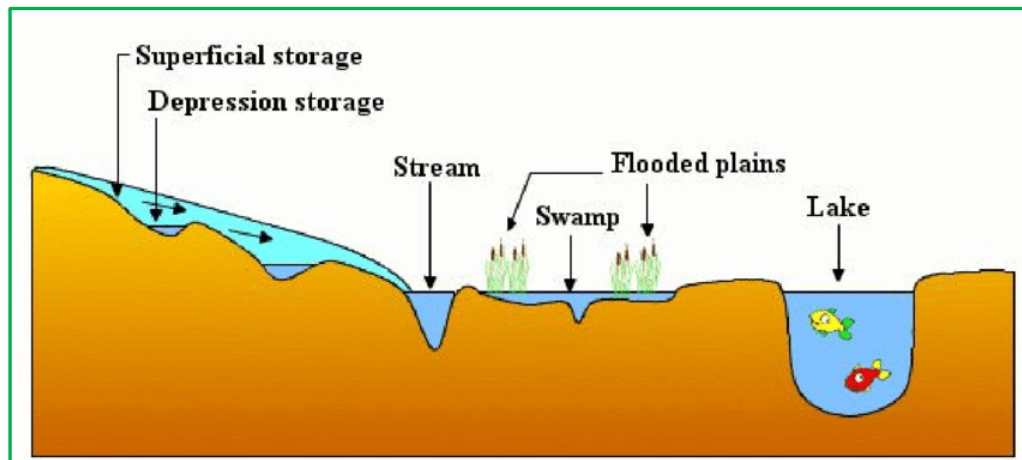
การดัก (interception) คือ การดักน้ำจากอากาศหรือฝนที่ตกลงมา แล้วค้างอยู่ตามส่วนต่างๆ ได้แก่ ต้นไม้ พืช สิ่งปลูกสร้าง สัตว์ เป็นต้น เนื่องจากแรงเกาะติดระหว่างโมเลกุลของน้ำและสิ่งต่างๆ สุดท้ายน้ำส่วนนี้จะระเหยไปในอากาศ จึงเรียกว่า การสูญเสียจากการดัก (interception loss) ดังแสดงในรูปที่ 2-12



รูปที่ 2-12 การดักน้ำจากฝนที่ตกลงมา

การกักขังบนผิวดิน (depression storage) คือ ปริมาณน้ำที่เกิดจากฝนตกลงมาแล้วไหลลงสู่ที่ต่ำ ที่เหลือจากการซึมและระเหย จะมีบางส่วนถูกเก็บอยู่ตามหลุม บ่อ สระน้ำ และ

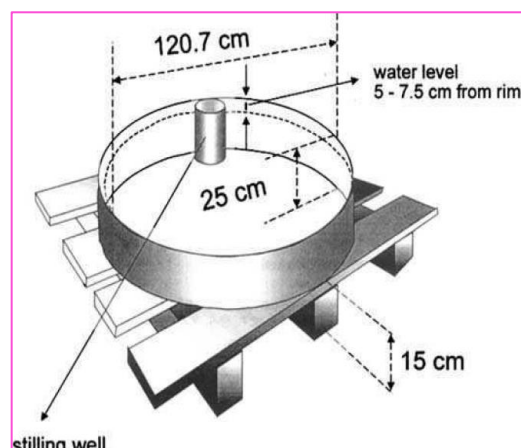
อ่างเก็บน้ำ ซึ่งขีดความสามารถในการเก็บกักน้ำจะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และตำแหน่งที่พิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 2-13



รูปที่ 2-13 การกักขังบนผิวดิน

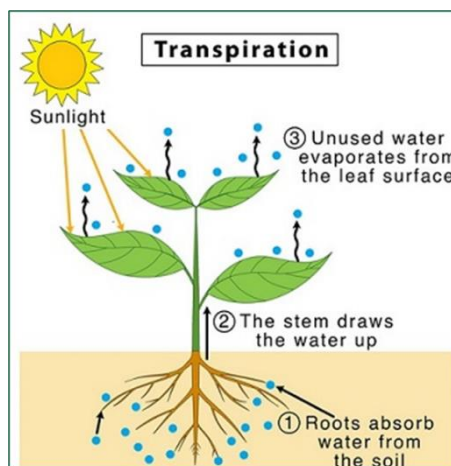
2.1.4 การระเหย การคายน้ำ และการคายระเหย

การระเหย (evaporation) คือ กระบวนการที่น้ำจากผิวน้ำมีการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของน้ำไปเป็นไอน้ำในบรรยากาศ โดยน้ำได้รับพลังงานความร้อนที่ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำ บริเวณผิวน้ำลดลง หลุดลอยสู่บรรยากาศ และบางส่วนชนกัน รวมตัวตกลงผิวน้ำ เกิดสลับไปมา โดยปัจจัยที่มีผลคืออิทธิพลการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศ ความดันไอน้ำ ความเร็วลม ความดันบรรยากาศ และลักษณะของผิวที่มีการระเหย การวัดการระเหยจะมีอุปกรณ์ ถาดวัดการระเหย ดังแสดงในรูปที่ 2-14 ซึ่งจะวัดได้เฉพาะตำแหน่งอุปกรณ์ ดังนั้น การหาการระเหยทั้งพื้นที่อาจใช้วิธีการเดียวกับปริมาณฝน



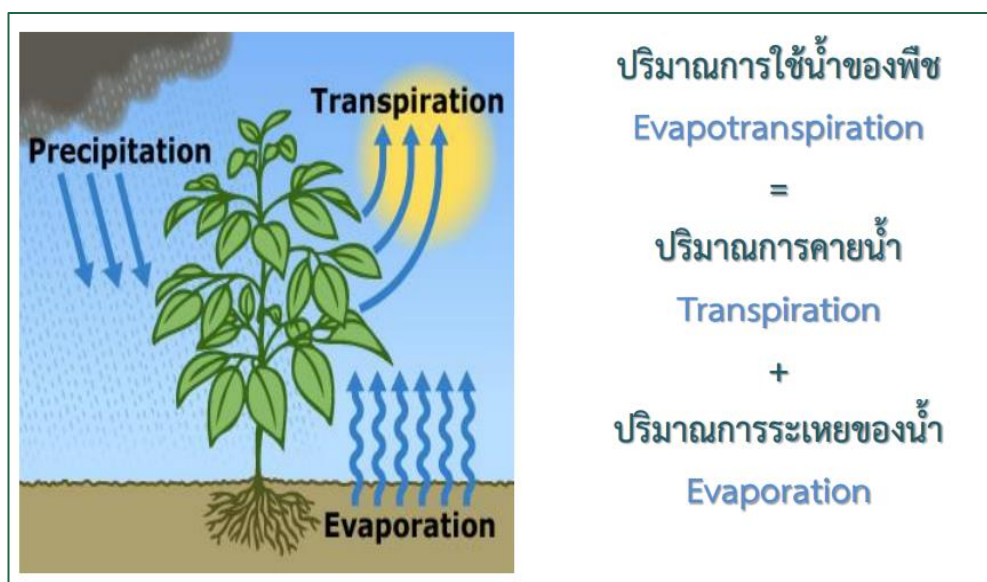
รูปที่ 2-14 ถาดวัดการระเหย

การคายน้ำของพืช (transpiration) คือ กระบวนการที่พืชคายน้ำกลายเป็นไอน้ำสู่บรรยากาศภายนอก เกิดการคายจากรูใบ ประมาณ 80% และผิวใบ ประมาณ 20% ส่วนมีเล็กน้อยจากลำต้นและกิ่งไม้ ดังแสดงในรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 การคายน้ำของพืช

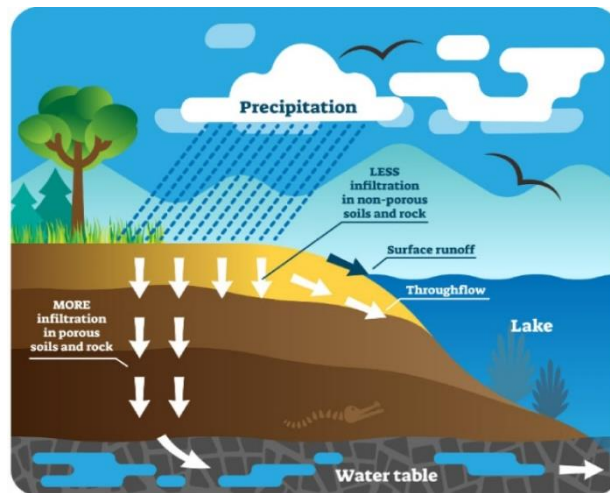
การคายระเหย (evapotranspiration) คือ การสูญเสียน้ำจากการคายน้ำของพืช ร่วมกับการระเหยจากพื้นดินที่พืชปกคลุมอยู่ ซึ่งจะรวมกันเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืช ดังแสดงในรูปที่ 2-16 โดยวิธีที่กรมชลประทานใช้ในปัจจุบันจะเป็นวิธี Penman-Monteith



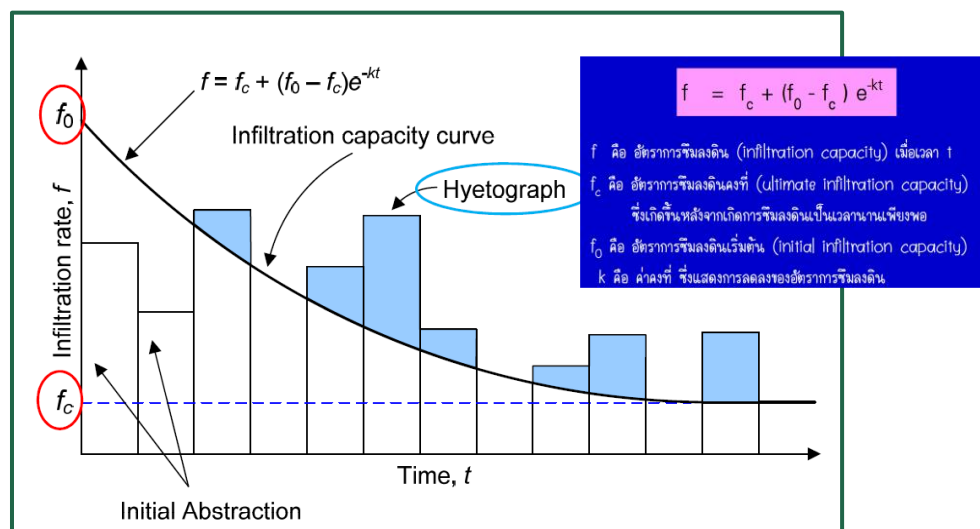
รูปที่ 2-16 การคายระเหย

2.1.5 การซึม

การซึม (infiltration) คือ กระบวนการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านผิวดินลงสู่ชั้นดินที่ลึกลงไป ดังแสดงในรูปที่ 2-17 ซึ่งจะเพิ่มความชื้นในดินทำให้พืชดูดไปใช้ และไปเพิ่มน้ำใต้ดิน บางส่วนจะไหลลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการซึม ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ตกลงบนผิวดินและความลึกของน้ำที่ขังบนผิวดิน ความสามารถในการนำน้ำของดิน ปริมาณความชื้นในช่องว่างเม็ดดิน ความลาดและความขรุขระของผิวดิน คุณสมบัติทางเคมีของดิน คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำ ในการศึกษาจะคุ้นเคยกับสมการของ Horton (1939) ดังแสดงในรูปที่ 2-18



รูปที่ 2-17 การซึม



รูปที่ 2-18 สมการของ Horton

2.1.6 อุทกวิทยาน้ำใต้ดิน

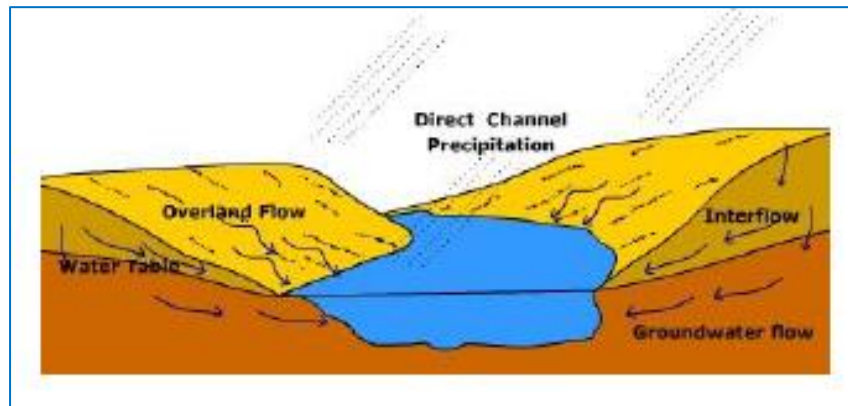
อุทกวิทยาน้ำใต้ดิน (groundwater) คือ น้ำที่แทรกอยู่ตามช่องว่างของกรวด หิน หรือตามรอยหินแตก จนเกิดการอึดตัว มีสภาพการไหลซึมอย่างช้าๆ จากพื้นที่ที่มีพลังงานสูงไปสู่พลังงานต่ำ น้ำใต้ดินมี 2 ประเภท คือ ชั้นให้น้ำใต้ดินแบบอิสระ (unconfined aquifer) และชั้นให้น้ำใต้ดินแบบมีแรงดัน (confined aquifer) ดังแสดงในรูปที่ 2-19 ในการศึกษาจะอาศัยกฎของ Darcy โดยอัตราการไหลผ่านวัสดุพูนเป็นสัดส่วนกับค่าการสูญเสียพลังงานและแปรผกผันกับระยะทางการไหล



รูปที่ 2-19 อุทกวิทยาน้ำใต้ดิน

2.1.7 การไหลในลำน้ำ

การไหลในลำน้ำหรือน้ำท่า (streamflow or runoff) คือ การไหลของน้ำในแม่น้ำ ลำธารที่เกิดจากน้ำ 3 ส่วน คือ น้ำท่าผิวดิน (overland flow หรือ surface runoff) การไหลเสริมหรือน้ำท่าใต้ผิวดิน (interflow) และน้ำใต้ดิน (groundwater flow) ดังแสดงในรูปที่ 2-20 น้ำท่าผิวดิน รวมกันกับการไหลเสริม หรือน้ำท่าใต้ผิวดินที่ไหลออกก้นที่ เรียกว่า น้ำท่าโดยตรง (direct runoff) ส่วนการไหลเสริม หรือน้ำท่าใต้ผิวดินที่ไหลที่ไหลออกช้าๆ รวมกันกับน้ำใต้ดิน เรียกว่า การไหลพื้นฐาน (base flow)



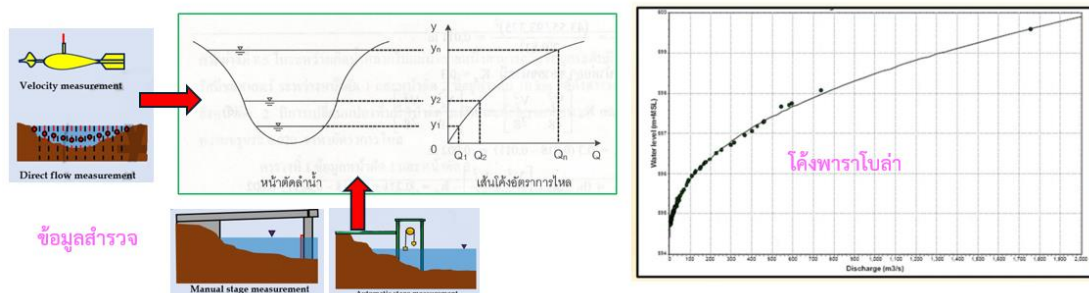
รูปที่ 2-20 การไหลในลำน้ำ

การวัดข้อมูลน้ำท่า จะมีการตั้งสถานีถาวรหรือชั่วคราวขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2-21 การเลือกที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่าต้องคำนึงถึง ได้แก่ 1) การเข้าถึง (accessibility) คือ สามารถเข้าไปตรวจวัดระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำได้ทุกสภาพอากาศ โดยเฉพาะฝนตกหนักและน้ำท่วม 2) ความเพียงพอ (adequacy) คือ สามารถวัดระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำ ได้ที่ระดับความสูงน้ำต่างๆ 3) การมีเสถียรภาพ (stability) คือ ตั้งอยู่ในบริเวณหน้าตัดทางน้ำที่มั่นคง มีเสถียรภาพ ไม่เกิดการกัดเซาะหรือตกตะกอน ทางน้ำตรง ไม่มีผลจากน้ำท่วม (backwater) น้ำขึ้นน้ำลง (tidal) มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและระดับน้ำคงที่ หรือไม่เปลี่ยนแปลงง่าย และ 4) ความถาวร (permanency) คือ ตั้งอยู่ในบริเวณที่ไม่ถูกรบกวนจากสาเหตุใดๆ ที่จะทำให้ข้อมูลผิดพลาดหรือสูญหาย สถานีวัดน้ำท่าต้องดำเนินการวัดข้อมูลต่างๆ ได้แก่ การวัดรูปตัดขวางลำน้ำ คือ การวัดระดับท้องน้ำของลำน้ำทั้งบนตลิ่งและในลำน้ำโดยอ้างอิงระดับจากหมุดหลักฐาน ค่าระดับน้ำ (stage) คือ ระดับของผิวน้ำเหนือเส้นอ้างอิงที่กำหนด ระดับน้ำทะเลปานกลาง, รทก. (mean sea level, msl) ระดับอ้างอิงสมมุติ, รสม. (assume datum) กรณีไม่มีหมุดหลักฐาน (benchmark) การวัดความเร็วของน้ำ และการวัดอัตราการไหลของน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำ/ปริมาณการไหลของน้ำ (stage discharge relationship) เมื่อพิจารณาหน้าตัดลำน้ำใดๆ จะพบว่าอัตราการไหลของน้ำในลำน้ำจะสูงขึ้นตามระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น และลดลงตามระดับน้ำที่ลดลง ซึ่งถ้ามีข้อมูลอัตราการไหลของน้ำที่ระดับน้ำต่างๆ จะสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำ ได้เป็นเส้นโค้ง การไหลของน้ำ หรือ โค้งปริมาณน้ำ หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำ “Rating Curve” ดังแสดงในรูปที่ 2-22



รูปที่ 2-21 สถานีวัดน้ำ



สาเหตุการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปี มาจากหน้าตัดลำน้ำอาจมีการกัดเซาะหรือตกตะกอน ความลาดชันพลังงานจากน้ำเหือระดับน้ำจากลำน้ำสาขาไหลลงมาให้ท้ายน้ำสูงขึ้น

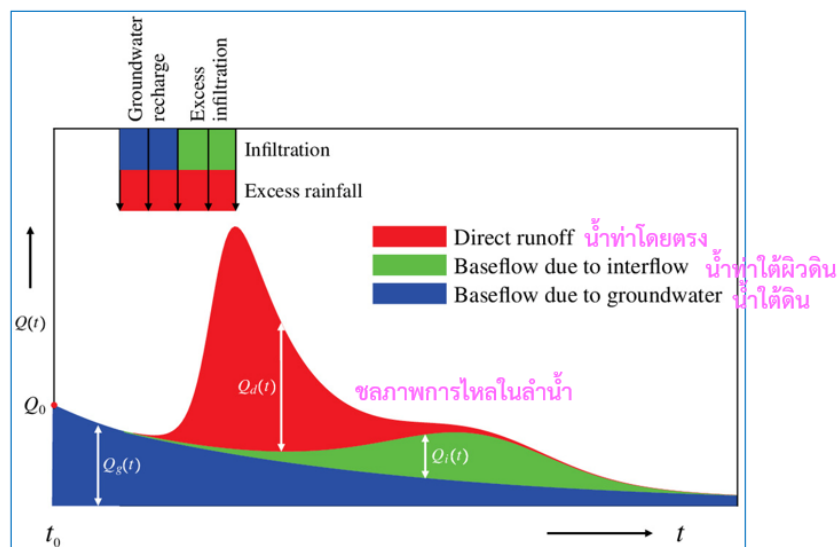
รูปที่ 2-22 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำ

2.1.8 สภาพการไหลในลำน้ำ

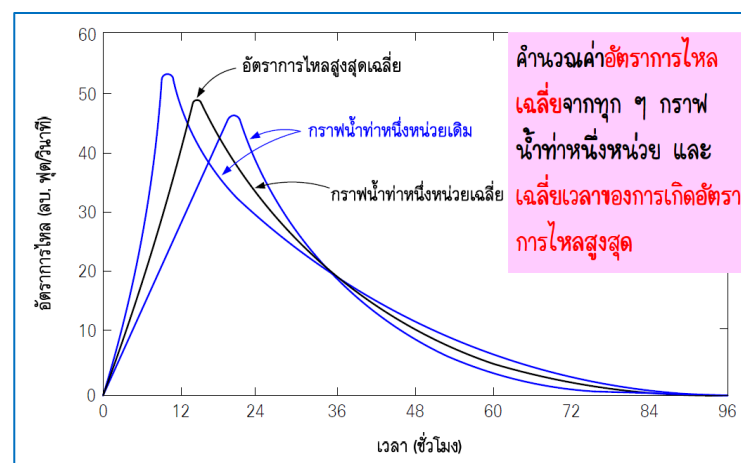
สภาพการไหลในลำน้ำ (streamflow hydrograph) คือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำในลำน้ำกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2-23

กราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วย (unit hydrograph) คือ สภาพของน้ำท่าโดยตรง (direct runoff) ที่ไหลบนผิวดินออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำ ที่มีความลึก 1 หน่วย (1 เซนติเมตร หรือ 1 นิ้ว) อันเนื่องมาจากฝนตก D ชั่วโมง กราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยเป็นเครื่องมือสำคัญในวิชาอุทกวิทยา ใช้ในการแสดงการไหลของน้ำท่าที่เกิดจากฝนตกหนึ่งมิลลิเมตรในช่วงเวลาคงที่ ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำที่กำหนด

กราฟนี้ช่วยให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการสำคัญของ Unit Hydrograph คือความเป็นเชิงเส้นและการรวมผลได้ (superposition) การสร้าง Unit Hydrograph ต้องใช้ข้อมูลปริมาณฝนและการไหลของน้ำในอดีต การทำความเข้าใจกราฟนี้จึงช่วยให้สามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำในอนาคตได้ดีขึ้น วิธีการสร้าง Unit Hydrograph ที่ใช้กันในอุทกวิทยาอีกหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีสมมติฐาน รูปแบบ และความเหมาะสมต่างกันตามพื้นที่ เช่น วิธี Snyder, SCS, Clark เป็นต้น ในการสร้างอาจใช้การสร้างจากฝนหลายลูกแล้วมาเฉลี่ย เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือ ดังแสดงในรูปที่ 2-24



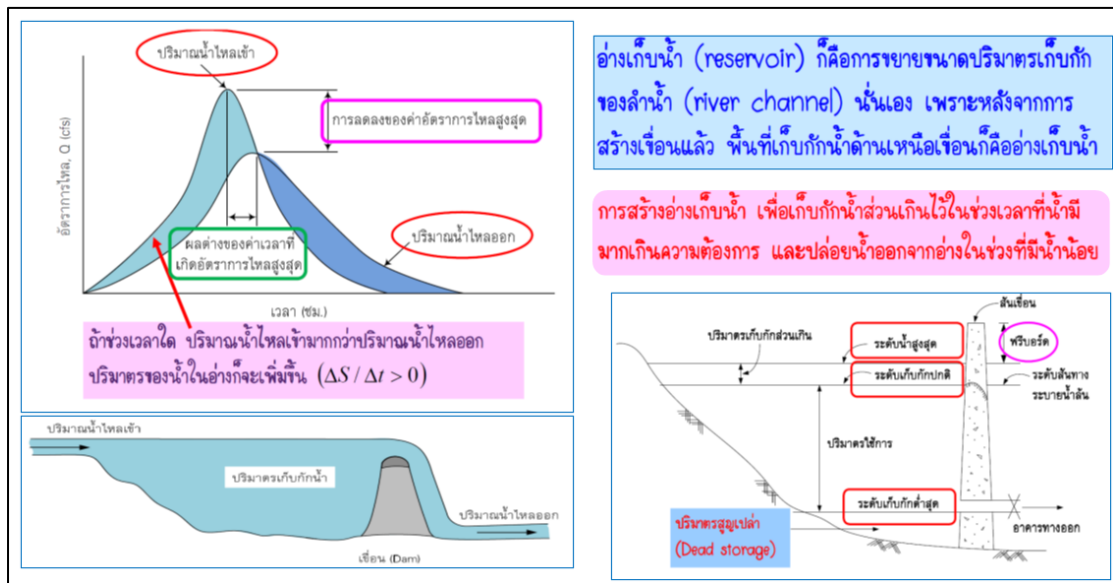
รูปที่ 2-23 ซลภาพการไหลในลำน้ำ



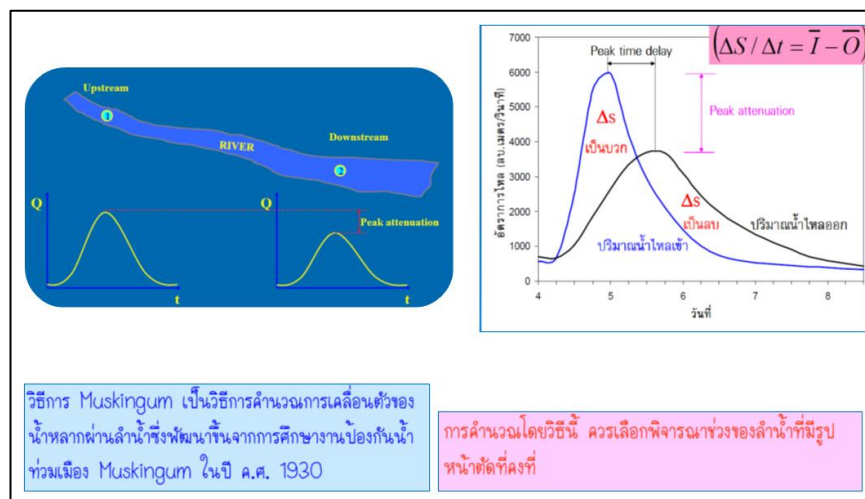
รูปที่ 2-24 กราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วย

2.1.9 การเคลื่อนตัวของน้ำหลาก

การเคลื่อนตัวของน้ำหลาก (flood routing) คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพการไหลเข้าและไหลออกจากกระบบแม่น้ำ หรืออ่างเก็บน้ำ การเคลื่อนตัวของน้ำหลากแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำ (reservoir routing) ดังแสดงในรูปที่ 2-25 และการเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านลำน้ำ (channel routing) ดังแสดงในรูปที่ 2-26



รูปที่ 2-24 การเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำ



รูปที่ 2-26 การเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านลำน้ำ

2.2 ความรู้เกี่ยวกับแบบจำลองทางอุทกวิทยา

2.2.1 ความหมายของแบบจำลอง

แบบจำลอง (model) คือ การสร้างสิ่งแทนจริงหรือภาพรวมของระบบ เพื่อให้สามารถศึกษา วิเคราะห์ หรือทำนายพฤติกรรมของระบบนั้นได้ โดยไม่ต้องทดลองหรือใช้งานของจริงเสมอไป เช่น แบบจำลองอุทกวิทยา (Hydrologic Model) แบบจำลองภูมิอากาศ (Climate Model) โมเดลทางคณิตศาสตร์ โมเดลเชิงสถิติ แผนที่ รูป เป็นต้น

แบบจำลองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Model) คือ เครื่องมือหรือระบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แทนกระบวนการไหลเวียนของน้ำในระบบธรรมชาติ เช่น ฝนตก น้ำไหลบ่าผิวดิน การซึมของน้ำลงดิน และการไหลในแม่น้ำ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ หรือ ตรรกะทางกายภาพเพื่อคำนวณและจำลองพฤติกรรมของน้ำในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง บางเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแล้วแต่ไม่ได้เก็บข้อมูล หรือบางเหตุการณ์ยังไม่มีข้อมูลเนื่องจากยังไม่ได้เกิดขึ้นจริง เช่น การศึกษาเกี่ยวกับความเสี่ยงน้ำท่วมที่เกิดจากปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน แต่ที่ดินยังไม่ได้เปลี่ยนจึงไม่มีข้อมูลไปตอบคำถาม

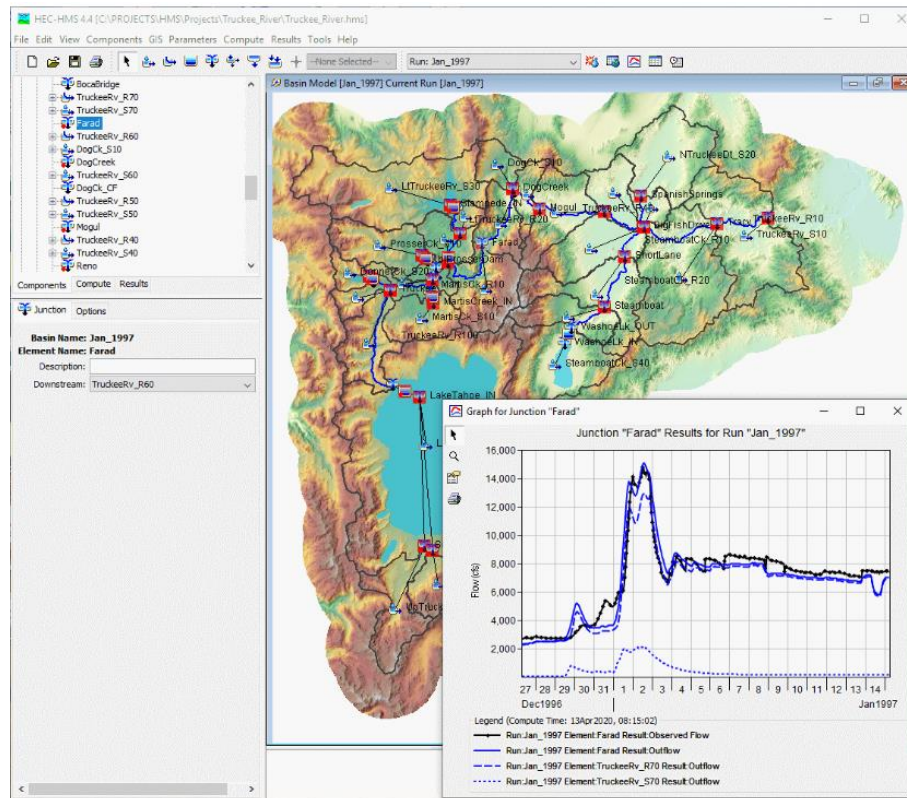
แบบจำลองจะเกี่ยวข้องกับสิ่งที่เราไม่รู้ (unknown) หรือ ผลลัพธ์ (output) จากสิ่งที่เรารู้ (known) หรือ ข้อมูลนำเข้า (input) โดยสิ่งที่เรารู้ ได้แก่ ปริมาณฝน อุณหภูมิ และข้อมูลอื่นๆ ทางอุตุนิยมวิทยา และสิ่งที่เราไม่รู้คือปริมาณน้ำท่า

2.2.2 การจำแนกแบบจำลองตามลักษณะการสร้างแบบจำลอง

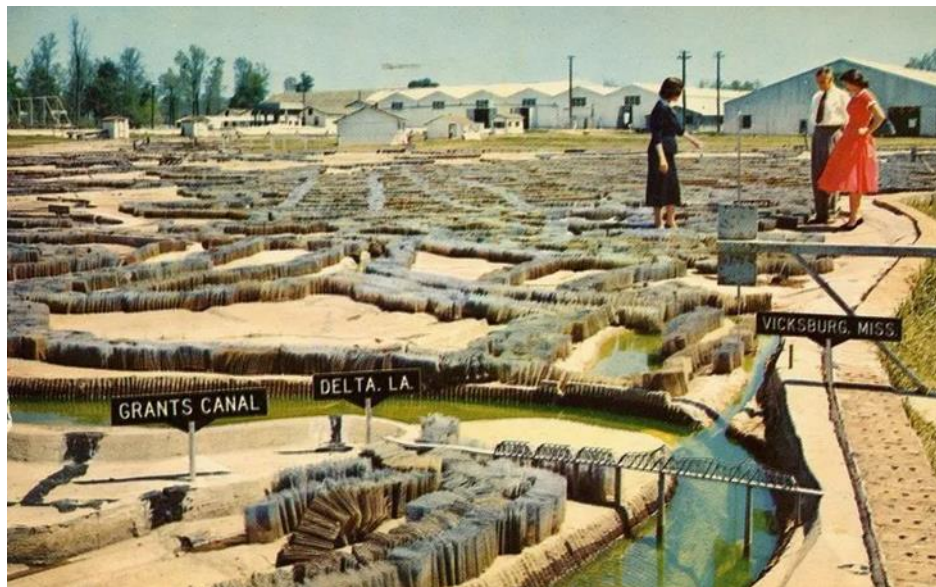
แบบจำลองทางอุทกวิทยาสามารถแบ่งตามลักษณะการสร้างแบบจำลอง ออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) และ แบบจำลองทางกายภาพ (physical model) ดังแสดงในรูปที่ 2-27

1) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) คือ แบบจำลองที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ หรือ ตรรกะเชิงตัวเลข มาแทนกระบวนการทางธรรมชาติของน้ำ เช่น การไหลบ่าผิวดิน การซึม การระเหย ฯลฯ เพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณและทำนายผลได้ เช่น HEC-HMS และ SWAT แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีข้อดี คือ ใช้เวลาน้อย วิเคราะห์พื้นที่ขนาดใหญ่ได้ เหมาะสำหรับการจำลองหลายกรณี (scenario) และเชื่อมต่อกับแบบจำลองอื่นๆ ได้ เช่น โมเดลอากาศ โมเดลเศรษฐกิจ แต่มีข้อจำกัด คือ ต้องมีข้อมูลจำนวนมาก และความแม่นยำขึ้นอยู่กับความเข้าใจในกระบวนการและคุณภาพข้อมูล

2) แบบจำลองทางกายภาพ (physical model) คือ แบบจำลองที่จำลองสถานการณ์จริงด้วย วัสดุจริงหรือจำลองในห้องปฏิบัติการ เช่น การสร้างแบบจำลองลุ่มน้ำจำลอง (ด้วยทราย น้ำ ฯลฯ) เพื่อศึกษาแรงน้ำ การกัดเซาะ การไหลในลำน้ำ เป็นต้น มีข้อดี คือ แสดงพฤติกรรมทางกายภาพได้ชัดเจน เข้าใจง่าย และเหมาะกับการเรียนรู้หรือวิจัยปัญหาเฉพาะจุด แต่มีข้อจำกัด คือ ใช้เวลานาน ค่าใช้จ่ายสูง และทำได้ยากเมื่อพื้นที่มีขนาดใหญ่หรือซับซ้อน



ก) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์



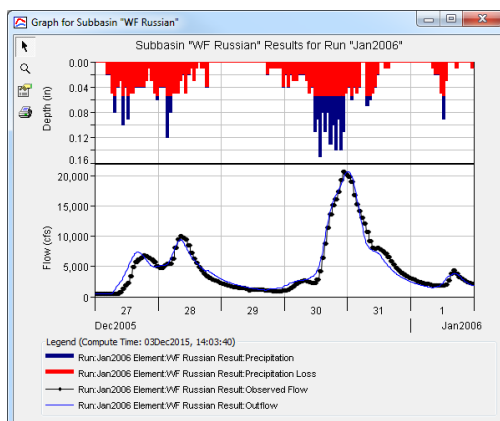
ข) แบบจำลองทางกายภาพ

รูปที่ 2-27 แบบจำลองทางกายภาพของกลุ่มน้ำ

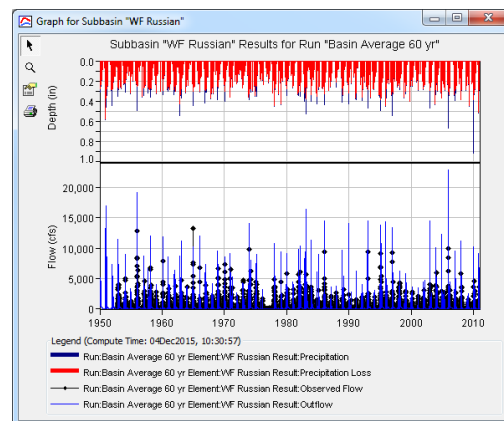
2.2.3 การจำแนกแบบจำลองทางอุทกวิทยาตามช่วงเวลาจำลอง

แบบจำลองทางอุทกวิทยาสามารถแบ่งตามช่วงเวลาจำลอง ออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การจำลองเหตุการณ์ (event) และการจำลองต่อเนื่อง (continuous) ดังแสดงในรูปที่ 2-28 โดยแบบเหตุการณ์ จะพิจารณาเฉพาะกระบวนการทางอุทกวิทยาในช่วงที่เกิดพายุและทันทีหลังจากพายุเท่านั้น ส่วนแบบต่อเนื่องจะรวมทั้งช่วงที่เกิดเหตุการณ์และช่วงเวลาระหว่างเหตุการณ์ โดยสามารถจำลองได้ยาวนานถึงหลายสิบปีในแต่ละครั้ง

ใน HEC-HMS ไม่มีสวิตช์หลักที่ใช้ตัดสินใจเลือกระหว่างการจำลองแบบเหตุการณ์ (event) กับแบบต่อเนื่อง (continuous) ทั้งหมดขึ้นอยู่กับวิธีการจำลองที่เลือกใช้ โดยแบบจำลองเหตุการณ์มักจะมีเพียงข้อมูลฝนในโมเดลทางอุทกวิทยา ขณะที่การจำลองแบบต่อเนื่องจะรวมถึงการระเหยระเหยรวมที่เป็นไปได้ (potential evapotranspiration) ในโมเดลอุทกวิทยา และวิธีการสูญเสียน้ำที่ติดตามความชื้นในดิน เช่น วิธี Deficit & Constant หรือ Soil Moisture Accounting



ก) เหตุการณ์



ข) ต่อเนื่อง

รูปที่ 2-28 แบบจำลองทางอุทกวิทยาสามารถแบ่งตามช่วงเวลาจำลอง

2.2.4 การจำแนกแบบจำลองทางอุทกวิทยาตามลักษณะของพื้นที่

แบบจำลองทางอุทกวิทยาสามารถแบ่งตามลักษณะของพื้นที่ ออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ แบบจำลองเชิงรวม (lumped model) แบบจำลองแบบกระจายพื้นที่ (distributed model) และแบบจำลองแบบกึ่งกระจายพื้นที่ (semi-distributed model) ดังแสดงในรูปที่ 2-29 มีดังต่อไปนี้

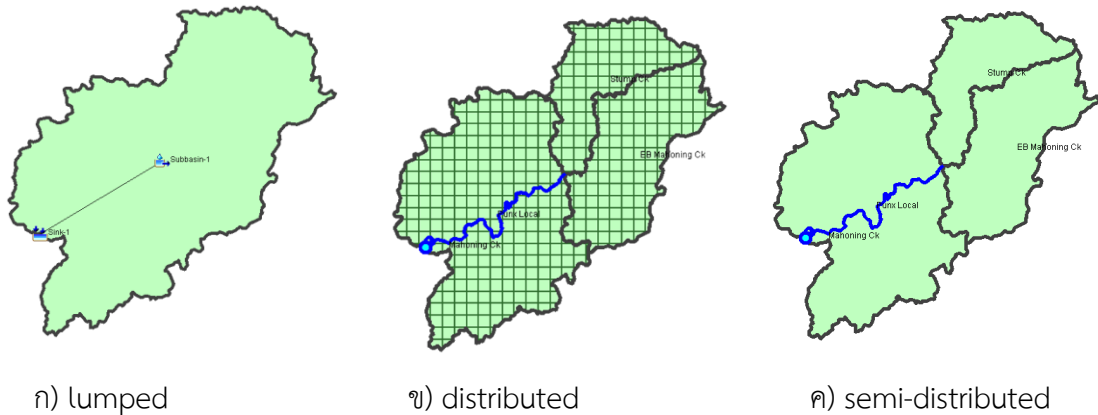
1) แบบจำลองเชิงรวม (lumped model) เป็นแบบจำลองที่มองลุ่มน้ำเป็น “หน่วยเดียว” โดยไม่สนใจความแตกต่างภายในพื้นที่ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ฯลฯ แบบจำลองจะใช้ค่าเฉลี่ยหรือค่าตัวแทนของพื้นที่ทั้งหมดในการคำนวณ เช่น ค่าปริมาณฝนเฉลี่ย

ของกลุ่มน้ำทั้งหมด แล้วใช้สมการจำลองกระบวนการ เช่น การไหลบ่าผิวดิน น้ำท่า **คุณสมบัติหลัก** ได้แก่ พื้นที่ลุ่มน้ำถูกพิจารณาเป็นจุดเดียว (point) ไม่สนใจความแตกต่างภายในพื้นที่ ใช้ข้อมูลนำเข้า น้อย มีโครงสร้างและสมการที่ไม่ซับซ้อน เหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดเล็กถึงปานกลาง หรือเมื่อมีข้อมูล จำกัด **ข้อดี** คือ ใช้งานง่าย ใช้เวลาประมวลผลน้อย เหมาะกับพื้นที่ที่มีข้อมูลน้อย ในขณะที่ **ข้อจำกัด** คือ ไม่สามารถจำลองผลกระทบเชิงพื้นที่ได้ (เช่น ฝนตกไม่เท่ากันในแต่ละส่วนของลุ่มน้ำ) ความแม่นยำต่ำเมื่อเทียบกับแบบกระจายพื้นที่ (distributed model) เช่น แบบจำลอง HEC-HMS (สามารถทำได้ทั้ง Lumped และ Semi-distributed แล้วแต่การตั้งค่า)

2) แบบจำลองแบบกระจายพื้นที่ (distributed model) เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่พิจารณาความแตกต่างของคุณสมบัติในแต่ละตำแหน่งภายในลุ่มน้ำ เช่น ความชันของพื้นที่ ประเภทดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปริมาณฝนที่ตกในแต่ละจุด ฯลฯ โดยพื้นที่ทั้งหมดจะถูกแบ่งเป็น ตาราง (grid cell) หรือหน่วยย่อยย่อย และทำการคำนวณกระบวนการทางอุทกวิทยาในแต่ละเซลล์ อย่างเป็นอิสระ ซึ่งผลลัพธ์ของแต่ละเซลล์จะถูกนำมารวมเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของทั้งลุ่มน้ำ **คุณสมบัติหลัก** คือ แสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในเชิงพื้นที่ (spatial variability) คำนวณตาม ตารางพิกัดหรือโครงข่าย (grid-based หรือ cell-based) ใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่อย่างละเอียด เช่น แผนที่ดิน DEM, land use, soil type สามารถแสดงผลลัพธ์ในแต่ละพื้นที่ย่อย เช่น การไหลผิวดิน การ ซึมของน้ำ ฯลฯ **ข้อดี** คือ ให้ผลลัพธ์ที่ละเอียดและแม่นยำ เหมาะสำหรับการศึกษาผลกระทบของการ ใช้ที่ดิน หรือภูมิประเทศ เหมาะกับการวิจัย การจัดการลุ่มน้ำขนาดใหญ่ และการวางแผนระยะยาว และสามารถใช้ร่วมกับ GIS ได้ดี **ข้อจำกัด** คือ ใช้ข้อมูลจำนวนมากและต้องมีคุณภาพสูง ต้องใช้เวลา คำนวณมาก และต้องใช้คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง โครงสร้างแบบจำลองซับซ้อน อาจต้องใช้ ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์และตีความผลลัพธ์ เช่น แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) ในแบบ distributed) (ใช้จำลองผลกระทบการใช้ที่ดินและกิจกรรมทางการ เกษตร) แบบจำลอง RRI

3) แบบจำลองแบบกึ่งกระจายพื้นที่ (semi-distributed model) เป็นแบบจำลอง ทางอุทกวิทยาที่แบ่งลุ่มน้ำออกเป็นพื้นที่ย่อย (sub-basins หรือ hydrologic response units – HRUs) แล้วคำนวณกระบวนการทางอุทกวิทยาแยกกันในแต่ละพื้นที่ย่อย โดยในแต่ละหน่วยจะถือว่าเป็น Lumped (รวมพื้นที่) แต่การแบ่ง sub-basin ทำให้สามารถสะท้อนลักษณะความหลากหลาย ของพื้นที่ เช่น ความลาดชัน ประเภทดิน การใช้ที่ดิน และปริมาณฝนที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ **คุณสมบัติหลัก** คือ พื้นที่ลุ่มน้ำถูกแบ่งเป็นหลาย sub-basin หรือ HRUs คำนวณน้ำฝน น้ำท่า การ ระเหย การซึม ฯลฯ แยกในแต่ละ sub-basin พิจารณาความแตกต่างของลักษณะภูมิประเทศใน ระดับหนึ่ง ข้อมูลนำเข้ามากกว่า Lumped แต่น้อยกว่า Distributed **ข้อดี** คือ ความแม่นยำมากกว่า ระบบ Lumped ไม่ซับซ้อนเท่า distributed แต่สะท้อนสภาพพื้นที่ได้ดีพอสมควร ใช้งานได้ หลากหลาย ทั้งงานวิจัยและงานวิศวกรรม ใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลในระดับปานกลาง เหมาะกับ การศึกษาลุ่มน้ำขนาดกลางถึงใหญ่ **ข้อจำกัด** คือ ต้องใช้ข้อมูลภูมิประเทศและการใช้ที่ดินเพื่อแบ่ง sub-basin ความละเอียดขึ้นอยู่กับการแบ่งพื้นที่ ซึ่งต้องพิจารณาอย่างเหมาะสม ความแม่นยำขึ้นอยู่กับ คุณภาพของข้อมูลในแต่ละ sub-basin เช่น แบบจำลอง HEC-HMS (สามารถกำหนด sub-basin

และจำลองแยกตามแต่ละลุ่มย่อยได้) และแบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool): แบ่งพื้นที่ออกเป็น HRUs ตาม land use, soil และ slope

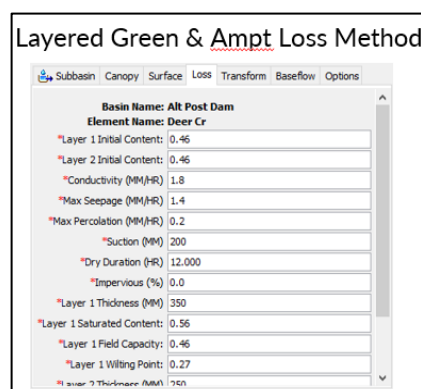


รูปที่ 2-29 แบบจำลองทางอุทกวิทยาตามลักษณะของพื้นที่

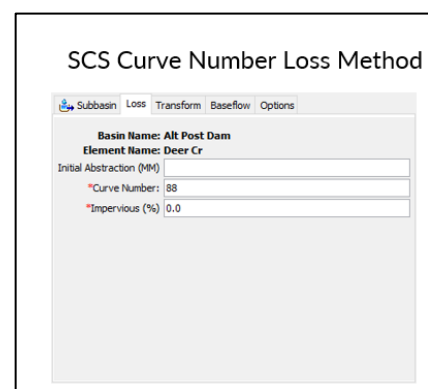
2.2.5 การจำแนกแบบจำลองตามแนวทางการสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองทางอุทกวิทยาสามารถแบ่งตามแนวทางการสร้างแบบจำลอง ออกเป็น 3 ประเภทหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2-30 มีดังต่อไปนี้

- 1) แบบจำลองเชิงกายภาพ (physically-based model) อธิบายกระบวนการทางธรรมชาติโดยใช้สมการทางฟิสิกส์ เช่น การอนุรักษ์มวลและพลังงาน มีความละเอียดสูง
- 2) แบบจำลองเชิงประจักษ์ (empirical model) ใช้ข้อมูลสถิติเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปร เช่น ฝนกับน้ำท่า เช่น Rational Method หรือ SCS-CN Method
- 3) แบบจำลองเชิงแนวคิด (conceptual model) ผสมผสานระหว่างทฤษฎีกับสมการทางคณิตศาสตร์ มีความสมดุลระหว่างความแม่นยำและความง่ายในการใช้



ก) physically-based model



ข) empirical model

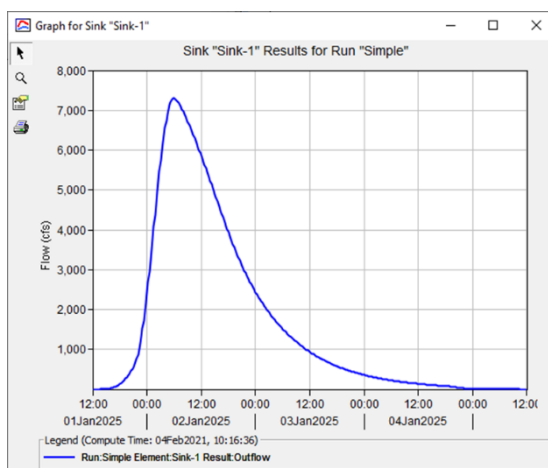
รูปที่ 2-30 แบบจำลองเชิงกายภาพและเชิงประจักษ์

2.2.6 การจำแนกแบบจำลองทางอุทกวิทยาตามความไม่แน่นอน

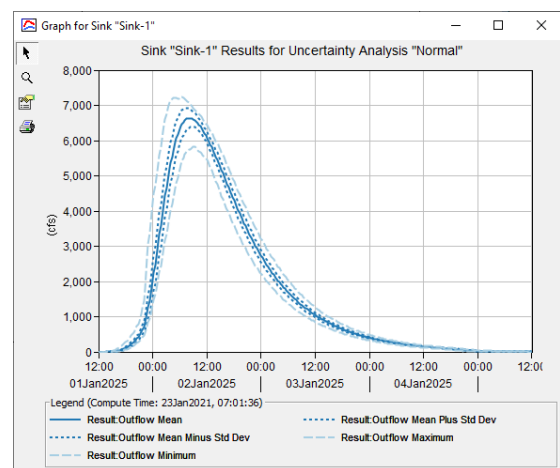
แบบจำลองทางอุทกวิทยาตามลักษณะของความไม่แน่นอน (uncertainty) ที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์หรือผลลัพธ์ของแบบจำลองนั้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบจำลองเชิงกำหนดแน่นอน (deterministic model) และแบบจำลองเชิงสุ่ม (stochastic model) ดังแสดงในรูปที่ 2-31 มีดังต่อไปนี้

1) แบบจำลองเชิงกำหนดแน่นอน (deterministic model) คือ แบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์แน่นอน สำหรับชุดข้อมูลนำเข้า (input) ที่กำหนด ไม่มีความสุ่ม (randomness) เข้ามาเกี่ยวข้อง ถ้าใช้ข้อมูลเดียวกัน ผลลัพธ์จะเหมือนเดิมทุกครั้ง แบบจำลองนี้เหมาะกับระบบที่เข้าใจชัดเจนหรือควบคุมได้ดี

2) แบบจำลองเชิงสุ่ม (stochastic model) คือ แบบจำลองที่ รวมความไม่แน่นอน หรือ ความน่าจะเป็น ไว้ในการคำนวณ สำหรับชุดข้อมูลนำเข้า (input) เดียวกัน ผลลัพธ์อาจแตกต่างกันในแต่ละครั้ง ใช้เพื่ออธิบายระบบธรรมชาติที่มีความแปรปรวน เช่น แบบจำลองการเกิดฝนแบบ Monte Carlo แบบจำลองนี้เหมาะกับระบบธรรมชาติที่มีความแปรปรวนสูง



ก) deterministic model



ข) stochastic model

รูปที่ 2-31 ผลลัพธ์ของแบบจำลองเชิงกำหนดแน่นอนและเชิงสุ่ม

2.2.7 การจำแนกแบบจำลองทางอุทกวิทยาตามพารามิเตอร์

แบบจำลองทางอุทกวิทยาตามพารามิเตอร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบจำลองพารามิเตอร์ที่วัดได้ (measured parameters) และแบบจำลองพารามิเตอร์ปรับค่าได้ (fitted parameters) มีดังต่อไปนี้

1) แบบจำลองพารามิเตอร์ที่วัดได้ (measured parameters) คือ แบบจำลองที่สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์จากคุณสมบัติของระบบ ไม่ว่าจะโดยการวัดโดยตรงหรือโดยวิธีทางอ้อมที่อ้างอิงจากการวัด ตัวอย่างของแบบจำลองประเภทนี้คือแบบจำลองการซึมของน้ำของ Green และ Ampt ซึ่งมีพารามิเตอร์คือค่าการนำของไฮดรอลิก (hydraulic conductivity) และแรง

จุดที่แนวหน้าการเปียก (wetting front suction) ซึ่งทั้งสองค่าดังกล่าวสามารถวัดได้โดยตรงด้วยเครื่องมือที่ฝังไว้ในดินระหว่างรอบการเปียกและแห้ง พารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ใช้ในแบบจำลองการซึมก็สามารถประมาณค่าได้อย่างน่าเชื่อถือหากทราบเนื้อดิน โดยเนื้อดินสามารถระบุได้จากการตรวจสอบดินด้วยตาเปล่าโดยตรง

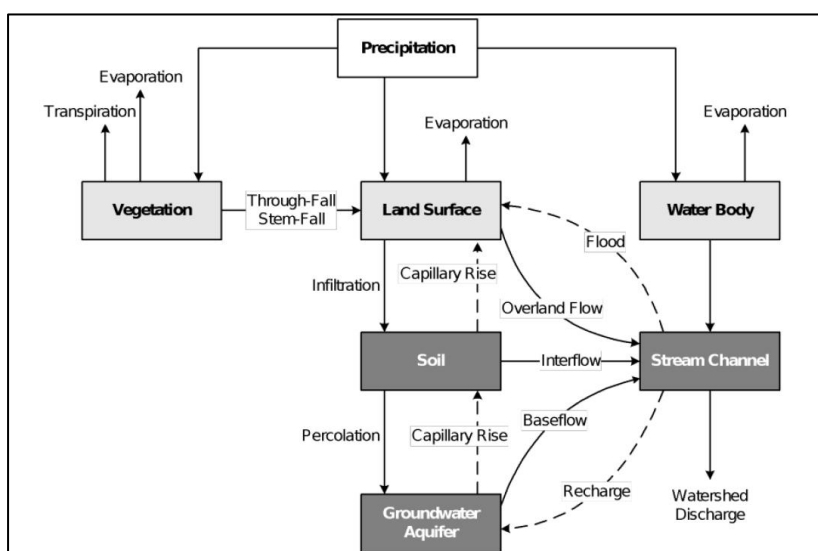
2) แบบจำลองพารามิเตอร์ปรับค่าได้ (fitted parameters) คือ แบบจำลองที่มีพารามิเตอร์ซึ่งไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่ต้องหาค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นโดยการปรับให้สอดคล้องกับค่าที่สังเกตได้ของข้อมูลป้อนเข้าและผลลัพธ์ ตัวอย่างของแบบจำลองประเภทนี้คือแบบจำลองการลำเลียงน้ำของ Muskingum ซึ่งมีพารามิเตอร์ K ที่สามารถประมาณค่าได้โดยตรงจากเวลาที่น้ำเดินทางผ่านช่วงทางน้ำ แต่พารามิเตอร์ X เป็นค่าประมาณเชิงคุณภาพของระดับการลดทอน (attenuation) ในช่วงทางน้ำ โดยค่าของ X ที่ต่ำหมายถึงการลดทอนที่มาก ส่วนค่าที่สูงหมายถึงการเคลื่อนย้ายของน้ำโดยแทบไม่ลดทอนเลย วิธีเดียวที่จะประมาณค่าของ X สำหรับช่วงทางน้ำเฉพาะคือการวิเคราะห์ไฮโดรกราฟต้นน้ำและไฮโดรกราฟของน้ำไหลออกที่เกิดขึ้น

บทที่ 3

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของแบบจำลอง HEC-HMS

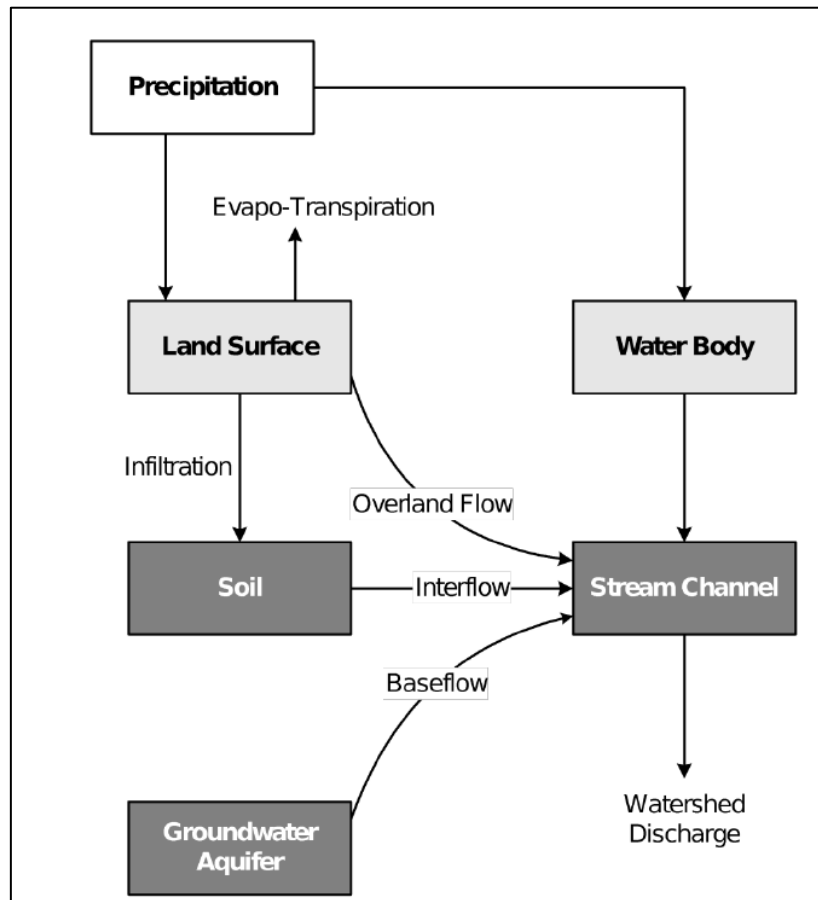
3.1 ลักษณะของแบบจำลอง

หน่วยงาน Hydrologic Engineering Center U.S. Army Corps of Engineers (1998) ประเทศอเมริกา ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) ให้เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปขึ้น โดยร่วมกับศูนย์วิศวกรรมศาสตร์ “Next-Generation Software Development Project” เมื่อเดือนมีนาคม ปี ค.ศ. 1998 แบบจำลองดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปริมาณน้ำท่าที่มาจากน้ำฝน และขั้นตอนการไหลทั้งในสภาพทั่วไปและสภาพที่มีการควบคุม โดยมีพื้นฐานของแบบจำลองจากแบบจำลอง HEC-1 (Flood Hydrograph Package) อย่างไรก็ตามแบบจำลอง HEC-HMS ได้พัฒนาความสามารถของจำลอง HEC-1 ให้เพิ่มขึ้นจากเดิม โดยการเพิ่มความสามารถของการจำลองสภาพการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและระยะทาง (Distribution model) และการจำลองสภาพการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuous simulation) ได้ แบบจำลอง HEC-HMS ประสบความสำเร็จในการใช้งานเป็นอย่างดีจนปัจจุบันได้มีการพัฒนาเป็นเวอร์ชัน 4.12 ในปี ค.ศ. 2023 (USACE, 2023) โดยกระบวนการในการคำนวณข้อมูลฝน และพื้นที่รับน้ำให้เป็นน้ำท่า การเคลื่อนตัวของน้ำท่าผ่านลำน้ำ แม่น้ำ และอ่างเก็บน้ำ โดยกระบวนการของกลุ่มน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3-1 แต่ในแบบจำลองจะมีผังการเกิดน้ำท่า ดังแสดงในรูปที่ 3-2



(ที่มา: USACE, 2023)

รูปที่ 3-1 ผังแสดงกระบวนการเกิดน้ำท่าในกลุ่มน้ำ



(ที่มา: USACE, 2023)

รูปที่ 3-2 ผังแสดงกระบวนการเกิดน้ำท่าของแบบจำลอง HEC-HMS

แบบจำลอง HEC-HMS สามารถแบ่งประเภทแบบจำลองหลักตามกระบวนการเกิดปริมาณน้ำท่า จากรูปที่ 3-2 ได้ 4 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองการสูญเสียน้ำ (loss model) แบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง (direct runoff models) แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow models) และแบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ (routing models) แบบจำลองทั้ง 4 ประเภทได้แบ่งออกเป็นแบบจำลองย่อยอีกหลายแบบจำลอง เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้ใช้ได้เลือกใช้ตามความเหมาะสมของงานแต่ละประเภท ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.1 แบบจำลองการสูญเสียน้ำ (loss model) อาจเรียกว่า แบบจำลองปริมาตรน้ำท่า (runoff-volume Models) เป็นแบบจำลองการสูญเสียของปริมาณฝน โดยที่เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการสูญเสียของปริมาณน้ำฝนจากการซึม (infiltration) ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองย่อย 10 แบบจำลอง โดยที่แต่ละแบบจำลองสามารถแยกเป็นประเภทได้ ดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 แบบจำลองย่อยของแบบจำลองการสูญเสียน้ำ

ลำดับที่	แบบจำลอง	ประเภทของแบบจำลอง			
1	Deficit and constant	continuous	spatially averaged (lumped)	conceptual	measured parameter
2	Exponential	event	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
3	Green and Ampt	event	spatially averaged (lumped)	conceptual	measured parameter
4	Gridded deficit and constant	continuous	distributed	conceptual	measured parameter
5	Gridded SCS curve number (CN)	event	distributed	empirical	fitted parameter
6	Gridded Soil Moisture Accounting (SMA)	continuous	distributed	empirical	fitted parameter
7	Initial and constant	event	spatially averaged (lumped)	conceptual	fitted and measured parameter
8	SCS curve number (CN)	event	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
9	Smith Parlange	event	spatially averaged (lumped)	conceptual	measured parameter
10	Soil moisture accounting (SMA)	continuous	spatially averaged (lumped)	conceptual	fitted and measured parameter

3.1.2 แบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง (direct runoff models) เป็นแบบจำลองใช้ในการอธิบายเกี่ยวกับกระบวนการของปริมาณน้ำที่ไม่ได้ซึมผ่านลงสู่ชั้นใต้ดินหรือเก็บกักไว้บนผิวดิน ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองย่อย 7 แบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 แบบจำลองย่อยของแบบจำลองปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นโดยตรง

ลำดับที่	แบบจำลอง	ประเภทของแบบจำลอง			
		event	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
1	User-specified unit hydrograph (UH)	event	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
2	User-specified s-graph	event	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
3	Clark's UH	event	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
4	Snyder's UH	event	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted and measured parameter
5	SCS UH	event	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
6	ModClark	event	distributed	empirical	fitted parameter
7	Kinematic wave	continuous	spatially averaged (lumped)	conceptual	measured parameter

3.1.3 แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow models) เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองการไหลจากพื้นที่รับน้ำใต้ดิน ที่ออกจากระบบและไหลเข้าสู่ลำน้ำ ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองย่อย 5 แบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 แบบจำลองย่อยของแบบจำลองปริมาณการไหลพื้นฐาน

ลำดับที่	แบบจำลอง	ประเภทของแบบจำลอง			
		event	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
1	Bounded recession	event	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
2	Constant monthly	continuous	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
3	Exponential recession	event	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
4	Linear reservoir	continuous	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
5	Nonlinear Boussinesq	event	spatially averaged (lumped)	conceptual	measured parameter

3.1.4 แบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ (routing models) เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการจำลอง กระบวนการเคลื่อนตัวของปริมาณน้ำท่าทั้งในสภาพธรรมชาติและในสภาพที่ถูกควบคุมด้วยอาคารทางชลศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองย่อย 8 แบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 แบบจำลองย่อยของแบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ

ลำดับที่	แบบจำลอง	ประเภทของแบบจำลอง			
1	Kinematic wave	continuous	spatially averaged (lumped)	conceptual	measured parameter
2	Lag	continuous	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
3	Modified Puls	continuous	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
4	Muskingum	event	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
5	Muskingum-Cunge	continuous	spatially averaged (lumped)	quasi-conceptual	measured parameter
6	Straddle-stagger	continuous	spatially averaged (lumped)	empirical	fitted parameter
7	Confluence	continuous		conceptual	measured parameter
8	Bifurcation	continuous		conceptual	measured parameter
9	Reservoir	continuous		empirical or conceptual	measured parameter

3.2 ความสามารถของแบบจำลอง

3.2.1 คุณสมบัติของการเลือกลักษณะฝน (Precipitation specification) ซึ่งสามารถอธิบายและตรวจสอบเหตุการณ์และความถี่ของฝน (frequency-base hypothetical precipitation) หรือเหตุการณ์ที่เป็นตัวแทนสูงสุดของฝนที่น่าจะเกิดขึ้นได้ตามสภาพที่กำหนด

3.2.2 แบบจำลองการสูญเสียน้ำ (loss model) ซึ่งสามารถคาดคะเนปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝน และ คุณสมบัติของพื้นที่รับน้ำ (watershed)

3.2.3 แบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง (direct runoff models) ซึ่งจะแสดงการไหลบนผิวดิน (overland flow) การถูกเก็บกักไว้โดยพืช (interception) การเก็บกักในที่ต่ำ (depression storage) และการสูญเสียพลังงานของน้ำที่ไหลจากพื้นที่รับน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

3.2.4 แบบจำลองการเคลื่อนตัวทางชลศาสตร์ (hydrologic routing model) เป็นการแสดงการไหลของน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ

3.2.5 แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (base flow model) แสดงถึง การไหลของน้ำที่มาจาก การซึมผ่านชั้นดินที่ค่อยๆ ไหลออกมาแม้ไม่มีฝน

3.2.6 แบบจำลองการวัดอาคารบังคับน้ำ (water control measure) รวมถึงการเบี่ยงเบนจากอาคารบังคับน้ำ (diversion) และอ่างเก็บน้ำ (storage facility)

3.2.7 แบบจำลองการกระจายการไหล ใช้กับข้อมูลการกระจายตัวของฝน ข้อมูลดังกล่าวนี้สามารถนำมาจาก การเก็บข้อมูลอย่างละเอียด ของเรดาร์วัดภูมิอากาศ

3.2.8 แบบจำลองแสดงความต่อเนื่อง ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินอย่างต่อเนื่อง ใช้สำหรับการคำนวณสภาพของพื้นที่รับน้ำในระยะยาว

3.2.9 การปรับเทียบแบบจำลองแบบอัตโนมัติ (auto calibration model) สามารถ คัดคะเนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยวิธี optimization โดยการกำหนดสถานะเบื้องต้น และสภาพ ภูมิอากาศเบื้องต้นต่างๆ (hydro meteorological)

3.2.10 สามารถนำไปเชื่อมโยงกับฐานข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อมูลและเชื่อมโยงกับเครื่องมือการ วิเคราะห์ที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ ของแบบจำลอง HEC-HMS และจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ

3.3 การคำนวณของแบบจำลอง

แบบจำลอง HEC-HMS สามารถแบ่งประเภทแบบจำลองหลักตามกระบวนการเกิดปริมาณ น้ำท่า ได้ 4 ประเภท โดยได้แสดงไว้ในหัวข้อ 3.1 มีดังต่อไปนี้

1) แบบจำลองการสูญเสีย (loss model) ประกอบด้วย แบบจำลองย่อย 10 แบบจำลอง

2) แบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง (direct runoff models) ประกอบด้วย แบบจำลองย่อย 7 แบบจำลอง

3) แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow models) ประกอบด้วย แบบจำลองย่อย 5 แบบจำลอง

4) แบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ (routing models) ประกอบด้วย แบบจำลองย่อย 9 แบบจำลอง

แบบจำลองหลักทั้ง 4 ประเภทได้แบ่งออกเป็นแบบจำลองย่อยอีกหลายแบบจำลอง ซึ่งในแต่ละแบบจำลองย่อย มีรายละเอียดของแต่ละแบบจำลองที่แตกต่างกัน โดยรายละเอียดสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ใน HEC-HMS Technical Reference Manual ในคู่มือนี้จะยกตัวอย่าง โดยแบบจำลอง การสูญเสีย (loss model) จะเป็นแบบจำลองย่อย SCS ส่วนแบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง (direct runoff models) จะเป็นแบบจำลองย่อย SCS Unit Hydrograph ในขณะที่แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow models) จะเป็นแบบจำลองย่อย Constant Monthly และ

สุดท้ายแบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ (routing models) จะเป็นแบบจำลองย่อย Muskingum

3.3.1 แบบจำลองการสูญเสีย (loss model)

Chow et al. (1988) กล่าวว่า Soil Conservation Service (1972) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้พัฒนาวิธีในการคำนวณการสูญเสียเริ่มแรกจากพายุฝน สำหรับพายุฝนทั้งหมด ความลึกของปริมาณฝนส่วนเกินหรือ Direct runoff (P_e) การประมาณค่าน้ำฝนส่วนเกิน จากการใช้ค่าสะสมของปริมาณน้ำฝน สิ่งปกคลุมดิน การใช้งานที่ดิน และความชื้นที่มีอยู่ในดิน ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็น การจำลองการสูญเสีย ปริมาณน้ำท่าหรือเรียกว่า loss model การศึกษาในครั้งนี้ใช้แบบจำลองหมายเลขโค้งน้ำท่าของ SCS จากสมการที่ 3-1

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (3-1)$$

โดยที่	P_e	คือ	ปริมาณน้ำฝนส่วนเกินสะสมที่เวลา t
	P	คือ	ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เวลา t
	I_a	คือ	ค่าสูญเสียเริ่มต้น
	S	คือ	ความสามารถการเก็บกักสูงสุด วัดได้จากความสามารถของพื้นที่รับน้ำในการสูญเสียและเก็บกักน้ำฝนไว้ จนกว่าค่าสะสมของปริมาณน้ำฝนมากกว่าค่าสูญเสียเริ่มต้นแล้วเกิดเป็นน้ำฝนส่วนเกินหรือเรียกว่าน้ำท่า ค่า s จะมีค่าเป็นศูนย์

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองของพื้นที่รับน้ำขนาดเล็ก SCS ได้กำหนดความสัมพันธ์ I_a และ S ไว้ดังสมการที่ 3-2

$$I_a = 0.2S \quad (3-2)$$

ดังนั้นค่าสะสมของน้ำฝนส่วนเกินที่เวลา t มีค่าดังสมการที่ 3-3

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3-3)$$

ปริมาณน้ำฝนส่วนเกินที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลาคำนวณจากความแตกต่างของค่าสะสมส่วนเกิน ณ จุดสิ้นสุดและจุดเริ่มต้นของแต่ละช่วงเวลา ความสามารถในการเก็บกักสูงสุด (S) และลักษณะของพื้นที่รับน้ำมีความเกี่ยวข้องกันผ่านทาง curve number หรือเรียกย่อ ๆ ว่า CN จะมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 3-4

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (3-4)$$

โดยที่ S มีหน่วยเป็น มม. และค่า curve number (CN) เป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้แทนตัวแปร S โดยให้มีความสัมพันธ์กับชนิดของดิน (soil type) และลักษณะการใช้ดิน (land use) ซึ่งค่า CN นี้บอกถึงศักยภาพของการเกิดปริมาณน้ำท่าผิวดิน ถ้าค่า CN มีค่ามาก แสดงว่าศักยภาพในการไหลผิวดินสูง ค่า CN มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 ความสัมพันธ์กับความลึกของน้ำท่าที่ปริมาณน้ำฝนต่างๆ

Soil Conservation Service (1985) ยังกล่าวต่อไปอีกว่า จากความหมายทางกายภาพของ S หมายถึง ศักยภาพการสูญเสียสูงสุดที่เหลืออยู่ คือปริมาณของช่องโพรงดินที่เหลืออยู่ (available void storage) ซึ่งยังไม่ถูกแทนที่ด้วยน้ำนั่นเอง ดังนั้นเราจึงพบว่าค่า S มีค่ามากเมื่อความชื้นในดินต่ำ โดยค่า S มีค่ามากที่สุดเมื่อไม่มีค่าความชื้นในดินเลย เพื่อความง่ายและสะดวก SCS จึงกำหนดค่า CN ต่างๆ ที่แสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่านั้น เป็นค่า CN ของพื้นที่ที่มีสภาพความชื้นก่อนหน้านั้น antecedent moisture condition (AMC) หมายถึง ปริมาณน้ำฝนสะสมทั้งหมดที่ตกก่อนหน้าพายุฝนที่พิจารณา 5 วัน และยังพิจารณาช่วงฤดูกาลเพาะปลูกของพืชด้วย โดยปกติอยู่ในระดับปานกลาง (AMC II) แต่ความชื้นที่แห้งกว่าปกติ (AMC I) หรือสภาพความชื้นที่สูงกว่าปกติ (AMC III) โดยการแบ่ง AMC เป็น 3 ชนิด ส่วนค่า CN สำหรับสภาพดังกล่าวสามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 3-5 และสมการที่ 3-6

$$CN(AMC.I) = \frac{4.2 * CN(AMC.II)}{10 - 0.058 * CN(AMC.II)} \quad (3-5)$$

$$CN(AMC.III) = \frac{23 * CN(AMC.II)}{10 + 0.13 * CN(AMC.II)} \quad (3-6)$$

จากสมการที่ 3-5 และสมการที่ 3-6 คำนวณค่า CN ทั้ง 3 กรณี (AMC) Soil Conservation Service (1985) ได้สรุปว่า ค่า CN จะมีความสัมพันธ์กับชนิดของดิน (Soil type) สภาพการใช้ที่ดิน (land use) ภาวะความชื้นของดิน (antecedent moisture conditions) และความลาดชันของพื้นที่ ถ้า CN มีค่ามากกว่า ศักยภาพในการเกิดน้ำท่าสูง กรณี Ia = 0.2S จะมีค่า CN ของพื้นที่ที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต่าง ๆ กัน ซึ่งแบ่งพื้นที่ที่เป็นตัวเมือง พื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ พื้นที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง โดยปกติประเภทของสิ่งปกคลุมดินได้จากการสำรวจภาคสนาม และแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินสภาพอุทกวิทยา (Hydrologic Condition) แบ่งออกเป็น 3 สภาพดังนี้

สภาพไม่ดี (poor) คือ พืชปกคลุมพื้นที่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

สภาพพอใช้ (fair) คือ พืชปกคลุมพื้นที่ระหว่าง 50-75 เปอร์เซ็นต์

สภาพดี (good) คือ พืชปกคลุมพื้นที่มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์

โดยได้กำหนดชนิดของดินเป็น 4 ชุด โดยใช้อัตราการซึมที่แตกต่างกันเป็นเกณฑ์ดังนี้

ดินชุด A มีศักยภาพของปริมาณน้ำท่าต่ำ และอัตราการซึมลงดินสูง แม้จะได้รับน้ำตลอดเวลา ชั้นดินหน้าลึก ประกอบด้วยทรายหรือกรวด ที่มีการระบายน้ำสูงและเร็วในอัตราการซึมมากกว่า 0.30 นิ้วต่อชั่วโมง

ดินชุด B มีอัตราการซึมลงดินปานกลางแม้ได้รับน้ำตลอดเวลา เป็นดินลึกปานกลาง เนื้อดินละเอียดปานกลางถึงค่อนข้างหยาบ มีอัตราการซึม 0.15 ถึง 0.30 นิ้วต่อชั่วโมง

ดินชุด C มีอัตราการซึมลงดินต่ำ เมื่อได้รับน้ำตลอดเวลาประกอบด้วยดินที่มีชั้นดินที่บ้น้ำซึ่งมีเนื้อดินละเอียด มีอัตราการซึม 0.05 ถึง 0.15 นิ้วต่อชั่วโมง

ดินชุด D มีศักยภาพของปริมาณน้ำท่าสูง มีอัตราการซึมลงดินต่ำ ขณะได้รับน้ำตลอดเวลาประกอบด้วยดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะบริเวณใกล้ผิวหน้า ระดับน้ำใต้ดินจะอยู่สูงตลอดเวลา มีอัตราการซึมของน้ำ 0 ถึง 0.05 นิ้วต่อชั่วโมง

การประมาณค่า CN ของพื้นที่รับน้ำสามารถประมาณได้จากการใช้งานที่ดิน ประเภทของดิน ความชื้นเริ่มต้นที่มีในดิน และสำหรับพื้นที่รับน้ำที่ประกอบด้วยดินหลายประเภท หรือการใช้งานที่ต่างกัน ผลรวมของ CN คำนวณได้จากสมการที่ 3-7

$$CN_{COMPOSITE} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \quad (3-7)$$

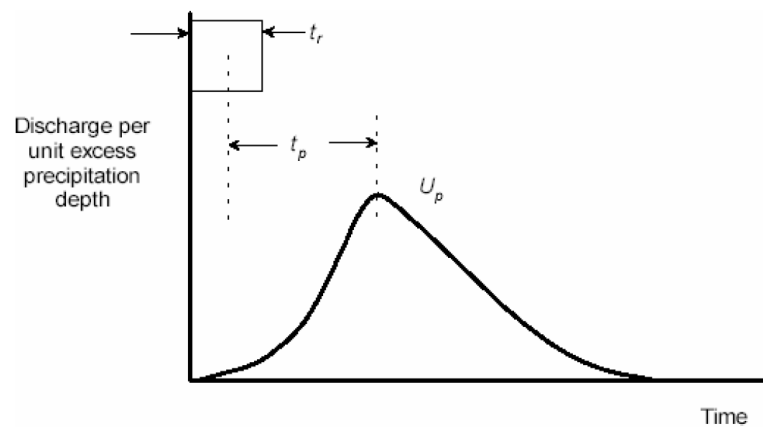
โดยที่	$CN_{COMPOSITE}$	คือ	ค่า CN รวมของการคำนวณปริมาณน้ำท่าใน HEC- HMS
	i	คือ	ค่าดัชนีของพื้นที่รับน้ำย่อยที่มีดินชนิดเดียวกันและมีการใช้งานที่ดินเหมือนกัน
	CN_i	คือ	ค่า CN สำหรับพื้นที่ย่อย i
	A_i	คือ	พื้นที่ระบายน้ำของพื้นที่ย่อย i

3.3.2 แบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง (direct runoff models)

Snyder (1938) ได้กำหนด Lag ความแตกต่างของช่วงเวลาระหว่างเวลาที่เกิดค่าสูงสุด peak กับเวลาที่จุด centroid ของกราฟแสดงความเข้มของปริมาณฝนส่วนเกิน อัตราการไหลสูงสุด (peak flow) และพื้นฐานเวลารวม (total time base) เป็นตัวแปรสำคัญของ UH ดังแสดงในรูปที่ 3-3 และกำหนด UH มาตรฐาน ของช่วงเวลาที่เกิดฝนหนึ่งครั้ง t_r สัมพันธ์กับ Lag และ t_p ดังสมการที่ 3-8

$$t_p = 5.5 * t_r \quad (3-8)$$

ดังนั้นถ้าทราบช่วงเวลาที่เกิดฝน สามารถหาค่า Lag และค่าสูงสุด (Peak) ได้ ถ้าช่วงเวลาของ UH ที่ต้องการมีค่าแตกต่างกับค่าในสมการที่ 3-8 ค่า Lag สามารถหาได้จากสมการที่ 3-9



(ที่มา: USACE, 2000)

รูปที่ 3-3 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของ Snyder

$$t_{pR} = t_p \frac{t_r t_R}{4} \quad (3-9)$$

โดยที่ t_r คือ ช่วงเวลาของ UH ที่ต้องการ
 t_{pr} คือ Lag ของ UH ที่ต้องการ

ในกรณีปกติ Snyder (1938) ค้นพบว่า Lag ของ UH และค่าสูงสุดต่อหน่วยของ ปริมาณฝนส่วนเกินต่อพื้นที่ของพื้นที่รับน้ำมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 3-10

$$\frac{U_p}{A} = C \frac{C_p}{t_p} \quad (3-10)$$

โดยที่ U_p คือ ค่าสูงสุดของ UH มาตรฐาน
 A คือ พื้นที่ของพื้นที่รับน้ำ
 C_p คือ สัมประสิทธิ์ค่าสูงสุดของ UH
 C คือ ค่าคงที่ในการแปลงหน่วย (2.75 สำหรับ SI และ 640 สำหรับฟุต-ปอนด์)

สำหรับช่วงเวลาอื่น ๆ ค่าสูงสุด Q_{pr} คำนวณได้จากสมการที่ 3-11

$$\frac{U_{pR}}{A} = C \frac{C_p}{t_{pR}} \quad (3-11)$$

แบบจำลอง UH ของ Snyder ต้องการค่า Lag มาตรฐาน t_p และสัมประสิทธิ์ C_p แบบจำลอง HEC-HMS ได้กำหนดค่า t_{pR} ของสมการที่ 3-9 เท่ากับช่วงเวลาย่อย และแก้สมการที่ 3-

10 เพื่อหาค่า Lag ของ HU ที่ต้องการ จากนั้นจึงแก้สมการที่ 3-11 เพื่อหาค่าสูงสุด Snyder ได้เสนอว่าควรที่จะกำหนดความสัมพันธ์ของพื้นฐานเวลาของ UH และแบบจำลอง HEC-HMS ได้ใช้ความสัมพันธ์ในการคำนวณค่าสูงสุดและเวลาที่เกิด เพื่อหา UH จากนั้นจะหาค่าพื้นฐานเวลาและค่าในแต่ละจุดนอกเหนือจากจุดสูงสุดการประมาณค่าตัวแปรของแบบจำลอง UH ของ Snyder

Snyder (1938) เก็บข้อมูลฝนและน้ำท่าจากสถานีวัดน้ำ นำมาสร้าง UH ด้วยวิธีที่กล่าวมาแล้วกำหนดตัวแปรของ UH ที่ได้สร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่กำหนดไว้กับคุณลักษณะที่สามารถวัดได้ของพื้นที่รับน้ำ สำหรับค่า Lag นั้น Snyder เสนอแนะ t_p ดังสมการที่ 3-12

$$t_p = CC_t(LL_c)^{0.3} \quad (3-12)$$

โดย C_t คือ สัมประสิทธิ์ของพื้นที่รับน้ำ
 L คือ ความยาวของลำน้ำหลักจากทางออกถึงจุดแบ่ง
 L_c คือ ความยาวของลำน้ำหลักจากทางออกถึงจุด centroid ของพื้นที่รับน้ำ
 C คือ ค่าคงที่การแปลงหน่วย 0.75 สำหรับ SI และ 1.00 สำหรับฟุต-ปอนด์

ค่า C_t ของสมการที่ 3-12 และ C_p ของสมการที่ 3-10 สามารถหาได้จากการ calibration จากรายงานของ Bedient และ Huber (2002) ค่า C_t ควรจะอยู่ระหว่าง 1.8-2.2 ถึงแม้ว่าค่านี้จะมีความแตกต่างกันมาก เช่น ในเขตภูเขาเท่ากับ 0.4 และอ่าวเม็กซิโกเท่ากับ 0.8 และค่า C_p อยู่ระหว่าง 0.4-0.8 โดยที่ค่า C_p มีค่ามากเมื่อ C_t มีค่าน้อย อีกรูปแบบของการประมาณค่าตัวแปรเป็นของ Los Angeles District ตาม USACE (1994) ดังสมการที่ 3-13

$$t_p = CC_t \left(\frac{LL_c}{\sqrt{S}} \right)^N \quad (3-13)$$

โดย S คือ ความชันทั้งหมดของลำน้ำที่ยาวที่สุดจากจุด Centroid ถึงของเขตของพื้นที่รับน้ำ

N คือ เลขยกกำลังโดยทั่วไปมีค่า 0.33

หรือมีการกำหนด t_p มีความสัมพันธ์กับ t_c (watershed time of concentration คือเวลาของการไหลที่จุดต่าง ๆ ในพื้นที่ถึงทางออก) โดยกำหนด t_p มีค่า 50-75 % ของ t_c

3.3.3 แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow models)

การไหลของน้ำท่าในลำน้ำ (stream Flow) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ น้ำท่าผิวดิน (direct runoff) จากฝนและการไหลพื้นฐาน (base flow) การไหลพื้นฐานเป็นการรักษาน้ำท่าที่ค้างอยู่ชั่วคราวในพื้นที่รับน้ำจากฝนที่ผ่านไปแล้วยั้วรวมถึงน้ำท่าใต้ดิน (subsurface runoff) ที่คงเหลือจากพายุฝนที่ผ่านไปแล้ว

Chow et al. (1988) กล่าวว่า การจำลองการไหลพื้นฐานวิธีการถดถอย มักใช้ในการอธิบายการระบายน้ำจากระบบเก็บกักตามธรรมชาติในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยการหาความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 3-14

$$Q_t = Q_0 k^t \quad (3-14)$$

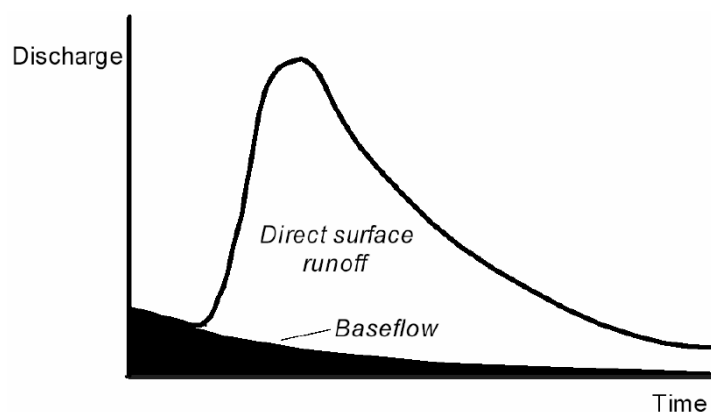
เมื่อ Q_t คือ ปริมาณการไหลพื้นฐาน ที่เวลา t ใดๆ

Q_0 คือ ปริมาณการไหลพื้นฐานเริ่มต้น (ที่เวลา $t=0$)

K คือ เลขคงที่ยกกำลัง

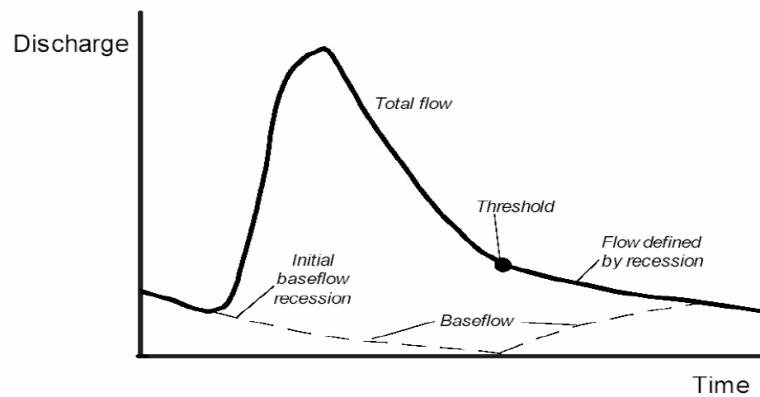
จากรูปที่ 3-4 พื้นที่สีดำ เป็นตัวแทนของการไหลพื้นฐาน ซึ่งมีการลดลงแบบยกกำลังจากปริมาณเริ่มต้น ปริมาณการไหลทั้งหมด คือ ผลรวมของการไหลพื้นฐานและการไหลของน้ำท่าผิวดิน ในแบบจำลอง HEC-HMS ค่า k คือ อัตราส่วนระหว่างการไหลพื้นฐานที่เวลา t กับการไหลพื้นฐานของวันที่ผ่านมาแล้ว การไหลพื้นฐานเริ่มต้น Q_0 เป็นสถานะเริ่มต้นของแบบจำลองสามารถกำหนดเป็นอัตราการไหล ($\text{ม.}^3/\text{วินาที}$) หรือปริมาณการไหลต่อหน่วยพื้นที่ ($\text{ม.}^3/\text{วินาที}/\text{กม.}^2$)

แบบจำลองการไหลพื้นฐานสามารถกำหนดให้เริ่มต้นพร้อมพายุหรือหลังจากเกิดพายุ ในลักษณะของการไหลใต้ผิวดิน ดังแสดงในรูปที่ 3-5 หลังจากน้ำท่าผิวดินมีค่าสูงสุด ค่าอัตราการไหล threshold ที่ผู้ใช้กำหนดเป็นเวลาที่แบบจำลองการถดถอยในสมการที่ 3-14 การกำหนดปริมาณการไหลทั้งหมด (total flow) ที่จุด threshold นั้นแสดงถึงอัตราการไหลในรูปของอัตราส่วนสูงสุดสูงสุดเป็น 0.10 และคำนวณปริมาณการไหลสูงสุดได้ 1,000 $\text{ม.}^3/\text{วินาที}$ ดังนั้น อัตราการไหล threshold มีค่า 100 $\text{ม.}^3/\text{วินาที}$ อัตราการไหลใต้ผิวดินจะคำนวณได้จากสมการที่ 3-14 ด้วยค่า Q_0 เท่ากับ threshold ที่กำหนด



(ที่มา: USACE, 2000)

รูปที่ 3-4 กราฟ Initial base flow recession

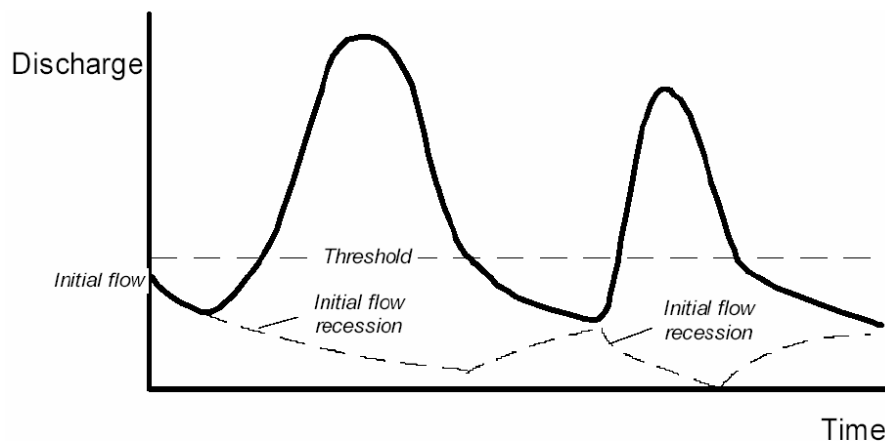


(ที่มา: USACE, 2000)

รูปที่ 3-5 กราฟ Baseflow model illustration

ที่จุดอัตราการไหล threshold การไหลพื้นฐานถูกกำหนดจากการถดถอยของการไหลพื้นฐานเริ่มต้น หลังจากนั้นไม่คำนวณการไหลพื้นฐานผิวดิน แต่หาค่าจากอัตราการไหลที่ถดถอยลงของน้ำท่าผิวดิน จนกระทั่งน้ำท่าผิวดินมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งฝนได้ผ่านออกไปจากพื้นที่รับน้ำแล้ว อัตราการไหลรวม (total flow) และการไหลพื้นฐานมีค่าเท่ากัน

หลังจากเกิดการไหล threshold ปริมาณการไหลของน้ำท่าคำนวณจากแบบจำลองการถดถอยเท่านั้น ยกเว้นผลรวมของน้ำท่า และการไหลพื้นฐานเริ่มต้นมีค่าสูงกว่าค่า threshold ซึ่งเกิดในกรณีที่ฝนเกิดตามหลังมาทำให้กราฟน้ำท่ามีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในกรณีนี้อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นครั้งที่สองนี้ คำนวณจากการนำน้ำท่าผิวดินมารวมเข้าด้วยกันกับปริมาณที่เริ่มต้นถดถอย ดังรูปที่ 3-6



(ที่มา: USACE, 2000)

รูปที่ 3-6 กราฟ recession with multiple runoff peaks

3.3.4 แบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ (routing models)

วีระพล (2528) กล่าวว่า เมื่อทราบข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะของ storage และ input หรือ inflow hydrograph วิธีการ flood routing สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ reservoir routing และ stream flow หรือ channel routing สำหรับ reservoir routing เป็นวิธีการที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของปริมาตรการเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ ต่อรูปร่างของกราฟน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่าง และไหลออกจากอ่างเก็บน้ำในเวลาต่อมา ส่วน stream flow routing นั้นเป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาผลการเปลี่ยนรูปร่างกราฟน้ำท่าของ flood wave เมื่อเคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำ

Chow et al. (1988) กล่าวว่า ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำท่านั้นสามารถกระทำได้ 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ วิธีการเคลื่อนตัวของระบบแบบลัมพ์ (lumped system routing) และวิธีการเคลื่อนที่ของระบบแบบดิสตริบิวท์ (distributed system routing)

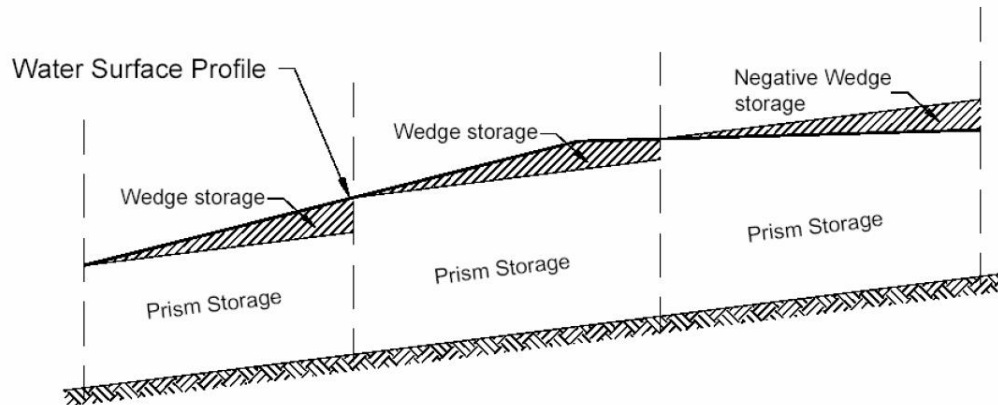
1) วิธีการเคลื่อนที่ของระบบแบบลัมพ์ (lumped system routing) หมายถึงการเคลื่อนที่ทางอุทกวิทยา (hydrologic routing) โดยแบบจำลองของระบบ (lumped system model) นั้น น้ำท่าถูกคำนวณให้เป็นฟังก์ชันของเวลาเพียงอย่างเดียว ณ จุดที่พิจารณา

2) วิธีการเคลื่อนที่ของระบบแบบดิสตริบิวท์ (distributed system routing) หมายถึงการเคลื่อนที่ทางชลศาสตร์ (hydraulic routing) โดยแบบจำลองของระบบ (distributed system mode) นั้น น้ำท่าถูกคำนวณให้เป็นฟังก์ชันของ (time) และสถานที่ (space)

USACE (2000) ได้อธิบายวิธีการเคลื่อนตัวของระบบแบบลัมพ์ โดยวิธีของ Muskingum ว่าเป็นวิธีที่ใช้กันแพร่หลายและง่าย แบบจำลองอยู่บนพื้นฐานการแก้ปัญหาจากรูปแบบดังต่อไปนี้ของ สมการ continuity ดังสมการที่ 3-15

$$\left(\frac{I_{t-1} + I_t}{2}\right) - \left(\frac{O_{t-2} + O_t}{2}\right) = \left(\frac{S_t - S_{t-1}}{\Delta t}\right) \quad (3-15)$$

การเก็บกักในลุ่มน้ำเป็นแบบจำลองที่คล้ายกับการรวมของ prism storage และ wedge storage โดยที่ prism storage เป็นปริมาตรที่หาโดย steady flow water surface profile ในขณะที่ wedge storage เป็นการเพิ่มปริมาตรโดยภายใต้ภาพตัด ของคลื่นน้ำท่วม (flood wave) ระหว่างช่วงการขึ้นของน้ำท่วม wedge storage ถูกเพิ่มเข้าไปที่ prism storage ระหว่างช่วงการตกของน้ำท่วม wedge storage เป็นลบและถูกหักออกจาก prism storage ดังแสดงในรูปที่ 3-7



(ที่มา: USACE, 2000)

รูปที่ 3-7 ปริมาตรในส่วน wedge storage

ปริมาตรของ prism storage เป็นอัตราการไหล (O) คูณกับช่วงระยะเวลาที่จะถึง reach (K) ปริมาตรของ wedge storage เป็นน้ำหนักระหว่างการไหลเข้าและการไหลออก คูณกับช่วงเวลาที่เข้าจะถึง reach (K) ดังนั้น แบบจำลอง Muskingum เพื่อหาการเก็บกัก ดังสมการที่ 3-16

$$S_t = KO_t + KX(I_t - O_t) = K[XI_t + (1 - X)O_t] \quad (3-16)$$

โดยที่ K คือ ช่วงเวลาของคลื่นน้ำท่วมที่ไปถึงเส้นทาง reach

X คือ ช่วงน้ำหนัก ($0 < X < 0.5$)

ค่า $XI_t + (1-X)O_t$ เป็นน้ำหนักการไหล ถ้าการเก็บกักในลุ่มน้ำถูกควบคุมโดยสภาพ downstream control ดังนั้น การเก็บกักและการไหลออกมีความสัมพันธ์กันมาก เช่นในกรณี X เท่ากับ 0 สมการที่ 2-27 จะได้ $S = KO$ ถ้า $X = 0.5$ คือการไหลออกและไหลเข้ามีน้ำหนักเท่ากัน และผลที่ได้คือคลื่นที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งไม่ทำให้น้อยลงในขณะที่มีการเคลื่อนที่ลงไปตามด้านท้ายน้ำ

บทที่ 4

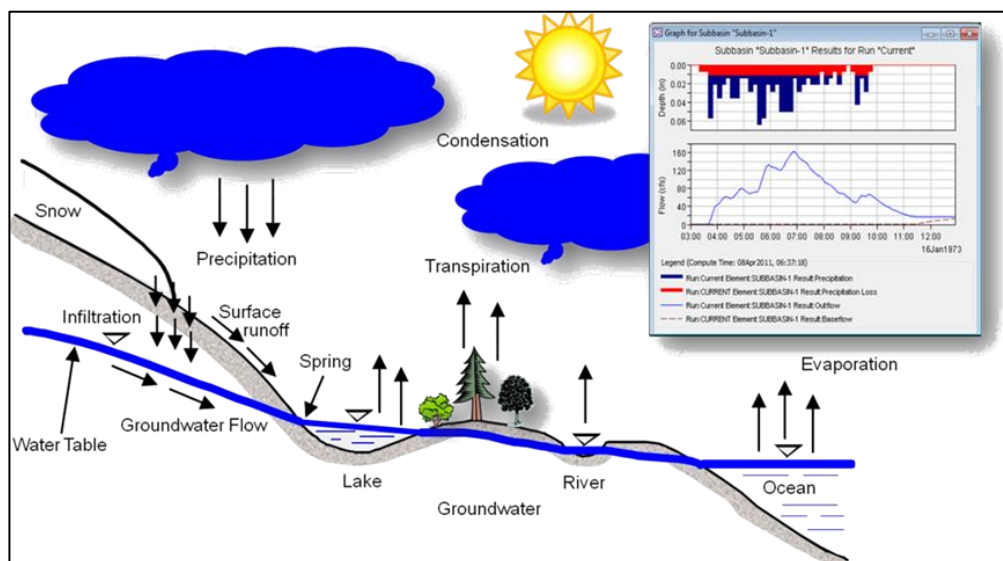
ภาพรวมของแบบจำลอง HEC-HMS และการเตรียมข้อมูลนำเข้า

4.1 ภาพรวมของแบบจำลอง HEC-HMS

4.1.1 บทนำ

ระบบแบบจำลองอุทกวิทยา (Hydrologic Modeling System - HMS) ถูกออกแบบมาเพื่อจำลองอุทกวิทยาของน้ำผิวดิน โปรแกรมนี้สามารถ และเคยถูกใช้ในการจำลองระบบอุทกวิทยาในเขตภูมิอากาศแบบอบอุ่นและเขตร้อนทั่วโลก หากเคยเรียนวิชาอุทกวิทยา ภาพนี้น่าจะคุ้นตา คือแผนภาพของวัฏจักรอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle) ดังแสดงในรูปที่ 4-1 สำหรับแต่ละกระบวนการในวัฏจักร แบบจำลอง HMS มีตัวเลือกของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลากหลายแบบเพื่อจำลองกระบวนการนั้น เพื่อให้ง่ายต่อการจำลองแบบจำลอง HEC-HMS มีส่วนติดต่อผู้ใช้แบบกราฟิกที่หลากหลาย ได้แก่ : แผนที่ของลุ่มน้ำ ฟังก์ชัน “คลิกเพื่อระบุ” สำหรับป้อนและอัปเดตข้อมูล การแสดงผลการจำลองทั้งในรูปแบบกราฟ และตาราง

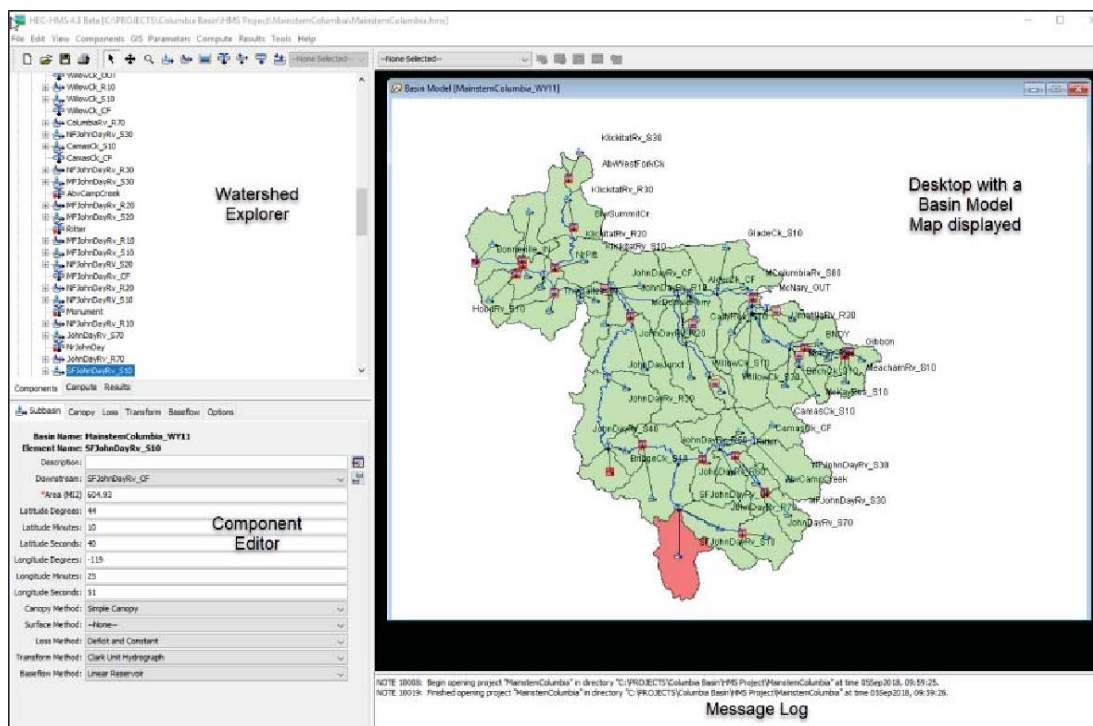
ข้อจำกัดหนึ่งของแบบจำลองที่ควรกล่าวถึง คือ การแทนค่าแหล่งน้ำใต้ดิน (Groundwater) ในแบบจำลอง HEC-HMS : มีวิธีจำลองการไหลฐาน (baseflow) แบบง่ายๆ แต่ยังไม่มีการเชื่อมต่อโดยตรงกับแบบจำลองชั้นน้ำบาดาล (aquifer model) บางวิธีจำลองการสูญเสียและการไหลฐานสามารถคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลซึมลึกลงไปชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งอาจส่งผ่านไปยังแบบจำลองชั้นน้ำบาดาลได้ ซึ่งแผนในอนาคตจะมีการรวมฟังก์ชันแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินแบบง่ายเข้าไว้ใน HEC-HMS



รูปที่ 4-1 แผนภาพของวัฏจักรอุทกวิทยา

4.1.2 องค์ประกอบหน้าจอของแบบจำลอง

หน้าจอของแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 4-2 ประกอบด้วย แถบชื่อเรื่อง (Title Bar) ระบบเมนู (Menu System) แถบเครื่องมือ (Toolbar) และ ช่องหน้าต่าง (Panels) จำนวนสี่ช่อง โดยแต่ละช่องจะเรียกว่า Watershed Explorer, Desktop, Component Editor, Message Logs



รูปที่ 4-2 หน้าจอของแบบจำลอง

1) แถบชื่อเรื่อง (Title Bar) จะแสดงเวอร์ชันของโปรแกรมที่ใช้กันอยู่ และตำแหน่งที่ตั้งของโครงการ (Project) ที่เปิดอยู่ในขณะนั้น

2) ระบบเมนู (Menu System) ประกอบด้วย เมนูหลายรายการที่ช่วยให้คุณใช้งานโปรแกรมได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยแต่ละเมนูจะมีรายการคำสั่งที่เกี่ยวข้องกัน ตัวอย่างเช่น เมนู Parameters จะมีรายการคำสั่งสำหรับเปิดตารางพารามิเตอร์แบบรวม (Global Parameter Tables) เพื่อดูและแก้ไขพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับองค์ประกอบทางอุทกวิทยาใน Basin Model ที่เลือกไว้ คำสั่งในเมนูบางรายการอาจ ไม่สามารถใช้งานได้ชั่วคราว (Inactive) หากโปรแกรมไม่สามารถดำเนินการคำสั่งนั้นได้ในเวลานั้น

- เมนู File เป็นคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโครงการที่เปิดอยู่สามารถเข้าถึงได้จาก

- เมนู Edit ประกอบด้วยคำสั่งสำหรับแก้ไของค์ประกอบทางอุทกวิทยา (Hydrologic Elements) ภายใน Basin Model ที่เลือกไว้หากยังไม่มีทางเลือก Basin Model คำสั่งทั้งหมดในเมนูนี้จะไม่สามารถใช้งานได้ (Inactive)

- เมนู View ประกอบด้วยรายการคำสั่งสำหรับการทำงานภายใน แผนที่ Basin (Basin Map) คำสั่งเหล่านี้จะไม่สามารถใช้งานได้ (Inactive)

- เมนู Components องค์ประกอบของโปรแกรมประกอบด้วย Grid Regions (พื้นที่กริด) Basin Models (แบบจำลองลุ่มน้ำ) Meteorologic Models (แบบจำลองอุตุนิยมวิทยา) Control Specifications (ข้อกำหนดการควบคุม) Time-Series Data (ข้อมูลชุดเวลา) Paired Data (ข้อมูลแบบจับคู่) และ Gridded Data (ข้อมูลแบบกริด)

- เมนู GIS ประกอบด้วยคำสั่งเมนูสำหรับ กำหนดระบบพิกัดของ Basin Model ดำเนินการเกี่ยวกับการแบ่งเขตลุ่มน้ำ (Watershed Delineation) และการกำหนดพิกัดเชิงภูมิศาสตร์ (Georeferencing) ให้กับองค์ประกอบของ Basin Model เมื่อมีการกำหนดระบบพิกัด (Coordinate System) โดยใช้คำสั่ง Coordinate System แล้ว ผู้ใช้สามารถทำการ ระบุตำแหน่งเชิงภูมิศาสตร์ (Georeference) ให้กับองค์ประกอบประเภท Subbasin, Reservoir และ Reach ได้ โดยใช้เครื่องมือที่เปิดผ่านเมนู Georeference Existing Elements และ Import Georeferenced Elements การตั้งค่าระบบพิกัดและการระบุตำแหน่งขององค์ประกอบเป็นทางเลือก ไม่ได้จำเป็นต้องมี การระบุตำแหน่งขององค์ประกอบ Subbasin ข้อใดอย่างหนึ่งของการทำ Georeferencing คือ องค์ประกอบในแผนที่ Basin Model จะถูกวาดด้วยรูปทรงหลายเหลี่ยม (Polygon) และเส้นหลายเส้น (Polyline) คุณสามารถเลือกแสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ได้ในรูปแบบ ไอคอนและเส้นธรรมดา, ข้อมูลเชิงพื้นที่ (GIS Features), หรือทั้งสองแบบร่วมกัน

- เมนู Parameters ประกอบด้วยคำสั่งเมนูสำหรับเปิด Global Parameter Editors ตัวแก้ไขพารามิเตอร์แบบรวม (Global Parameter Editors) ช่วยให้ คุณสามารถดูและแก้ไขค่าพารามิเตอร์ของ Subbasin และ Reach สำหรับองค์ประกอบที่ใช้วิธีการแบบเดียวกันได้ สำหรับกระบวนการในลุ่มน้ำ (Basin Processes) ตัวเลือกเมนูพารามิเตอร์แบบรวม (Global Parameter Menu Options) จะสามารถใช้งานได้ เฉพาะในกรณีที่ต้ององค์ประกอบ Subbasin หรือ Reach ใน Basin Model ใช้วิธีการนั้น ตัวอย่างเช่น หากเลือกเมนู Parameter | Loss จะมี Submenu แสดงรายการของวิธีการสูญเสีย (Loss Methods) ทั้งหมด เฉพาะวิธีการสูญเสียที่ถูกใช้งานโดยองค์ประกอบ Subbasin ใน Basin Model ปัจจุบันเท่านั้นที่จะสามารถเลือกได้ หากมีการเลือกองค์ประกอบอุทกวิทยา (Hydrologic Elements) ใน Basin Model อยู่เมนูที่สามารถใช้งานได้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่ถูกเลือกในขณะนั้น นอกจากนี้ เมนู Parameters ยังมี คำสั่งเมนูสำหรับเปลี่ยนวิธีการที่ใช้ในองค์ประกอบ Subbasin ได้แก่ : Canopy (พืชพรรณคลุมดิน) Surface (พื้นผิว) Loss (การสูญเสีย) Transform (การแปลงน้ำท่า) Baseflow (การไหลฐาน) รวมถึง องค์ประกอบ Reach ได้แก่ Routing (การเคลื่อนที่ของน้ำในลำน้ำ) Gain/Loss (การเพิ่มหรือลด ปริมาณน้ำระหว่างทาง) หากเลือกองค์ประกอบ Subbasin หรือ Reach ไว้ใน Basin Model การเปลี่ยนวิธีการจะมีผลเฉพาะองค์ประกอบที่ถูกเลือกเท่านั้น คำสั่งสุดท้ายในเมนู Parameters คือ

Element Inventory คำสั่งนี้ใช้เพื่อดูตารางแสดงรายการขององค์ประกอบอุทกวิทยาทั้งหมดใน Basin Model หากมีการเลือกองค์ประกอบไว้ใน Basin Model ตารางจะแสดงเฉพาะองค์ประกอบที่ถูกเลือก สำหรับกระบวนการด้านอุตุนิยมวิทยา (Meteorologic Processes) Global Parameter Editors มีให้สำหรับวิธีการเกี่ยวกับหิมะ (Snow Methods) การคายน้ำเฉลี่ยรายเดือน (Monthly-Average Evapotranspiration) โดยจะต้องเลือก Meteorologic Model ที่มีการใช้งานวิธีการเหล่านี้ใน Watershed Explorer เพื่อเปิดใช้งานคำสั่ง Global Editor ในเมนู Parameters ได้ Global Editor จะแสดง Subbasins ทั้งหมดจาก Basin Models ที่เชื่อมโยงกับ Meteorologic Model นั้น ผู้ใช้สามารถกรอง (Filter) องค์ประกอบใน Global Editor ได้ตามลุ่มน้ำ (Basins) พื้นที่ย่อย (Zones) จุดคำนวณ (Computation Points) โดยใช้ตัวเลือกตัวกรองที่มุมซ้ายบนของหน้าต่าง Editor

- เมนู Compute ประกอบด้วยรายการคำสั่งสำหรับการสร้าง (Creating) การคำนวณ (Computing) และการจัดการ (Managing) ในส่วนของ Simulation Runs (การจำลองสถานการณ์) Optimization Trials (การทดลองปรับค่าที่เหมาะสม) Forecast Alternatives (ทางเลือกการพยากรณ์) Depth-Area Analyses (การวิเคราะห์ความลึก-พื้นที่) Uncertainty Analyses (การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน) คำสั่งในเมนูสำหรับการสร้าง Simulation Runs, Optimization Trials, Forecast Alternatives, Depth-Area Analyses และ Uncertainty Analyses จะสามารถใช้งานได้เฉพาะเมื่อมีการสร้างองค์ประกอบพื้นฐานที่จำเป็นไว้ก่อนแล้ว นอกจากนี้ คำสั่ง Compute จะสามารถใช้งานได้ก็ต่อเมื่อมีการเลือกวัตถุ (Item) ที่สามารถคำนวณได้แล้วเท่านั้น

- เมนู Results ประกอบด้วย รายการคำสั่งสำหรับดูผลลัพธ์จากองค์ประกอบทางอุทกวิทยาใน Basin Mode คำสั่งในเมนู Results จะสามารถใช้งานได้ก็ต่อเมื่อมีเงื่อนไขครบทั้ง 3 ข้อ คือ ต้องมีการเลือก Simulation Run, Optimization Trial, Analysis, หรือ Forecast Alternative ต้องมีการเลือก องค์ประกอบทางอุทกวิทยา (Hydrologic Element) อย่างน้อยหนึ่งรายการ ต้องมี ผลลัพธ์จากการจำลอง ที่พร้อมใช้งานแล้ว ผลลัพธ์จากการจำลองจะพร้อมใช้งาน หลังจากที่มีการจำลองถูกประมวลผลสำเร็จ หากคุณมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลพารามิเตอร์ เช่น ค่าในตารางข้อมูลแบบจับคู่ (Paired Data Table) ที่ใช้โดยองค์ประกอบ Reach ในการคำนวณ Modified-Puls Routing คุณควรทำการ คำนวณใหม่ (Recompute) เพื่อให้ผลลัพธ์เป็นปัจจุบัน โปรแกรมจะติดตามสถานะของผลลัพธ์ว่า ยังเป็นข้อมูลล่าสุดอยู่หรือไม่ และจะแสดงสถานะนี้ในกราฟและตารางผลลัพธ์ให้เห็นอย่างชัดเจน

- เมนู Tools มีรายการคำสั่งเฉพาะทางให้เลือกใช้งาน ในเวอร์ชันถัดไปของโปรแกรม จะมี เครื่องมือเพิ่มเติม ถูกเพิ่มเข้ามาในเมนูนี้

- เมนู Help ให้ลิงก์สำหรับเข้าถึง ระบบช่วยเหลือออนไลน์ (Online Help System) จากเมนูนี้ คุณสามารถติดตั้ง โครงการตัวอย่าง (Sample Projects) ได้ นอกจากนี้ยังสามารถเข้าถึงเงื่อนไขการใช้งานโปรแกรม (Terms and Conditions) ข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรมและทีมพัฒนา

3) แถบเครื่องมือ (Toolbar) เช่นเดียวกับ ระบบเมนู (Menu System) แถบเครื่องมือ (Toolbar) จะจัดกลุ่มเครื่องมือที่มีการใช้งานคล้ายกันไว้ด้วยกันเครื่องมือบางอย่างจะไม่สามารถใช้งานได้ (Inactive) หากโปรแกรมไม่สามารถดำเนินการตามคำสั่งของเครื่องมือนั้นได้ในขณะนั้น คำอธิบายของเครื่องมือต่างๆ ที่อยู่บนแถบเครื่องมือ (Toolbar) ดังในแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 คำอธิบายแถบเครื่องมือต่างๆ ที่อยู่บนแถบเครื่องมือ

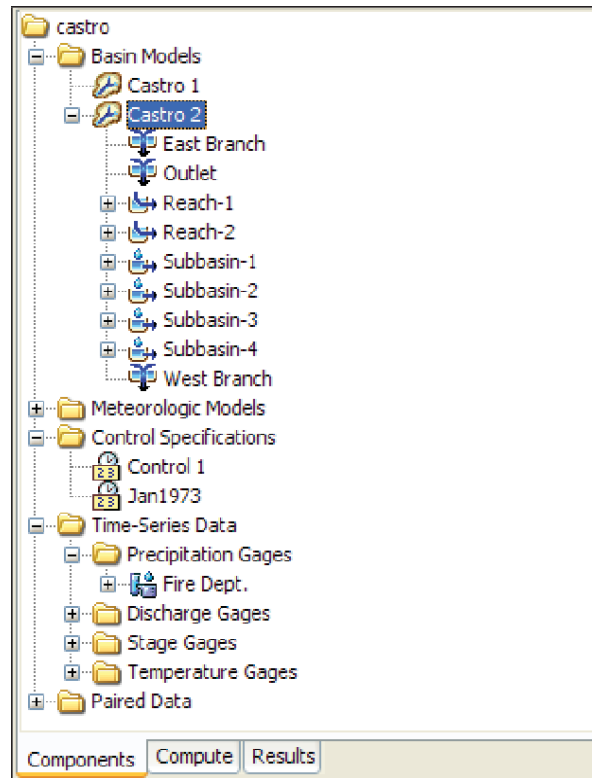
Tool	Action
	Create a new project.
	Open an existing project.
	Save the current project.
	Print the selected item in the <i>Desktop</i> (Basin Map or result window).
	Select hydrologic elements in the Basin Map.
	Zoom tool.
	Add a subbasin element to the Basin Map.
	Add a reach element to the Basin Map.
	Add a reservoir element to the Basin Map.
	Add a junction element to the Basin Map.
	Add a diversion element to the Basin Map.
	Add a source element to the Basin Map.
	Add a sink element to the Basin Map.
	Add a break point element to the Basin Map.
	Compute the currently selected simulation run.
	Compute the currently selected Optimization Trial.

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

Tool	Action
	Compute the currently selected Forecast Alternative.
	Compute the currently selected depth-area analysis.
	Compute the currently selected uncertainty analysis.
	Open global summary table.
	Open graph for the current element selection.
	Open summary table for the current element selection.
	Open time-series table for the current element selection.

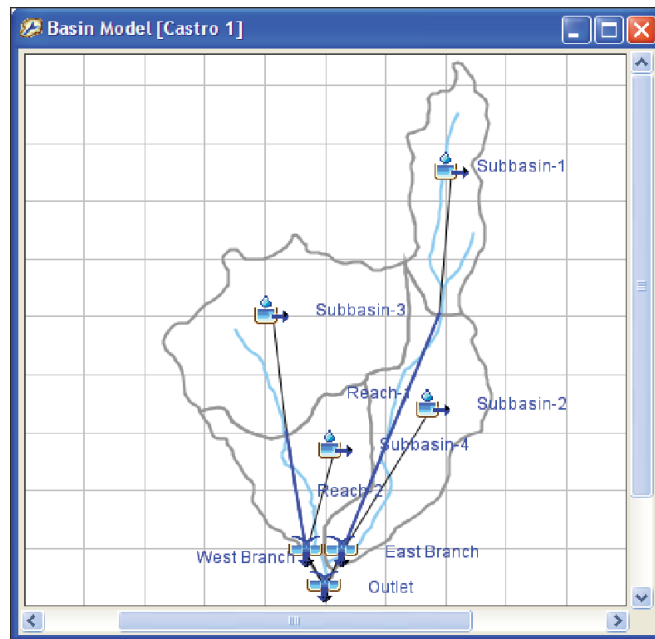
4) Watershed Explorer คือ หน้าต่างหนึ่งในหน้าจอหลักของโปรแกรม ซึ่งทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการ จัดการและเรียกดูองค์ประกอบต่างๆ ของโครงการที่เกี่ยวข้องกับลุ่มน้ำ (Watershed) โดยเฉพาะในโปรแกรมอย่าง HEC-HMS ในหน้าต่างนี้ ผู้ใช้สามารถ เรียกดูและจัดการ Basin Models, Meteorologic Models, Control Specifications, Time-Series Data, และอื่นๆ ได้อย่างเป็นลำดับชั้น (Tree Structure) เพิ่ม ลบ หรือแก้ไของค์ประกอบต่างๆ เลือกองค์ประกอบ เพื่อดูรายละเอียดหรือเปิดในหน้าต่างอื่น (เช่น Component Editor) Watershed Explorer ช่วยให้ผู้ใช้สามารถ เข้าถึงข้อมูลและโครงสร้างของโครงการได้อย่างรวดเร็วและเป็นระบบ โดยไม่ต้องเปิด หลายหน้าต่างหรือค้นหาที่ละเอียดกร ดังแสดงในรูปที่ 4-3 โครงสร้างลำดับชั้นขององค์ประกอบ แบบจำลอง เช่น Basin Models, Meteorologic Models ฯลฯ สามารถเข้าถึงได้จาก แท็บ Components ใน Watershed Explorer องค์ประกอบของแบบจำลองจะถูกจัดเรียงเป็นโฟลเดอร์ แยกกัน หากโครงการมีองค์ประกอบทุกประเภทครบถ้วน แท็บ Components จะประกอบด้วย โฟลเดอร์หลัก 7 โฟลเดอร์ ได้แก่ Terrain Data (ข้อมูลภูมิประเทศ) Basin Models (แบบจำลองลุ่มน้ำ) Meteorologic Models (แบบจำลองอุตุนิยมวิทยา) Control Specifications (ข้อกำหนดการ ควบคุม) Time-Series Data (ข้อมูลชุดเวลา) Paired Data (ข้อมูลแบบจับคู่) Grid Data (ข้อมูล แบบกริด) เมื่อเลือกโฟลเดอร์องค์ประกอบหลักใดๆ Watershed Explorer จะขยายออก เพื่อแสดง รายการภายในโฟลเดอร์นั้น ตัวอย่างเช่น เมื่อเลือกโฟลเดอร์ Basin Models Watershed Explorer จะแสดงแบบจำลองลุ่มน้ำทั้งหมดในโครงการ หากเลือก Basin Model ใดๆ อีกครั้ง Watershed Explorer จะขยายเพิ่มเติมเพื่อแสดง องค์ประกอบทางอุทกวิทยาทั้งหมด ภายในแบบจำลองนั้น ซึ่ง จากรูปที่ 4-3 จะเห็นว่า Basin Model ชื่อ Castro 2 ถูกเลือกอยู่ และ Watershed Explorer จะ แสดงองค์ประกอบภายในทั้งหมด เช่น Subbasins, Reaches, Junctions ฯลฯ เครื่องหมายบวก/ลบ ที่อยู่ข้างองค์ประกอบหรือองค์ประกอบย่อยในรายการ สามารถใช้เพื่อ ขยาย (Expand) หรือ ยุบ (Collapse) รายการใน Watershed Explorer ได้ ออกจากแท็บ Components แล้ว แท็บ

Compute ของ Watershed Explorer จะรวบรวมรายการ Simulation Runs, Optimization Trials, Analyses และ Forecast Alternatives ทั้งหมดของโครงการ และแท็บ Results ใช้สำหรับเข้าถึง ผลลัพธ์ของแบบจำลอง ที่คำนวณแล้ว



รูปที่ 4-3 Watershed Explorer

5) หน้าต่าง (Desktop) ประกอบด้วยหน้าต่างย่อยหลากหลายประเภท รวมถึง Global Parameter Editors และที่สำคัญที่สุดคือ แผนที่ลุ่มน้ำ (Basin Map) หน้าต่างแสดงผล เช่น กราฟ ตารางสรุป และตารางข้อมูลชุดเวลา (Time-Series Tables) สามารถแสดงได้ทั้ง ภายใน หน้าต่าง Desktop หรือ แยกออกไปแสดงภายนอก ได้ตามต้องการ อย่างไรก็ตาม หน้าต่างอื่น ๆ ทั้งหมดจะไม่สามารถย้ายออกจากพื้นที่ Desktop ได้ แผนที่ลุ่มน้ำ (Basin Map) เป็นเครื่องมือหลัก ในการพัฒนา Basin Model ผู้ใช้สามารถเพิ่มองค์ประกอบทางอุทกวิทยา เช่น Subbasin (พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย) Reach (ทางน้ำ) Reservoir (อ่างเก็บน้ำ) เป็นต้น โดยการเลือกจาก แถบเครื่องมือ (Toolbar) และเชื่อมต่อกันเพื่อแสดงเครือข่ายการระบายน้ำของพื้นที่ศึกษา (Physical Drainage Network) นอกจากนี้ ผู้ใช้ยังสามารถ นำเข้าภาพแผนที่พื้นหลัง (Background Maps) เพื่อช่วยให้มองเห็นลุ่มน้ำและตำแหน่งองค์ประกอบได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ตัวอย่างแผนที่ลุ่มน้ำ Castro 1 ซึ่งเป็น ตัวอย่าง Basin Map ที่พัฒนาในโปรแกรมของ HEC ดังแสดงในรูปที่ 4-4

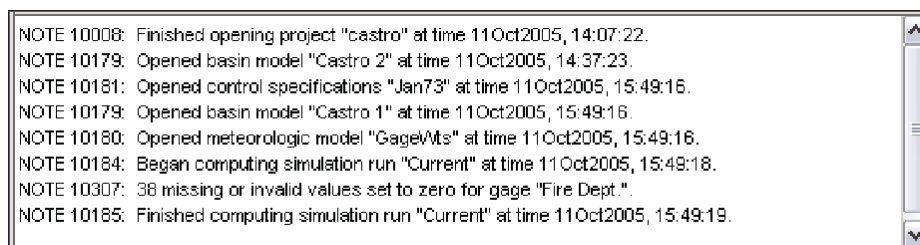


รูปที่ 4-4 หน้าต่าง (Desktop)

6) ตัวแก้ไขส่วนประกอบ (Component Editor) เมื่อมีการเลือกองค์ประกอบหลักหรือองค์ประกอบย่อยใน Watershed Explorer หรือเลือกองค์ประกอบทางอุทกวิทยาใน Basin Map (โดยใช้เมาส์คลิกที่ชื่อองค์ประกอบใน Watershed Explorer หรือเลือกจาก Basin Map) หน้าต่าง Component Editor เฉพาะขององค์ประกอบนั้นจะเปิดขึ้นมาโดยอัตโนมัติ Component Editor ใช้สำหรับ กรอกหรือแก้ไขข้อมูลขององค์ประกอบในแบบจำลอง ข้อมูลที่จำเป็นต้องกรอกจะแสดงด้วยดอกจันสีแดง (*) เพื่อระบุว่าเป็นข้อมูลบังคับ ตัวอย่างเช่น ข้อมูลพารามิเตอร์การสูญเสีย (Loss Parameters) ขององค์ประกอบ Subbasin จะต้องกรอกใน Component Editor ของ Subbasin โดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 4-5

รูปที่ 4-5 ตัวแก้ไขส่วนประกอบ (Component Editor)

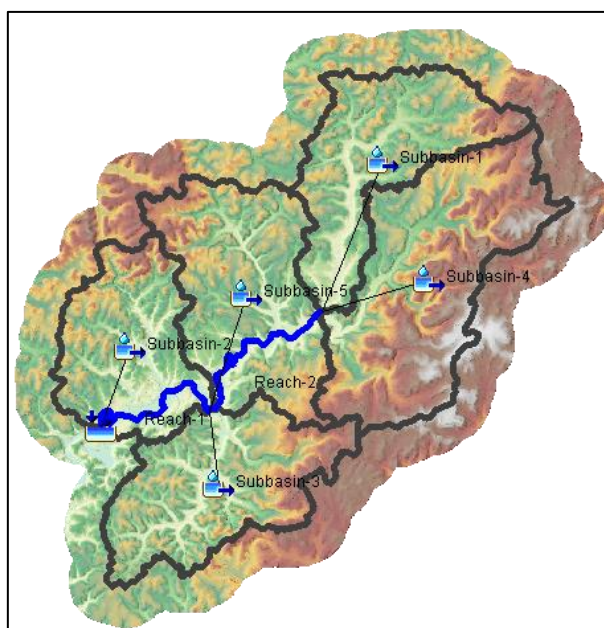
7) บันทึกข้อความ (Message Log) ข้อความแจ้งเตือน (Notes), คำเตือน (Warnings) และ ข้อผิดพลาด (Errors) จะแสดงอยู่ใน หน้าต่าง Message Log ดังแสดงในรูปที่ 4-6 ข้อความเหล่านี้มีประโยชน์สำหรับระบุ สาเหตุที่การจำลอง (Simulation Run) ล้มเหลว หรือสาเหตุที่ การดำเนินการบางอย่าง เช่น การเปิดโครงการ ไม่สามารถดำเนินการได้สำเร็จ



รูปที่ 4-6 บันทึกข้อความ (Message Log)

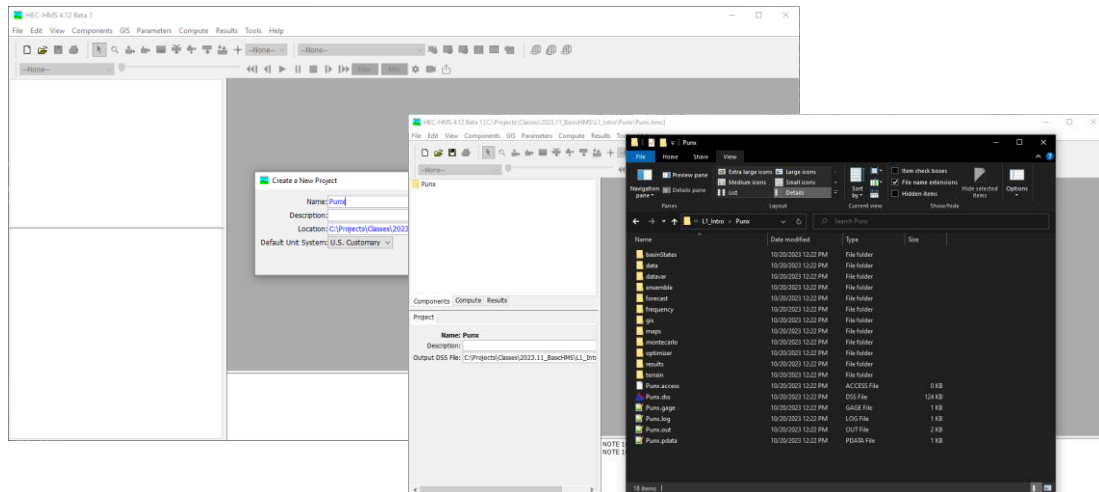
4.1.3 การสร้างแบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Model)

การสร้างแบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Model) ดังแสดงในรูปที่ 4-7 ประกอบด้วย สร้างโครงการใหม่ (Create a new Project) สร้างแบบจำลองลุ่มน้ำใหม่ (Create a new Basin model) เพิ่มองค์ประกอบทางอุทกวิทยาในแบบจำลองลุ่มน้ำ (Add Hydrologic Elements to the Basin model) เลือกวิธีการจำลอง (Select Modeling Methods) และกำหนดพารามิเตอร์ให้กับวิธีการจำลอง (Parametrize Modeling Methods) โดยมีรายละเอียดของขั้นตอน ดังต่อไปนี้



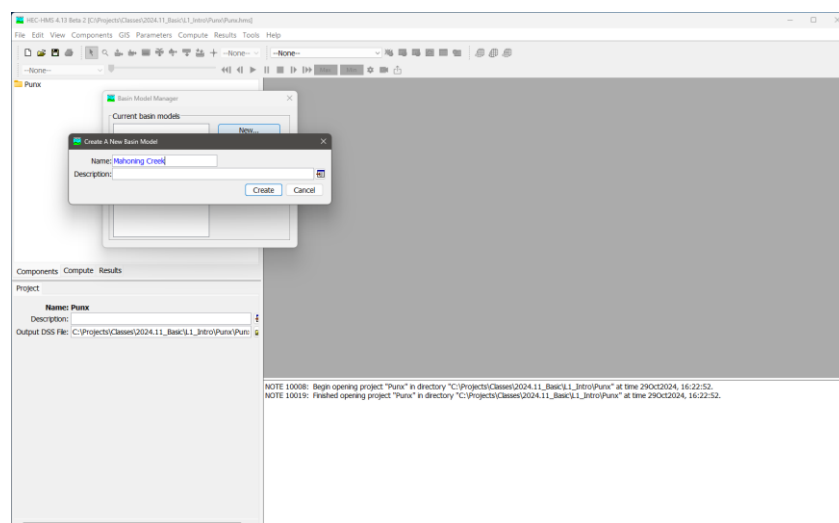
รูปที่ 4-7 การสร้างแบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Model)

1) สร้างโครงการใหม่ (Create a new Project) ในการสร้างโครงการใหม่ ให้เลือก File | New ในหน้าต่าง Create a New Project ให้ระบุ ชื่อโครงการ และ ตำแหน่งที่จัดเก็บโครงการ คุณสามารถเลือก ระบบหน่วย (Unit System) ที่จะใช้เป็นค่าเริ่มต้นได้ตามต้องการ หากคุณเปิดดูโครงการของคุณผ่าน File Explorer จะสังเกตได้ว่าโครงการนั้นอยู่ใน โฟลเดอร์ย่อย (Subdirectory) บนคอมพิวเตอร์ โดยโฟลเดอร์นี้จะใช้ชื่อเดียวกับชื่อโครงการของคุณ ดังแสดงในรูปที่ 4-8



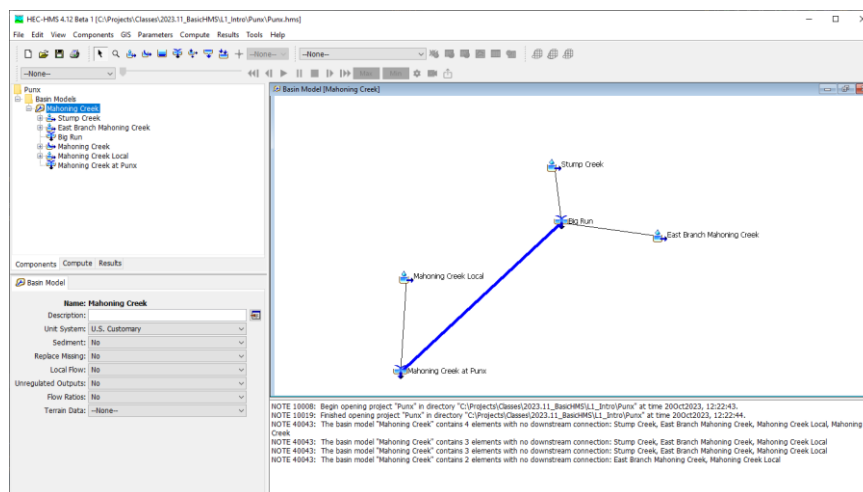
รูปที่ 4-8 สร้างโครงการใหม่

2) สร้างแบบจำลองลุ่มน้ำใหม่ (Create a new Basin model) ดังแสดงในรูปที่ 4-9



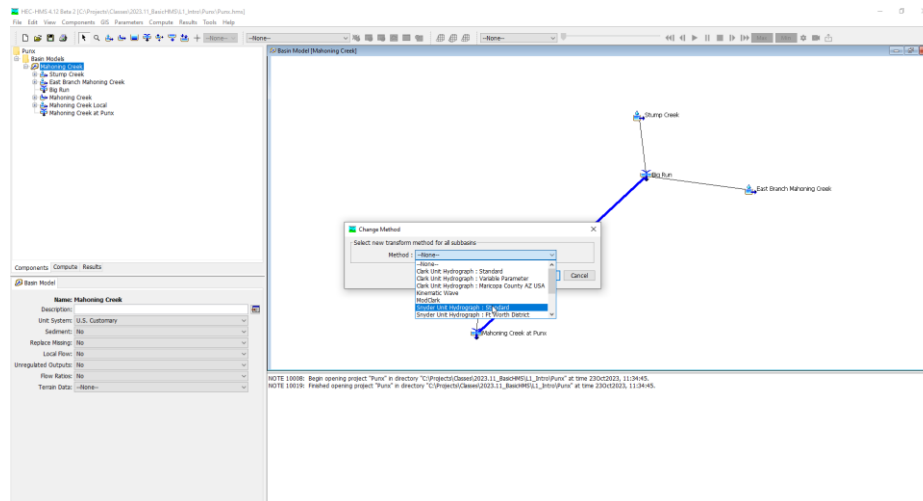
รูปที่ 4-9 สร้างแบบจำลองลุ่มน้ำใหม่

3) เพิ่มองค์ประกอบทางอุทกวิทยาในแบบจำลองลุ่มน้ำ (Add Hydrologic Elements to the Basin model) ดังแสดงในรูปที่ 4-10 แบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Model) ใช้ในการอธิบายลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ โดยประกอบด้วยองค์ประกอบย่อย 7 ประเภท ได้แก่ Subbasins – พื้นที่รับน้ำฝนในผิวดิน (ลุ่มน้ำย่อย) ที่รับน้ำฝนจากพื้นผิวดิน Reaches – ตัวแทนของแม่น้ำและลำธาร Reservoirs – อาจเป็นทะเลสาบธรรมชาติหรือเขื่อนที่ควบคุมการระบายน้ำ Junctions – จุดรวมการไหลจากองค์ประกอบอื่น ๆ เข้าด้วยกัน แม้จะไม่จำเป็นต้องใช้ junctions เสมอไป แต่ก็ช่วยให้มองภาพรวมได้ชัดเจนขึ้น และในทางปฏิบัติมักใช้บ่อย Diversions – ใช้จำลองการแยกน้ำหรือการดึงน้ำออก Sources – อาจเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น น้ำพุ หรือผลลัพธ์จากแบบจำลองต้นน้ำอื่นๆ และ Sinks – จุดสิ้นสุดการไหล เช่น ปลายน้ำหรือทะเลสาบปลายทาง คุณสามารถสร้างองค์ประกอบเหล่านี้ได้มากหรือน้อยตามต้องการ และเชื่อมโยงกันให้ สะท้อนเส้นทางการไหลของน้ำ ในลุ่มน้ำของคุณ



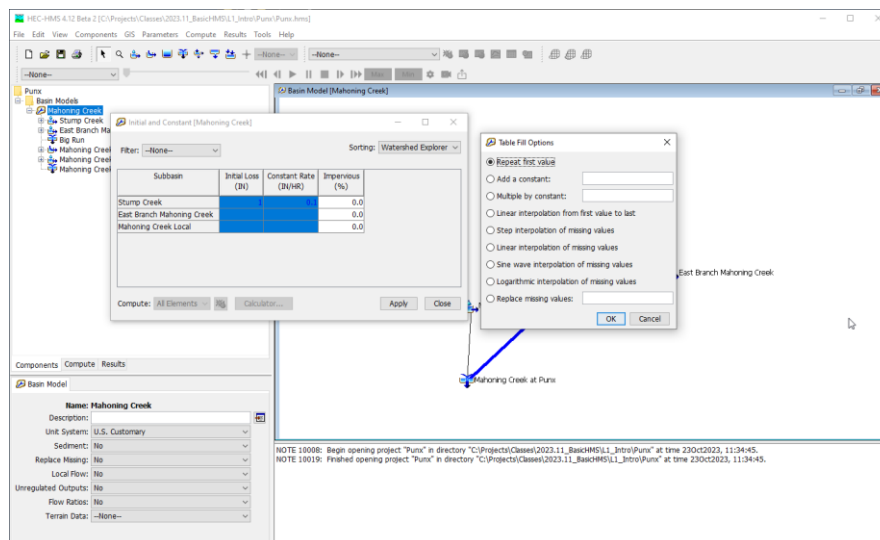
รูปที่ 4-10 เพิ่มองค์ประกอบทางอุทกวิทยาในแบบจำลองลุ่มน้ำ

4) เลือกวิธีการจำลอง (Select Modeling Methods) ดังแสดงในรูปที่ 4-11 สำหรับ Subbasins สามารถเลือกวิธีต่างๆ ในแบบจำลองหลัก ได้แก่ แบบจำลองการสูญเสีย น้ำ (loss model) แบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง (direct runoff models) และแบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow models) ส่วนในลำน้ำจะเลือกแบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ (routing models) ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการจำลอง สามารถเปลี่ยนวิธีการจำลอง (Modeling Methods) ของทุกองค์ประกอบได้จากเมนู Parameters



รูปที่ 4-11 เลือกวิธีการจำลอง

5) กำหนดพารามิเตอร์ให้กับวิธีการจำลอง (Parametrize Modeling Methods) สามารถกำหนดพารามิเตอร์ (Parameterize) ให้กับวิธีการจำลอง (Modeling Methods) ได้ผ่าน Component Editor หรือ Global Parameter Editor หากต้องการกำหนดพารามิเตอร์ให้กับหลายองค์ประกอบพร้อมกัน พบว่า Global Editors มีประสิทธิภาพมากที่สุด คุณสามารถเข้าถึง Global Editors ได้โดย เลือก Basin Model ใน Watershed Explorer จากนั้นเลือกเมนู Parameters ดังแสดงในรูปที่ 4-12

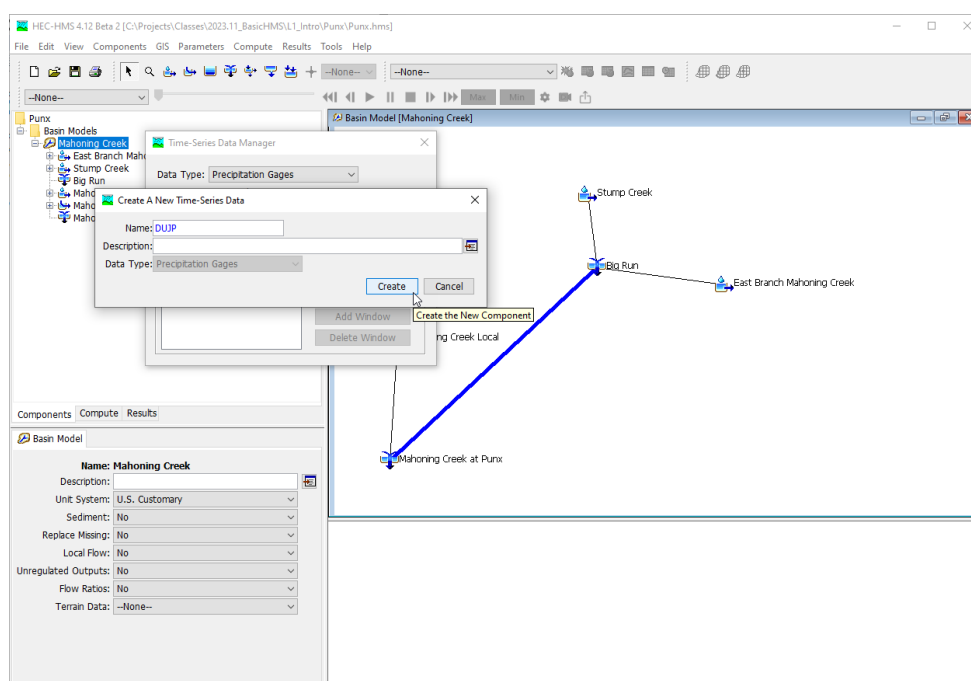


รูปที่ 4-12 กำหนดพารามิเตอร์ให้กับวิธีการจำลอง

4.1.4 การสร้างแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (Meteorologic Model)

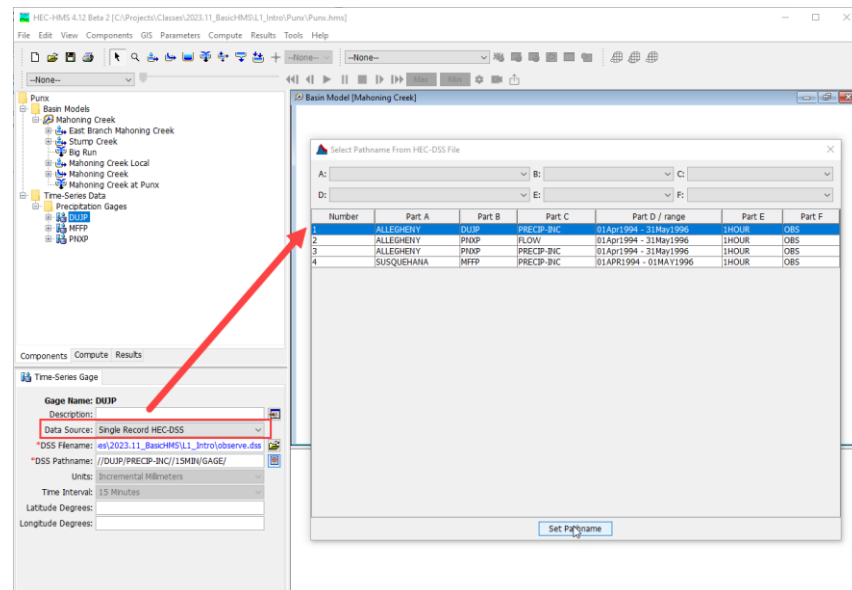
การสร้างแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (Meteorologic Model) ประกอบด้วย สร้างเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนใหม่ (Create new Precipitation Gages) กำหนดพารามิเตอร์ให้กับเครื่องวัดน้ำฝน (Parameterize gages) สร้างแบบจำลองอุตุนิยมวิทยาใหม่ (Create a new Meteorologic Model) เลือกวิธีการจำลอง (Select Modeling Methods) และกำหนดพารามิเตอร์ให้กับวิธีการจำลอง (Parametrize Modeling Methods) โดยมีรายละเอียดของขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) สร้างเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนใหม่ (Create new Precipitation Gages) โดยเลือกเมนู Components | Time-series Data Manager ภายในหน้าต่าง Time-series Data Manager ให้เพิ่มเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Precipitation Gages) ใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4-13



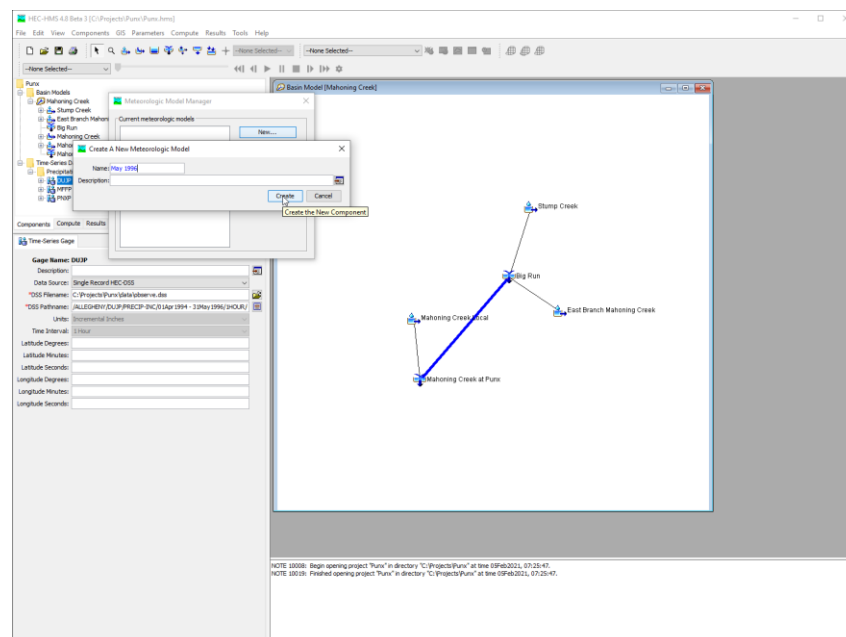
รูปที่ 4-13 สร้างเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนใหม่

2) กำหนดพารามิเตอร์ให้กับเครื่องวัดน้ำฝน (Parameterize gages) โดยนำไฟล์ HEC-DSS มาเก็บไว้ในโครงการ (Internalize) ให้เปิด Precipitation Gages ใน Watershed Explorer แล้ว เพิ่มการอ้างอิงไปยังไฟล์ DSS ดังแสดงในรูปที่ 4-13 อย่างไรก็ตามถ้ามีข้อมูลไม่มากสามารถคัดลอกข้อมูลจากตาราง Excel มาวางในแบบจำลองได้เลย จะลดขั้นตอนการเตรียมไฟล์ใน DSS



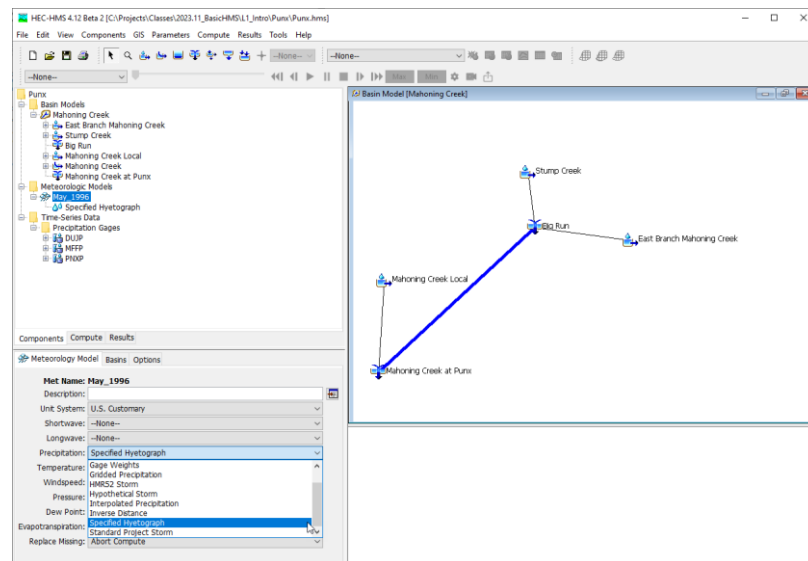
รูปที่ 4-13 กำหนดพารามิเตอร์ให้กับเครื่องวัดน้ำฝน

3) สร้างแบบจำลองอุตุนิยมวิทยาใหม่ (Create a new Meteorologic Model) ดังแสดงในรูปที่ 4-14



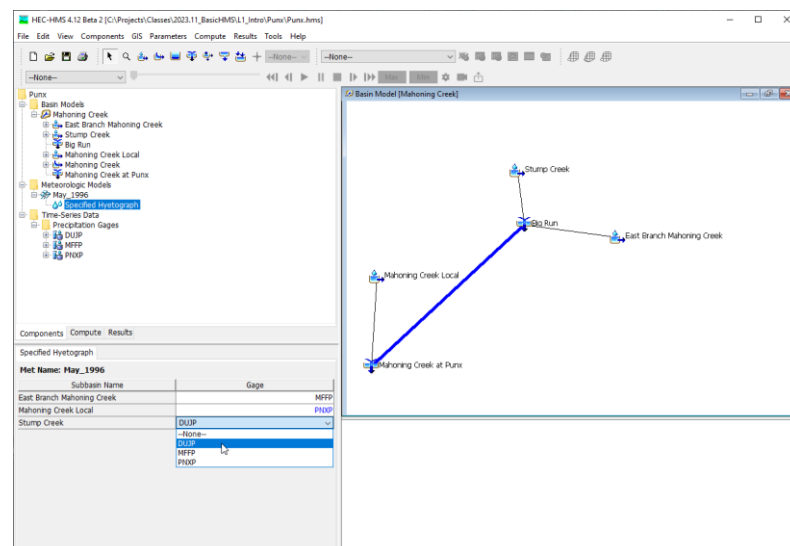
รูปที่ 4-14 สร้างแบบจำลองอุตุนิยมวิทยาใหม่

4) เลือกวิธีการจำลอง (Select Modeling Methods) เลือกวิธีการปริมาณฝนแบบ Hyetograph ที่กำหนดไว้ (Specified Hyetograph Precipitation Method) ใน Component Editor ดังแสดงในรูปที่ 4-15



รูปที่ 4-15 เลือกวิธีการจำลอง

5) กำหนดพารามิเตอร์ให้กับวิธีการจำลอง (Parametrize Modeling Methods) เชื่อมโยงแบบจำลองอุทกนิยามวิทยาเข้ากับกลุ่มน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4-16 โดยการเลือกแบบจำลองอุทกนิยามวิทยาจาก Watershed Explorer จากนั้นเลือกแท็บ Basins และเพิ่มองค์ประกอบ Subbasins ที่ต้องการใช้งานในแบบจำลองกลุ่มน้ำ ต่อมา ให้ไปที่โหมด Specified Hyetograph ภายใน Watershed Explorer ใน Component Editor ทำการเชื่อมโยงกับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Precipitation Gages) ณ จุดนี้ แบบจำลองอุทกนิยามวิทยาจะถือว่ามีการกำหนดพารามิเตอร์เรียบร้อยแล้ว

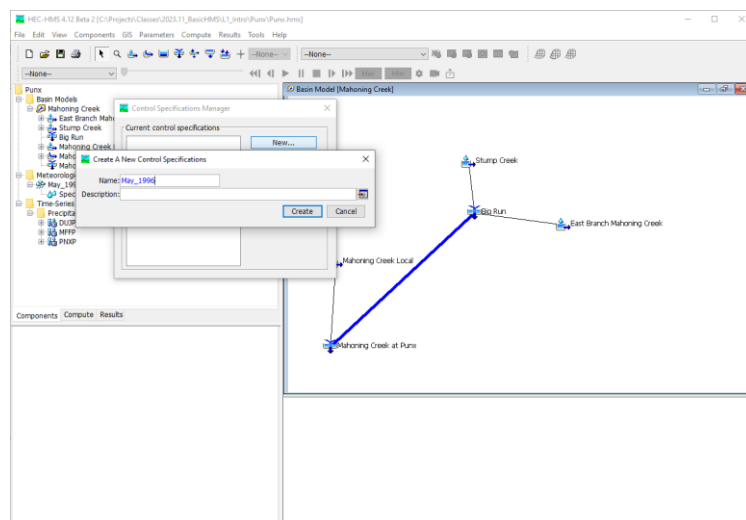


รูปที่ 4-16 กำหนดพารามิเตอร์ให้กับวิธีการจำลอง

4.1.5 รันแบบจำลอง (Running a Simulation)

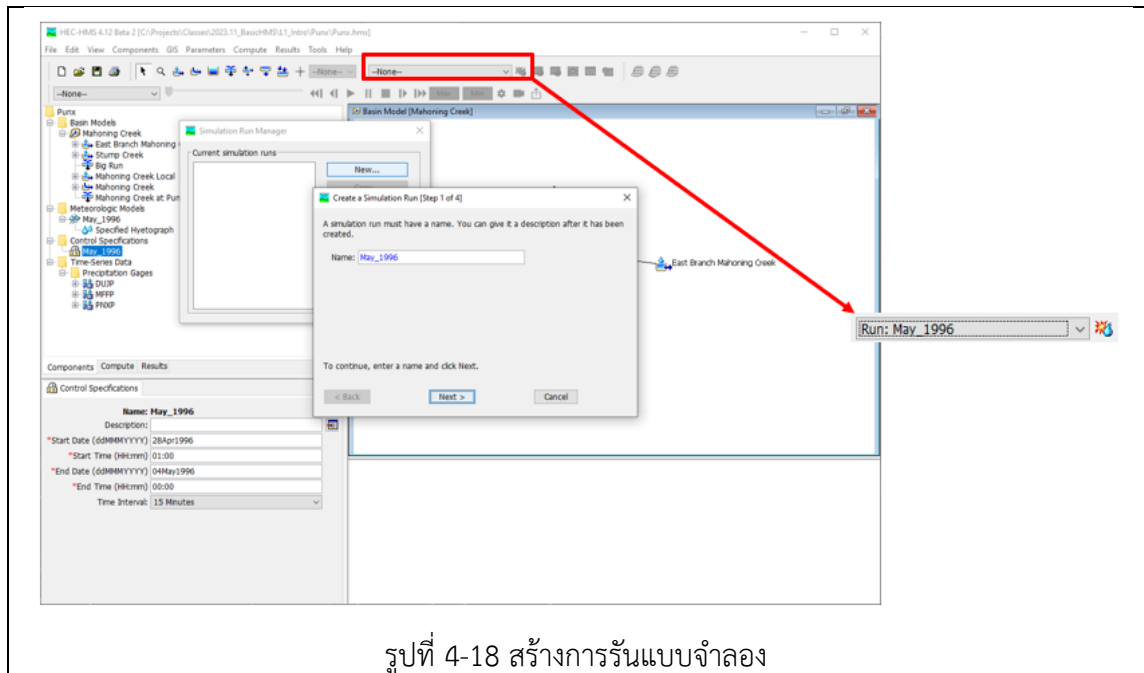
รันแบบจำลอง (Running a Simulation) ลุ่มน้ำ ประกอบด้วย สร้างข้อกำหนดการควบคุมใหม่ (Create new Control Specification) สร้างการรันแบบจำลอง (Create Simulation Run) คำนวณการรันแบบจำลอง (Compute the Simulation Run) และแสดงผล (View Results) โดยมีรายละเอียดของขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) สร้างข้อกำหนดการควบคุมใหม่ (Create new Control Specification) ซึ่งข้อกำหนดการควบคุม (Control Specification) คือองค์ประกอบที่ใช้กำหนดช่วงเวลา (temporal resolution) และ ระยะเวลาจำลอง (extent) ของการจำลองแบบจำลองลุ่มน้ำ การสร้าง Control Specification ใหม่ ให้ดำเนินการดังนี้ คือ เลือกเมนู Components | Control Specifications Manager, ตั้งชื่อ Control Specification ตามเหตุการณ์ที่ต้องการจำลอง, ในหน้าต่าง Control Specifications Manager ให้คลิก New เพื่อสร้างรายการใหม่, ตั้งชื่อ Control Specification ตามเหตุการณ์ที่ต้องการจำลอง, ไปยัง Control Specification ที่สร้างขึ้นใน Watershed Explorer และกำหนดพารามิเตอร์ (Parameterize) ของ Control Specification ผ่าน Component Editor ดังแสดงในรูปที่ 4-17

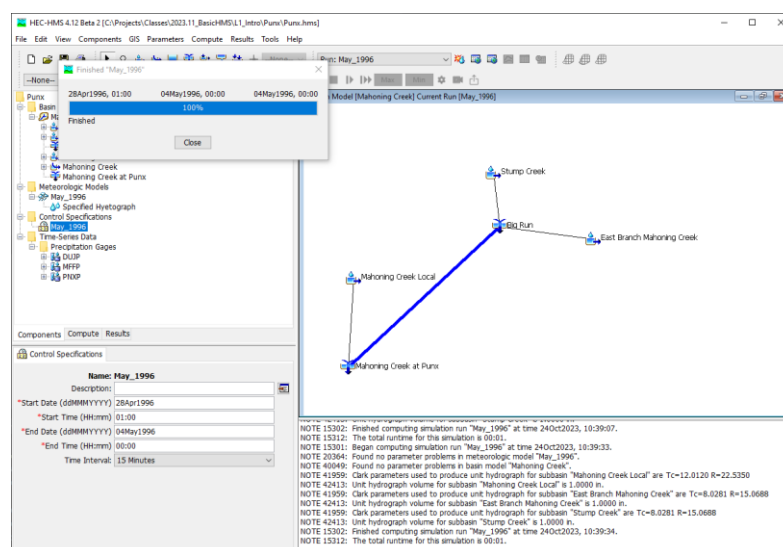


รูปที่ 4-17 สร้างข้อกำหนดการควบคุมใหม่

2) สร้างการรันแบบจำลอง (Create Simulation Run) ซึ่งการจำลอง (Simulation Run) คือการรวมกันของ แบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Model), แบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (Meteorologic Model) และ ข้อกำหนดการควบคุม (Control Specification) ขั้นตอนการสร้าง Simulation Run คือ เลือกเมนู Compute | Simulation Run Manager, ในหน้าต่าง Simulation Run Manager ให้คลิก New เพื่อสร้างการจำลองใหม่, ตั้งชื่อ Simulation Run ตามชื่อเหตุการณ์ที่ต้องการจำลอง และ เลือก Basin Model, Meteorologic Model และ Control Specification ที่ต้องการใช้ในการจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 4-18



3) คำนวณการรันแบบจำลอง (Compute the Simulation Run) มีหลายวิธีในการดำเนินการ ประมวลผลการจำลอง (Compute the Simulation Run) ในโปรแกรม HEC-HMS โดยวิธีที่ง่ายที่สุดคือ เลือก Simulation Run จาก แถบเครื่องมือ Compute (Compute Toolbar) แล้วคลิกปุ่ม Compute หากมีการเลือก Simulation Run ไว้แล้ว ยังสามารถสั่งประมวลผลได้จาก เมนู Compute อีกทางเลือกหนึ่งคือ ใช้ แท็บ Compute ภายใน Watershed Explorer เพื่อสั่งประมวลผล ดังแสดงในรูปที่ 4-19



4) แสดงผล (View Results) รายการแรกคือ ตารางสรุปภาพรวม (Global Summary Table) ถัดไปสามรายการ คือ การแสดงผลลัพธ์ขององค์ประกอบอุทกวิทยาแต่ละตัว (Individual Hydrologic Element) สุดท้ายจะเป็นการดู ผลลัพธ์เชิงพื้นที่ (Spatial Results) ดังแสดงในรูปที่ 4-20 โดยตารางจะแสดงหนึ่งแถวสำหรับแต่ละองค์ประกอบในแบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Model) และมีคอลัมน์สำหรับชื่อองค์ประกอบ, พื้นที่รับน้ำ, อัตราการไหลสูงสุด (Peak Flow), เวลาที่เกิดการไหลสูงสุด, และ ปริมาณน้ำไหลออกทั้งหมด ผลลัพธ์สามารถแสดงได้ทั้งในรูปของ ความลึก (Depth) หรือ ปริมาตร (Volume) นอกจากนี้ยังสามารถจัดเรียงองค์ประกอบตาม ลำดับตัวอักษร หรือ ลำดับทางอุทกวิทยา ได้อีกด้วย ส่วนข้อมูลที่แสดงในกราฟจะแตกต่างกันไปตามประเภทของ องค์ประกอบแต่จะมีการแสดง ข้อมูลการไหลออก (Outflow) เสมอ นอกจากนี้ หากมีข้อมูลเพิ่มเติม เช่น การไหลของน้ำจากการวัด (Observed Flow)

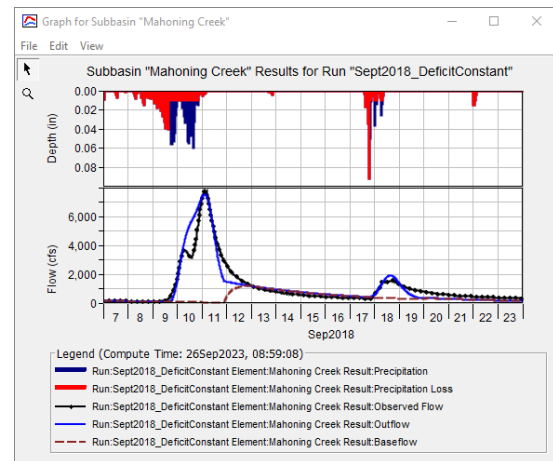
Global Summary Results for Run "Sep-2018"

Project: Punx Simulation Run: Sep-2018

Start of Run: 01Sep2018, 00:00 Basin Model: punxutawney
End of Run: 29Sep2018, 00:00 Meteorologic Model: Sep-2018
Compute Time: 23Jan2021, 09:49:53 Control Specifications: Sep-2018

Show Elements: All Elements Volume Units: ☒ IN ☐ ACRE-FT Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (MI ²)	Peak Discharge (CFS)	Time of Peak	Volume (IN)
EB Mahoning Ck	42.030	2727.4	10Sep2018, 18:00	4.67
Stamp Ck	27.991	1278.2	10Sep2018, 18:00	4.38
Mahoning Ck	76.021	3107.6	10Sep2018, 22:00	4.54
Punx Local	87.274	5307.8	10Sep2018, 18:00	4.94
Sink-1	157.295	7743.0	10Sep2018, 18:00	4.76



ก) ตาราง

ข) กราฟ

Summary Results for Subbasin "Mahoning Creek"

Project: Punxutawney Simulation Run: Sept2018_DeficitConstant
Subbasin: Mahoning Creek

Start of Run: 07Sep2018, 00:00 Basin Model: Mahoning Creek
End of Run: 24Sep2018, 00:00 Meteorologic Model: MRMS
Compute Time: 26Sep2023, 08:59:08 Control Specifications: September 2018

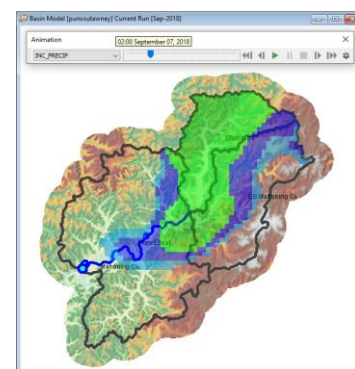
Volume Units: ☒ IN ☐ ACRE-FT

Computed Results

Peak Discharge: 7547.4 (CFS)	Date/Time of Peak Discharge: 11Sep2018, 02:30
Precipitation Volume: 7.00 (IN)	Direct Runoff Volume: 2.72 (IN)
Loss Volume: 4.28 (IN)	Baseflow Volume: 1.57 (IN)
Excess Volume: 2.72 (IN)	Discharge Volume: 4.30 (IN)

Observed Flow Gage MahoningCreekAtPunx

Peak Discharge: 7810.0 (CFS)	Date/Time of Peak Discharge: 11Sep2018, 04:00
Volume: 4.40 (IN)	
RMSE Std Dev: 0.3	Nash-Sutcliffe: 0.896
Percent Bias: -2.35 %	



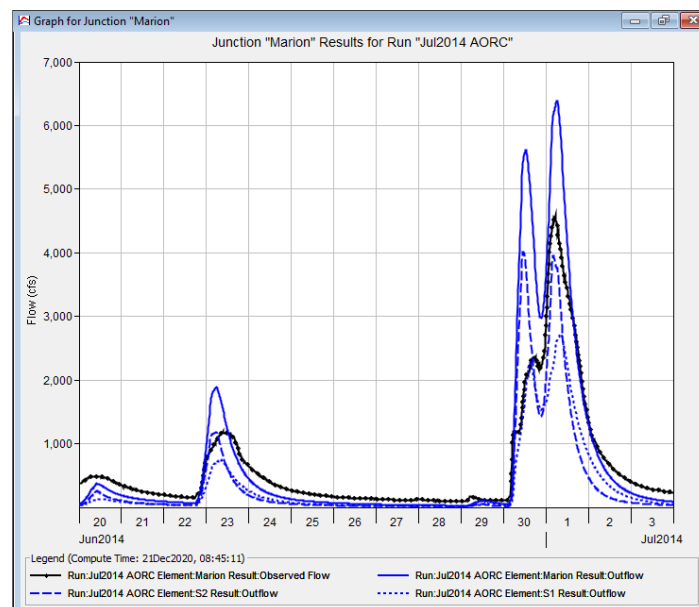
ค) ตารางสรุป

ง) กราฟฟิก

รูปที่ 4-20 แสดงผล

4.1.6 การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)

แบบจำลองอุทกวิทยา เป็นการรวมกันของ อัลกอริธึมเชิงพารามิเตอร์ ที่ใช้ในการจำลองวัฏจักรของน้ำ (Hydrologic Cycle) หน้าที่ของผู้สร้างแบบจำลองคือการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละอัลกอริธึม วัตถุประสงค์คือการทำให้แบบจำลองที่ใช้คณิตศาสตร์แทนอัลกอริธึมต่างๆ สะท้อนพฤติกรรมของกลุ่มน้ำจริงในสภาพการณ์ที่หลากหลาย โดยทั่วไป การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองจะกระทำโดยการเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ของแบบจำลองกับข้อมูลเหตุการณ์ในอดีตที่สังเกตได้ ตัวอย่างเช่น การประเมินว่าแบบจำลองสามารถจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำ (Streamflow) ณ จุดที่มีการวัดจริงได้ใกล้เคียงเพียงใด นอกจากนี้ อาจพิจารณาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่สังเกตได้จากกระบวนการอุทกวิทยาอื่น ๆ เช่น การละลายและสะสมของหิมะ (Snowmelt and Accumulation) การคายน้ำและการระเหยรวม (Evapotranspiration) มักจะมีเครื่องมือ “กึ่งอัตโนมัติ (automated)” สำหรับการปรับเทียบ (Calibration) ให้เลือกใช้งาน แต่โดยทั่วไป วิธีที่เชื่อถือได้มากที่สุดในการสร้างแบบจำลองที่ปรับเทียบแล้วและมีพารามิเตอร์สมเหตุสมผล คือ การปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยตนเองจนกระทั่งผลลัพธ์สอดคล้องกับข้อมูลที่สังเกตได้ โดยตัวอย่างผลการคำนวณและผลการสำรวจ ดังแสดงในรูปที่ 4-21

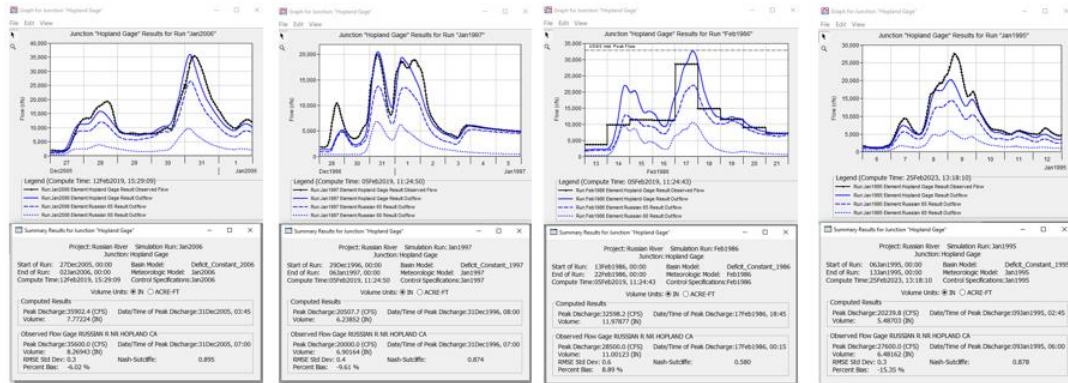


รูปที่ 4-21 ผลการปรับเทียบแบบจำลอง

4.1.7 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation) หมายถึง การนำแบบจำลองที่ได้ผ่านการปรับเทียบกับชุดข้อมูลหนึ่งแล้ว ไปใช้ประเมินกับชุดข้อมูลอื่นที่เป็นชนิดเดียวกัน และอยู่ ณ ตำแหน่งเดียวกันกับที่ใช้ในการปรับเทียบ (ซึ่งเป็นวิธีที่เรียกว่า ‘การแบ่งชุดข้อมูล

เพื่อทดสอบ' หรือ split-record test) ดังแสดงในรูปที่ 4-22 ซึ่งต้องสามารถให้ผลลัพธ์ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทางสถิติ ไม่อย่างนั้นต้องปรับเทียบแบบจำลองใหม่



Calibration Events

รูปที่ 4-22 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

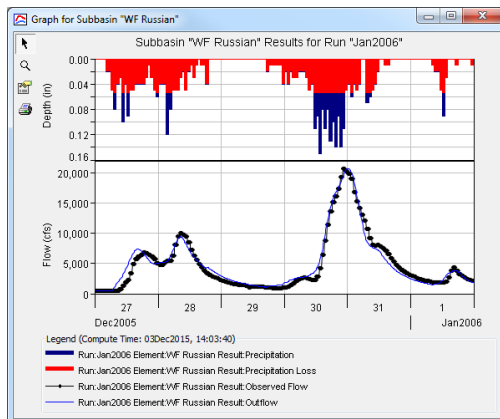
4.2 การวางแผนการจำลองระบบลุ่มน้ำ

การจำลองระบบลุ่มน้ำจำเป็นต้องวางกรอบแนวคิด เพื่อหาคำตอบที่ต้องการ โดยในการศึกษาเกี่ยวกับน้ำท่วม สิ่งที่น่าสนใจจะเป็นเรื่องของอัตราการไหลสูงสุด (peak discharge) และปริมาตรของน้ำท่า (runoff volume) ในขณะที่การออกแบบโครงสร้างชลศาสตร์จะสนใจอัตราการไหลสูงสุด (peak discharge) และนำไปพิจารณาที่รอบปีการเกิด (return period) ต่างๆ ส่วนในการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตรของอ่างเก็บน้ำจะสนใจปริมาณน้ำ ซึ่งในแต่ละผลลัพธ์ที่ต้องการ จะใช้แบบจำลองย่อยในแต่ละแบบจำลองหลักแตกต่างกัน รวมทั้งข้อมูลที่จะใช้ในแต่ละแบบจำลองย่อยก็แตกต่างกัน

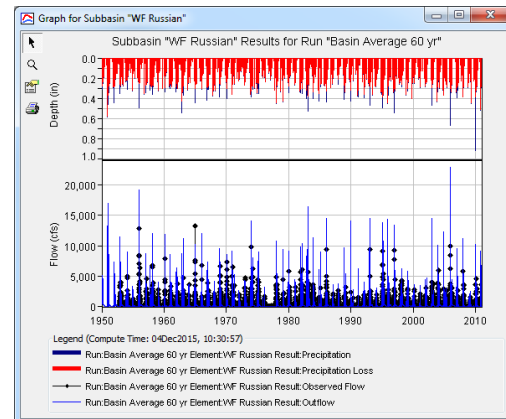
การจำลองระบบลุ่มน้ำ ยังต้องคำนึงถึงความต้องการผลลัพธ์ที่มีความละเอียดมาก หรือละเอียดน้อย ระยะเวลาที่ต้องการผลลัพธ์ และข้อมูลที่ต้องนำมาใช้ ในการจำลองลุ่มน้ำจึงจำแนกการเลือกใช้แบบจำลองมีดังต่อไปนี้

4.2.1 การจำลองแบบเหตุการณ์ (event) กับแบบต่อเนื่อง (continuous)

แบบจำลองเหตุการณ์ (Event Model) หมายถึงแบบจำลองที่สามารถจำลองพฤติกรรมของลุ่มน้ำจาก เหตุการณ์พายุฝนเพียงครั้งเดียว โดยระยะเวลาของเหตุการณ์อาจมีตั้งแต่ไม่กี่ชั่วโมงจนถึงสองสามวัน สามารถแสดงการตอบสนองของลุ่มน้ำได้เฉพาะช่วงระหว่างเกิดพายุฝน และช่วงหลังจากพายุฝนเท่านั้น จึงเหมาะกับเรื่องน้ำท่วมและการออกแบบ ในขณะที่แบบต่อเนื่องจะเป็นการจำลองระยะยาว จึงเหมาะกับการประเมินน้ำรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4-23



ก) เหตุการณ์



ข) ต่อเนื่อง

รูปที่ 4-23 แบบจำลองทางอุทกวิทยาสามารถแบ่งตามช่วงเวลาจำลอง

4.2.2 แบบจำลองเชิงรวม (lumped model) และ แบบจำลองแบบกระจายพื้นที่ (distributed model)

แบบจำลองแบบกระจายพื้นที่ (distributed model) เป็นแบบจำลองที่คำนึงถึงความแปรผันเชิงพื้นที่ ของคุณลักษณะและกระบวนการทางอุทกวิทยาอย่างชัดเจนโดยมักจะ แทนลุ่มน้ำด้วยเซลล์กริด (Grid Cells) และทำการคำนวณแยกต่างหากในแต่ละเซลล์ ในบางกรณีเซลล์กริดอาจมีปฏิสัมพันธ์กับเซลล์ข้างเคียง เช่น การแลกเปลี่ยนน้ำทั้งบนและใต้ผิวดิน ในทางกลับกันแบบจำลองเชิงรวม (lumped model) เป็นแบบจำลองที่ใช้ค่าเฉลี่ยของกระบวนการภายในพื้นที่ย่อย (Subbasin) โดยไม่พิจารณาความแปรผันภายในพื้นที่นั้น ดังแสดงในรูปที่ 4-24 ในกรณีของโปรแกรม HEC-HMS แม้ว่าแบบจำลองแจกแจงเชิงพื้นที่จะถูกใช้งาน แต่ก็ยังเป็นการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ที่เช่นเดียวกันเพียงแต่ ในขนาดพื้นที่ที่เล็กกว่า โดยแบบจำลองแบบกระจายพื้นที่ จะถูกต้องมากกว่าแต่ต้องใช้ข้อมูลมาก และการคำนวณที่ซับซ้อน



ก) lumped



ข) distributed



ค) semi-distributed

รูปที่ 4-24 แบบจำลองทางอุทกวิทยาตามลักษณะของพื้นที่

4.2.3 แบบจำลองเชิงประจักษ์ (empirical model) และแบบจำลองเชิงแนวคิด (conceptual model)

แบบจำลองเชิงประจักษ์ (empirical model) ใช้ข้อมูลสถิติเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปร แบบจำลองเชิงแนวคิด (conceptual model) ผสมผสานระหว่างทฤษฎีกับสมการทางคณิตศาสตร์ จึงใช้ข้อมูลมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4-25

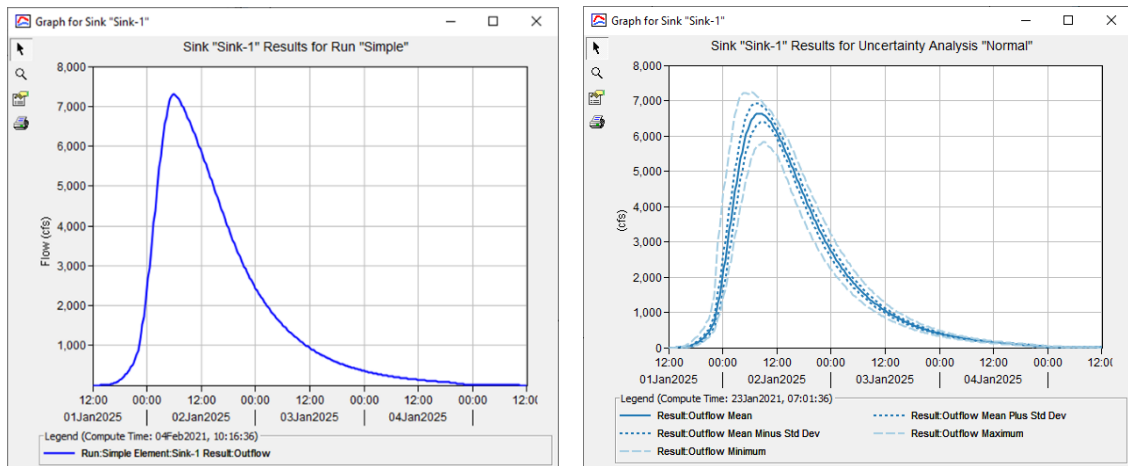
ก) empirical model

ข) conceptual model

รูปที่ 4-25 แบบจำลองเชิงกายภาพและเชิงประจักษ์

4.2.4 แบบจำลองเชิงกำหนดแน่นอน (deterministic model) และ แบบจำลองเชิงสุ่ม (stochastic model)

แบบจำลองเชิงกำหนดแน่นอน (deterministic model) คือ แบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์แน่นอน สำหรับชุดข้อมูลนำเข้า (input) ที่กำหนด ไม่มีความสุ่ม (randomness) เข้ามาเกี่ยวข้อง ถ้าใช้ข้อมูลเดียวกัน ผลลัพธ์จะเหมือนเดิมทุกครั้ง ในขณะที่แบบจำลองเชิงสุ่ม (stochastic model) คือ แบบจำลองที่ รวมความไม่แน่นอน หรือ ความน่าจะเป็น ไว้ในการคำนวณ สำหรับข้อมูลนำเข้า (input) เดียวกัน ผลลัพธ์อาจแตกต่างกันในแต่ละครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4-26 ในการจำลองแบบจำลองอุทกวิทยาส่วนใหญ่ เรามักใช้วิธีการแบบกำหนดแน่นอน (Deterministic Modeling) ซึ่งหมายถึง การใช้ค่าประมาณที่ดีที่สุด (Best Estimate) สำหรับปัจจัยนำเข้า และคำนวณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เพียงหนึ่งชุดเท่านั้น



ก) deterministic model

ข) stochastic model

รูปที่ 4-26 ผลลัพธ์ของแบบจำลองเชิงกำหนดแน่นอนและเชิงสุ่ม

4.2.5 แบบจำลองพารามิเตอร์ที่วัดได้ (measured parameters) และ แบบจำลองที่ใช้พารามิเตอร์ที่ฟิตจากข้อมูล (fitted parameters)

แบบจำลองที่ใช้พารามิเตอร์ที่วัดได้ (Measured-Parameter Model) แบบจำลองประเภทนี้สามารถ กำหนดค่าพารามิเตอร์ได้จากคุณสมบัติของระบบจริง โดยการวัดโดยตรง หรือโดยวิธีการประเมินทางอ้อมซึ่งอิงจากข้อมูลที่วัดได้ เช่น แบบจำลองการแทรกซึม Green and Ampt ส่วนแบบจำลองที่ใช้พารามิเตอร์ที่ฟิตจากข้อมูล (Fitted-Parameter Model) แบบจำลองประเภทนี้ใช้พารามิเตอร์ที่ไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่ต้องได้มาจากการ ปรับค่าพารามิเตอร์ให้สอดคล้องกับข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์ที่สังเกตได้ เช่น แบบจำลองการส่งผ่านน้ำ Muskingum Routing Model ที่ต้องการค่า K – สามารถประมาณค่าได้โดยตรงจาก เวลาเดินทางของน้ำในลำน้ำ (Travel Time of the Reach) และ X – เป็นค่าประเมินเชิงคุณภาพที่แสดงถึง ระดับการลดทอนของคลื่นน้ำ (Attenuation) วิธีเดียวที่จะประมาณค่า X ได้ คือ การเปรียบเทียบ ไฮโดรกราฟต้นทางกับไฮโดรกราฟปลายทาง โปรแกรม HEC-HMS รองรับทั้งแบบจำลองที่ใช้พารามิเตอร์วัดได้ และแบบที่ใช้พารามิเตอร์ที่ฟิตจากข้อมูล

4.3 การเตรียมข้อมูลนำเข้า

ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง HEC-HMS เพื่อการจำลองระบบลุ่มน้ำ จะต้องสอดคล้องกับการวางแผนการจำลองระบบลุ่มน้ำ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2

4.3.1 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง HEC-HMS โดยทั่วไป

ข้อมูลต่างๆ จะเกี่ยวข้องกับแต่ละส่วนงานของแบบจำลอง ประกอบด้วย การสร้างแบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Model) การสร้างแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (Meteorologic Model) การ

ปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) และการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation) รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Model) จะเกี่ยวข้องกับ ข้อมูลคุณลักษณะของลุ่มน้ำ (basin characteristics) แบบจำลองการสูญเสีย (loss model) แบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง (direct runoff models) แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow models) แบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ (routing models) แบบจำลองการวัดอาคารบังคับน้ำ (water control measure) การเบี่ยงเบนจากอาคารบังคับน้ำ (diversion) และอ่างเก็บน้ำ (storage facility)

2) ข้อมูลสำหรับแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (Meteorologic Model) ได้แก่ ข้อมูลอนุกรมเวลา (time series) ของปริมาณฝน การใช้น้ำของพืชหรือการคายระเหย น้ำท่า ซึ่งอาจเป็นรายนาที่ ชั่วโมง รายวัน ระยะเวลาต้องครอบคลุมระยะเวลาการจำลอง

3) ข้อมูลสำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) จะใช้ข้อมูลในช่วงเวลาที่จะดำเนินการปรับเทียบแบบจำลอง ประกอบด้วย ปริมาณฝน การใช้น้ำของพืชหรือการคายระเหย น้ำท่า ซึ่งอาจเป็นรายนาที่ ชั่วโมง อาจมีหลายชุดข้อมูล

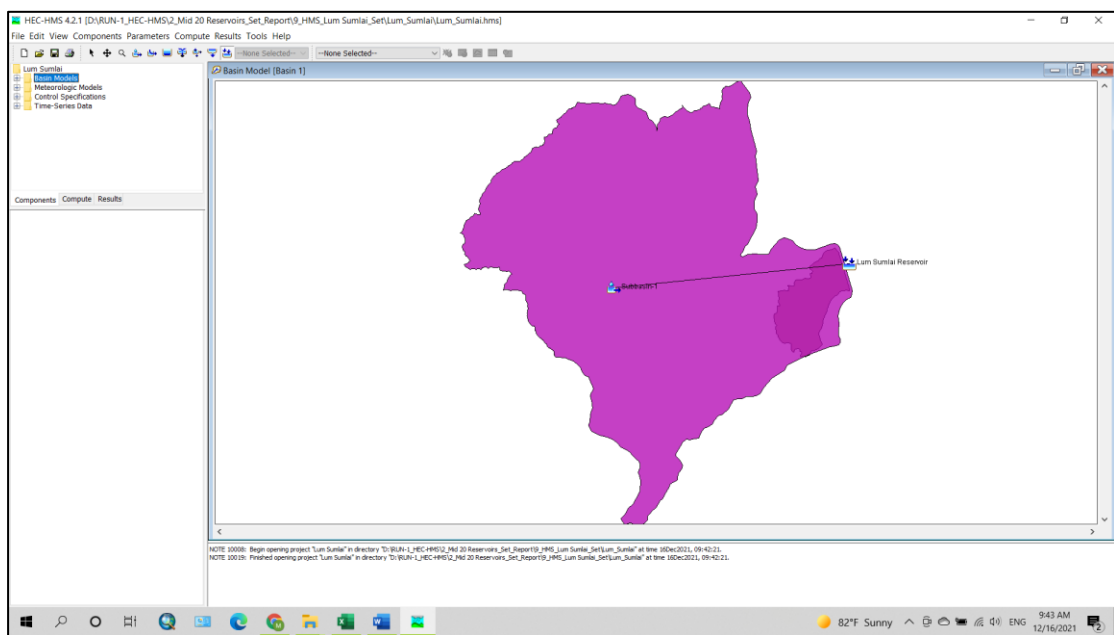
4) ข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation) จะใช้ข้อมูลในช่วงเวลาที่จะดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วย ปริมาณฝน การใช้น้ำของพืชหรือการคายระเหย น้ำท่า ซึ่งอาจเป็นรายนาที่ ชั่วโมง อาจมีหลายชุดข้อมูล

4.3.2 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง HEC-HMS ในการอบรมนี้

การอบรมนี้เป็นการฝึกปฏิบัติการใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในการประเมินปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง ซึ่งเน้นการใช้งานจริงในกรมชลประทาน โดยอ่างเก็บน้ำขนาดกลางซึ่งอยู่ในการดูแลของกรมชลประทาน มีจำนวนถึง 435 แห่ง ข้อมูลระยะยาวของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางที่พบส่วนใหญ่จะมาจากการคำนวณอุทกวิทยาอย่างง่าย ($Q = CiA$ เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของน้ำ i คือ ปริมาณฝน A คือพื้นที่รับน้ำ และ C คือสัมประสิทธิ์น้ำท่า ซึ่งจะใช้ C เท่ากับ 0.6) ซึ่งก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง การนำแบบจำลอง HEC-HMS มาเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมของน้ำในระบบลุ่มน้ำลงสู่อ่างเก็บน้ำขนาดกลาง จะทำให้ได้ข้อมูลเป็นไปตามหลักวิชาการมากขึ้น

จากอดีตจวบจนปัจจุบัน กรมชลประทานได้ดำเนินงานโดยมุ่งเน้นการบริหารจัดการน้ำของอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่เป็นหลัก ซึ่งทำให้มีข้อมูลการไหลของน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำครบถ้วน สมบูรณ์ถูกต้องและมีระยะยาว ในทางกลับกัน ข้อมูลการไหลของน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำค่อนข้างมีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งความน่าเชื่อถือของข้อมูลทางอุทกวิทยาที่จะนำมาวิเคราะห์ควรมีอย่างน้อย 30 ปี ดังนั้นข้อมูลต่างๆ ในพื้นที่รับน้ำของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางจึงมีน้อย ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองไม่ได้มีรูปแบบโดยตรงตามที่ต้งนำเข้าในแบบจำลอง จึงต้องมีการประยุกต์ เพื่อให้สามารถนำมาใช้ร่วมกับแบบจำลองได้

โดยอ่างเก็บน้ำขนาดกลางส่วนใหญ่มีพื้นที่รับน้ำไม่มาก และด้วยข้อมูลที่มีอย่างจำกัด จึงจำลองเป็นแบบจำลองเชิงรวม (lumped model) หรือเป็นลุ่มน้ำเดี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 4-27 และแบบจำลองการสูญเสีย (Loss Model) โดย วิธี Deficit and Constant ส่วนแบบจำลองน้ำท่าผิวดิน (Direct Runoff Model) โดย วิธี SCS Unit Hydrograph ในขณะที่แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (Base Flow Model) โดย วิธี Constant Monthly ปรับเทียบแบบจำลองในปี พ.ศ. 2556 และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ในช่วงปี พ.ศ. 2558–2560 โดยเน้นปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำปีปกติ และมีข้อมูลอุตุและอุทกครบ ค่าสหสัมพันธ์ (R) ต้องมีมากกว่า 0.6 ค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) และค่าอื่นๆ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

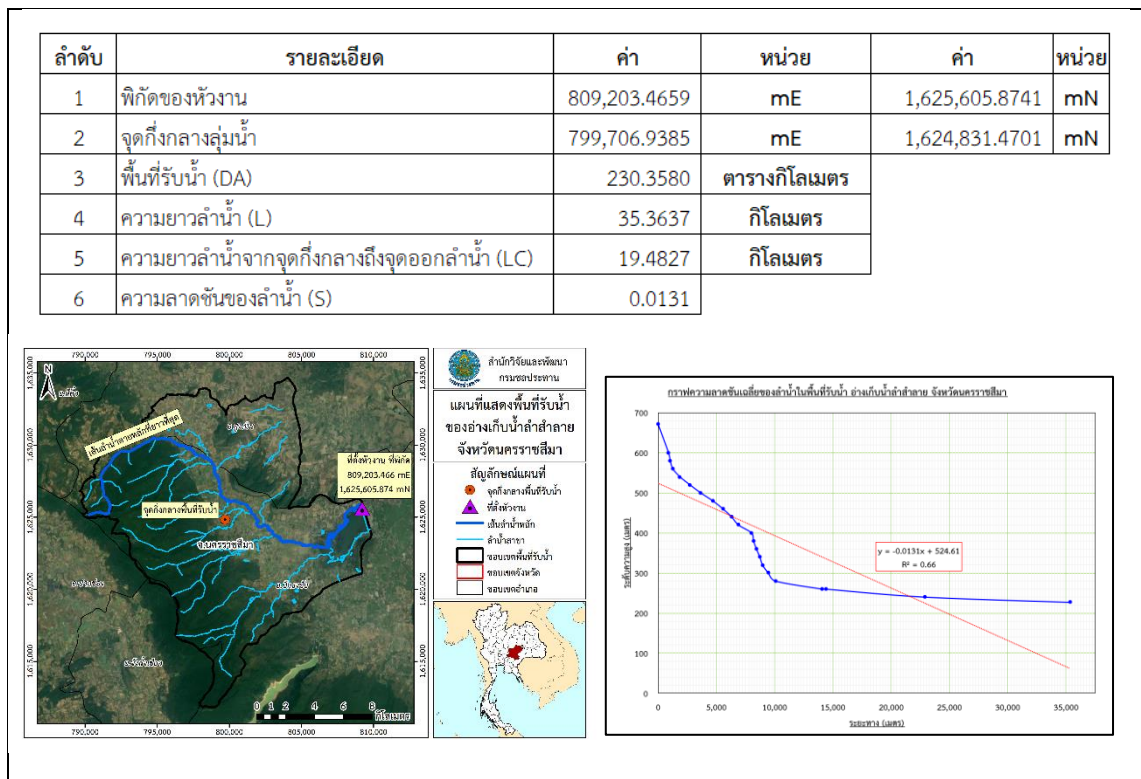


รูปที่ 4-27 การจำลองลุ่มน้ำโดยใช้แบบจำลองเชิงรวม

4.3.3 การเตรียมข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Model)

ข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Model) ได้แก่ ข้อมูลคุณลักษณะของลุ่มน้ำ (basin characteristics) แบบจำลองการสูญเสีย (loss model) แบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง (direct runoff models) แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow models) รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

- 1) การเตรียมข้อมูลคุณลักษณะของลุ่มน้ำ (basin characteristics) ดำเนินการโดยใช้ข้อมูล DEM และข้อมูลสำรวจพิกัด มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม GIS (QGIS หรือ ArcGIS) รวมทั้งในแบบจำลอง HEC-HMS เพื่อหาข้อมูล ขอบเขตลุ่มน้ำ พิกัดของหัวงาน จุดกึ่งกลางลุ่มน้ำ พื้นที่รับน้ำ (DA) ความยาวลำน้ำ (L) ความยาวลำน้ำจากจุดกึ่งกลางถึงจุดออกลำน้ำ (LC) ความลาดชันของลำน้ำ (S) ดังแสดงในรูปที่ 4-28



รูปที่ 4-28 การหาข้อมูลคุณลักษณะของลุ่มน้ำ

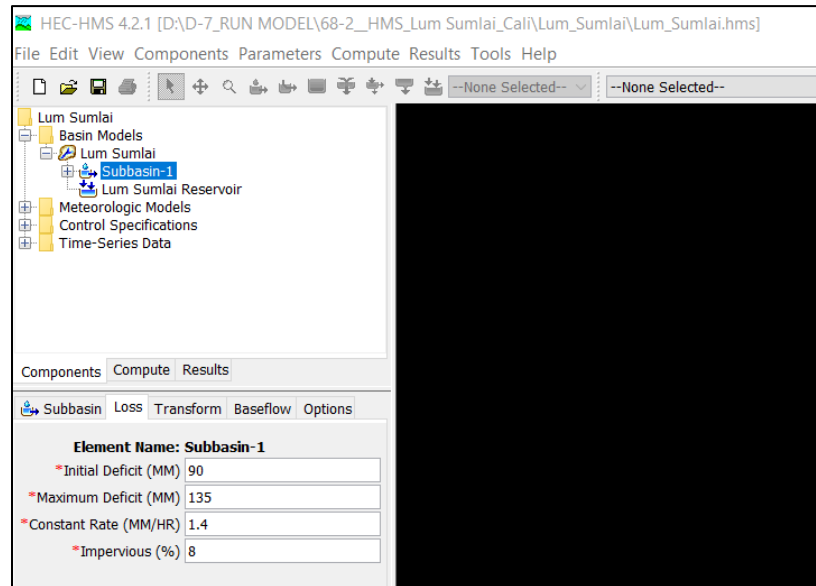
2) การเตรียมข้อมูลของแบบจำลองการสูญเสีย (loss model) ได้ใช้วิธี Deficit and Constant ดังแสดงในรูปที่ 4-29 ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีที่ใช้ในการประมาณ การสูญเสีย (losses) ที่ไม่กลายเป็นน้ำท่า เช่น การซึมลงดิน การคายน้ำ ฯลฯ โดยเฉพาะในการจำลองน้ำท่าจากฝน (rainfall-runoff modeling) หลักการของวิธี Deficit and Constant ถือว่าดินมีความสามารถในการกักเก็บน้ำได้ (deficit storage) เมื่อดินยังไม่อิ่มตัว การซึมจะขึ้นอยู่กับปริมาณที่ยังขาดอยู่ มีอัตราคงที่ ของการสูญเสียหลังจากดินอิ่มตัวแล้ว ค่าที่ต้องกำหนดเริ่มต้น 4 ค่า ได้แก่

- Initial Deficit คือ ปริมาณช่องว่างการกักเก็บในดินเริ่มต้นก่อนฝนเริ่มตก มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม., MM) คำนวณได้โดยใช้ข้อมูลเริ่มต้น เช่น ความชื้นดิน หรือค่าสมมุติจากการสอบเทียบ (calibration) หรือค่าแนะนำของแบบจำลอง (default) หรือรายงานการศึกษาในพื้นที่หรือใกล้เคียง

- Maximum Deficit คือ ความสามารถสูงสุดที่ดินสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ (field capacity - initial condition) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม., MM) คำนวณได้จากการศึกษาคุณสมบัติดิน (เช่น ความจุความชื้นของดิน) หรือปรับโดยการสอบเทียบกับเหตุการณ์ฝนน้ำท่าในอดีต

- Constant Rate คือ อัตราคงที่ของการสูญเสียหลังจากดินอิ่มตัวแล้ว มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/ชั่วโมง (มม./ชม., MM/HR) คำนี้นหาได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลฝน-น้ำท่า หรือใช้ค่าคงที่ตามคู่มือหรือการสอบเทียบ

- Impervious คือ พื้นที่ที่ไม่ยอมให้น้ำฝนซึมผ่านลงสู่ดิน เช่น ถนนคอนกรีต/แอสฟัลต์ อาคาร/หลังคา ลานจอดรถ เป็นต้น หากจากแผนที่การใช้ที่ดิน (Land Use) โดยใช้เครื่องมือ GIS

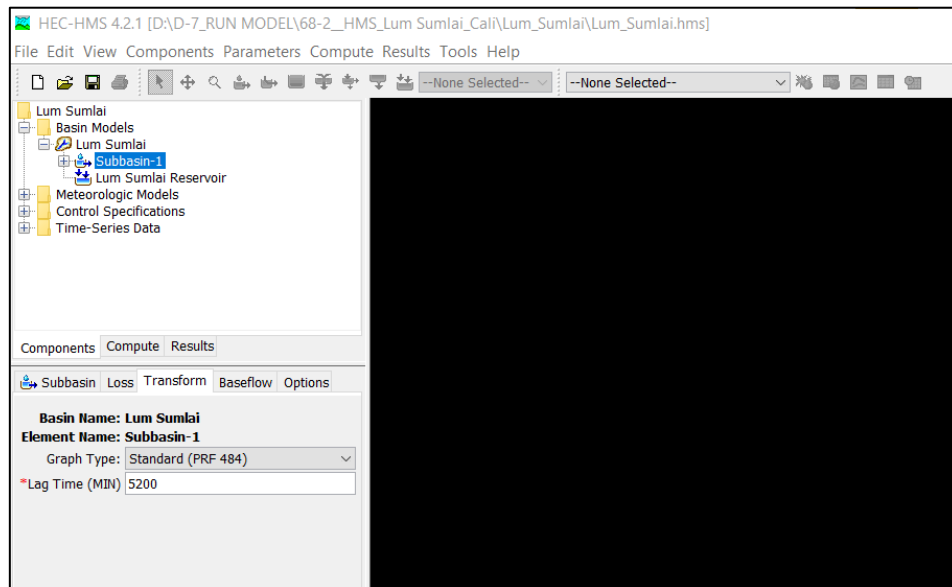


รูปที่ 4-29 แบบจำลองการสูญเสียน้ำวิธี Deficit and Constant

3) การเตรียมข้อมูลของแบบจำลองน้ำท่าผิวดิน (Direct Runoff Model) โดย วิธี SCS Unit Hydrograph ดังแสดงในรูปที่ 4-30 ซึ่งเป็นวิธีของ US Soil Conservation Service (SCS) ที่ใช้สร้าง hydrograph ของน้ำท่าผิวดิน จากปริมาณฝนล้น (excess rainfall) โดยอาศัย รูปแบบ hydrograph หน่วย (unit hydrograph) ที่พัฒนาจากลักษณะทั่วไปของกลุ่มน้ำ อาศัยหลักการว่า ปริมาณฝนล้น 1 นิ้ว (หรือ 1 มม.) ที่ตกอย่างสม่ำเสมอภายใน เวลาเดียวกัน (duration) จะทำให้เกิด hydrograph รูปแบบหนึ่ง เรียกว่า unit hydrograph ในแบบจำลองจะให้เลือกชนิดของกราฟ (Graph Type) และ ค่าเวลาหน่วง (Lag Time)

- ชนิดของกราฟ (Graph Type) หมายถึง รูปแบบของ Unit Hydrograph ที่ใช้ในการจำลอง ซึ่งโดยทั่วไปใน SCS Unit Hydrograph Graph Type จะถูกกำหนด อัตโนมัติ เป็นแบบ Triangular (สามเหลี่ยม) ตามรูปแบบที่พัฒนาโดย SCS เดิม โดยใช้ “Standard PRF 484”

- ค่าเวลาหน่วง (Lag Time) คือ เวลาหน่วงระหว่างศูนย์กลางของ ฝนล้น กับ ยอดจุดสูงสุดของ Hydrograph มีหน่วยเป็นนาทีก (MIN) สามารถหาได้จากการคำนวณโดยใช้ ข้อมูลคุณลักษณะของกลุ่มน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4-31



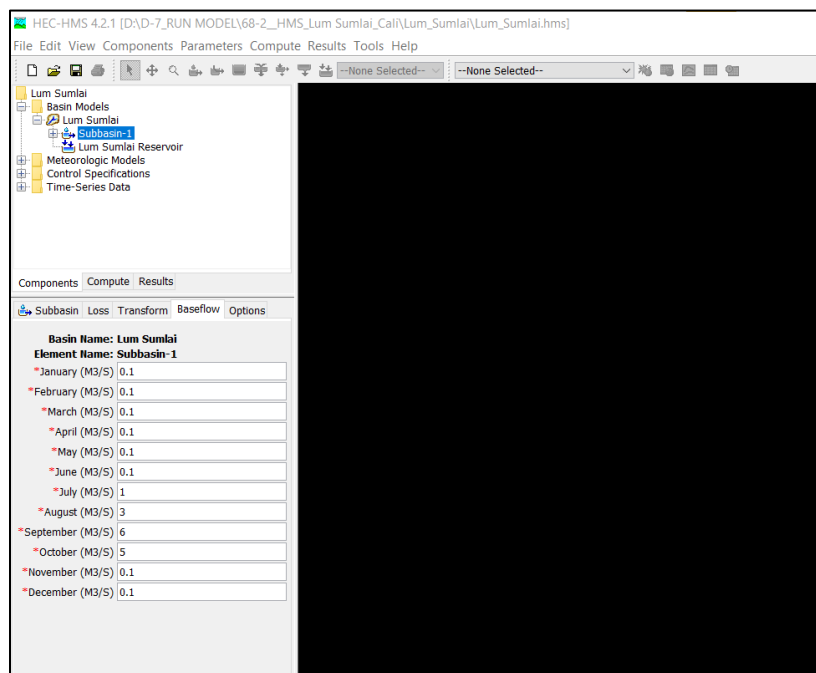
รูปที่ 4-30 แบบจำลองน้ำท่าผิวดินโดยวิธี SCS Unit Hydrograph

ลำดับ	รายละเอียด	ค่า	หน่วย	ค่า	หน่วย
1	พิกัดของหัวงาน	809,203.4659	mE	1,625,605.8741	mN
2	จุดกึ่งกลางลุ่มน้ำ	799,706.9385	mE	1,624,831.4701	mN
3	พื้นที่รับน้ำ (DA)	230.3580	ตารางกิโลเมตร	Kirpich 1940 apply hydrology pp 500	
4	ความยาวลำน้ำ (L)	35.3637	กิโลเมตร		
5	ความยาวลำน้ำจากจุดกึ่งกลางถึงจุดออกลำน้ำ (LC)	19.4827	กิโลเมตร		
6	ความลาดชันของลำน้ำ (S)	0.0131			
7	Time of Concentration (T_c)	328.6	นาที		
8	Duration of excess rainfall (t_e) 1 day	1,440.0	นาที		
9	Lag Time (t_p) = 0.6Tc	197.2	นาที		
10	time of Rise (T_p) = $t_e/2 + t_p$	917.2	นาที	0.64	day

Summary of time of concentration formulas		
Method and Date	Formula for t_c (min)	Remarks
Kirpich (1940)	$t_c = 0.0078L^{0.775}S^{-0.385}$ L = length of channel/ditch from headwater to outlet, ft S = average watershed slope, ft/ft	Developed from SCS data for seven rural basins in Tennessee with well-defined channel and steep slopes (3% to 10%); for overland flow on concrete or asphalt surfaces multiply t_c by 0.4; for concrete channels multiply by 0.2; no adjustments for overland flow on bare soil or flow in roadside ditches.
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 60(11.9L^3/H)^{0.385}$ L = length of longest watercourse, mi H = elevation difference between divide and outlet, ft	Essentially the Kirpich formula; developed from small mountainous basins in California (U. S. Bureau of Reclamation, 1973, pp. 67-71).
Izzard (1946)	$t_c = \frac{41.025(0.0007i + c)L^{0.33}}{S^{0.333/0.567}}$ i = rainfall intensity, in/h c = retardance coefficient L = length of flow path, ft S = slope of flow path, ft/ft	Developed in laboratory experiments by Bureau of Public Roads for overland flow on roadway and turf surfaces; values of the retardance coefficient range from 0.0070 for very smooth pavement to 0.012 for concrete pavement to 0.06 for dense turf; solution requires iteration; product i times L should be ≤ 500 .
Federal Aviation Administration (1970)	$t_c = 1.8(1.1 - C)L^{0.50}S^{0.333}$ C = rational method runoff coefficient L = length of overland flow, ft S = surface slope, %	Developed from air field drainage data assembled by the Corps of Engineers; method is intended for use on airfield drainage problems, but has been used frequently for overland flow in urban basins.

รูปที่ 4-31 การหาค่าของ Unit Hydrograph

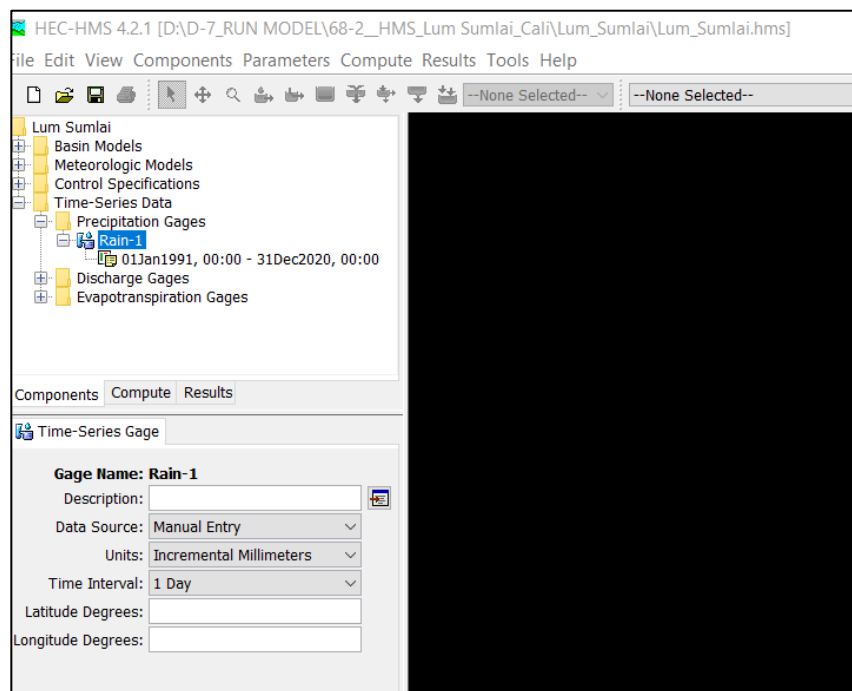
4) การเตรียมข้อมูลแบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow models) ได้ใช้วิธี Constant Monthly ดังแสดงในรูปที่ 4-32 ซึ่งการไหลพื้นฐาน คือ ปริมาณการไหลของน้ำในลำธารที่มีแหล่งกำเนิดจาก น้ำใต้ดิน ความชื้นในดิน หรือน้ำที่ค่อยๆ ซึมออกมา ไหลอย่างต่อเนื่องแม้ไม่มีฝนตก เป็นพื้นฐานของการไหลในลำธาร โดยเฉพาะในช่วงที่ไม่มีน้ำฝน ในการใช้วิธี Constant Monthly เป็น แบบจำลอง baseflow ที่ง่ายที่สุดใน HEC-HMS โดยกำหนดว่าการไหลพื้นฐานในแต่ละเดือนจะมีค่า คงที่ และเปลี่ยนแปลงตามเดือน หากค่าเริ่มต้นได้โดยพิจารณาจากข้อมูลน้ำไหลเข้าอ่างในช่วงที่ไม่มีฝน หรือการเปรียบเทียบแบบจำลอง



รูปที่ 4-32 แบบจำลองการไหลพื้นฐานเมื่อใช้วิธี Constant Monthly

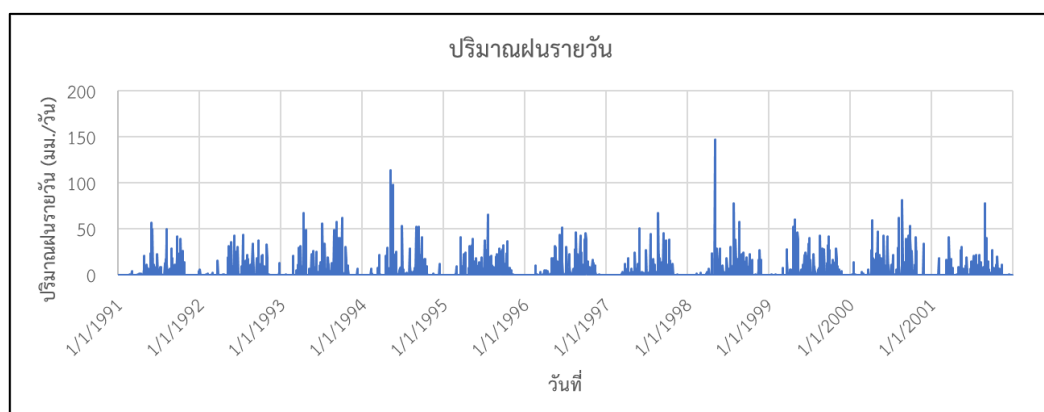
4.3.4 ข้อมูลสำหรับแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (Meteorologic Model)

ข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (Meteorologic Model) ดังแสดงในรูปที่ 4-33 ได้แก่ ข้อมูลอนุกรมเวลา (time series) ของปริมาณฝน การใช้น้ำของพืชหรือการคายระเหย น้ำท่า ซึ่งอาจเป็นรายนาที่ ชั่วโมง รายวัน ระยะเวลาต้องครอบคลุมระยะเวลาการจำลอง ตั้งแต่การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation) และการประยุกต์ใช้แบบจำลอง (Model Application) จำลองระยะยาว



รูปที่ 4-33 การสร้างแบบจำลองอุทกนิยวิทยา

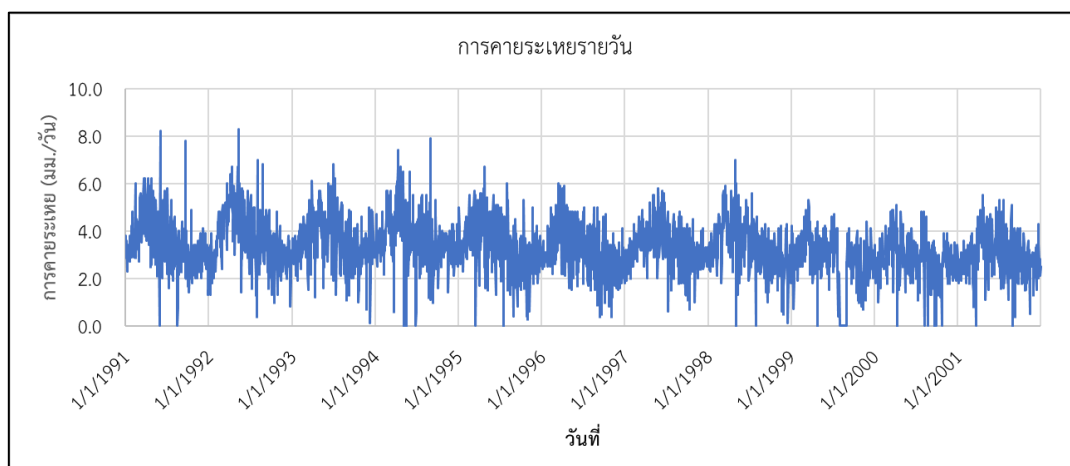
1) ข้อมูลปริมาณฝนรายวัน ได้ใช้เตรียมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1991 ถึง 2020 ระยะเวลา 30 ปี ครอบคลุมช่วงเวลาปรับเทียบแบบจำลองในปี ค.ศ. 2013 (พ.ศ. 2556) และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ในช่วงปี ค.ศ. 2015–2017 (พ.ศ. 2558–2560) ดังแสดงในรูปที่ 4-34 ข้อมูลจะได้มาจากสถานีอุทกนิยวิทยา อาจใช้สถานีตัวแทนที่ใกล้เคียงพื้นที่ หรือถ้ามีหลายสถานีจะหาค่าเฉลี่ยจากวิธีการอื่น



รูปที่ 4-34 ข้อมูลอนุกรมเวลาปริมาณฝนรายวัน

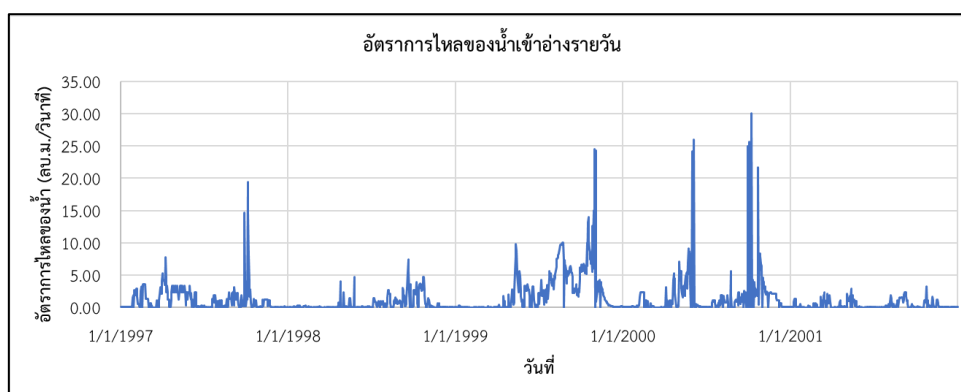
2) ข้อมูลการใช้ น้ำของพืชหรือการคายระเหย ได้ใช้เตรียมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1991 ถึง 2020 ระยะเวลา 30 ปี ครอบคลุมช่วงเวลาปรับเทียบแบบจำลองในปี ค.ศ. 2013 (พ.ศ.

2556) และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ในช่วงปี ค.ศ. 2015–2017 (พ.ศ. 2558–2560) ดังแสดงในรูปที่ 4-35 ข้อมูลจะได้มาจากสถานีอุตุนิยมวิทยา อาจใช้สถานีตัวแทนที่ใกล้เคียงพื้นที่ หรือถ้ามีหลายสถานีจะหาค่าเฉลี่ยจากวิธีการีเอสเซนเหมือนปริมาณฝน



รูปที่ 4-35 ข้อมูลอนุกรมเวลาการใช้น้ำของพืช

3) ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำ ได้ใช้เตรียมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1991 ถึง 2020 ระยะเวลา 30 ปี ครอบคลุมช่วงเวลาปรับเทียบแบบจำลองในปี ค.ศ. 2013 (พ.ศ. 2556) และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ในช่วงปี ค.ศ. 2015–2017 (พ.ศ. 2558–2560) ดังแสดงในรูปที่ 4-36 จะนำข้อมูลการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ซึ่งอ่างขนาดกลางจะมีข้อมูลไหลออก ซึ่งต้องหาย้อนกลับไปหาปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง ซึ่งต้องมีการตรวจสอบข้อมูลเป็นอย่างดี เนื่องจากคุณภาพของข้อมูลจะต่ำกว่าอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่



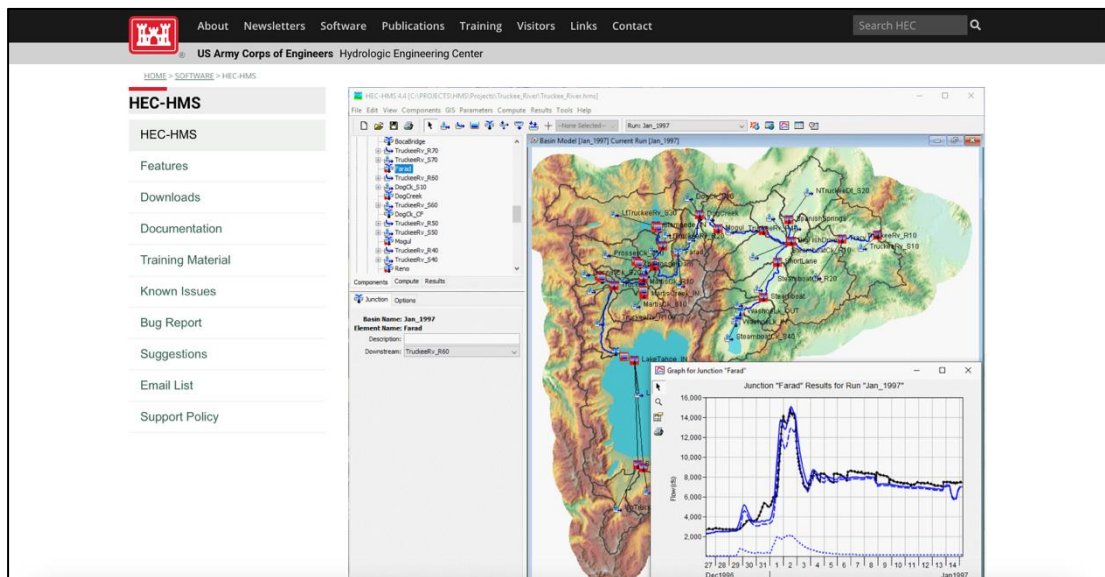
รูปที่ 4-36 ข้อมูลอนุกรมเวลาอัตราการไหลของน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำ

บทที่ 5 การติดตั้งแบบจำลอง HEC-HMS

5.1 การดาวน์โหลดโปรแกรมและคู่มือ

5.1.1 การดาวน์โหลดโปรแกรม

ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดโปรแกรม HEC-HMS ได้จากเว็บไซต์อย่างเป็นทางการของ Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers ผ่าน URL:
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>



เมื่อเข้าสู่เว็บไซต์แล้ว ให้เลือกเมนู “Download” เพื่อเข้าสู่หน้าดาวน์โหลดโปรแกรม

The screenshot shows the 'Downloads' page of the HEC-HMS website. The 'Downloads' link in the left navigation menu is highlighted with a red box. The main content area provides information about the software, including a disclaimer and download links for different operating systems.

Windows

The Windows setup package contains HEC-HMS 4.12. After starting the program, Documentation and Sample projects are available from the Help menu. HEC-HMS 4.12 has been tested on Windows 10 64-Bit.

Beta Version:

Download HEC-HMS 4.13 Beta 6 (280 MB) [Release Notes]

Current Version (Primary Download Site):

Download HEC-HMS 4.12 for Windows (238 MB) [Release Notes]
Download HEC-HMS 4.12 Portable Version (275 MB) [Release Notes]

Archived Versions:

macOS

The disk image contains HEC-HMS 4.12. After starting the program, Documentation and Sample projects are available from the Help menu.

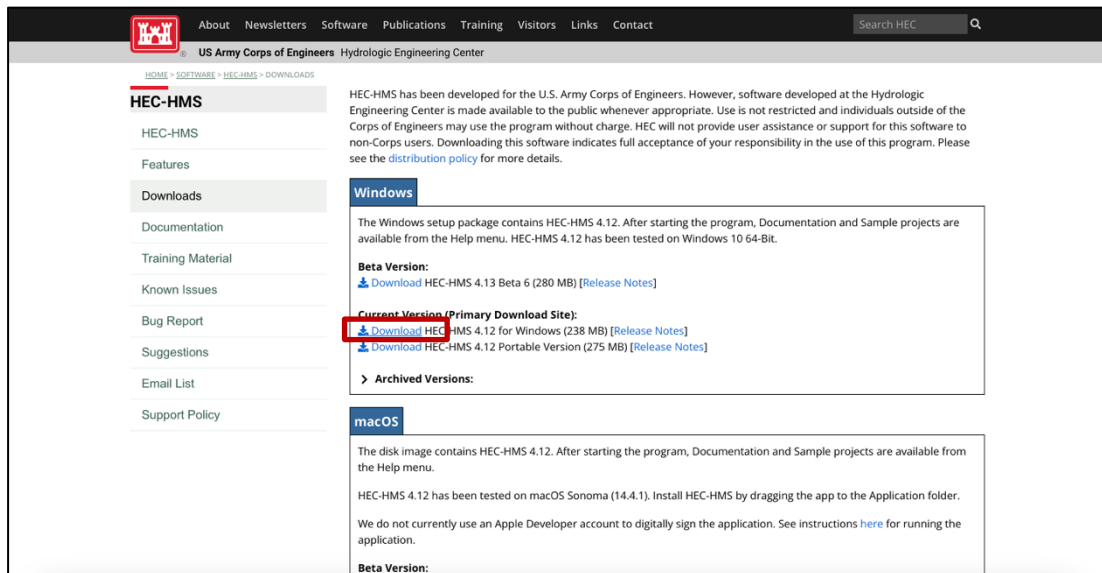
HEC-HMS 4.12 has been tested on macOS Sonoma (14.4.1). Install HEC-HMS by dragging the app to the Application folder.

We do not currently use an Apple Developer account to digitally sign the application. See instructions [here](#) for running the application.

Beta Version:

5.1.2 การเลือกชุดติดตั้งที่เหมาะสมกับระบบปฏิบัติการ

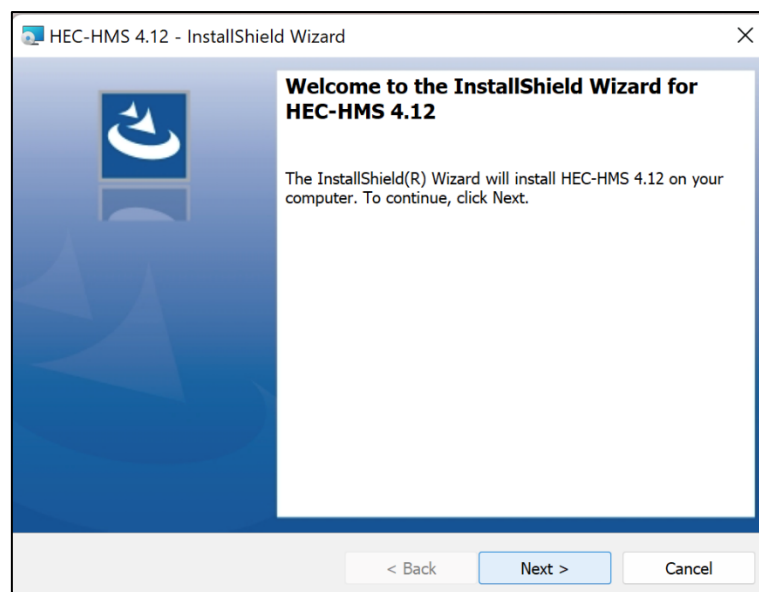
ให้เลือกชุดติดตั้ง (Installer) ที่ตรงกับระบบปฏิบัติการที่ใช้งาน ซึ่งรองรับทั้ง Windows, macOS และ Linux ในคู่มือนี้จะใช้งานโปรแกรม HEC-HMS เวอร์ชัน 4.12 บนระบบปฏิบัติการ Windows เป็นตัวอย่างประกอบการดำเนินการ



5.2 การติดตั้งแบบจำลอง

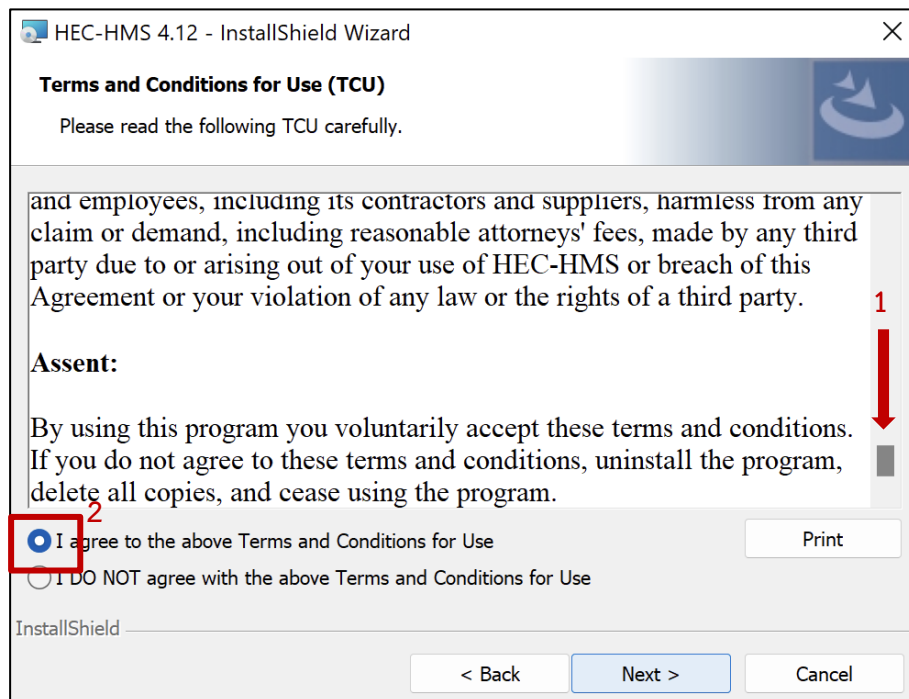
5.2.1 การเริ่มต้นกระบวนการติดตั้งโปรแกรม

เมื่อทำการดาวน์โหลดไฟล์ติดตั้งเสร็จสิ้นแล้ว ให้ดับเบิลคลิกไฟล์เพื่อลงมือเริ่มต้นติดตั้ง จากนั้นคลิก "Next >" เพื่อดำเนินการในขั้นตอนถัดไป



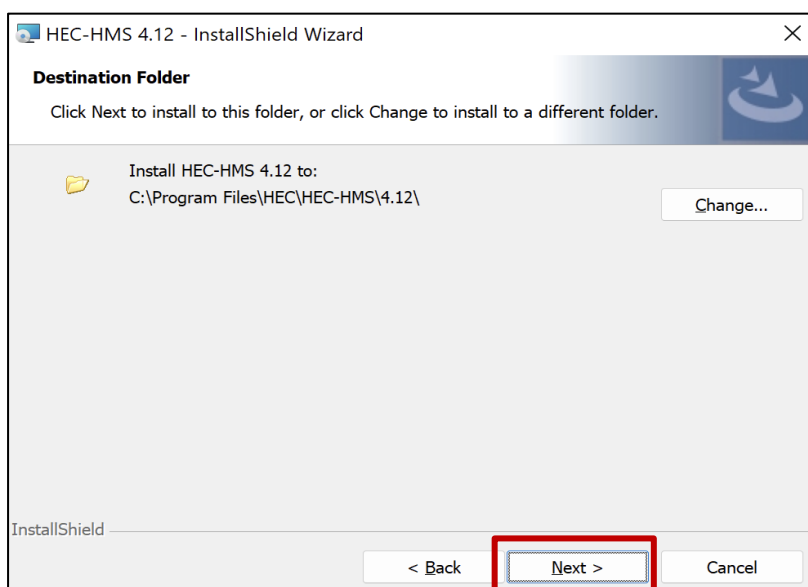
5.2.2 การยอมรับข้อตกลงสิทธิ์การใช้งาน

ระบบจะแสดงข้อตกลงสิทธิ์การใช้งาน (License Agreement) ให้เลื่อนอ่านรายละเอียดจนสุดหน้าจอ แล้วทำเครื่องหมายยอมรับข้อตกลง จากนั้นคลิก "Next >"



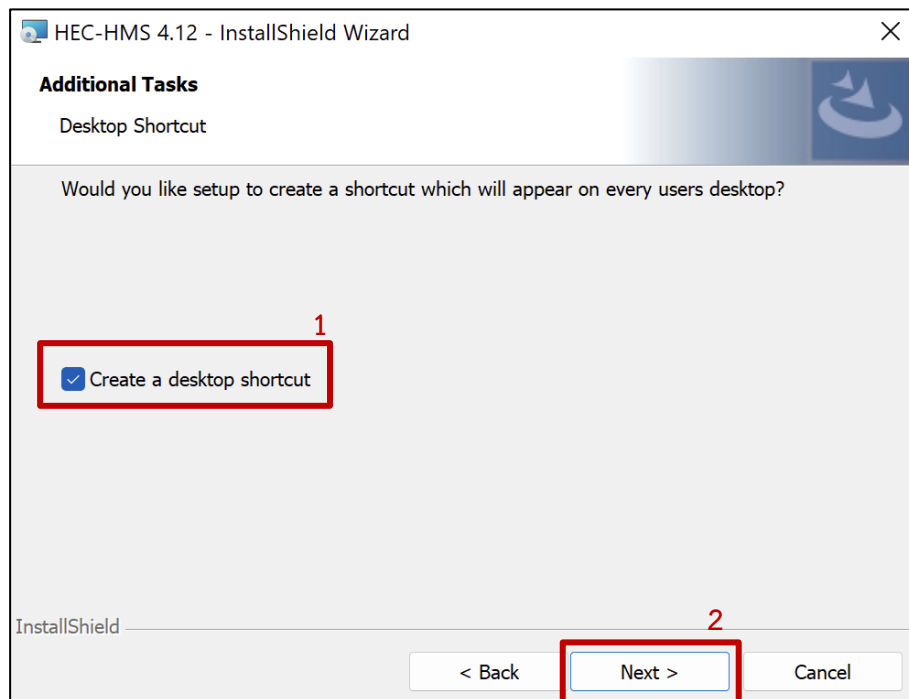
5.2.3 การกำหนดตำแหน่งการติดตั้งโปรแกรม

ในขั้นตอนนี้ให้กำหนดตำแหน่ง (Path) สำหรับติดตั้งโปรแกรม โดยค่าเริ่มต้นจะติดตั้งในโฟลเดอร์ C:\Program Files\ จากนั้นคลิก "Next >" เพื่อดำเนินการต่อไป



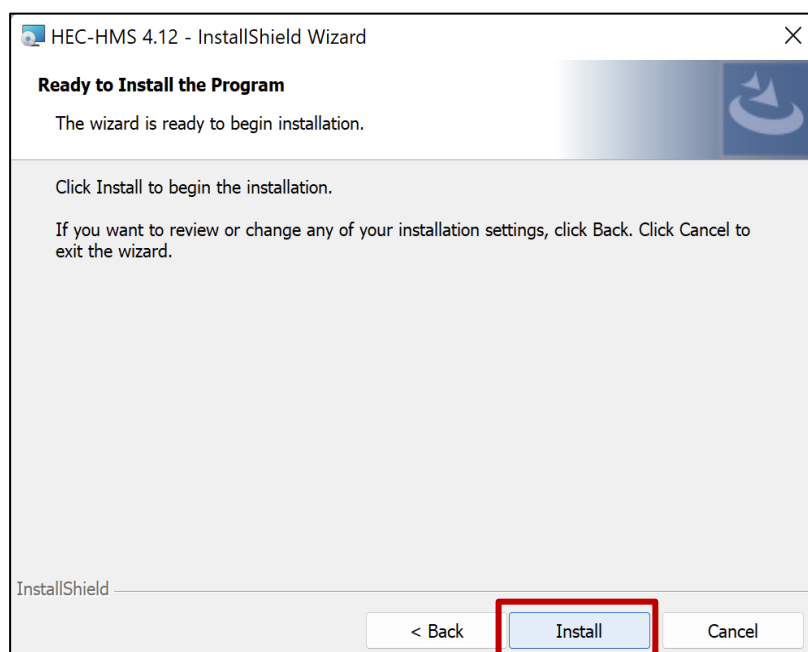
5.2.4 การสร้างไอคอนบนหน้าจอเดสก์ท็อป (ตามความต้องการ)

หากประสงค์ให้มีไอคอนโปรแกรมบนหน้าจอเดสก์ท็อป ให้เลือกตัวเลือกสำหรับสร้างไอคอน จากนั้นคลิก "Next >" เพื่อดำเนินการต่อ



5.2.5 การยืนยันเริ่มต้นการติดตั้ง

เมื่อกำหนดค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ให้คลิก "Install" เพื่อเริ่มต้นกระบวนการติดตั้งโปรแกรม

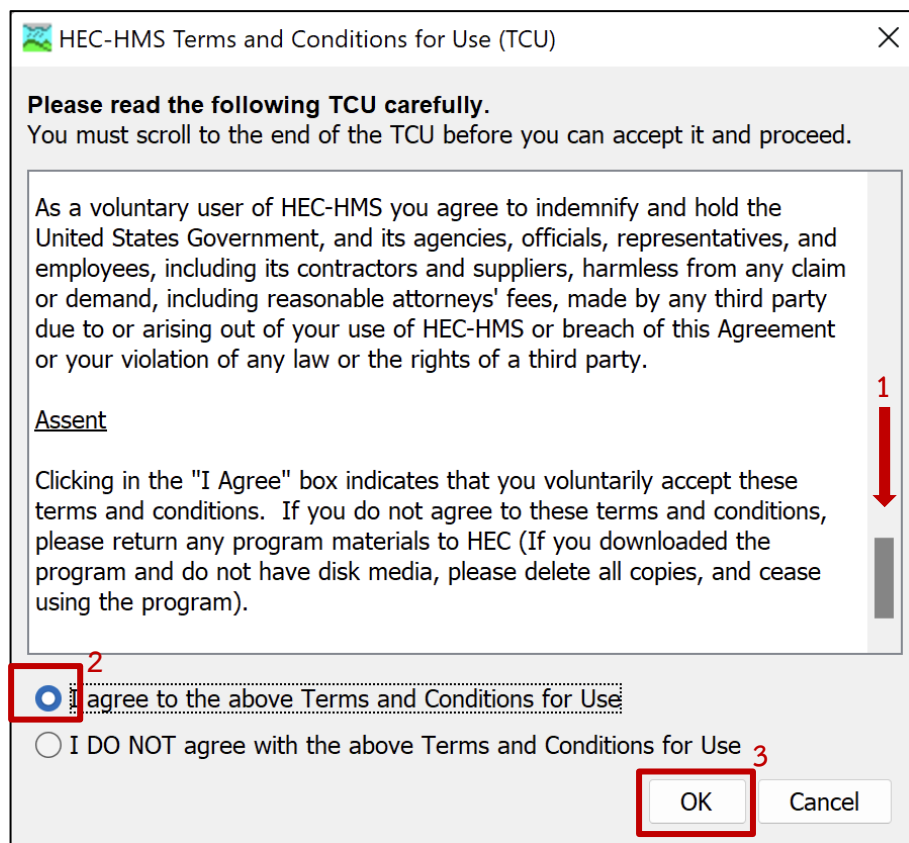


5.2.6 การสิ้นสุดกระบวนการติดตั้ง

เมื่อการติดตั้งเสร็จสิ้น ระบบจะแสดงหน้าจอแจ้งเตือนการสิ้นสุดการติดตั้ง ให้คลิก "Finish" เพื่อสิ้นสุดขั้นตอน

5.2.7 การเปิดโปรแกรมครั้งแรกและการยอมรับข้อตกลงการใช้งาน

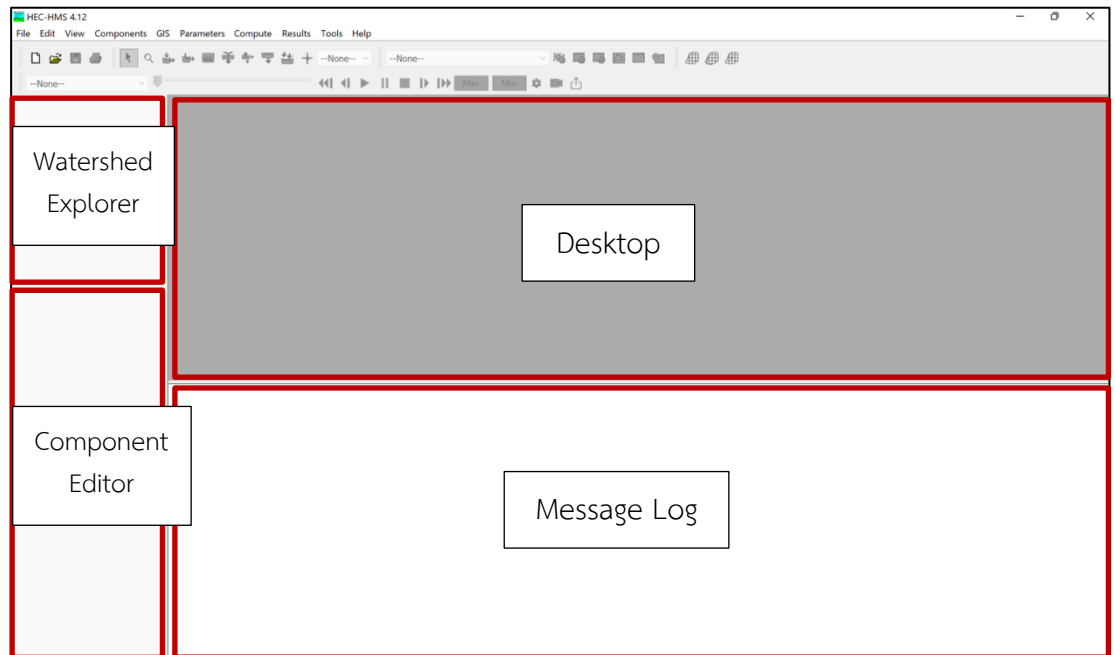
เมื่อเปิดโปรแกรม HEC-HMS ครั้งแรก โดยดับเบิลคลิกที่ไอคอนโปรแกรม จะมีหน้าต่างแสดงข้อตกลงการใช้งานปรากฏขึ้นอีกครั้ง ให้เลื่อนอ่านจนสุด และกด "OK" เพื่อยอมรับข้อตกลงดังกล่าว



5.2.8 การเข้าสู่หน้าต่างหลักของโปรแกรม

หลังจากนั้น โปรแกรม HEC-HMS จะเข้าสู่หน้าต่างหลัก ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ได้แก่

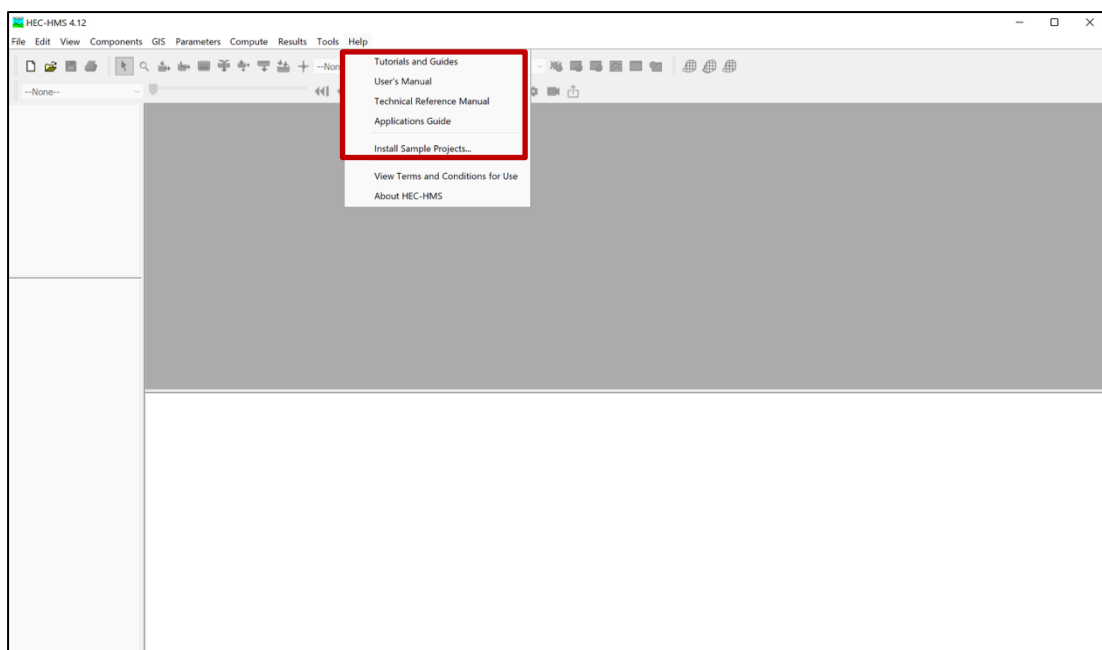
- Desktop: เป็น workspace หลักของโปรแกรม HEC-HMS ทั้งหมด
- Watershed Explorer: เป็นโครงสร้างแบบ hierarchical tree ใช้สำหรับจัดการทุกองค์ประกอบ (component) ในโครงการ
- Component Editor: ใช้สำหรับแก้ไข parameter ของแต่ละ component ที่เลือกไว้ใน Watershed Explorer



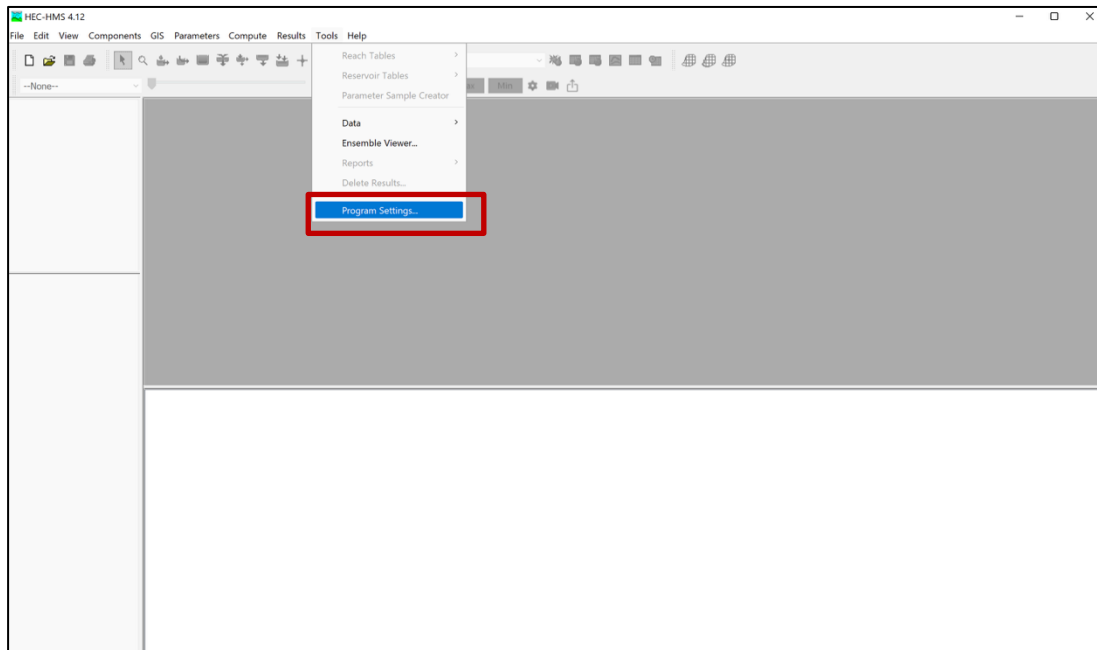
- Message Log: รายงานข้อความจากระบบระหว่างการทำงาน เช่น error, warning

5.2.10 การตั้งค่าเพิ่มเติมและคู่มือการใช้งาน

- สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรม เช่น คู่มือเริ่มต้น (Quick Start Guide), คู่มือผู้ใช้ (User's Manual), คู่มือทางเทคนิค (Technical Reference Manual) และตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ สามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมได้ในเมนู “Help” ภายในโปรแกรม
- ในการติดตั้งชุดตัวอย่างโครงการเพิ่มเติม (Sample Projects) สามารถดำเนินการได้ตามคำแนะนำที่ระบุไว้ภายในโปรแกรม



5.2.11 การตั้งค่าพื้นฐานของโปรแกรม

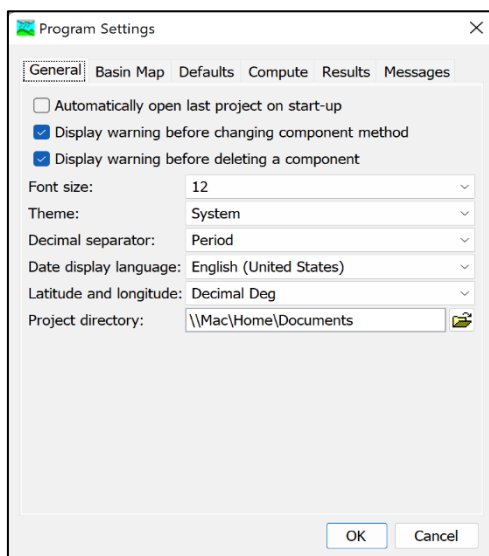


เพื่อปรับแต่งค่าพื้นฐานของโปรแกรม สามารถเข้าไปที่เมนู Tools > Program Settings

โดยมีตัวเลือกการตั้งค่าพื้นฐานในหัวข้อ General ดังนี้

- **Date display language:** กำหนดรูปแบบภาษาสำหรับการแสดงวันที่ ในตัวอย่างนี้เลือกเป็น English (United States)
- **Latitude and longitude:** กำหนดรูปแบบค่าละติจูดและลองจิจูด ในตัวอย่างนี้เลือกเป็น Decimal Deg (Decimal Degrees) ซึ่งแสดงค่าในรูปแบบตัวเลขทศนิยม
- **Project directory:** กำหนดตำแหน่งสำหรับจัดเก็บไฟล์โครงการ ในตัวอย่างนี้เลือกเป็นโฟลเดอร์ Documents

เมื่อกำหนดค่าเรียบร้อยแล้วให้คลิก "OK" เพื่อบันทึกการตั้งค่า

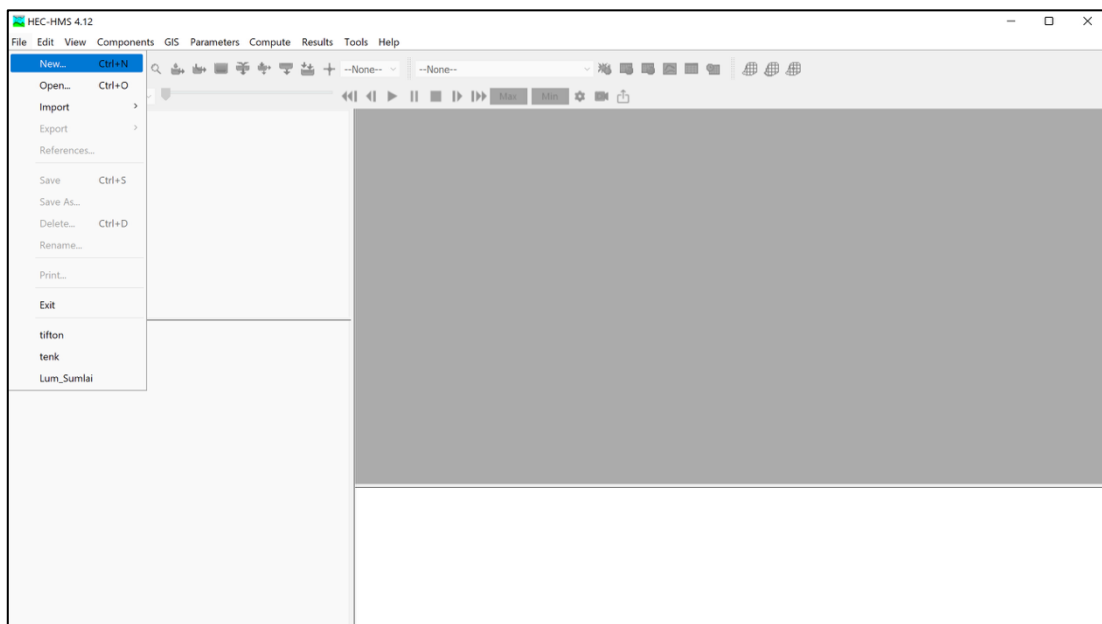


บทที่ 6 การจัดทำแบบจำลอง HEC-HMS

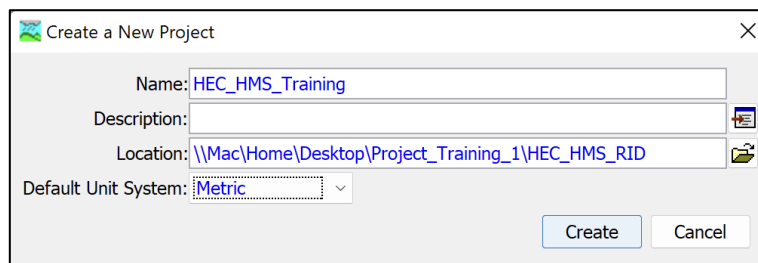
6.1 การสร้างแบบจำลองลุ่มน้ำ (Basin Models)

6.1.1 สร้างโปรเจกต์ใหม่

1. เปิดโปรแกรม HEC-HMS
2. ไปที่เมนู File และเลือก New...



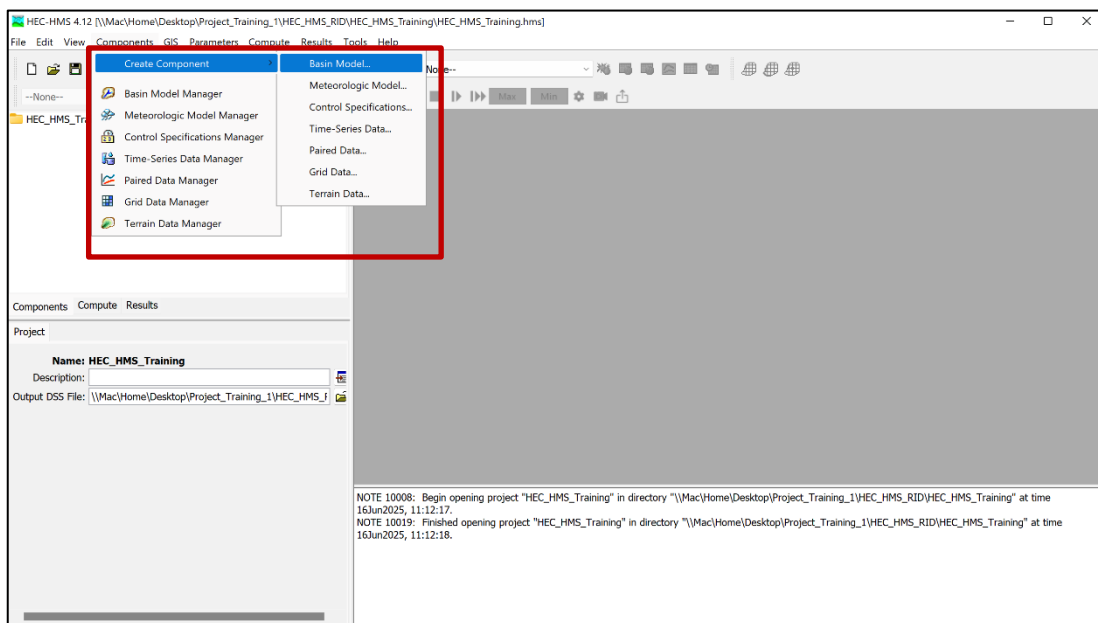
3. ในหน้าต่าง "Create a New Project" ให้ ป้อนชื่อ (Name) สำหรับโปรเจกต์ของผู้ใช้
4. เลือกหน่วยเป็น Metric (SI) หรือระบบหน่วยที่ผู้ใช้ต้องการ
5. เลือก Path ที่จะจัดเก็บไฟล์โปรเจกต์ของผู้ใช้
6. คลิก Create เพื่อสร้างโปรเจกต์



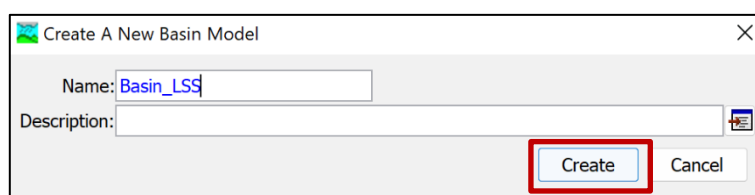
6.1.2 สร้าง Basin Model ใหม่

Basin Model เป็นองค์ประกอบหลักสำหรับการอธิบายคุณสมบัติทางกายภาพของกลุ่มน้ำและโครงสร้างของเครือข่ายลำน้ำ

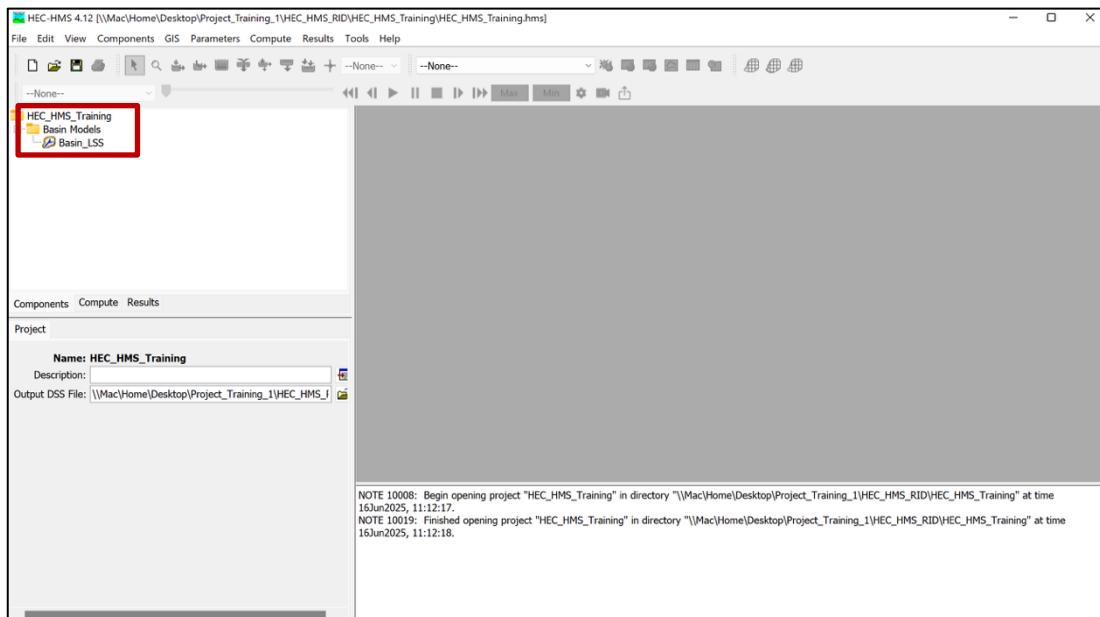
1. ไปที่เมนู Components และเลือก Basin Model Manager
2. ในหน้าต่าง "Basin Model Manager" ให้คลิกปุ่ม New



3. จะมีหน้าต่างปรากฏขึ้น ให้ กำหนดชื่อ (Name) สำหรับ Basin Model ใหม่ของผู้ใช้

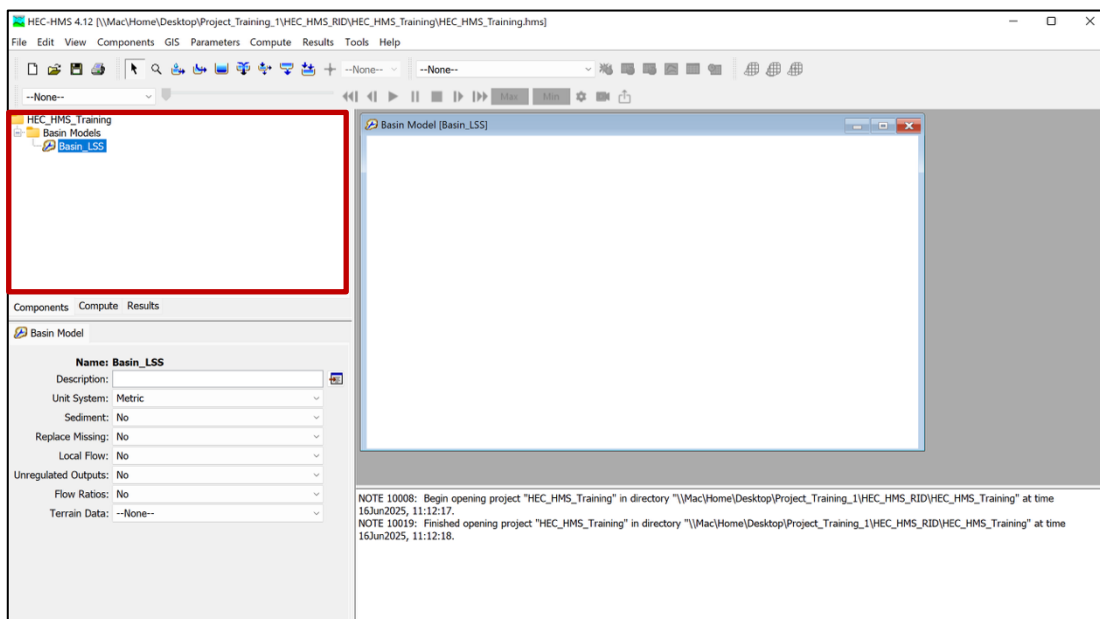


4. คลิก Create แผนທີ່ Basin Model จะเปิดขึ้นในพื้นที่ Desktop



6.1.3 เพิ่มองค์ประกอบทางอุทกวิทยา (Hydrologic Elements)

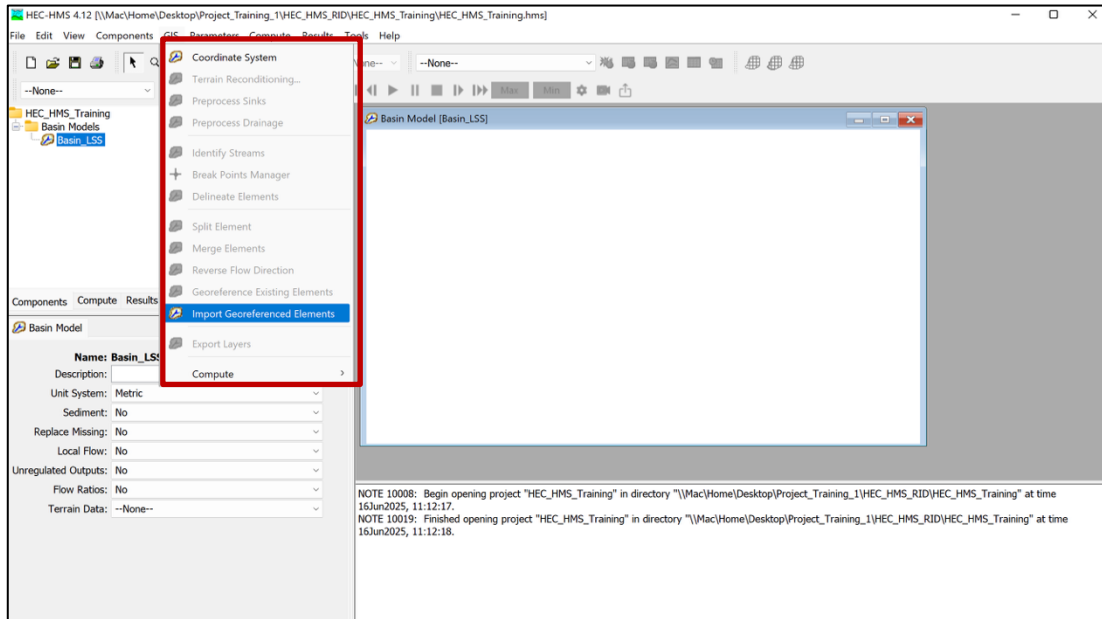
1. ตรวจสอบให้แน่ใจว่า Basin Model ที่จะวิเคราะห์ถูกเลือก ใน Watershed Explorer เพื่อแสดง Basin Map ในพื้นที่ Desktop



2. เปิดเครื่องมือสร้างองค์ประกอบ จาก Toolbar เลือก Element Creation Tool ในกรณีนี้เลือก Subbasin สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย และ Sink สำหรับจุดระบายน้ำออกของกลุ่มน้ำ การนำเข้าข้อมูลขอบเขต Basin ดำเนินการด้วยไฟล์ GIS

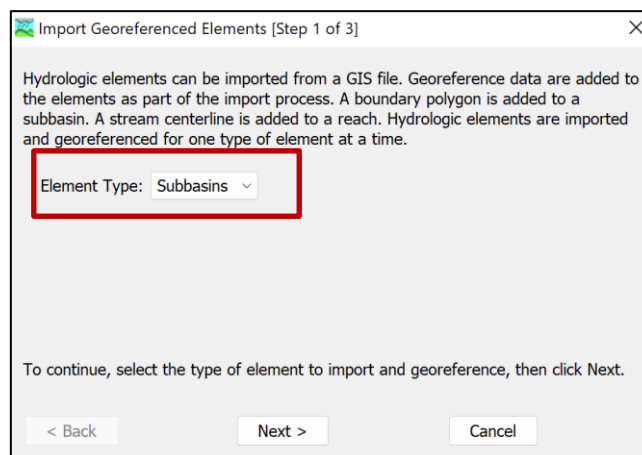
2.1 ในการเพิ่มองค์ประกอบ Subbasin ลงใน Basin Model สามารถนำเข้าข้อมูลขอบเขตพื้นที่จากไฟล์ GIS เพื่อช่วยให้การสร้างโมเดลสะดวกและเห็นภาพมากขึ้น โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) เรียกคำสั่งนำเข้า Georeferenced Elements จากแถบเมนูด้านบนเลือก GIS > **Import Georeferenced Elements** คำสั่งนี้ใช้สำหรับนำเข้าข้อมูลตำแหน่งเชิงพื้นที่ขององค์ประกอบอุทกวิทยาจากไฟล์ GIS (Shapefile)



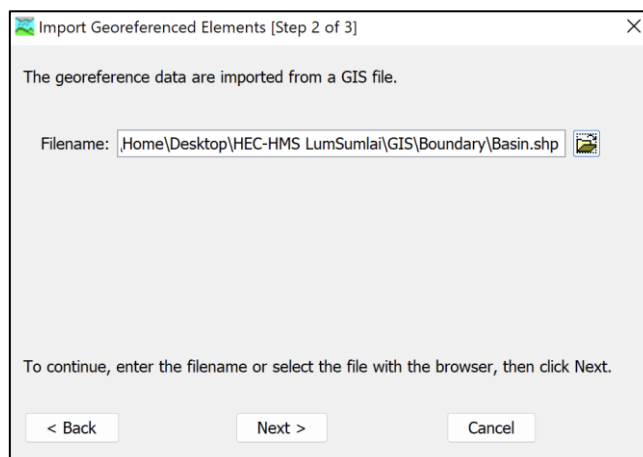
2) เลือกประเภทองค์ประกอบที่จะนำเข้า (Element Type)

ระบบจะแสดงหน้าต่าง Import Georeferenced Elements [Step 1 of 3] ที่ช่อง **Element Type** ให้เลือกเป็น Subbasins จากนั้นกด **Next** เพื่อไปยังขั้นตอนถัดไป



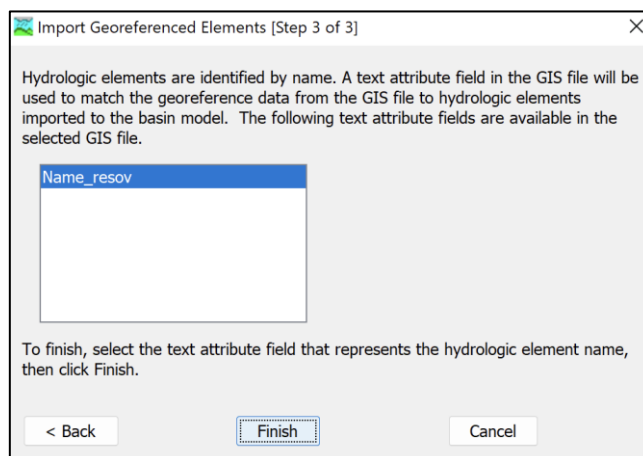
3) เลือกไฟล์ GIS ที่ต้องการนำเข้า

ในหน้าต่าง Import Georeferenced Elements [Step 2 of 3] ที่ช่อง **Filename:** ให้เลือกไฟล์ GIS ที่ต้องการ (ต้องเป็นไฟล์ *.shp) ในตัวอย่างนี้เลือกไฟล์: \\Home\Desktop\HEC-HMS LumSumlai\GIS\Boundary\Basin.shp จากนั้นกด **Next**



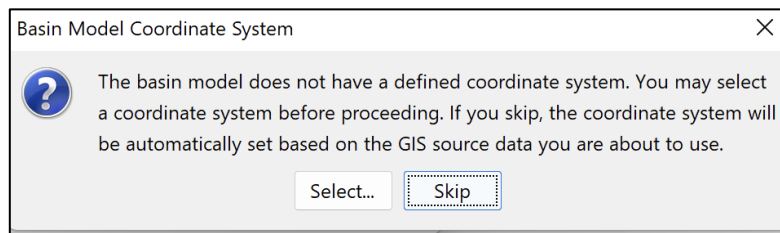
4) เลือก Attribute สำหรับชื่อองค์ประกอบ

ในหน้าต่าง Import Georeferenced Elements [Step 3 of 3] ระบบจะแสดงชื่อ Field (Attribute) จากข้อมูล GIS ซึ่งใช้กำหนดชื่อของแต่ละ Subbasin ในที่นี้เลือก Field ชื่อว่า Name_resov จากนั้นกด **Finish** เพื่อสิ้นสุดกระบวนการนำเข้า



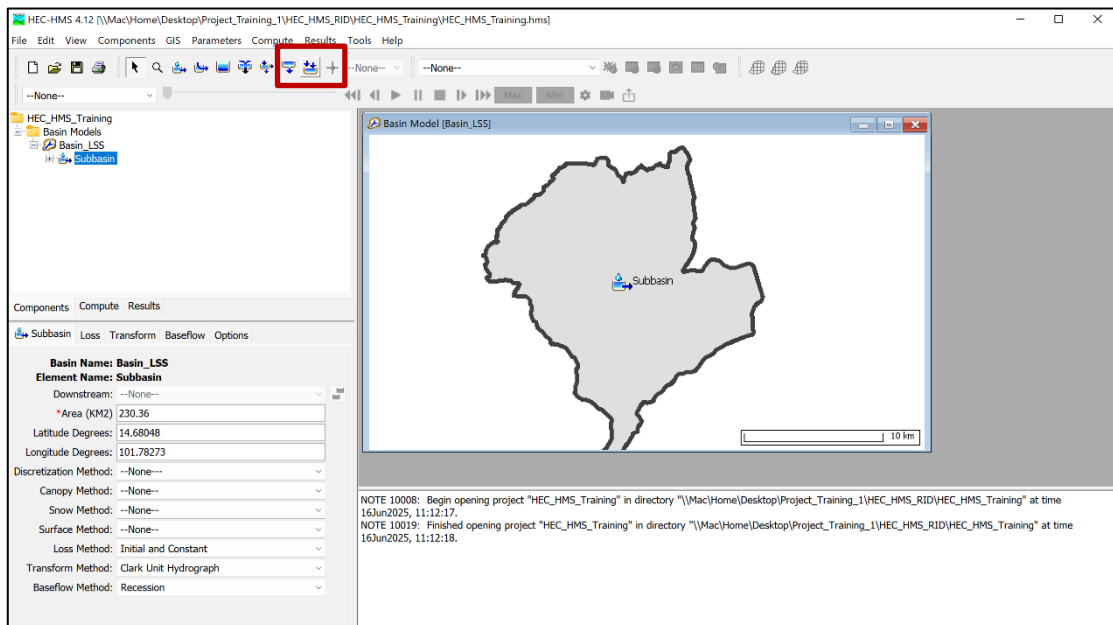
5) กำหนดระบบพิกัดของ Basin Model (หากยังไม่ได้ตั้งไว้)

หากยังไม่ได้ตั้งระบบพิกัดไว้ โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง Basin Model Coordinate System ผู้ใช้งานสามารถเลือกกำหนดระบบพิกัดด้วยตนเองโดยกด **Select...** หรือปล่อยให้โปรแกรมกำหนดพิกัดตามข้อมูล GIS ที่นำเข้าโดยกด **Skip**

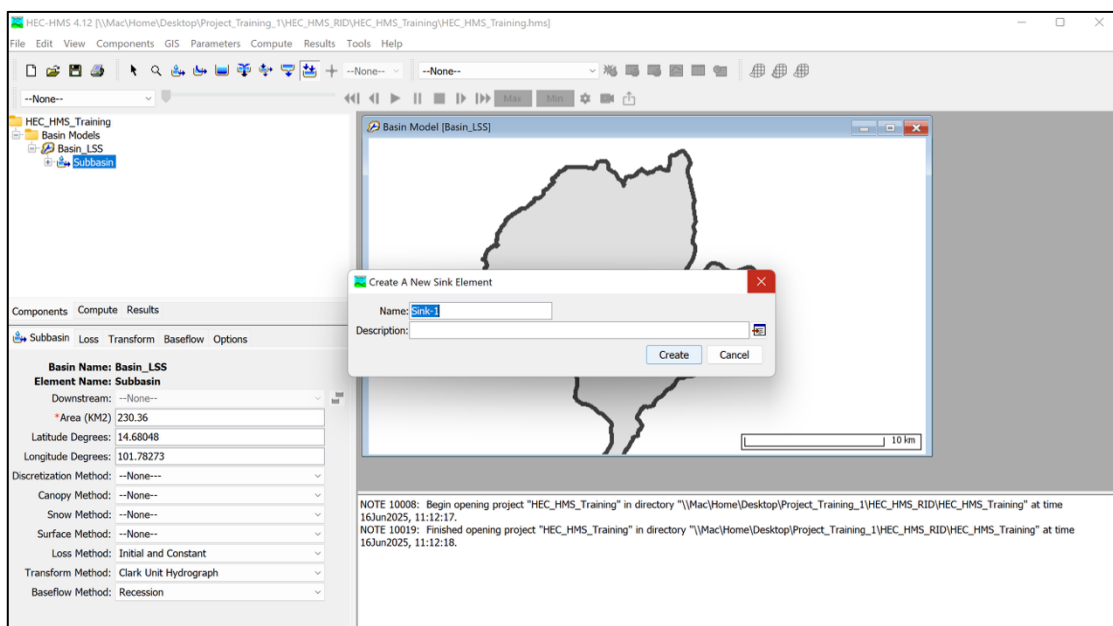


2.2 สร้างองค์ประกอบ Sink สำหรับจุดระบายน้ำออกของกลุ่มน้ำ

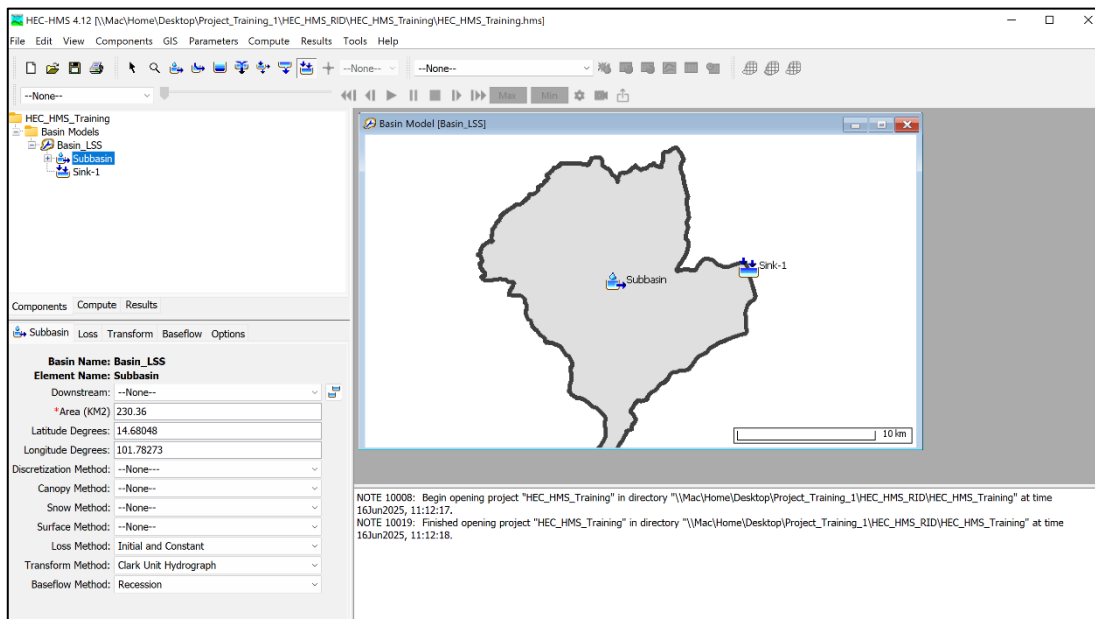
1) เลื่อนเมาส์ไปบนหน้าต่าง Basin Model Map แล้ว คลิกเมาส์ซ้าย ที่ตำแหน่งที่ต้องการสำหรับองค์ประกอบนั้น



2) จะมีหน้าต่างปรากฏขึ้นเพื่อให้คุณ ป้อนชื่อ (Name) และ คำอธิบาย (Description) สำหรับองค์ประกอบอุทกวิทยาใหม่ ป้อนรายละเอียดแล้วคลิก Create



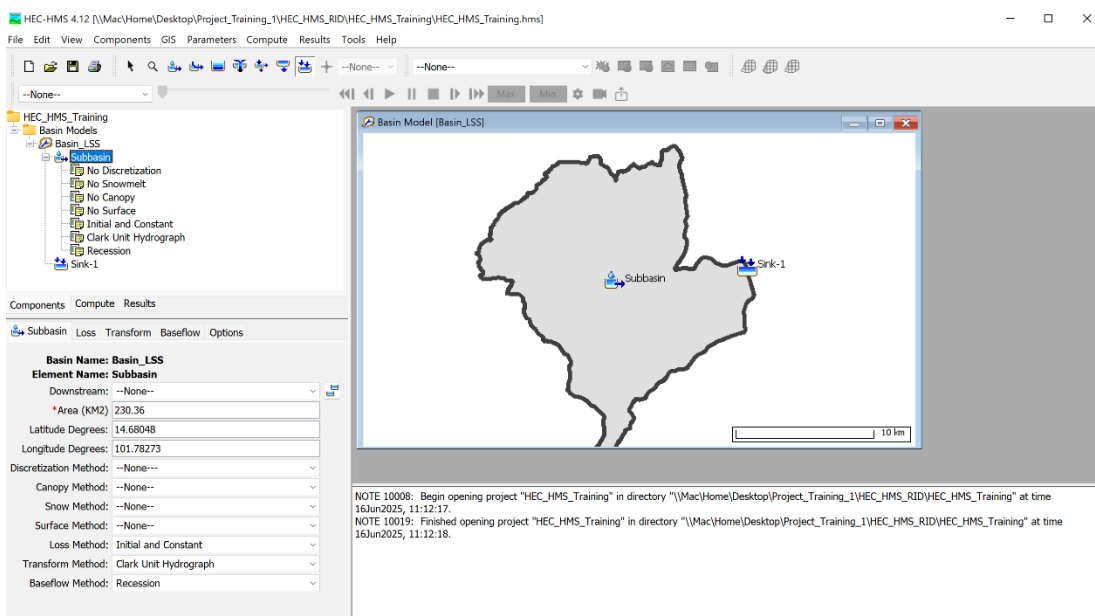
3. ทำซ้ำขั้นตอนนี้กรณีหากต้องการเพิ่มองค์ประกอบที่จำเป็นทั้งหมดตามโครงสร้างของกลุ่มน้ำ



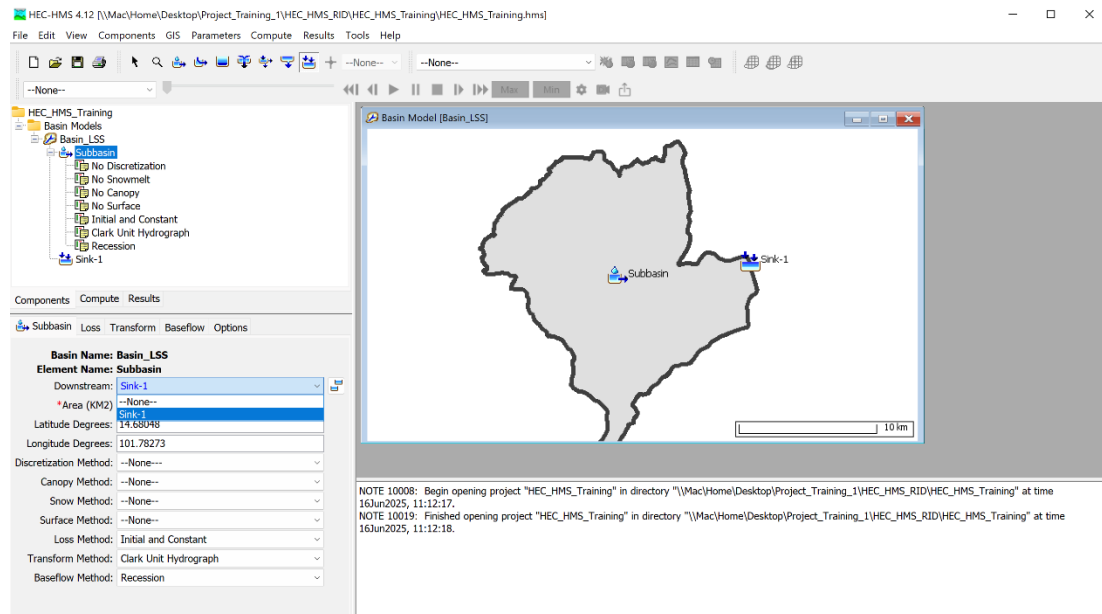
6.1.4 เชื่อมต่อองค์ประกอบอุทกวิทยา

องค์ประกอบต่างๆ จะถูกเชื่อมต่อกันในเครือข่ายแบบแตกแขนง (network) โดยที่การไหลจะดำเนินจากองค์ประกอบต้นน้ำไปยังองค์ประกอบท้ายน้ำ

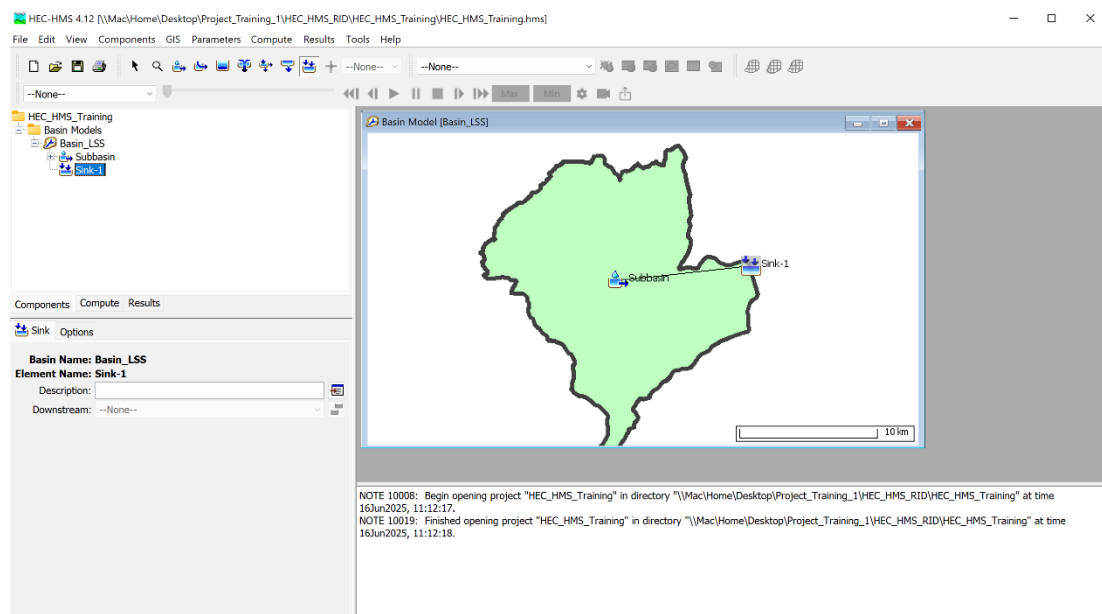
1. เลือกองค์ประกอบต้นน้ำ ใน Basin Map



2. เลือกองค์ประกอบที่จะเป็น Downstream จากรายการที่ปรากฏ ในบริเวณส่วนของ Component Editor



3. ทำซ้ำขั้นตอนนี้จนกว่าองค์ประกอบอุทกวิทยาของคุณทั้งหมดจะเชื่อมต่อกันเพื่อสร้างเครือข่ายการไหลที่สมบูรณ์



6.1.5 ป้อนข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับแต่ละองค์ประกอบ

องค์ประกอบอุทกวิทยาแต่ละตัวต้องการข้อมูลพารามิเตอร์เฉพาะเพื่อให้โปรแกรมจำลองกระบวนการทางอุทกวิทยาที่แสดงอยู่ได้

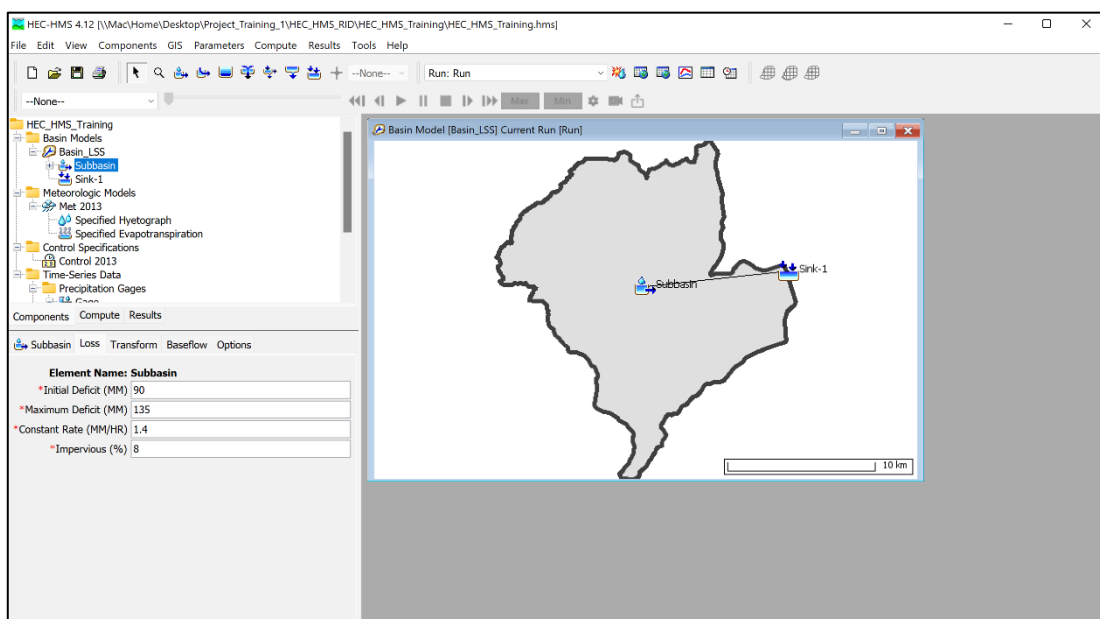
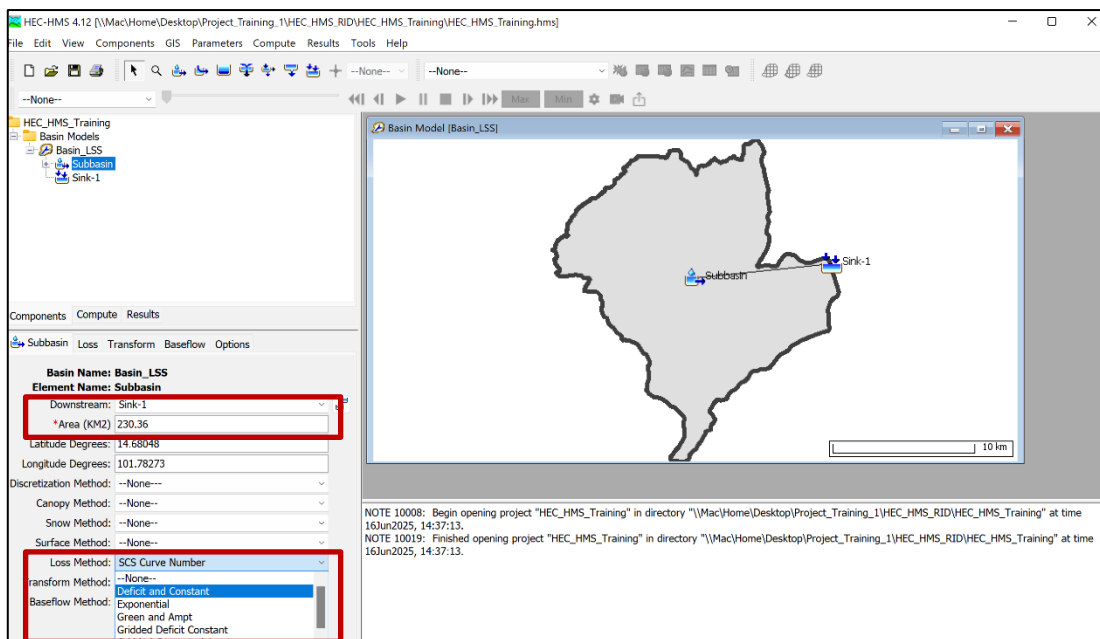
1. เลือก องค์ประกอบอุทกวิทยา ใน Basin Map หรือ Watershed Explorer เพื่อเปิด Component Editor ขององค์ประกอบนั้น

2. สำหรับ Subbasin element (ลุ่มน้ำย่อย)

1) พื้นที่ (Area) ไปที่เมนู Parameters ในแถบเครื่องมือ เลือก Subbasin Area และป้อนค่าขนาดพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อย หรือจากการนำเข้าด้วย Shape File

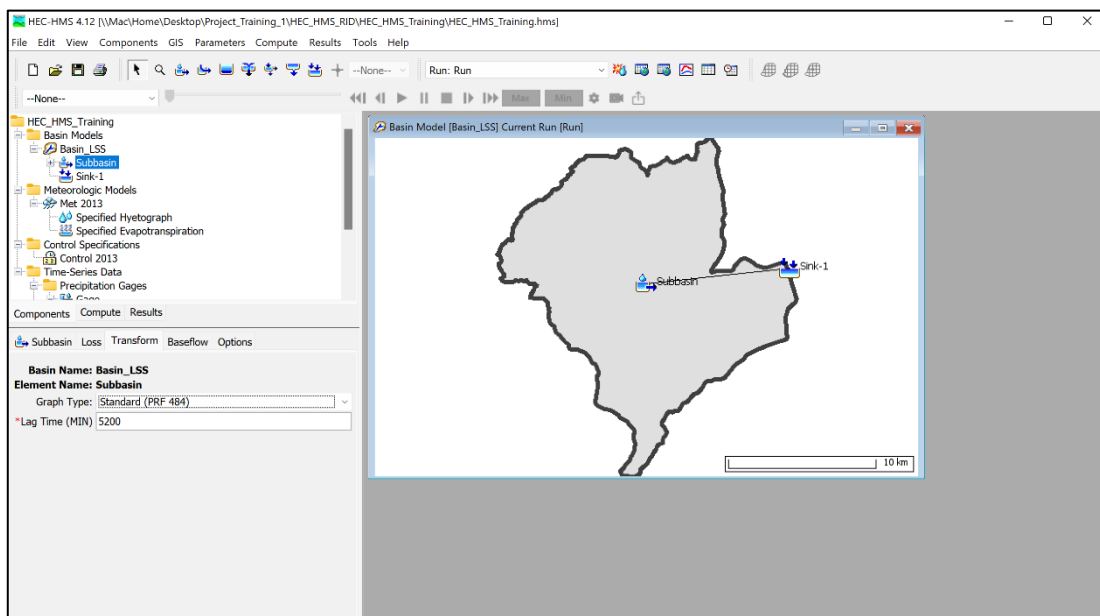
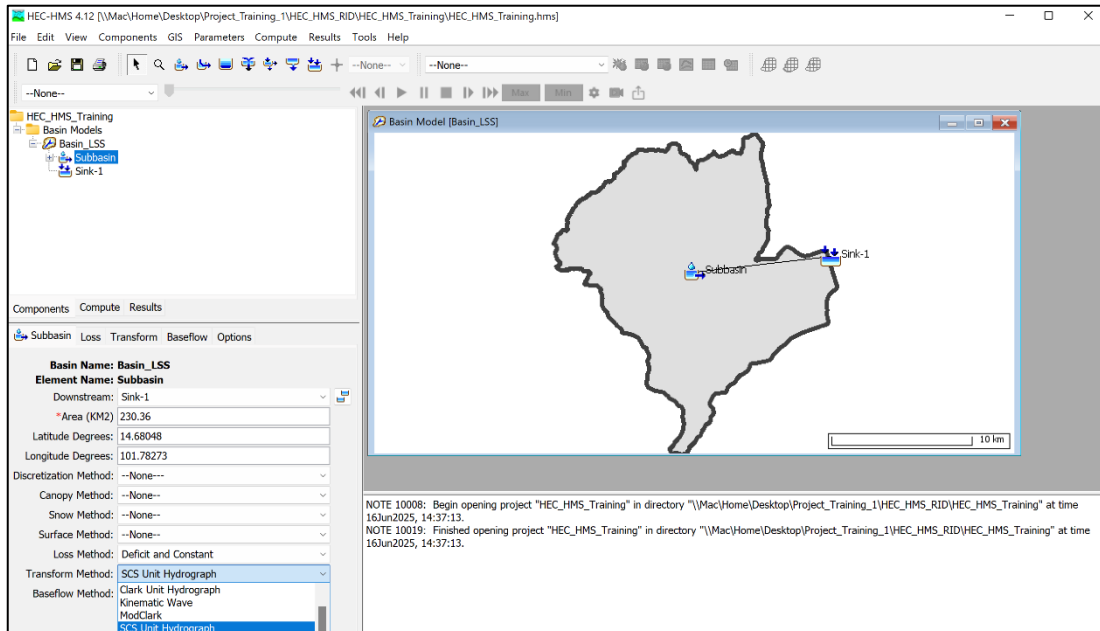
2) แบบจำลองการสูญเสีย (Loss Method) ใน Component Editor สำหรับ Subbasin เลือก Loss method เป็น Deficit and Constant โดยกำหนดค่าดังนี้

Initial Deficit	90.0	mm
Maximum Deficit	135.0	mm
Constant Rate	1.4	mm/hr
Impervious	8.0	%



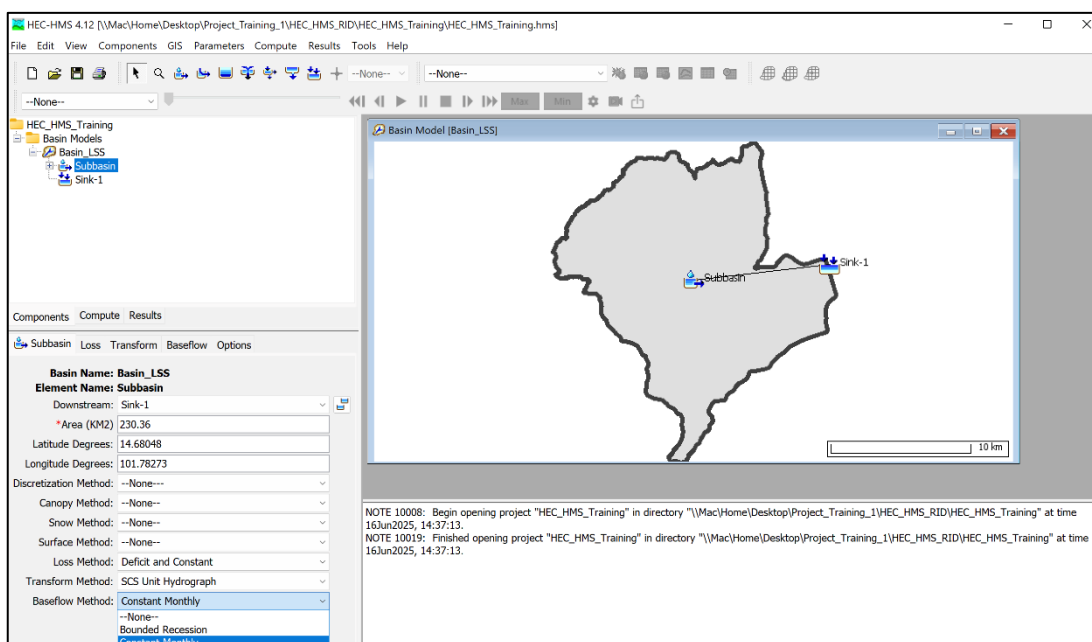
3) แบบจำลองน้ำท่าผิวดิน (Transform method) ใน Component Editor สำหรับ Subbasin เลือก Transform method เป็น SCS Unit Hydrograph โดยกำหนดค่าดังนี้

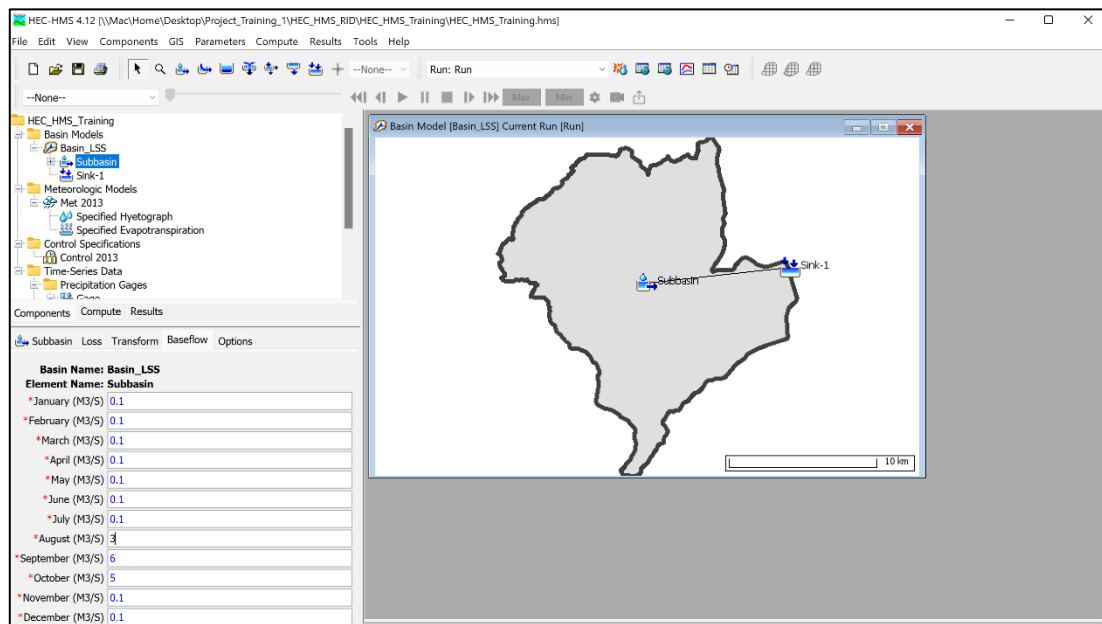
SCS Lag	5,200	min
---------	-------	-----



4) แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (Baseflow method) (Recession Method) ใน Component Editor สำหรับ Subbasin เลือก Baseflow method เป็น Constant Monthly โดยกำหนดค่าดังนี้

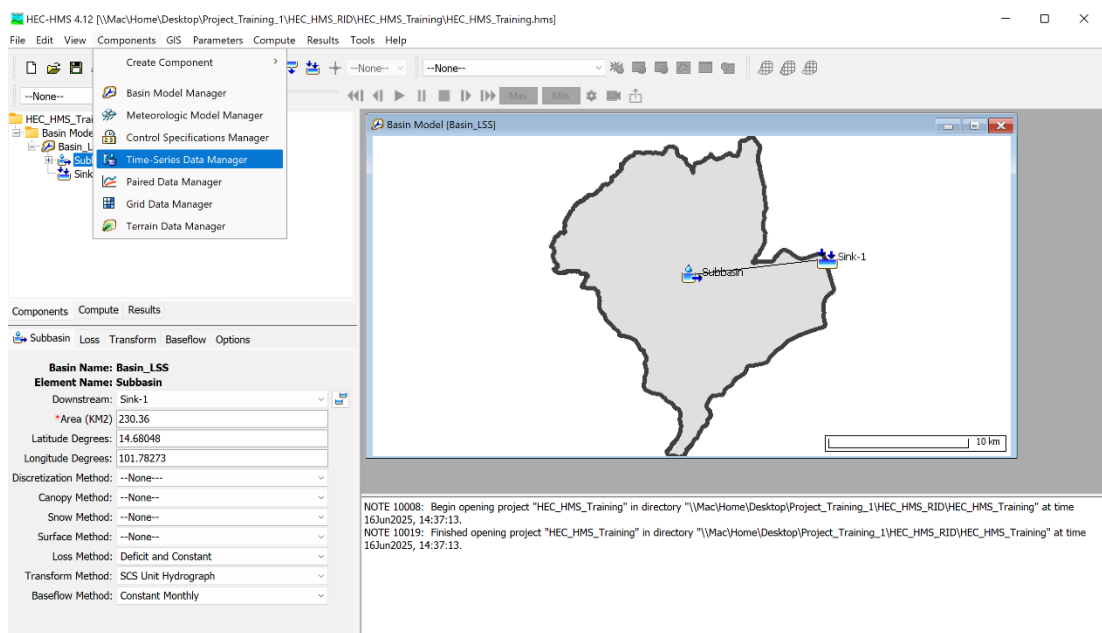
January	0.1	m ³ /s
February	0.1	m ³ /s
March	0.1	m ³ /s
April	0.1	m ³ /s
May	0.1	m ³ /s
June	0.1	m ³ /s
July	0.1	m ³ /s
August	3.0	m ³ /s
September	6.0	m ³ /s
October	5.0	m ³ /s
November	0.1	m ³ /s
December	0.1	m ³ /s





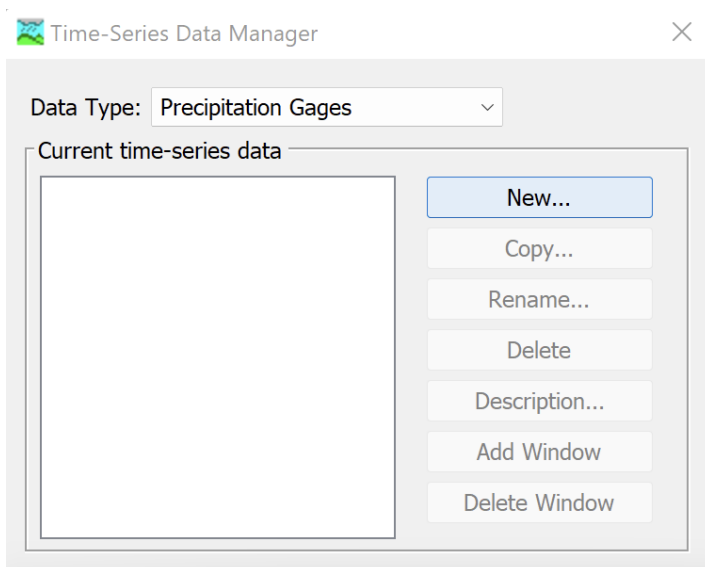
6.2 การสร้างข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-Series Data)

1. ในการเริ่มต้นสร้างข้อมูลอนุกรมเวลา ให้ผู้ใช้เข้าสู่โปรแกรม HEC-HMS และไปที่เมนู **Components** จากนั้นเลือก **Time-Series Data Manager** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างการจัดการข้อมูลอนุกรมเวลา ซึ่งจะเป็นศูนย์กลางสำหรับสร้างและแก้ไขข้อมูลอนุกรมเวลาที่จะใช้ในการจำลองแบบจำลองน้ำในระบบ

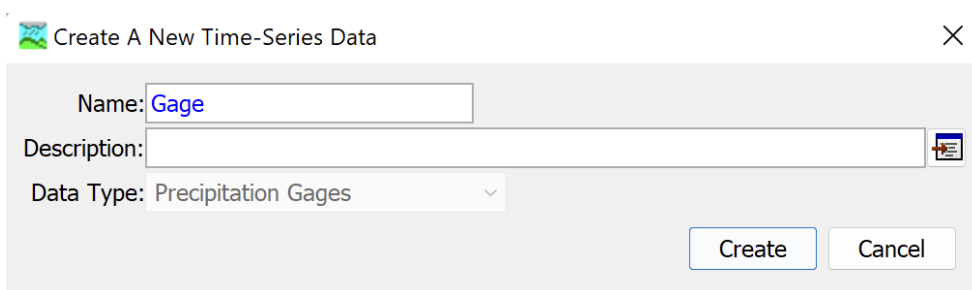


2. เมื่อเข้าสู่ **Time-Series Data Manager** แล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม **New** เพื่อเริ่มต้นสร้างข้อมูลอนุกรมเวลาใหม่ ผู้ใช้จะต้องกำหนดประเภทของข้อมูล (Type of Data) ให้เหมาะสมกับข้อมูลที่ต้องการ

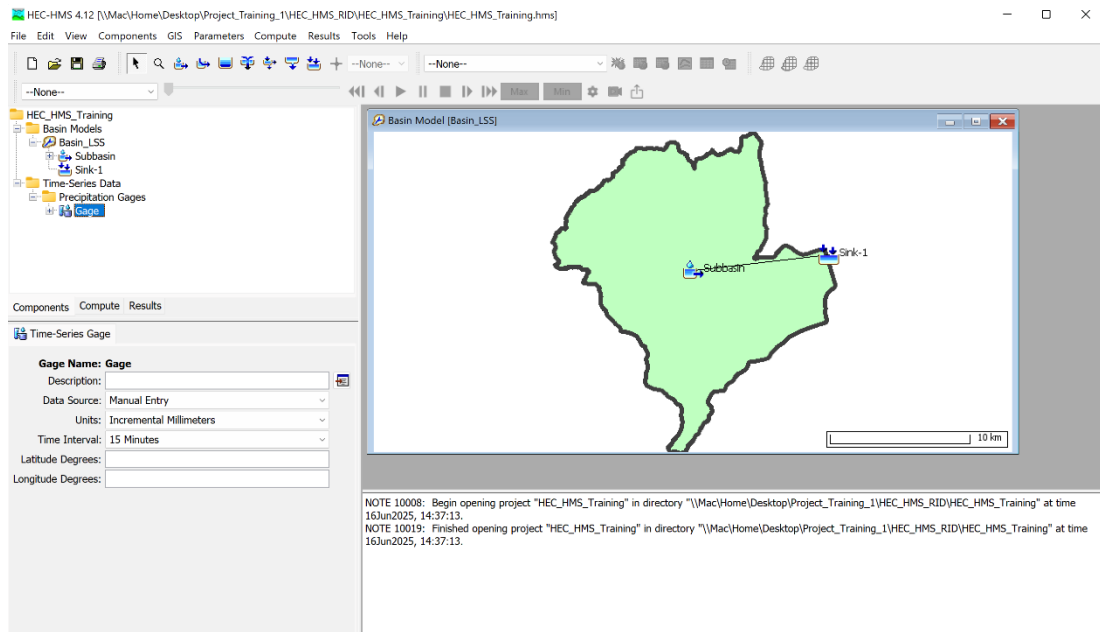
สร้าง โดยโปรแกรมมีตัวเลือกหลัก เช่น Precipitation Gages โปรแกรมจะเปิดหน้าต่างสำหรับผู้ใช้ระบุข้อมูลเบื้องต้น ได้แก่ Name ซึ่งเป็นชื่อของข้อมูลชุดนี้ และ Description ซึ่งเป็นคำอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมของข้อมูล ทั้งนี้ ควรตั้งชื่อและคำอธิบายให้สอดคล้องกับประเภทข้อมูลและแหล่งข้อมูลที่ใช้จริง เพื่อความสะดวกในการอ้างอิงภายหลัง



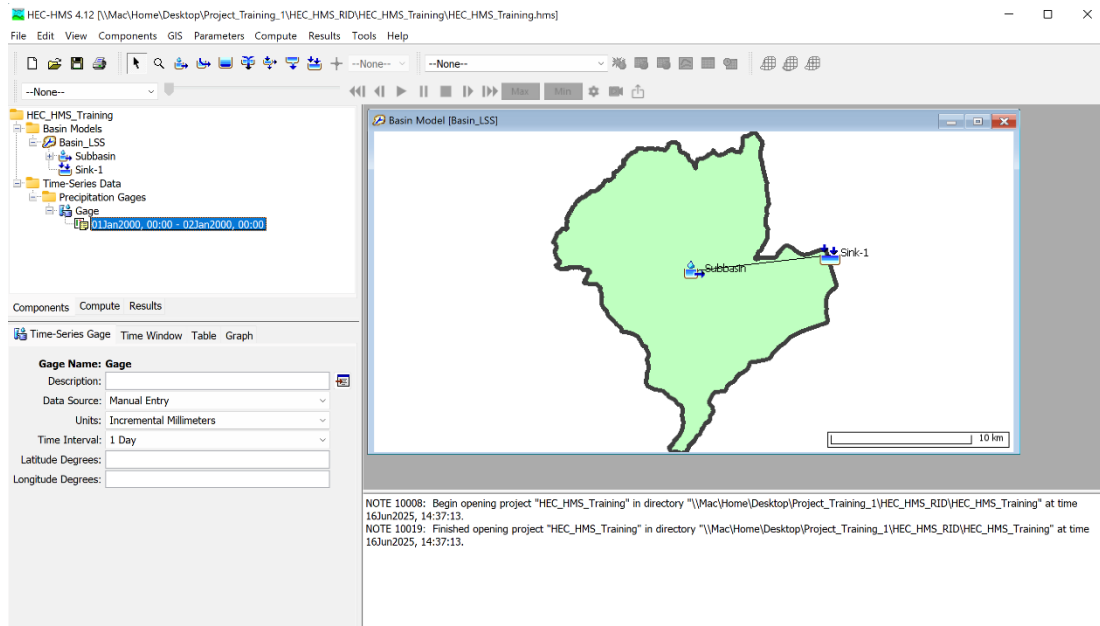
3. หลังจากกำหนดข้อมูลเบื้องต้นและประเภทของข้อมูลแล้ว ให้คลิกปุ่ม **Create** เพื่อสร้างข้อมูลอนุกรมเวลาในระบบ



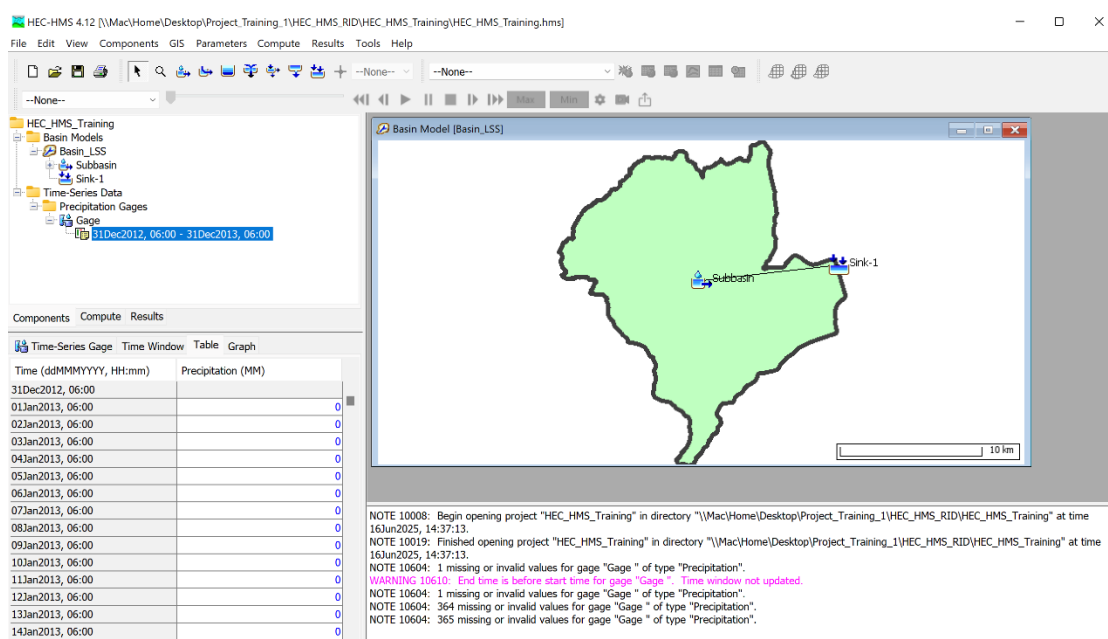
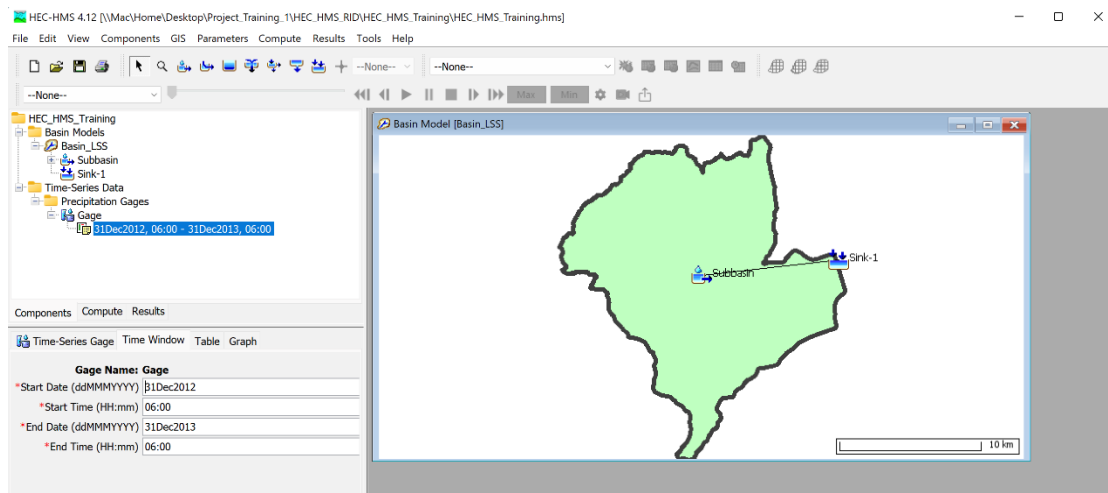
4. เปิดหน้าต่าง **Component Editor** สำหรับข้อมูลชุดใหม่ที่สร้างขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้ดำเนินการตั้งค่ารายละเอียดเพิ่มเติมของชุดข้อมูลดังกล่าว ในส่วนของ Component Editor ผู้ใช้จะต้องกำหนดแหล่งข้อมูล (Data Source) สำหรับชุดข้อมูลนี้ โดยในกรณีที่ต้องการป้อนข้อมูลด้วยตนเอง ให้เลือก **Manual Entry** กรณีจัดเตรียมข้อมูลภายนอกในรูปแบบ HEC-DSS ก็ยังสามารถเลือก **Single Record HEC-DSS** เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลเข้าระบบได้เช่นกัน



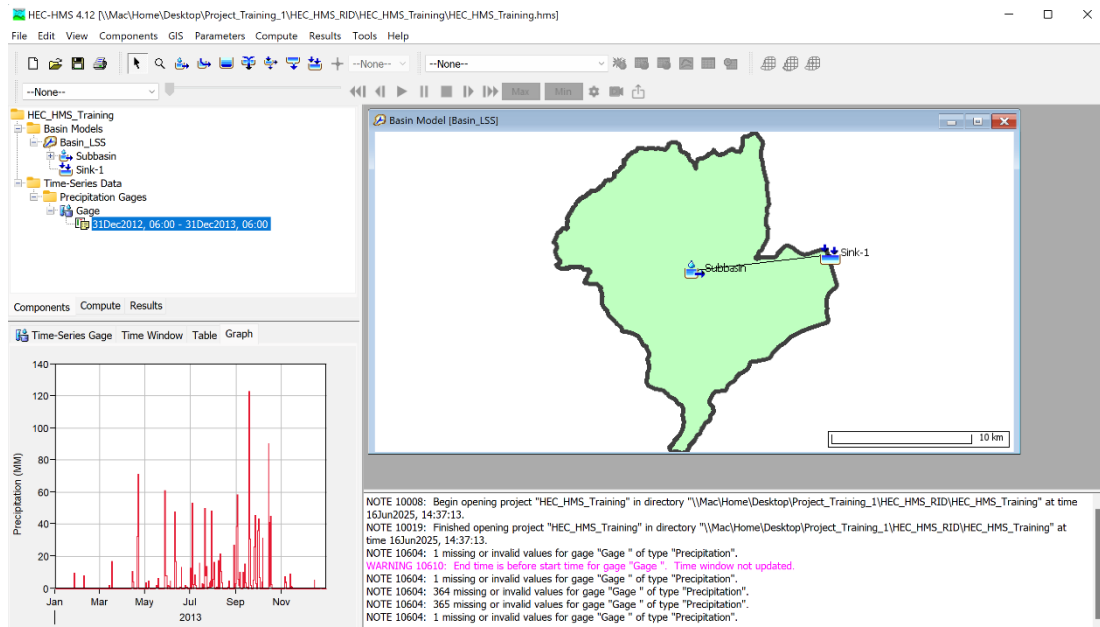
5. ขั้นตอนถัดไปเป็นการกำหนดระบบหน่วย (Unit System) และช่วงเวลาของข้อมูล (Time Interval) โดยให้เลือกหน่วยให้เหมาะสมกับชนิดของข้อมูล เช่น มิลลิเมตร (mm) สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำฝน และลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (Cubic Meters Per Second) สำหรับข้อมูลอัตราการไหลของน้ำ ส่วนช่วงเวลา (Time Interval) ให้กำหนดตามความถี่ของข้อมูลที่มีอยู่ เช่น 1 Day



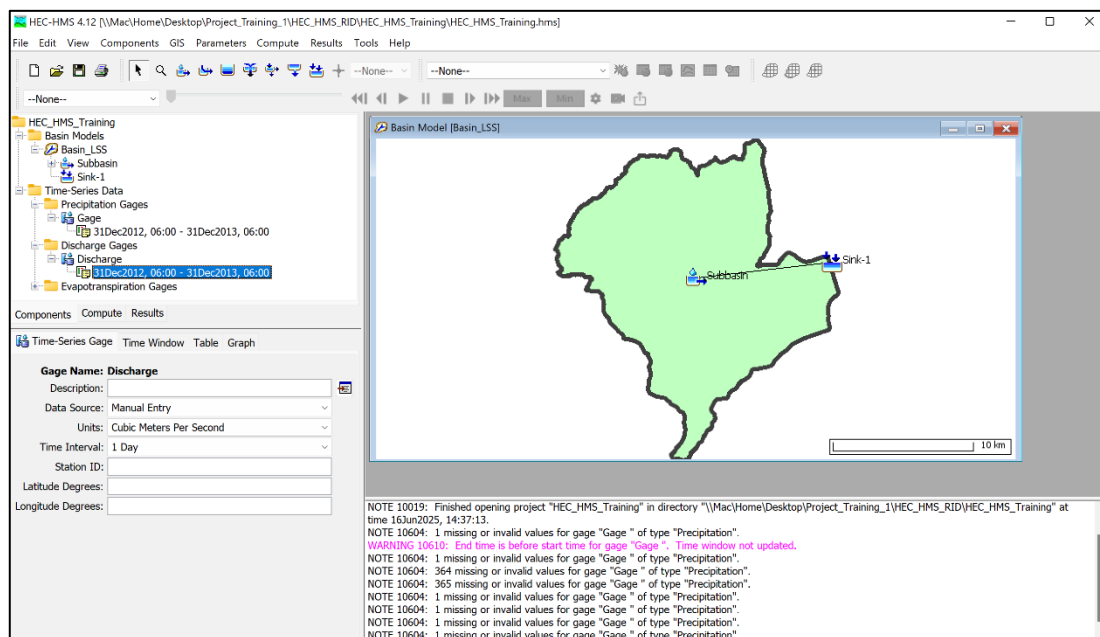
6. เมื่อกำหนดระบบหน่วยและช่วงเวลาเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้ไปที่แท็บ Time Window เพื่อกำหนดช่วงเวลาของข้อมูล โดยต้องระบุวันที่เริ่มต้น (Start Date), เวลาเริ่มต้น (Start Time), วันที่สิ้นสุด (End Date) และเวลาสิ้นสุด (End Time) ให้ตรงกับช่วงเวลาของข้อมูลที่มีอยู่จริง เพื่อให้ระบบสามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน

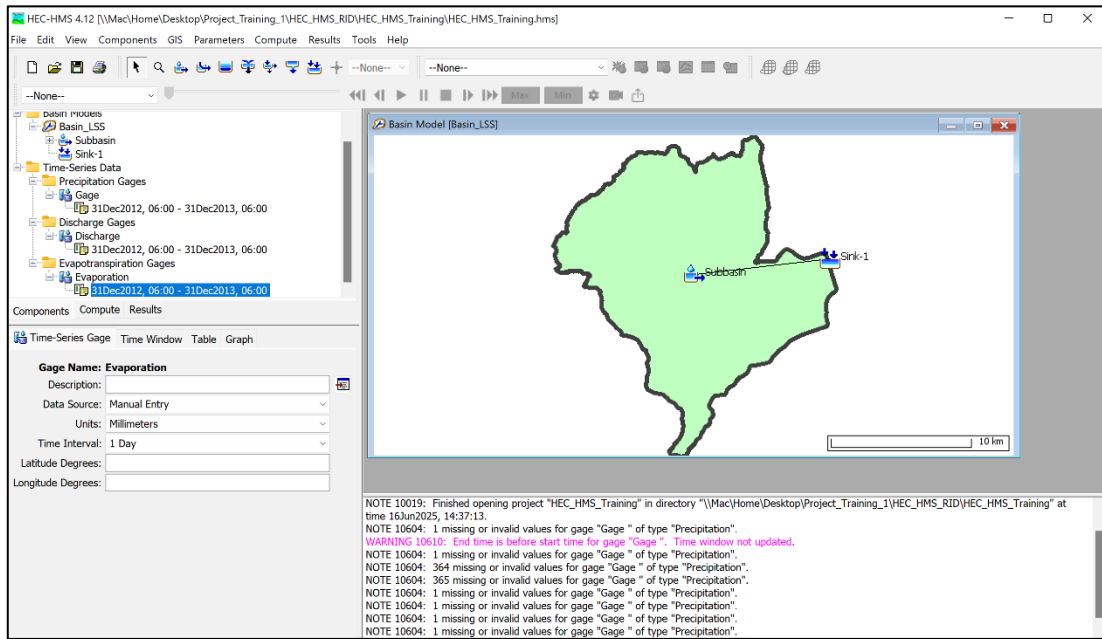


7. ต่อจากนั้น ให้เข้าสู่แท็บ Table เพื่อดำเนินการป้อนข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้รวบรวมไว้เข้าสู่ระบบ โดยสามารถกรอกค่าข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาให้ครบถ้วน นอกจากนี้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่กรอกผ่านแท็บ Graph ซึ่งจะแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟิก เพื่อช่วยในการตรวจสอบแนวโน้มและความสมบูรณ์ของข้อมูลที่ป้อน

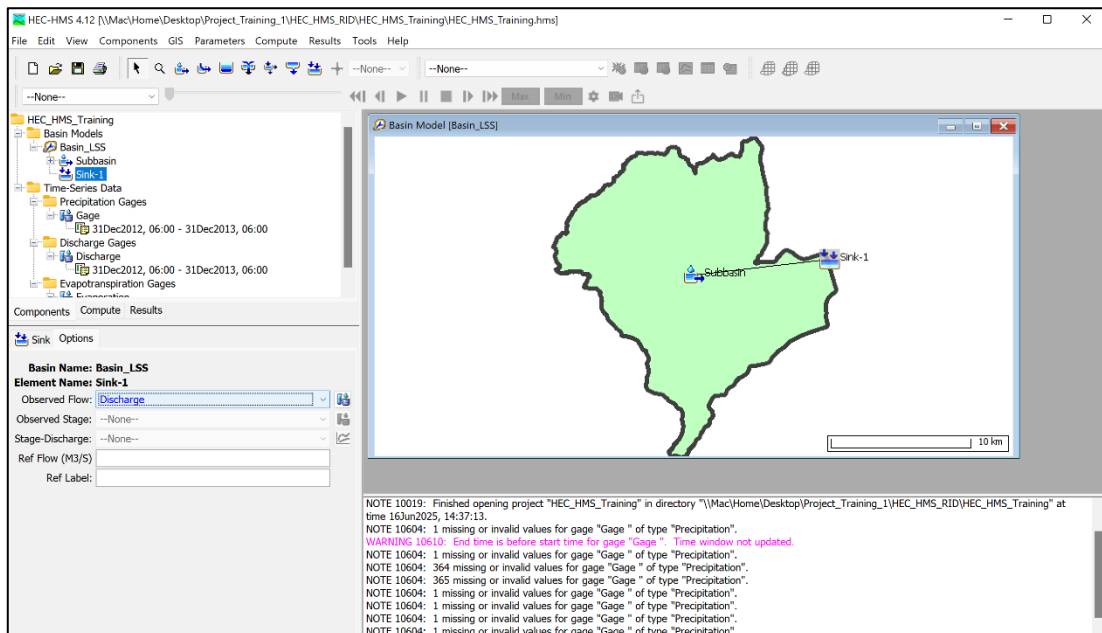


8. ในกรณีที่ต้องสร้างข้อมูลอนุกรมเวลาสำหรับข้อมูลประเภทอื่นเพิ่มเติม ในตัวอย่างนี้จะสร้าง Evapotranspiration และ Discharge บริเวณหัวงานเพิ่มเติม ให้ดำเนินการตามลำดับขั้นตอนข้างต้นในแต่ละชุดข้อมูล โดยปรับเลือกประเภทข้อมูลและหน่วยให้เหมาะสมกับข้อมูลแต่ละประเภทตามลักษณะของโครงการ



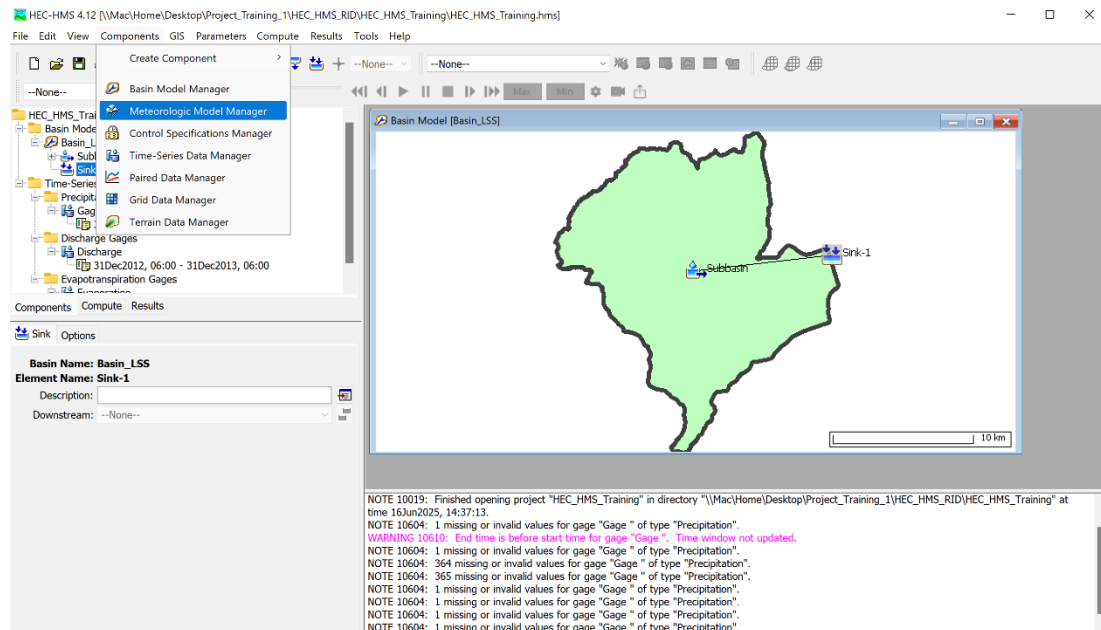


9. สำหรับการเชื่อมโยงข้อมูลการไหลที่สังเกตได้ (Observed Flow) เข้ากับองค์ประกอบในโมเดล เช่น Sink ให้ผู้ใช้เลือกองค์ประกอบนั้นในโมเดล > Options ใน Component Editor ขององค์ประกอบดังกล่าว ในช่อง Observed Flow ให้เลือก Discharge Gage ที่ได้สร้างขึ้นจากขั้นตอนก่อนหน้า เพื่อให้ระบบสามารถใช้ข้อมูลจริงในการคำนวณและสอบเทียบผลการจำลอง

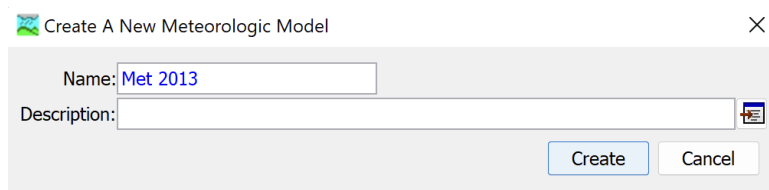


6.3 การสร้างแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา (Meteorologic Models)

1. การเริ่มต้นสร้างแบบจำลองอุตุนิยมวิทยา ให้เข้าสู่เมนู **Components** จากแถบเมนูหลักของโปรแกรม แล้วเลือก **Meteorologic Model Manager** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างสำหรับจัดการแบบจำลองอุตุนิยมวิทยาในระบบ



2. เมื่อเข้าสู่ **Meteorologic Model Manager** แล้ว ให้คลิกปุ่ม **New** เพื่อเริ่มการสร้างแบบจำลองใหม่ โปรแกรมจะเปิดหน้าต่างขึ้นมาให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลเบื้องต้น โดยให้ระบุ **Name** เป็นชื่อของ **Meteorologic Model** ชุดใหม่ เมื่อกรอกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกปุ่ม **Create**

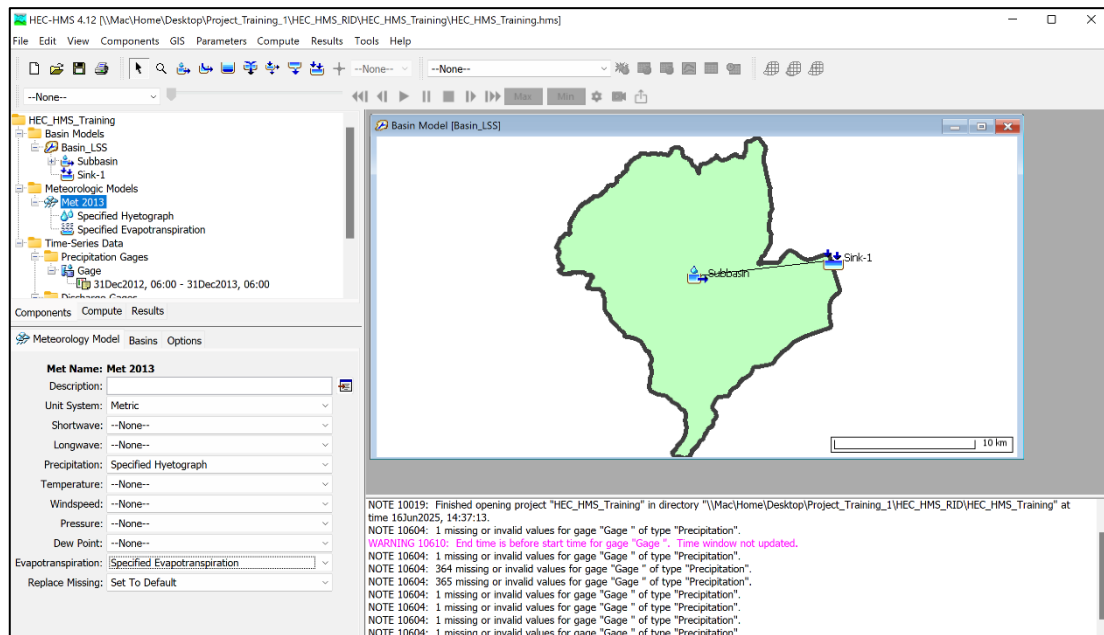


3. หลังจากนั้นระบบจะเข้าสู่ **Component Editor** ของ **Meteorologic Model** ที่สร้างขึ้น สำหรับการตั้งค่าข้อมูลเพิ่มเติมในขั้นตอนถัดไป

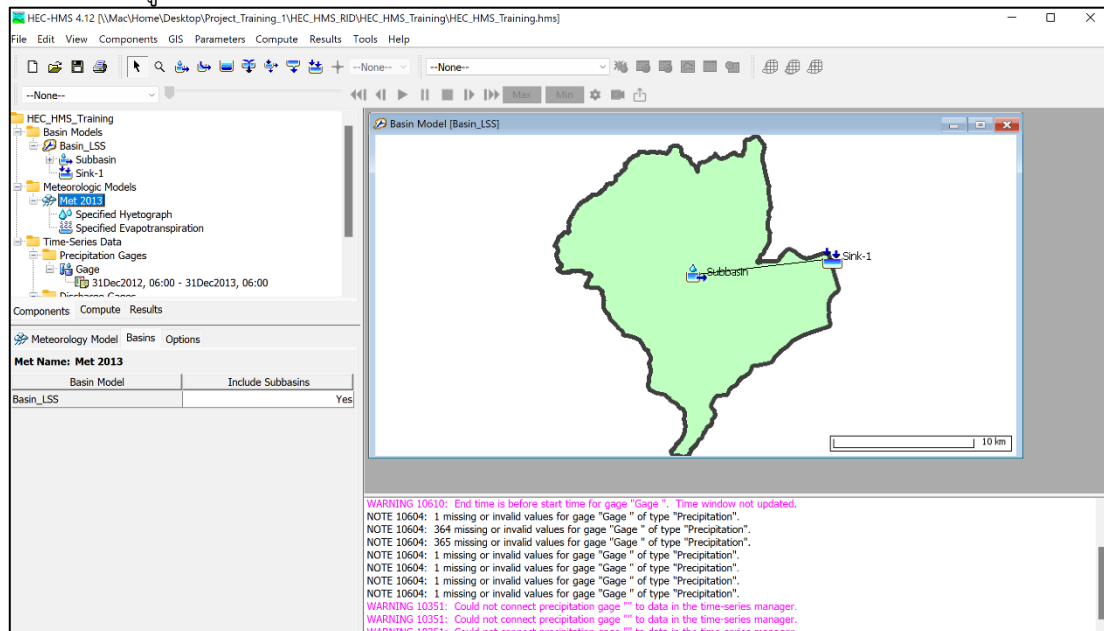
4. ในส่วนของการเลือกวิธีการคำนวณปริมาณน้ำฝน (**Precipitation**) ให้เลือกเป็น **Specified Hyetograph** ซึ่งเป็นวิธีการป้อนข้อมูลฝนจากข้อมูลสังเกตการณ์ที่ได้จัดเตรียมไว้ล่วงหน้า

5. ในส่วนของการเลือกวิธีการคำนวณปริมาณการระเหย (**Evapotranspiration**) ให้เลือกเป็น **Specified Evapotranspiration** ซึ่งเป็นวิธีการป้อนข้อมูลฝนและข้อมูลการระเหยจาก

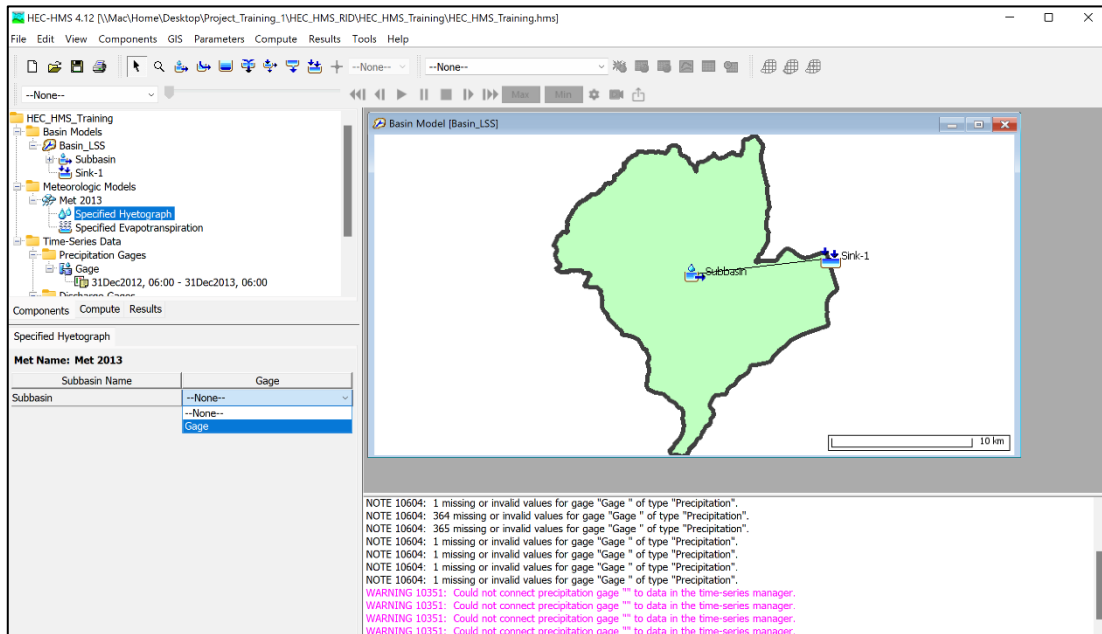
ข้อมูลได้จัดเตรียมไว้ล่วงหน้า และในกรณีที่ข้อมูลนั้นมีช่องว่างหรือสูญหาย ให้ตั้งค่า Replace Missing เป็น Set to Default เพื่อให้ระบบสามารถจัดการกับข้อมูลที่ขาดหายได้อย่างเหมาะสม



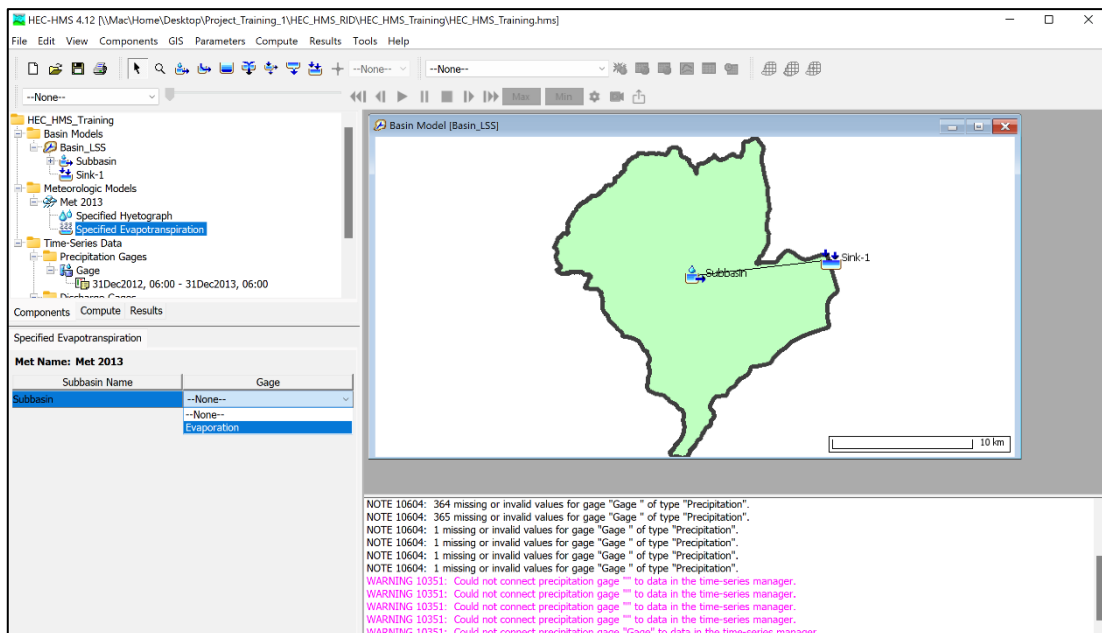
6. ถัดมาให้ไปที่แท็บ Basins ซึ่งใช้ในการกำหนดความเชื่อมโยงระหว่าง Meteorologic Model และพื้นที่ Subbasins ในแบบจำลอง โดยต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าการตั้งค่า Include Subbasins ถูกเลือกเป็น Yes เพื่อให้แบบจำลองอุทกนิยามวิทยาในครอบคลุมพื้นที่ Subbasins ทั้งหมดที่มีอยู่ในโครงการ



7. ให้ไปที่ส่วนของ Specified Hyetograph ภายใน Component Editor เพื่อกำหนดชุดข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ต้องการใช้ โดยเลือก Precipitation Gage ที่ได้สร้างไว้ในขั้นตอนการสร้าง Time-Series Data ก่อนหน้านี้ ในตัวอย่างนี้คือ Gage เพื่อเป็นข้อมูลป้อนเข้าสำหรับการจำลอง



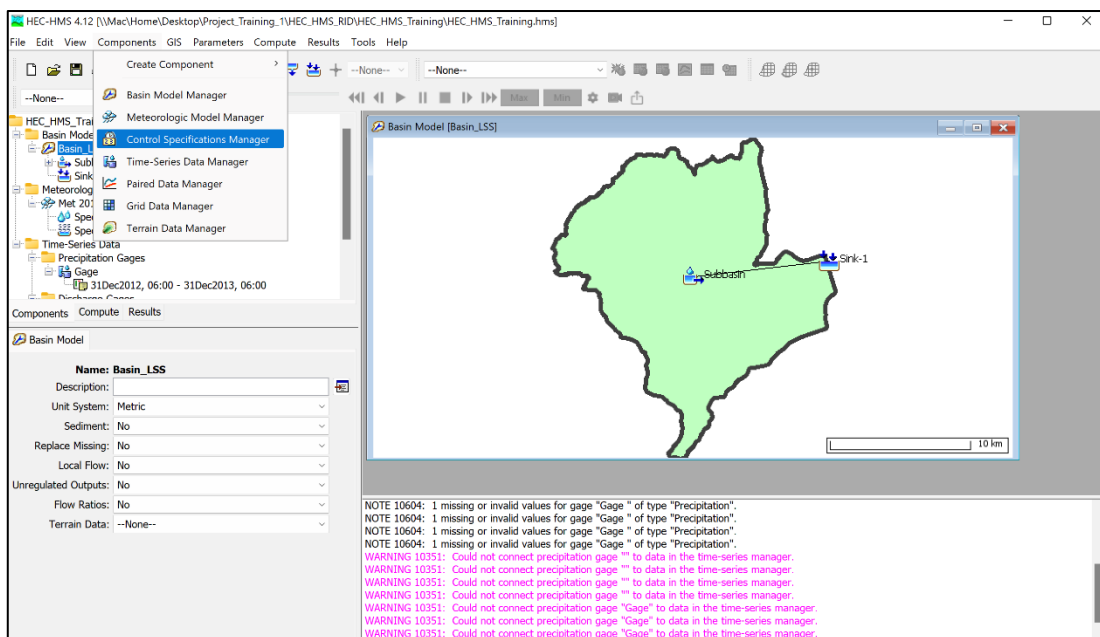
8. ภายใต้หัวข้อ Specified Evapotranspiration ให้เลือก Evaporation ที่ได้สร้างไว้ในขั้นตอนการสร้าง Time-Series Data ก่อนหน้านี้



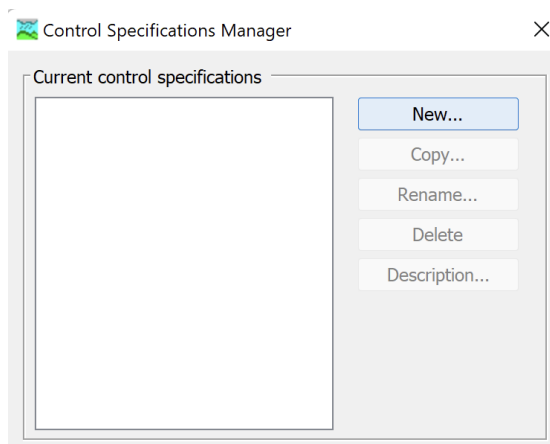
6.4 การสร้างแบบจำลองข้อกำหนดการควบคุม (Control Specifications)

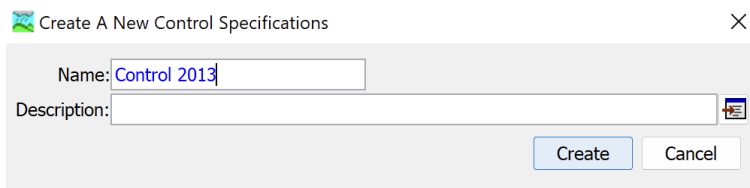
Control Specifications มีบทบาทสำคัญในการกำหนดช่วงเวลาของการจำลอง (Time Window) และช่วงเวลาในการคำนวณ (Time Interval) ซึ่งมีผลต่อขอบเขตของข้อมูลที่ใช้ในแต่ละ Simulation Run โดยการสร้าง Control Specifications สามารถดำเนินการได้ดังนี้

1. เริ่มต้นด้วยการเข้าสู่เมนู **Components** จากแถบเมนูหลักของโปรแกรม HEC-HMS จากนั้นเลือก **Control Specifications Manager** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างสำหรับการจัดการชุดข้อกำหนดการควบคุมในระบบ

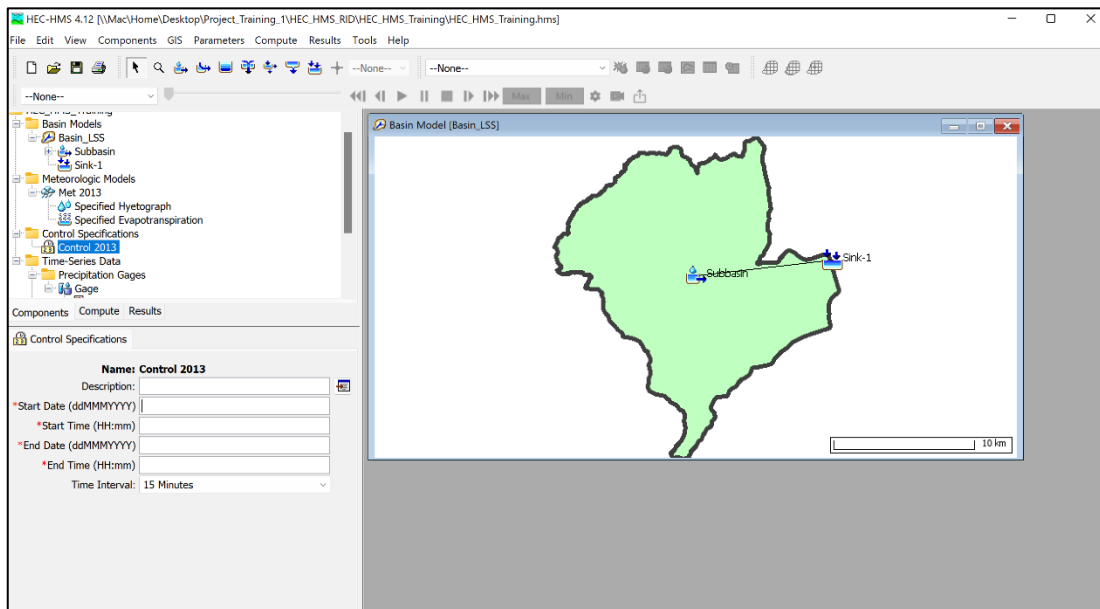


2. เมื่อเข้าสู่หน้าต่าง **Control Specifications Manager** ให้คลิกปุ่ม **New** เพื่อเริ่มสร้างชุด Control Specifications ใหม่ โปรแกรมจะเปิดหน้าต่างขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลเบื้องต้น โดยให้ระบุ Name เป็นชื่อของ Control Specifications และ Description เป็นคำอธิบายเพิ่มเติม เมื่อระบุข้อมูลครบถ้วนแล้ว ให้คลิกปุ่ม **Create**

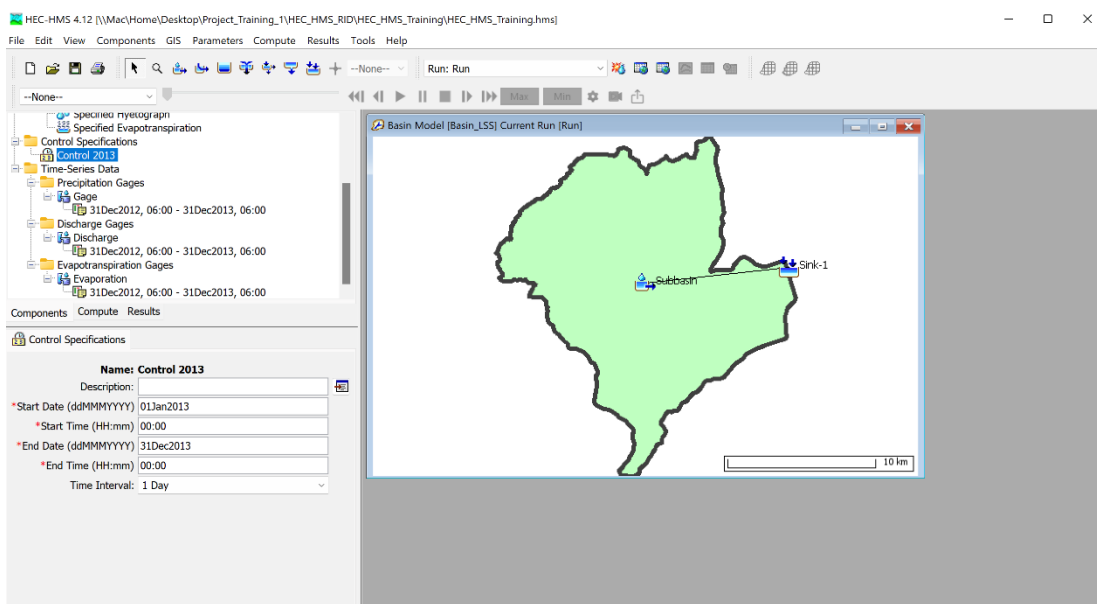




3. เข้าสู่ Component Editor สำหรับชุด Control Specifications ที่สร้างขึ้นใหม่

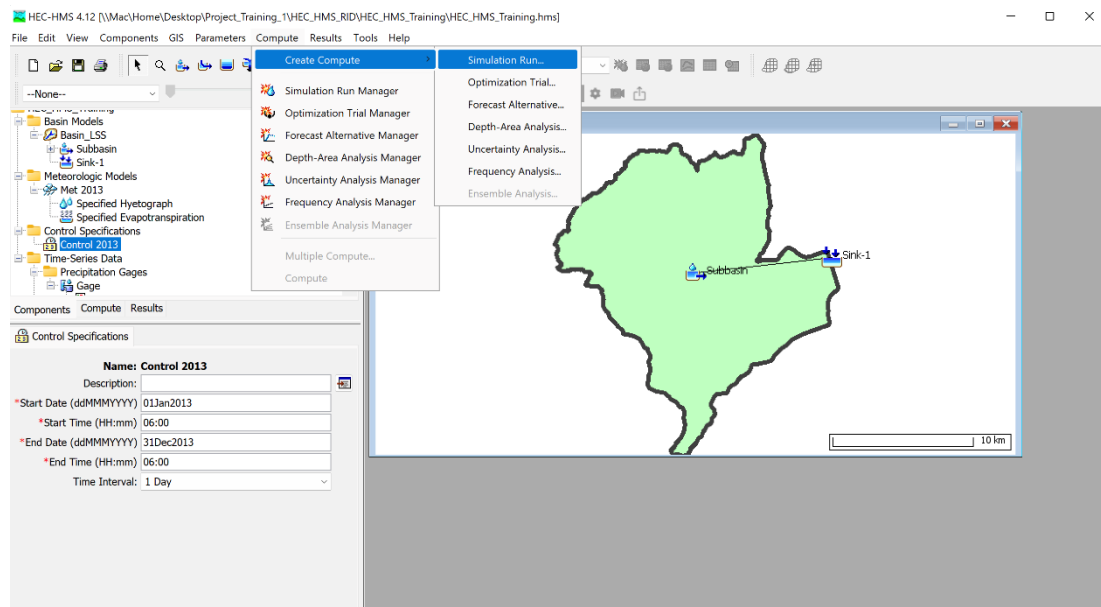


4. ใน Component Editor ให้ผู้ใช้ระบุ Start Date (วันที่เริ่มต้น), Start Time (เวลาเริ่มต้น), End Date (วันที่สิ้นสุด), End Time (เวลาสิ้นสุด) ซึ่งเป็นขอบเขตเวลาของการจำลองแบบจำลอง HEC-HMS ให้ครอบคลุมช่วงเวลาของข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีอยู่ และสุดท้ายให้กำหนด Time Interval ซึ่งเป็นความถี่ของการคำนวณแต่ละรอบในการจำลอง ควรตั้งค่า Time Interval ให้สอดคล้องกับความถี่ของข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จัดเตรียมไว้ ในตัวอย่างนี้ให้เลือกเป็น 1 day เพื่อให้การจำลองมีความถูกต้องแม่นยำ

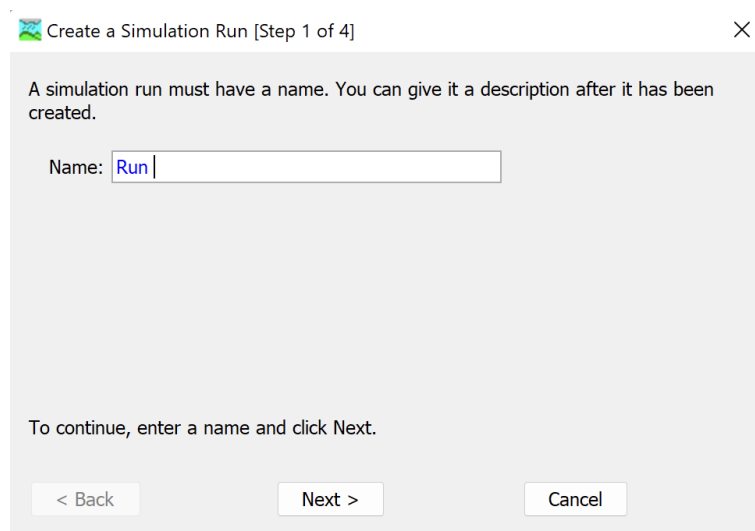


6.5 การรันแบบจำลอง (Simulation Runs)

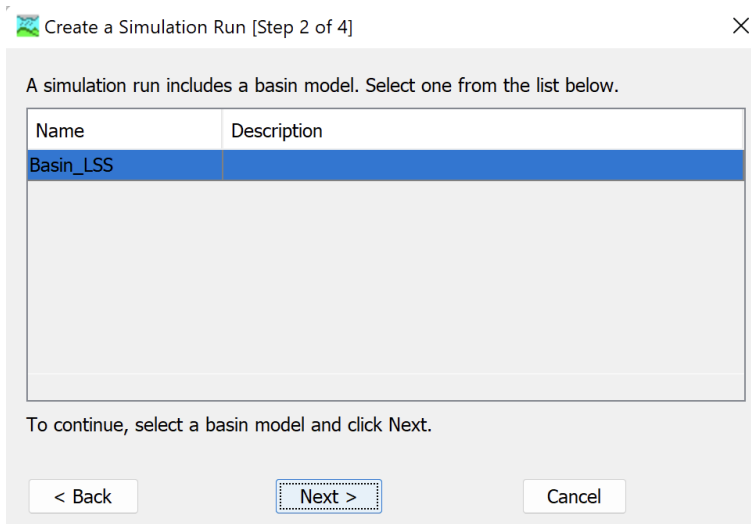
1. เข้าสู่เมนู **Compute** จากแถบเมนูหลักของโปรแกรม จากนั้นเลือก **Create Compute** แล้วเลือก **Simulation Run...** ระบบจะเปิดหน้าต่างสำหรับการสร้าง Simulation Run ใหม่ขึ้นมาโดยอัตโนมัติ



2. ในหน้าต่าง ให้ผู้ใช้กำหนดชื่อ (Name) สำหรับ Simulation Run ใหม่ ซึ่งควรตั้งชื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือช่วงเวลาของการจำลองเพื่อความสะดวกในการอ้างอิงในภายหลัง จากนั้นคลิกปุ่ม **Next** เพื่อไปยังขั้นตอนถัดไป



3. โปรแกรมจะให้ผู้ใช้เลือก Basin Model ที่ได้สร้างและเตรียมไว้ล่วงหน้า โดยให้เลือกแบบจำลองพื้นที่ลุ่มน้ำที่ต้องการใช้ในการคำนวณ หลังจากเลือก Basin Model เรียบร้อยแล้ว ให้คลิก Next เพื่อดำเนินการต่อ



Create a Simulation Run [Step 2 of 4]

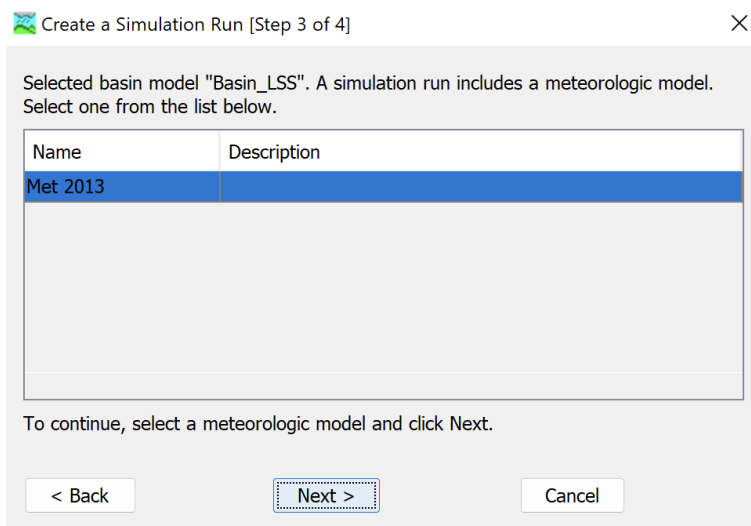
A simulation run includes a basin model. Select one from the list below.

Name	Description
Basin_LSS	

To continue, select a basin model and click Next.

< Back Next > Cancel

4. ผู้ใช้จะต้องเลือก Meteorologic Model ที่ได้ทำการสร้างไว้ก่อนหน้านี้ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลอุตุนิยมวิทยา โดยเลือกชื่อ Meteorologic Model ที่ตรงกับข้อมูลฝนและการระเหยที่เตรียมไว้ หลังจากเลือกแล้วคลิก Next เพื่อดำเนินการในขั้นตอนต่อไป



Create a Simulation Run [Step 3 of 4]

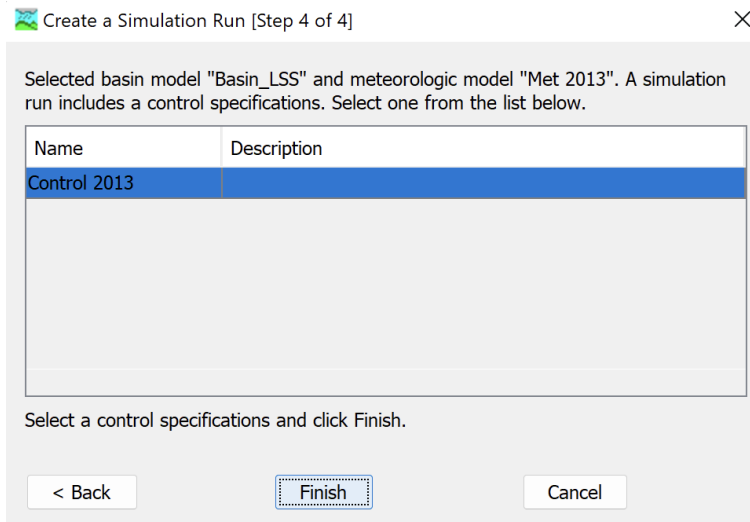
Selected basin model "Basin_LSS". A simulation run includes a meteorologic model. Select one from the list below.

Name	Description
Met 2013	

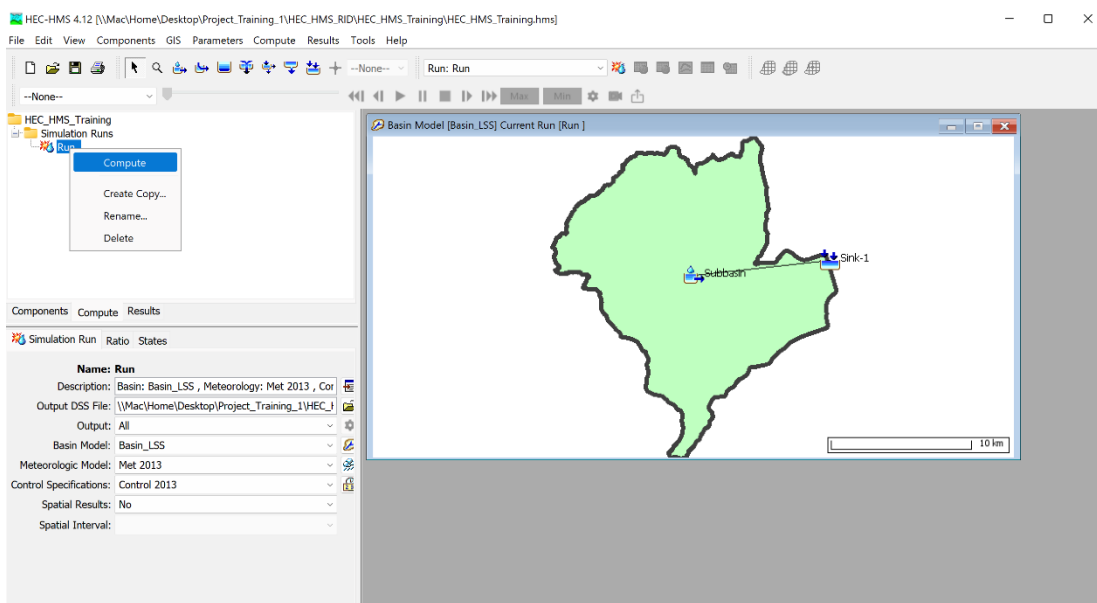
To continue, select a meteorologic model and click Next.

< Back Next > Cancel

5. โปรแกรมจะให้เลือก Control Specifications ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตเวลาของการจำลอง ให้ผู้ใช้เลือกชุด Control Specifications ที่ได้สร้างไว้ก่อนหน้านี้ จากนั้นคลิก Finish เพื่อทำการสร้าง Simulation Run ให้สมบูรณ์

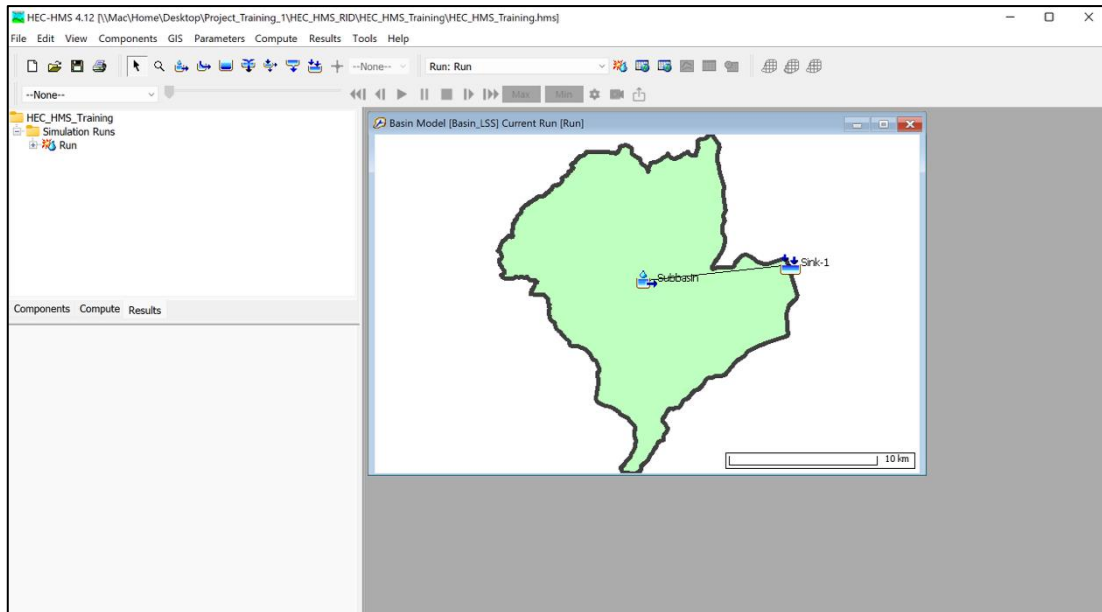


6. เมื่อการสร้าง Simulation Run เสร็จสิ้นแล้ว ให้ผู้ใช้ไปที่แท็บ Compute ในส่วนของ Watershed Explorer จากนั้นคลิกขวาที่ Simulation Run ใหม่ที่ได้สร้างไว้ "Run" แล้วเลือกคำสั่ง Compute เพื่อเริ่มต้นกระบวนการคำนวณแบบจำลอง

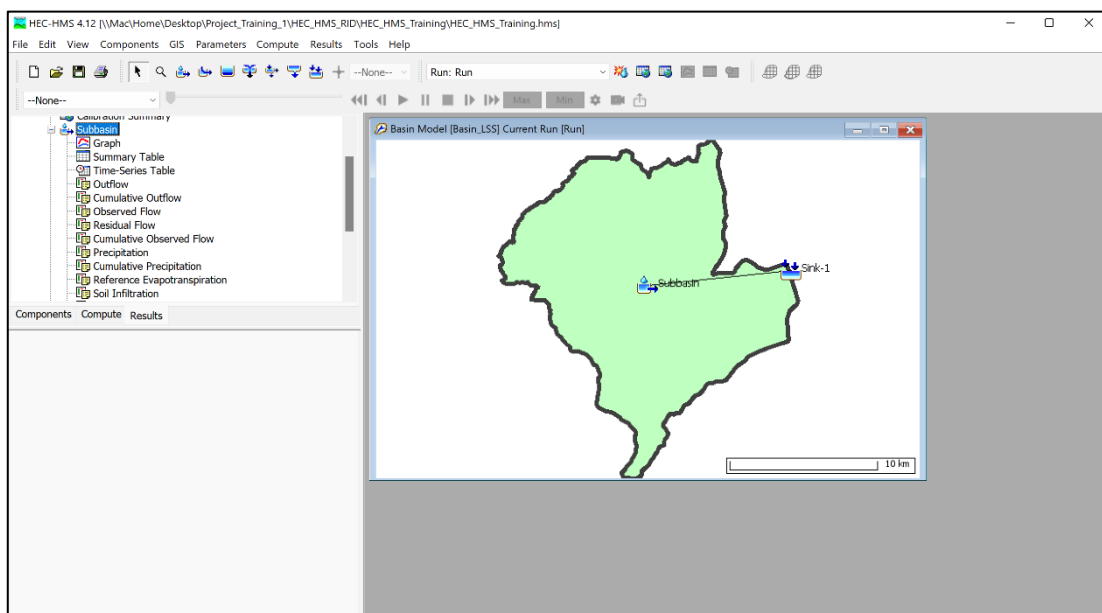


6.6 การแสดงผลการจำลอง (Results)

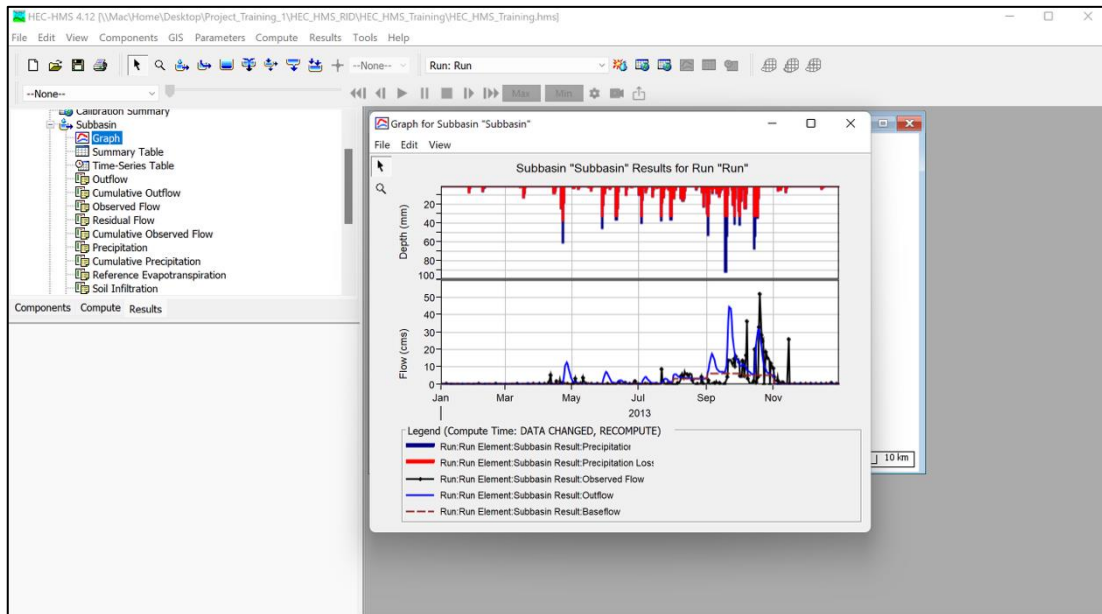
1. เข้าสู่แท็บ Results ในส่วนของ Watershed Explorer ซึ่งจะแสดงผลการจำลองของ Simulation Run ที่ได้สร้างไว้ก่อนหน้านี้



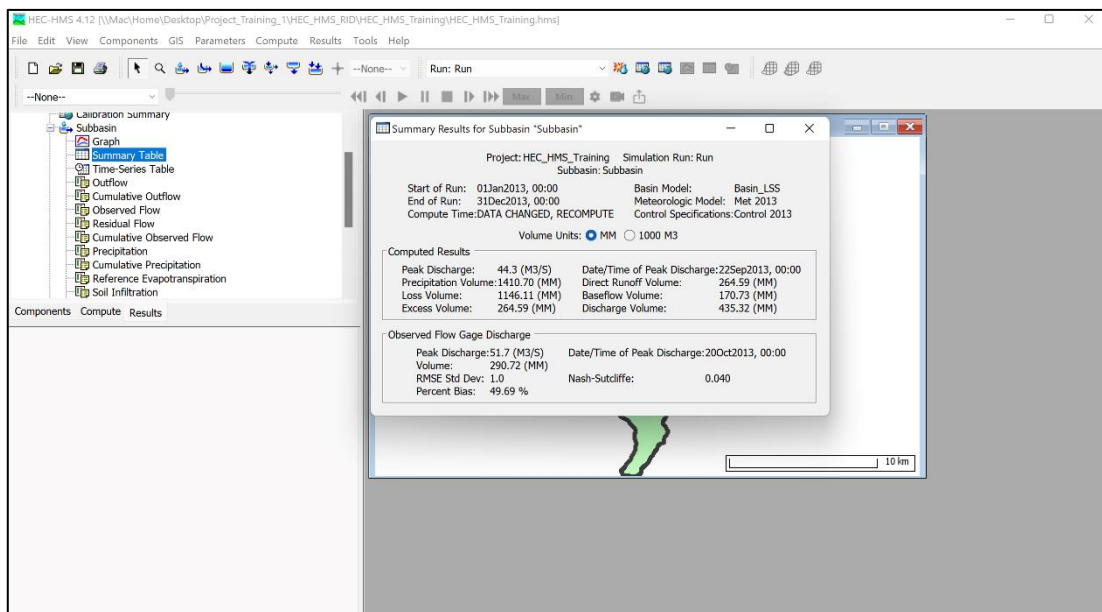
2. ภายในแท็บ Results สามารถตรวจสอบผลลัพธ์ตามรายการขององค์ประกอบทางอุทกวิทยาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลอง เช่น Subbasin, Reach, Junction, หรือ Sink ตามที่ได้กำหนดไว้ใน Basin Model ก่อนหน้า ผู้ใช้สามารถเลือกคลิกที่ชื่อขององค์ประกอบแต่ละรายการ (เช่น Sink-1 หรือ Subbasin) เพื่อเข้าดูผลลัพธ์ของแต่ละองค์ประกอบได้โดยละเอียด



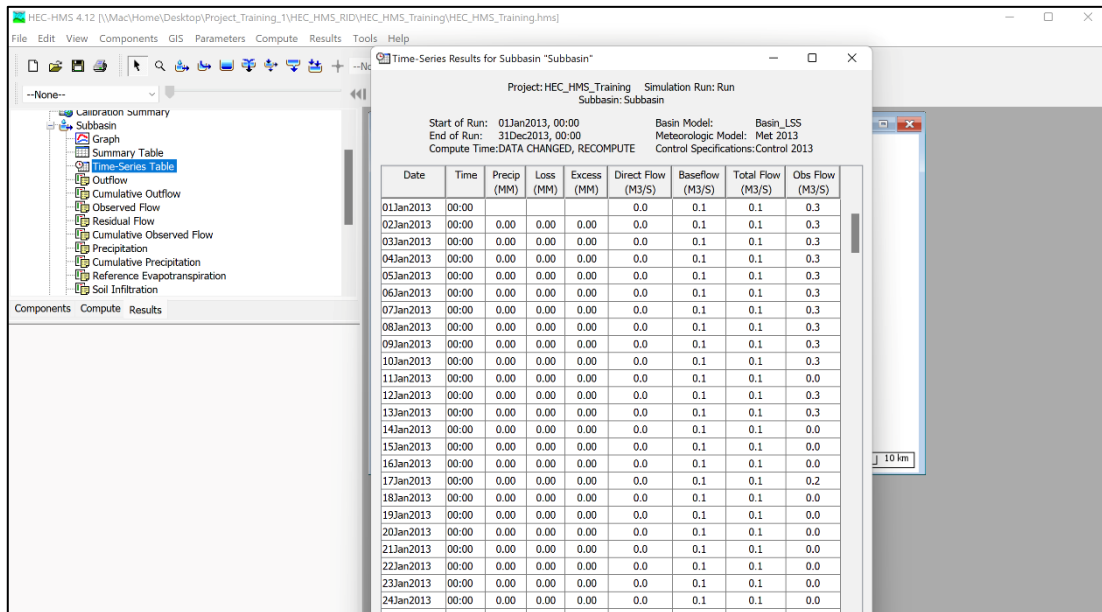
3. โปรแกรม HEC-HMS รองรับการแสดงผลลัพธ์ในหลายรูปแบบ ได้แก่ Graphs (กราฟแสดงผล)



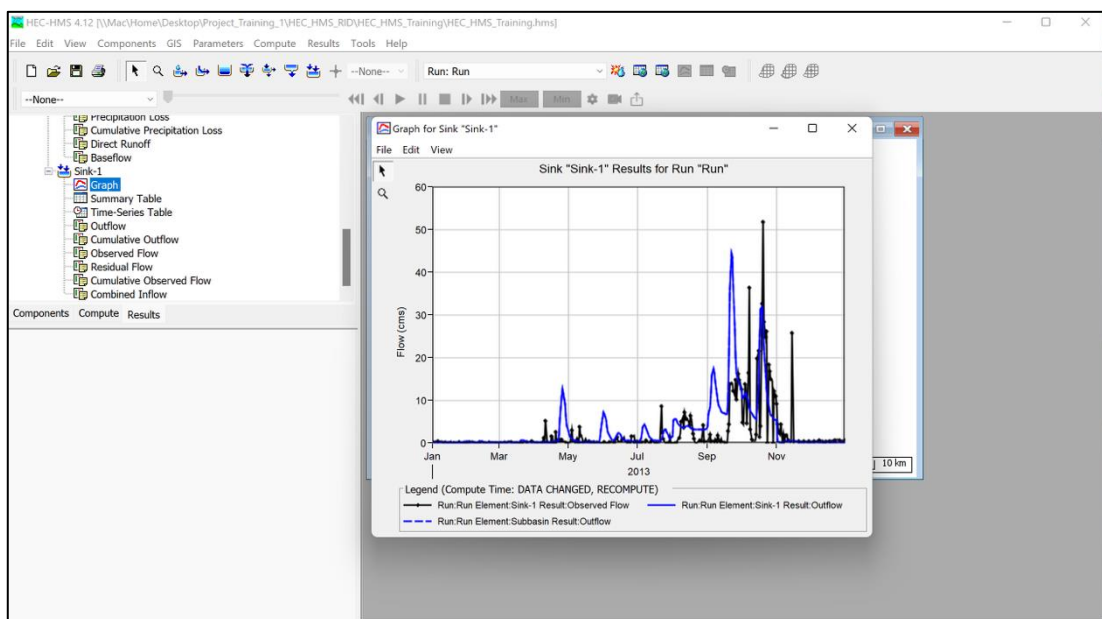
Summary Tables (ตารางสรุปค่าหลักสำคัญ เช่น ค่าการไหลสูงสุด ปริมาณน้ำท่ารวม และเวลาที่เกิดค่าสูงสุด)



Time-Series Tables (ตารางข้อมูลอนุกรมเวลาแสดงค่าการคำนวณแต่ละช่วงเวลา) ผู้ใช้สามารถสลับการแสดงผลได้ตามความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ผล



ตัวอย่างเช่น ในกรณีขององค์ประกอบประเภท Sink สามารถแสดงผลเป็นกราฟ Hydrograph แสดงปริมาณการไหลในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งจะเป็นเส้นแสดงผลการคำนวณ (Simulated Flow) เมื่อมีการเชื่อมโยงข้อมูลการไหลจริง (Observed Flow) เข้ากับแบบจำลองระบบจะแสดงเส้นกราฟของข้อมูลสังเกตการณ์ควบคู่กันด้วย เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเปรียบเทียบความใกล้เคียงระหว่างผลการจำลองกับข้อมูลจริงได้โดยตรง ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการวิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลองในขั้นตอน Calibration และ Validation ต่อไป



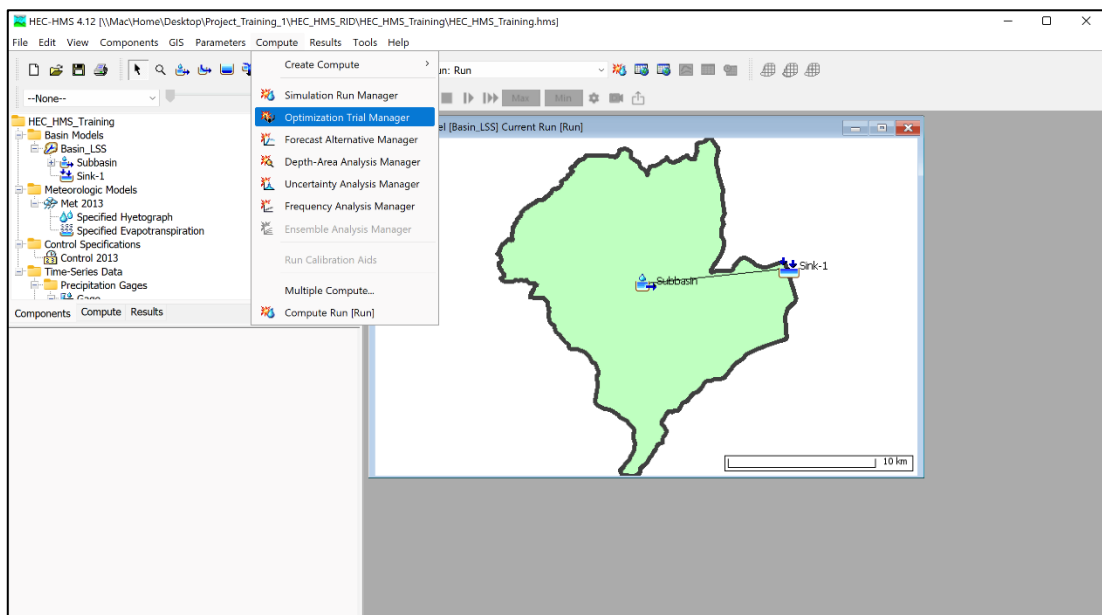
บทที่ 7

การปรับแก้พารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS

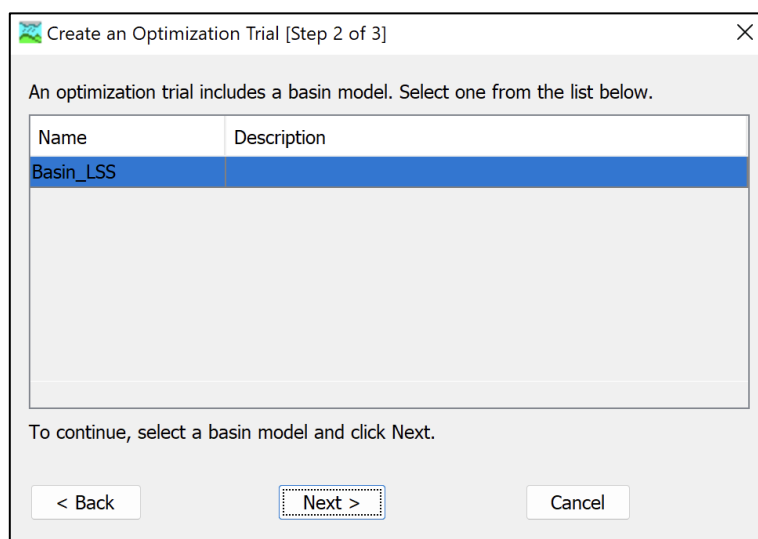
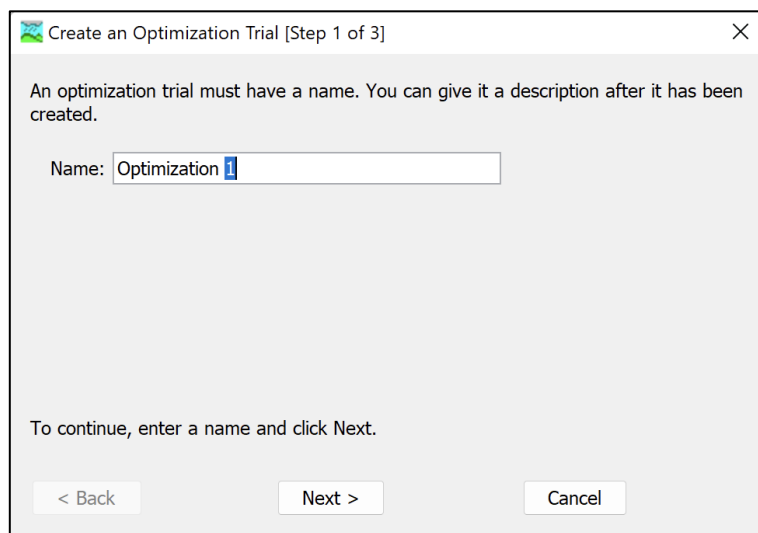
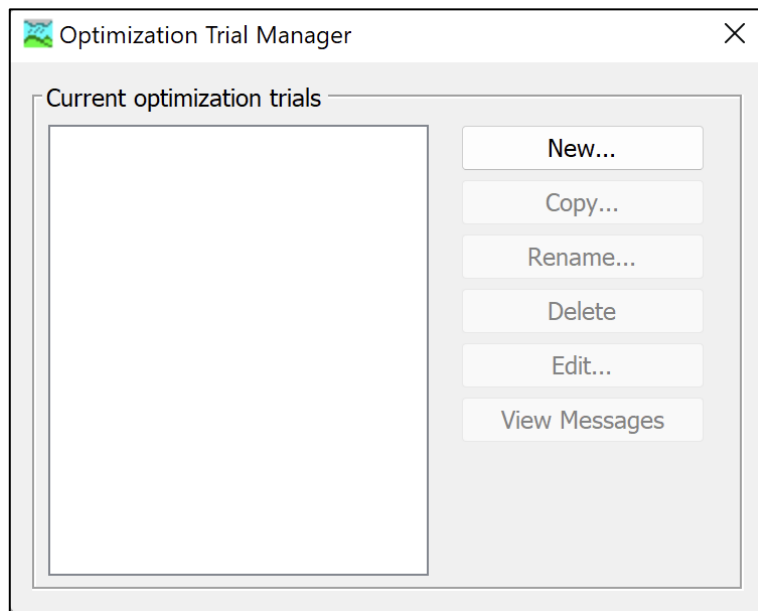
7.1 การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)

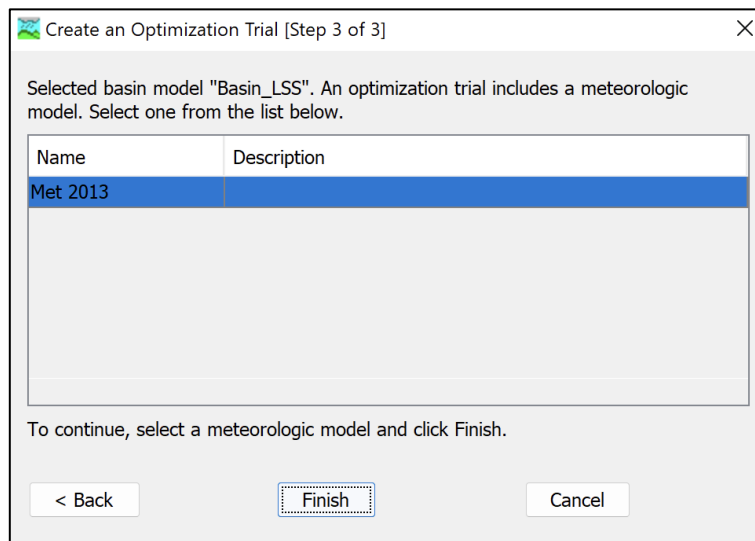
การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) เป็นกระบวนการสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองอุทกวิทยาให้มีความเหมาะสมและสะท้อนพฤติกรรมของกลุ่มน้ำจริงมากที่สุด โดยการปรับเทียบพารามิเตอร์ใน HEC-HMS สามารถดำเนินการทั้งแบบการปรับด้วยตนเอง (Manual Calibration) และแบบการปรับอัตโนมัติ (Automatic Calibration) ผ่านเครื่องมือ Optimization Trial

1. ในกระบวนการ Optimization Trial ผู้ใช้งานสามารถเริ่มต้นได้โดยไปที่เมนู Compute และเลือก Create Compute > Optimization Trial...

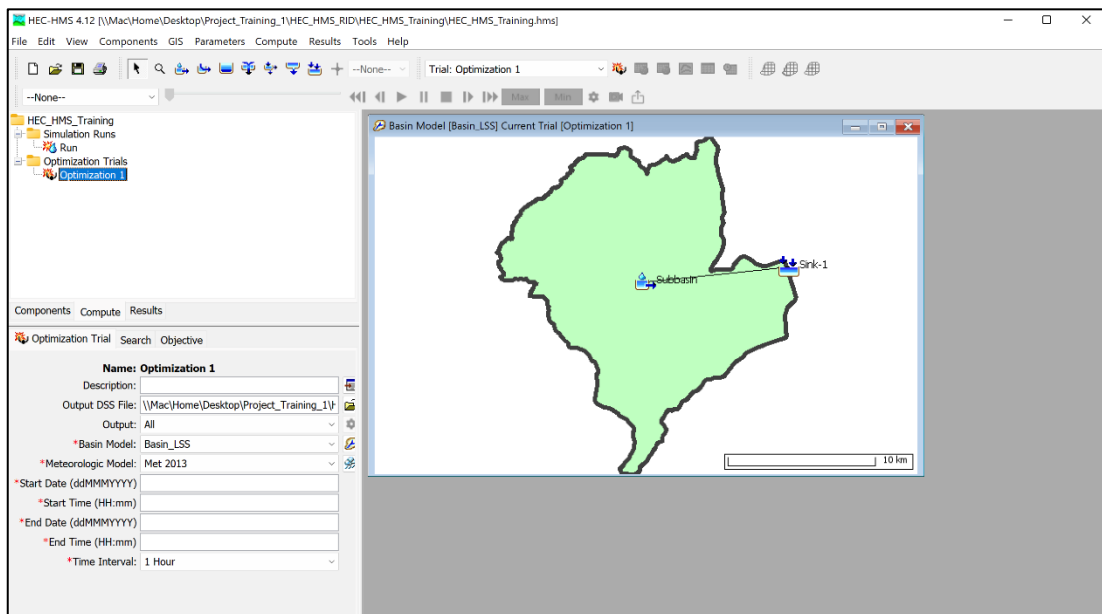


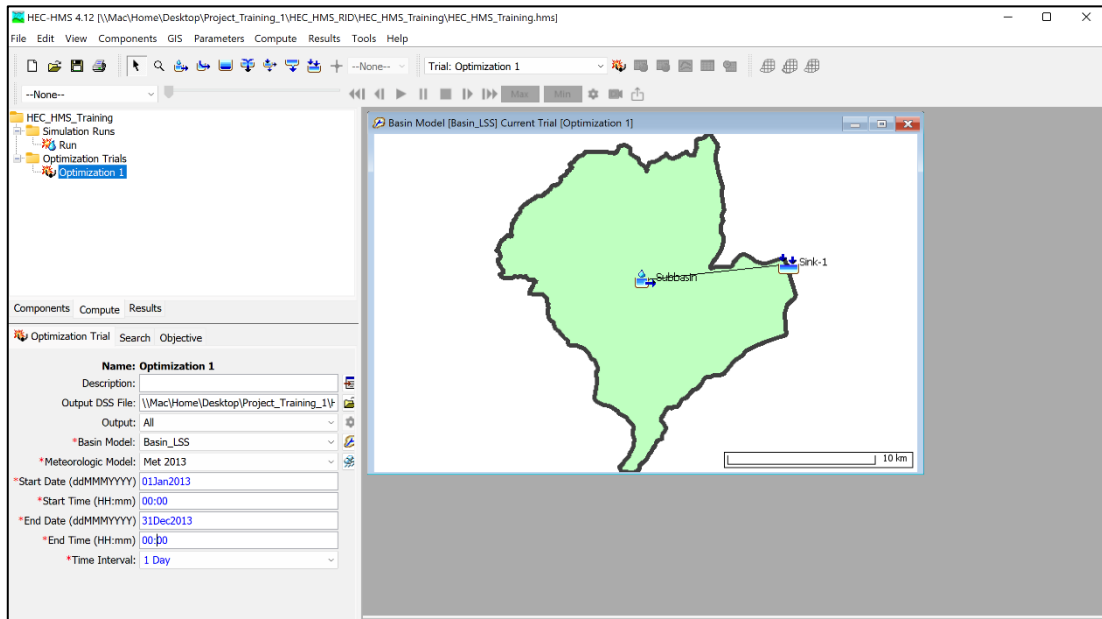
2. จากนั้นโปรแกรมจะเปิดหน้าต่าง สำหรับการตั้งชื่อ (Name) ของชุดการปรับเทียบและเลือก Basin Model, Meteorologic Model และ Control Specifications ที่ต้องการใช้ในการปรับเทียบ เมื่อเลือกครบถ้วนแล้ว ให้กด Finish



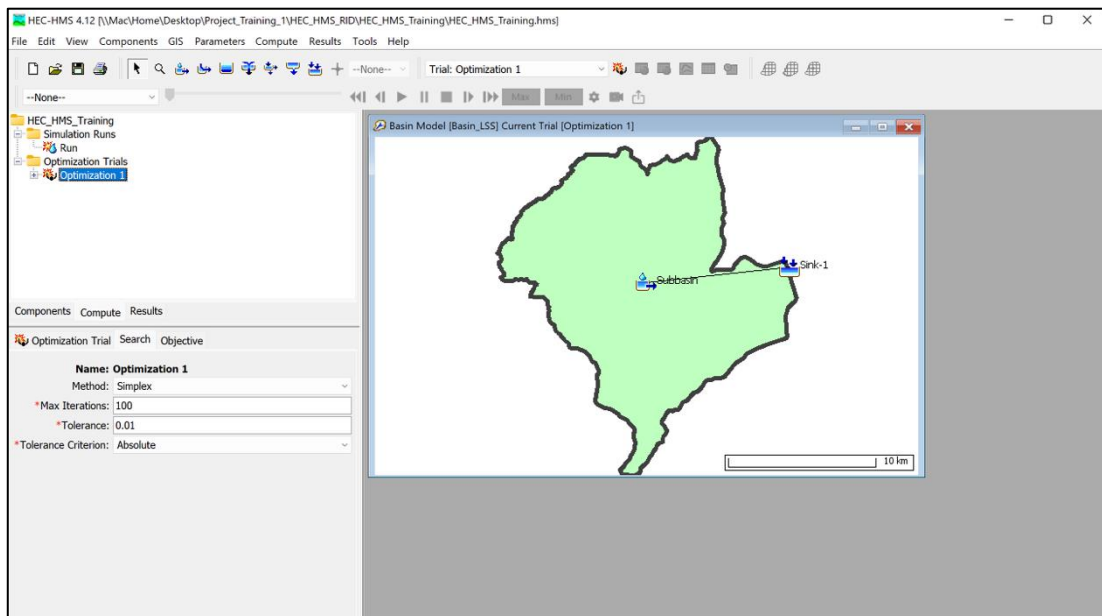


3. ดำเนินการกรอกช่วงวัน และเวลาที่ต้องการให้โปรแกรมดำเนินปรับอัตโนมัติ (Automatic Calibration)

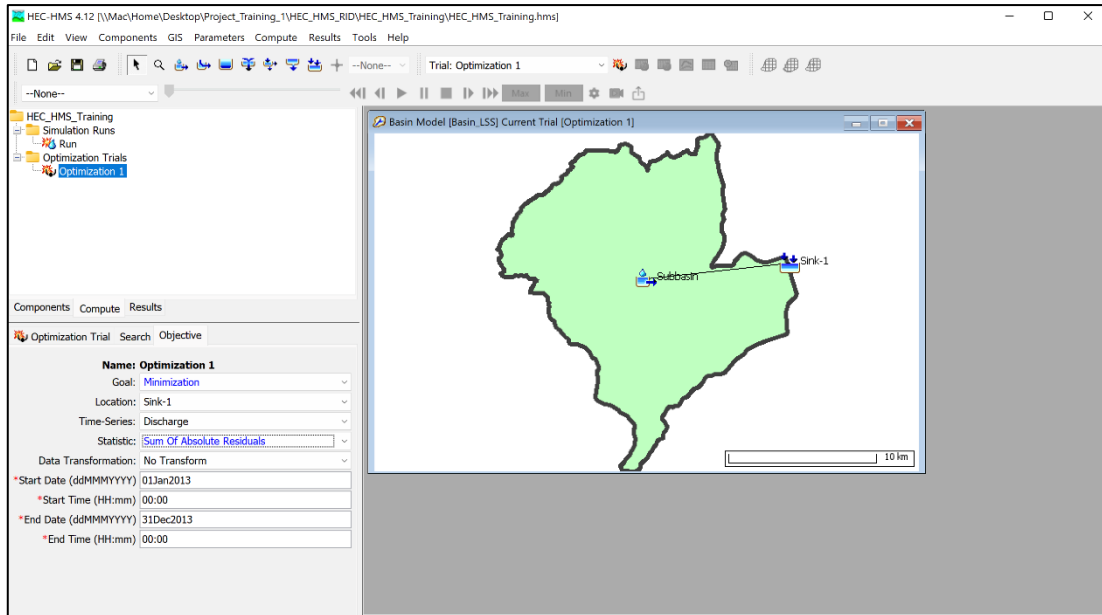




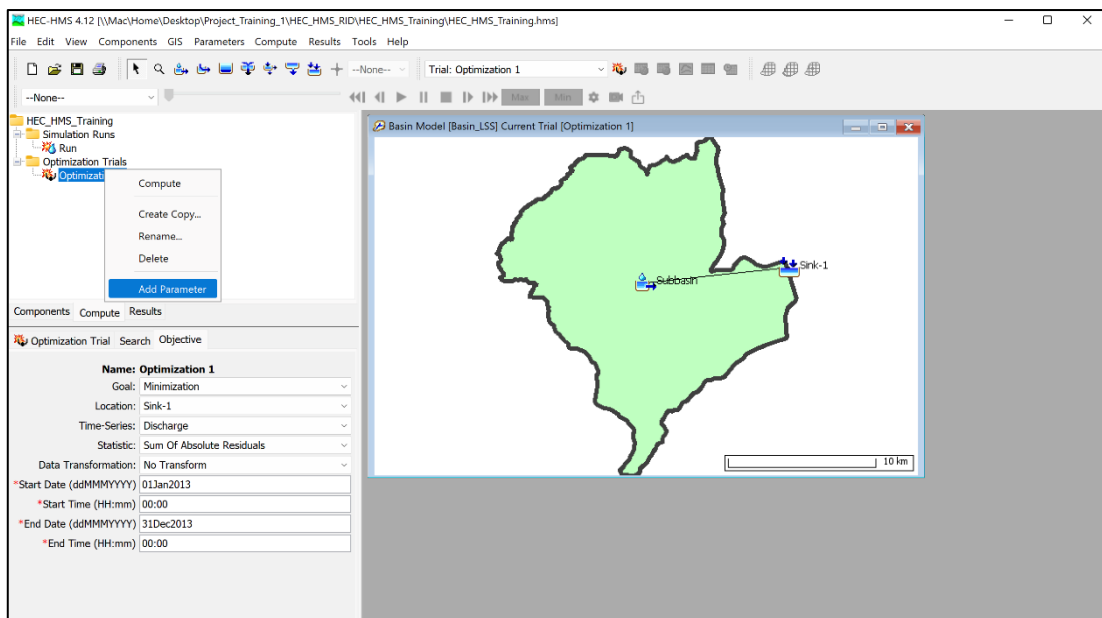
4. ในขั้นตอน Search Settings ผู้ใช้งานสามารถกำหนดจำนวนรอบการคำนวณ (Number of Iterations) ซึ่งระบุจำนวนครั้งที่โปรแกรมจะค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Tolerance) ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการหยุดกระบวนการค้นหาเมื่อค่าความผิดพลาดลดลงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



5. ในขั้นตอน Objective ผู้ใช้งานสามารถกำหนดเป้าหมายของการปรับเทียบ (Goal) โดยเลือกเป็น Minimize เพื่อให้ค่าความผิดพลาดต่ำที่สุด พร้อมทั้งเลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ในตัวอย่างนี้เลือกเป็น Sum of Absolute Residuals



6. ดำเนินการเพิ่มพารามิเตอร์ที่ต้องการให้ระบบทำการปรับแต่ง โดยคลิกขวาที่ Optimization Trial ในส่วนของ Watershed Explorer และเลือก Add Parameter



7. เลือก Element เป็น Subbasin (องค์ประกอบใน Basin Model) และเลือกParameter (ค่าพารามิเตอร์) ที่ต้องการปรับ โดยในแต่ละพารามิเตอร์จะต้องกำหนดช่วงค่าต่ำสุด (Minimum) และค่าสูงสุด (Maximum) เพื่อเป็นขอบเขตให้ระบบทำการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ในตัวอย่างนี้จะปรับทั้งหมด 4 พารามิเตอร์ โดยผู้ใช้งานจะดำเนินการตามขั้นตอนการเลือกพารามิเตอร์และกำหนดช่วงค่าของข้อที่ 5 และ 6 ข้างบนครบทั้ง 4 พารามิเตอร์ที่ต้องการปรับแต่งสำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง

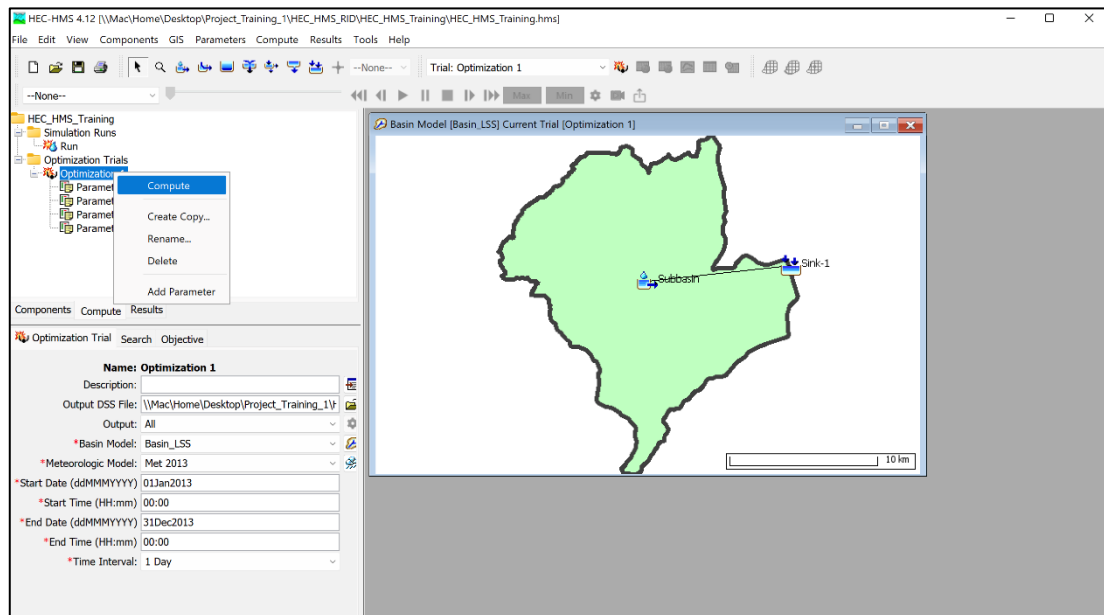
Optimization Trial		Parameter 1
Name: Optimization 1		
Element:	Subbasin	
Parameter:	Deficit and Constant - Constant Rate	
*Initial Value (MM/HR)	1.4	
Locked:	No	
*Minimum (MM/HR)	0.4	
*Maximum (MM/HR)	5	

Optimization Trial		Parameter 2
Name: Optimization 1		
Element:	Subbasin	
Parameter:	Deficit and Constant - Initial Deficit	
*Initial Value (MM)	90	
Locked:	No	
*Minimum (MM)	50	
*Maximum (MM)	150	

Optimization Trial		Parameter 3
Name: Optimization 1		
Element:	Subbasin	
Parameter:	Deficit and Constant - Maximum Deficit	
*Initial Value (MM)	135	
Locked:	No	
*Minimum (MM)	100	
*Maximum (MM)	180	

Optimization Trial Parameter 4	
Name: Optimization 1	
Element:	Subbasin
Parameter:	SCS Unit Hydrograph - Lag Time
*Initial Value (MIN)	240
Locked:	No
*Minimum (MIN)	120
*Maximum (MIN)	500

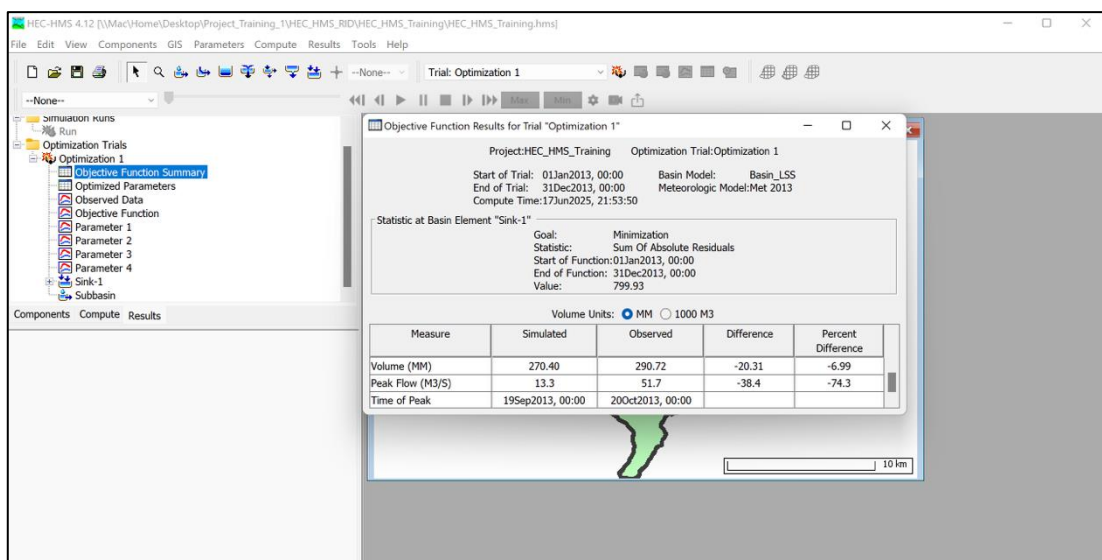
8. คลิกขวาที่ชื่อ Optimization Trial ในส่วนของ Watershed Explorer และเลือก Compute เพื่อเริ่มต้นกระบวนการปรับเทียบโดยอัตโนมัติ



9. ระบบจะแสดงผลลัพธ์ในแท็บ Results ซึ่งผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ที่ได้รับการปรับปรุง (Optimized Parameters)

Optimized Parameter Results for Trial "Optimization 1"				
Project:HEC_HMS_Training		Optimization Trial:Optimization 1		
Start of Trial: 01Jan2013, 00:00		Basin Model: Basin_LSS		
End of Trial: 31Dec2013, 00:00		Meteorologic Model:Met 2013		
Compute Time:17Jun2025, 21:53:50				
Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
Subbasin	Deficit and Constant - Constant...	MM/HR	1.4	5.0000
Subbasin	Deficit and Constant - Initial Deficit	MM	90	50.000
Subbasin	Deficit and Constant - Maximu...	MM	135	100.000
Subbasin	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	240	120.00

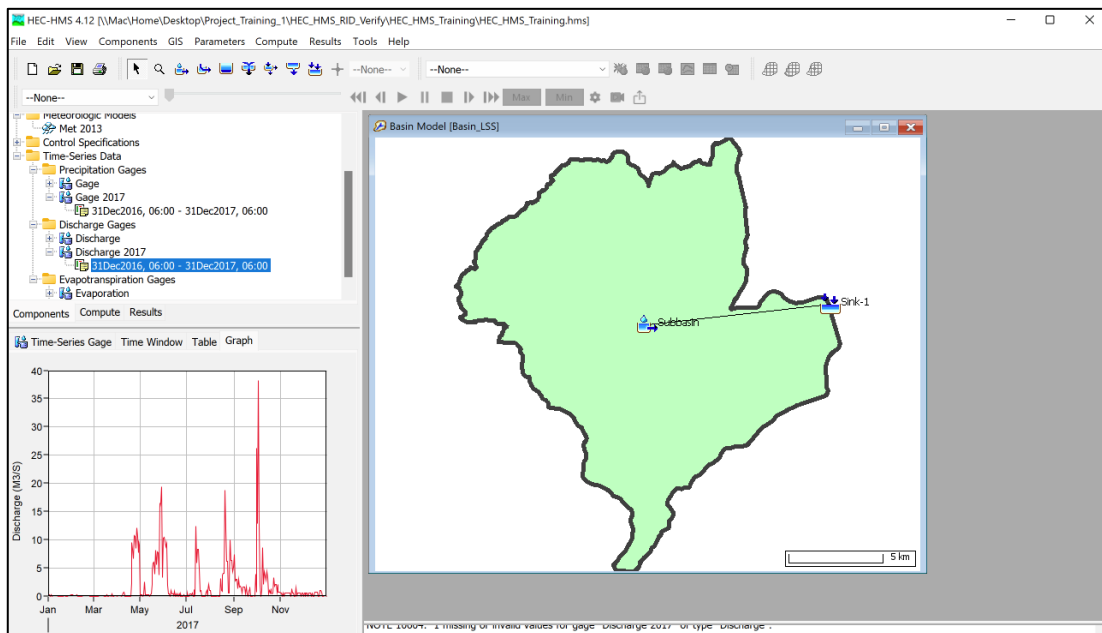
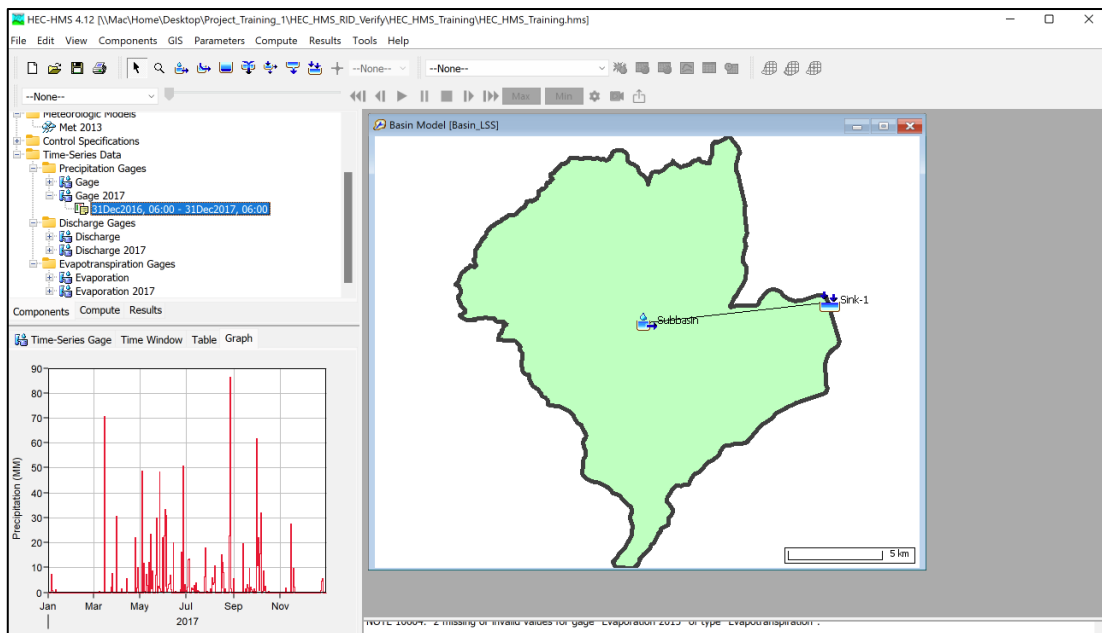
และสถิติการประเมินผล (Objective Function Summary) เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลอง ทั้งในรูปแบบตารางข้อมูลและกราฟ Hydrograph เปรียบเทียบระหว่างผลคำนวณและข้อมูลสังเกตการณ์ในแต่ละสถานีวัดน้ำ

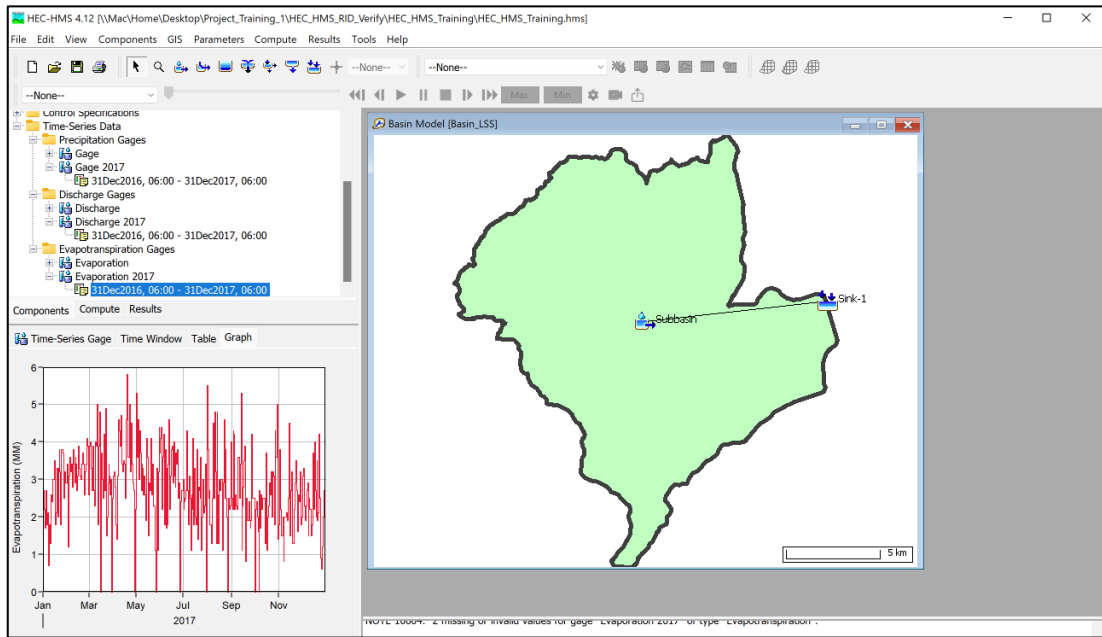


7.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)

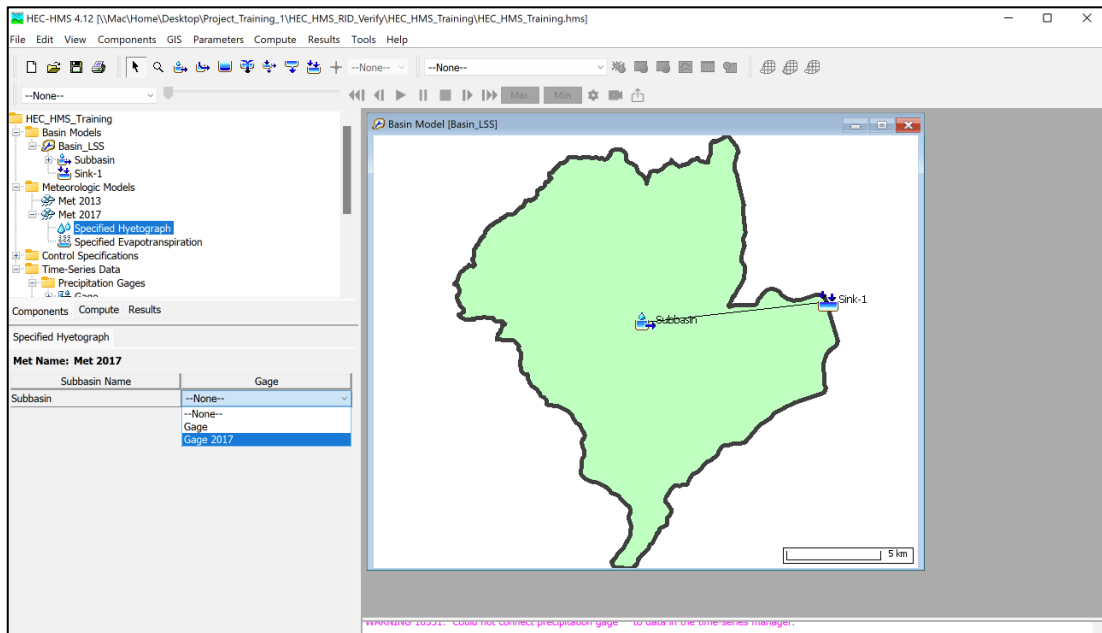
ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ในตัวอย่างนี้ใช้ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2560 (2017) โดยดำเนินการตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

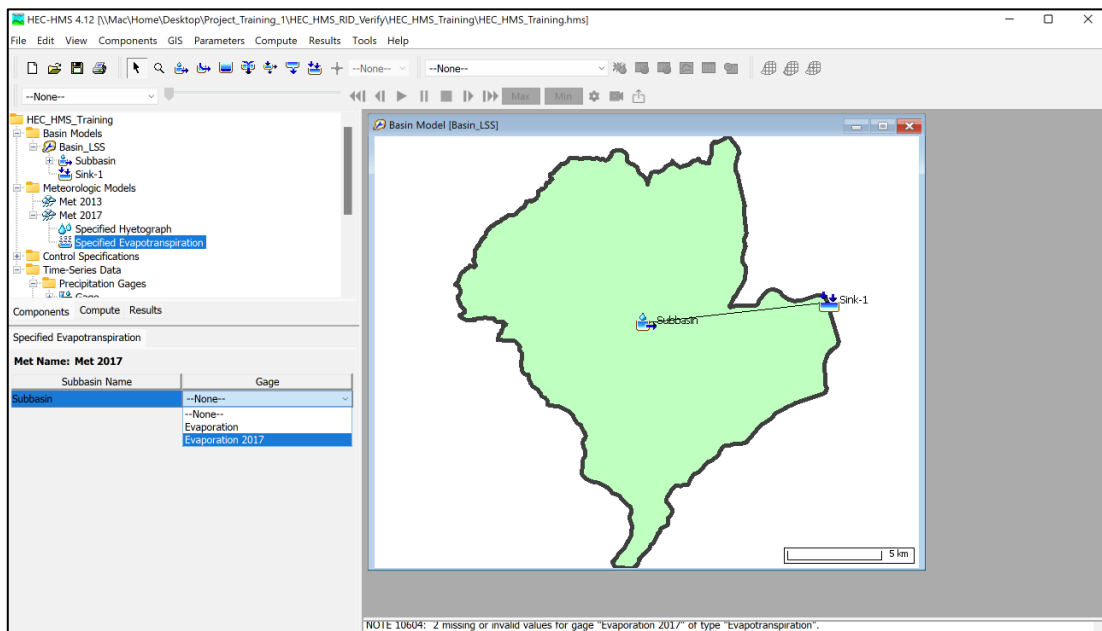
1. เตรียมข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-Series Data) ชุดใหม่ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณฝน (Rainfall), การระเหย (Evaporation) และอัตราการไหล (Discharge) ในช่วงปีดังกล่าว โดยสร้างข้อมูลอนุกรมเวลานี้ผ่านเมนู Time-Series Data Manager และกำหนดช่วงเวลาให้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่ต้องการวิเคราะห์



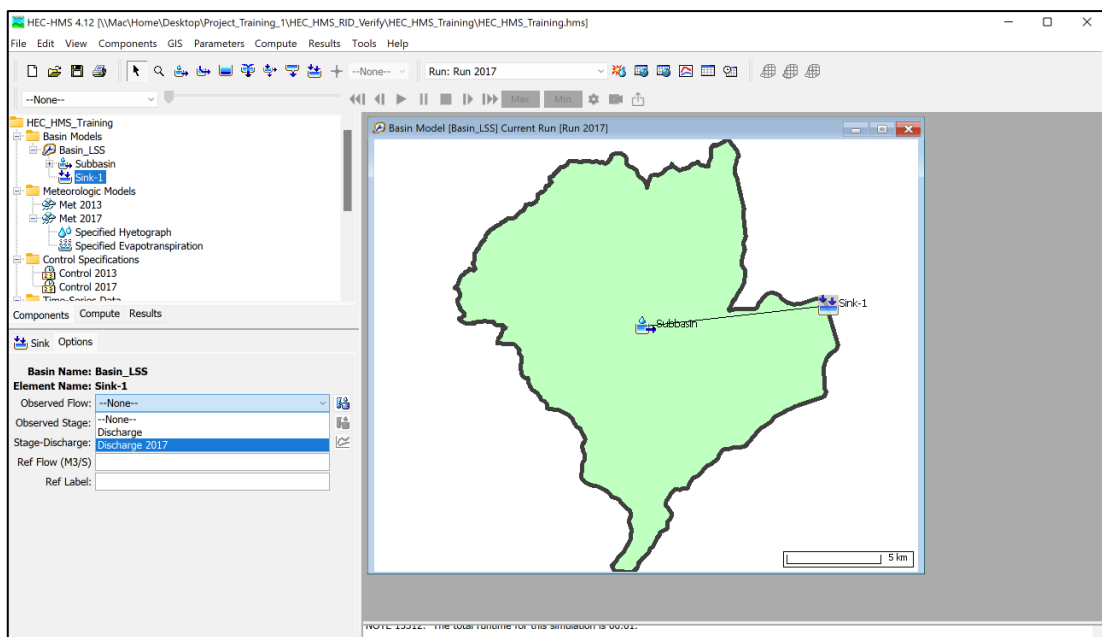


2. ทำการเชื่อมโยงข้อมูลปริมาณฝนและการระเหยเข้าสู่แบบจำลองอุทกนิยามวิทยา (Meteorologic Model) โดยสร้าง Meteorologic Model ใหม่ และเลือกเชื่อมโยง Precipitation Gage และ Evaporation Gage ที่สร้างขึ้นไว้ก่อนหน้านี้ใน Time-Series Data

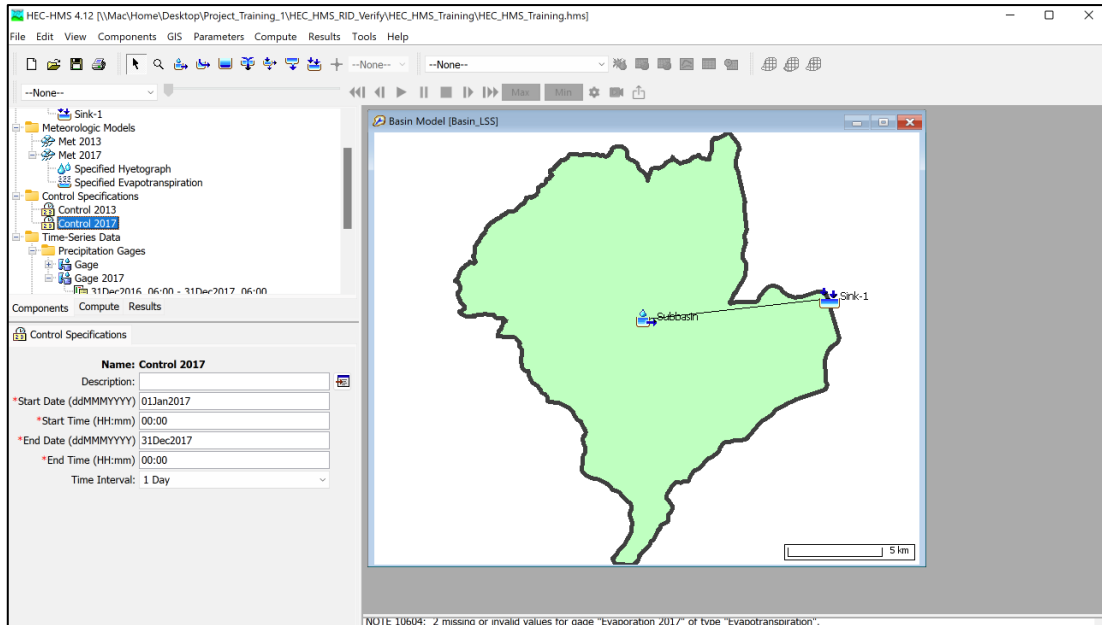




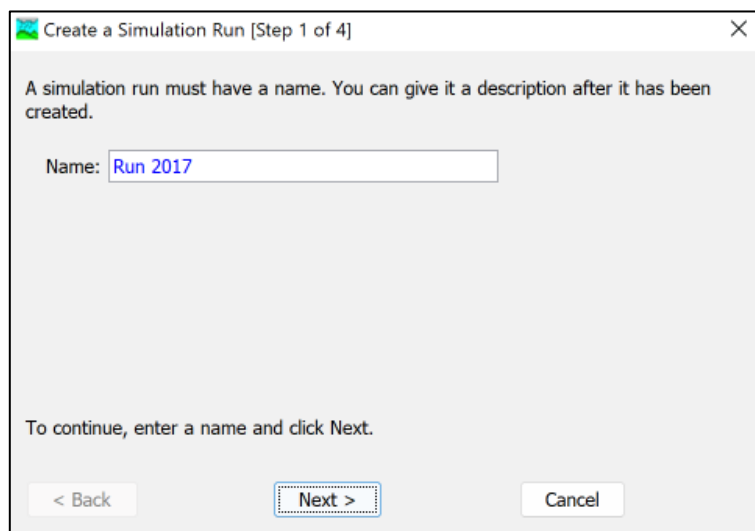
3. ข้อมูลการไหลที่สังเกตได้ (Observed Discharge) จะถูกเชื่อมโยงในระดับ Subbasin ผ่านการเลือก Observed Flow Gage ใน Component Editor



4. กำหนด Control Specifications ใหม่สำหรับการจำลองครั้งนี้ โดยตั้งค่าช่วงเวลาเริ่มต้น-สิ้นสุด (Start Date/End Date) ให้ครอบคลุมช่วงปี 2017 พร้อมทั้งกำหนด Time Interval ให้สอดคล้องกับความละเอียดของข้อมูลอนุกรมเวลาเป็นรายวัน (1 Day)



5. ทำการสร้าง Simulation Run ใหม่ โดยเลือก Basin Model เดิมซึ่งเป็นแบบจำลองที่ผ่านการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ลักษณะลุ่มน้ำ (Basin Characteristic Parameters) เรียบร้อยแล้ว จากการดำเนินการในขั้นตอนการปรับเทียบ (Calibration) ก่อนหน้านี้ เพื่อใช้เป็นโครงสร้างพื้นฐานของแบบจำลอง จากนั้นจึงเลือก Meteorologic Model และ Control Specifications ที่จัดเตรียมไว้สำหรับชุดข้อมูลใหม่



Create a Simulation Run [Step 2 of 4]

A simulation run includes a basin model. Select one from the list below.

Name	Description
Basin_LSS	

To continue, select a basin model and click Next.

Create a Simulation Run [Step 3 of 4]

Selected basin model "Basin_LSS". A simulation run includes a meteorologic model. Select one from the list below.

Name	Description
Met 2013	
Met 2017	

To continue, select a meteorologic model and click Next.

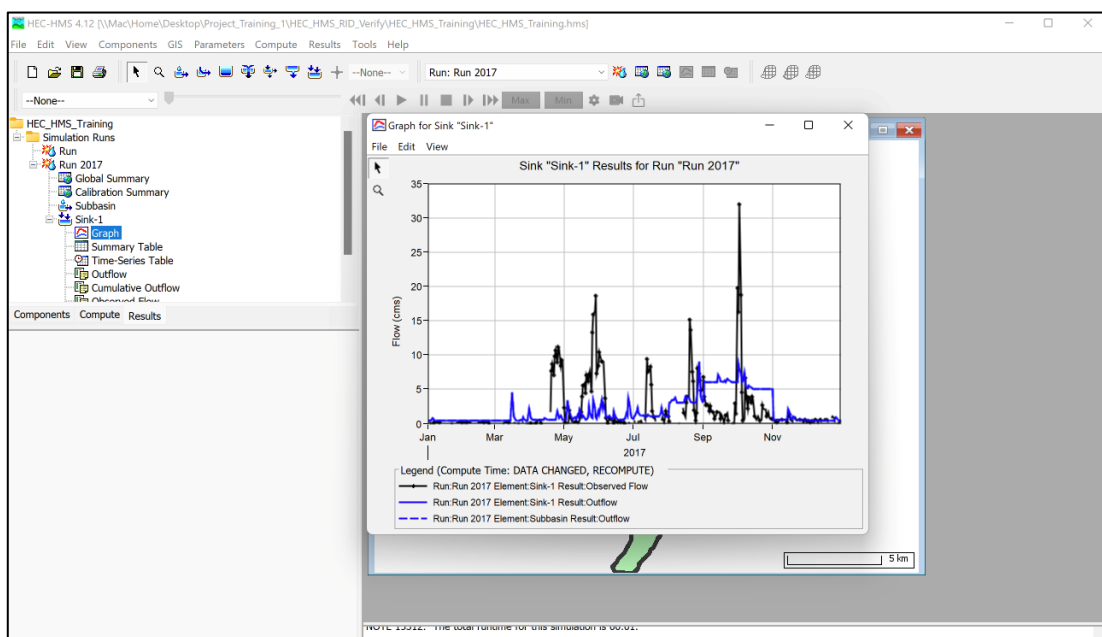
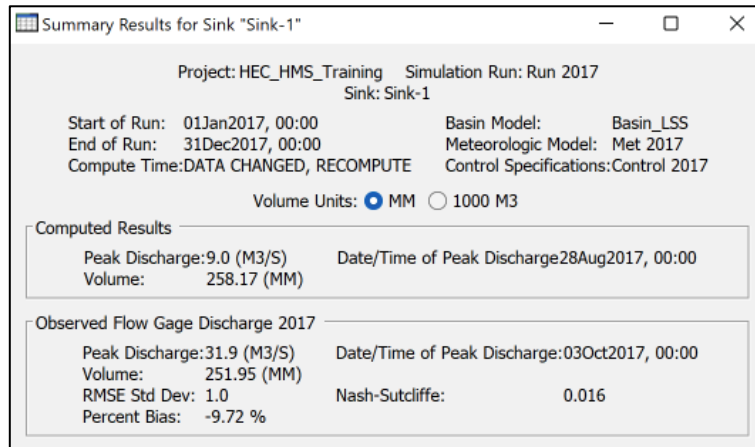
Create a Simulation Run [Step 4 of 4]

Selected basin model "Basin_LSS" and meteorologic model "Met 2017". A simulation run includes a control specifications. Select one from the list below.

Name	Description
Control 2013	
Control 2017	

Select a control specifications and click Finish.

6. ดำเนินการคำนวณแบบจำลอง (Compute) และประเมินผลการจำลองด้วยเกณฑ์วัดผลที่เหมาะสม ได้แก่ Percent Bias (PBIAS) และ Root Mean Square Error (RMSE) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของผลการคำนวณกับข้อมูลการสังเกตการณ์ในช่วงเวลาทดสอบ



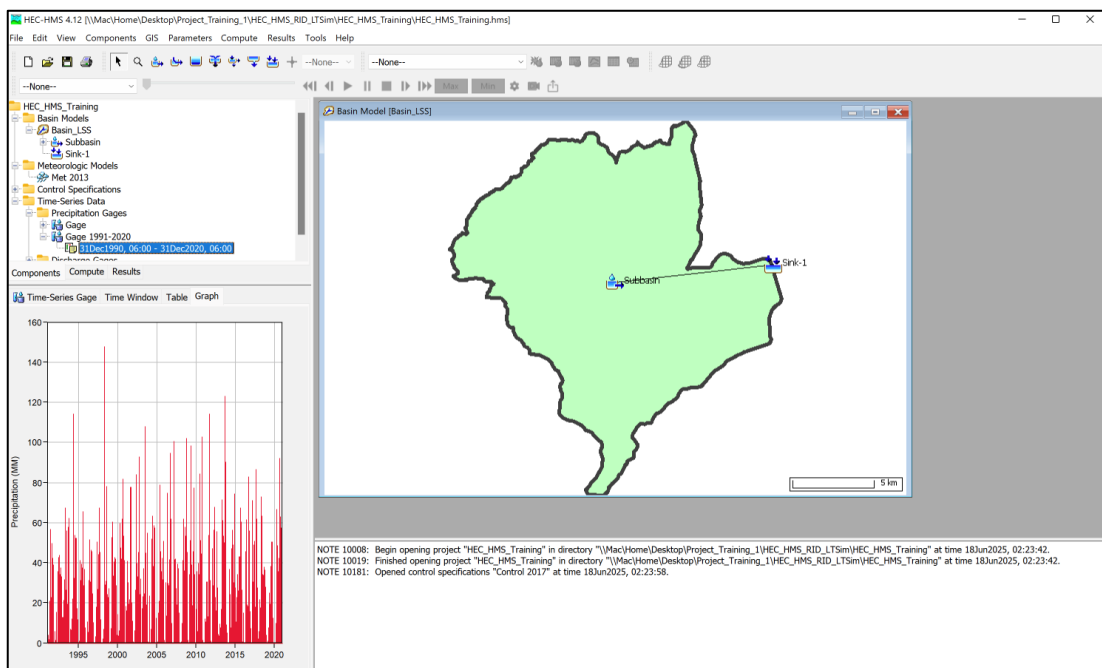
บทที่ 8

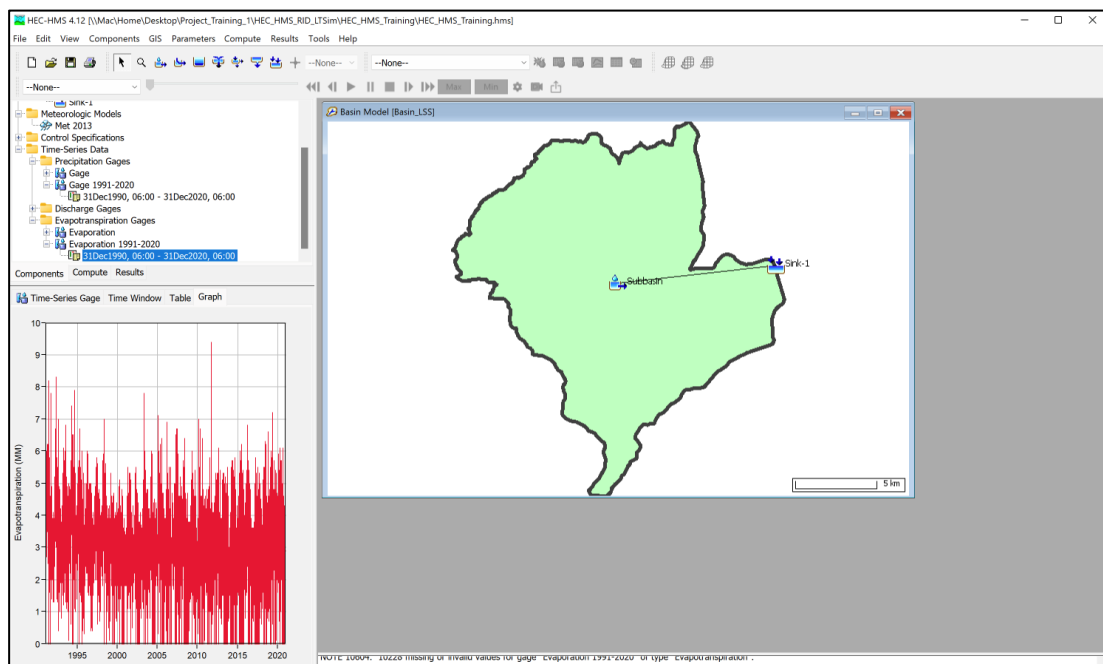
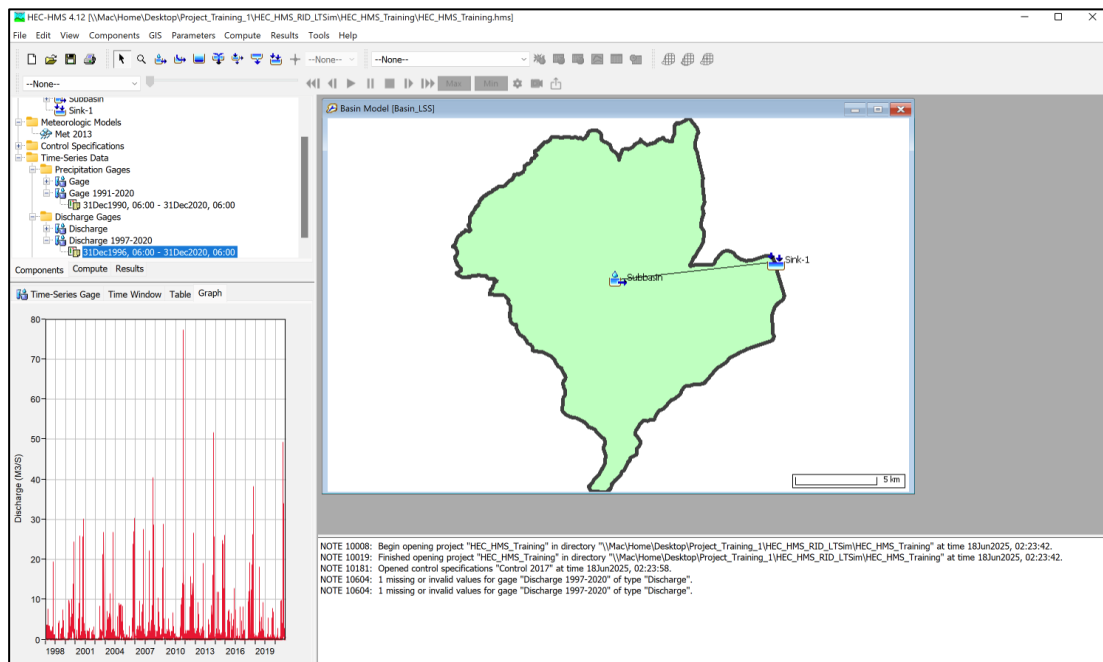
การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในการจำลองข้อมูลน้ำท่าระยะยาว

ภายหลังจากที่ได้ดำเนินการปรับเทียบ (Calibration) และตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลอง HEC-HMS จนได้ค่าพารามิเตอร์ลักษณะลุ่มน้ำ (Basin Characteristic Parameters) ที่เหมาะสมและเชื่อถือได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำแบบจำลองดังกล่าวไปประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ระยะยาว (Long-Term Simulation) โดยมีลำดับขั้นตอนการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

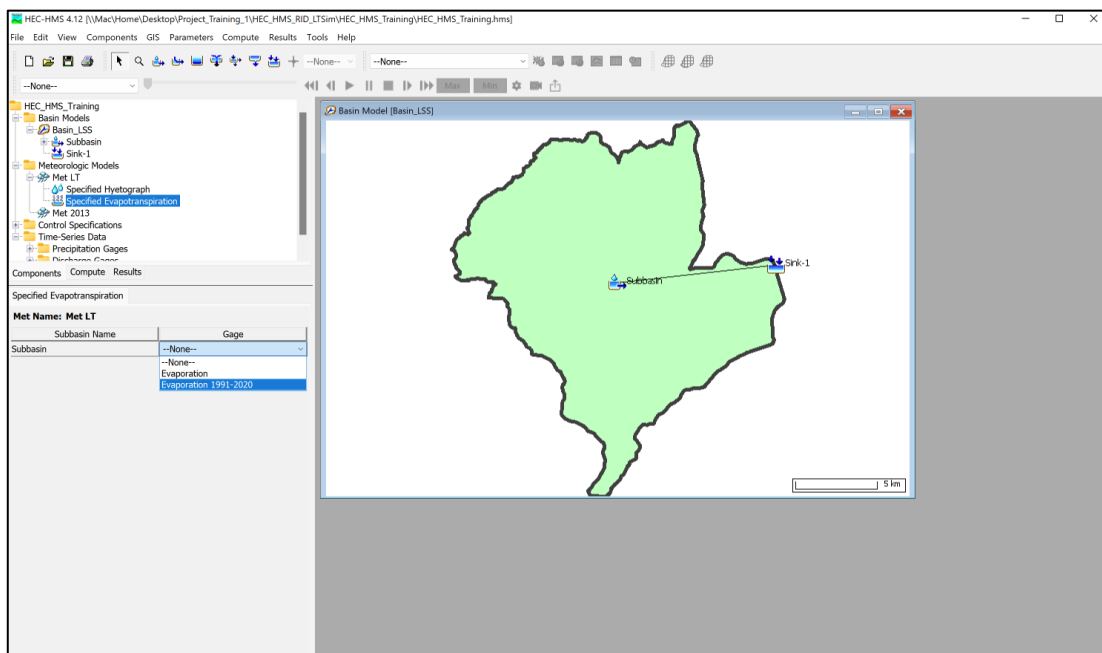
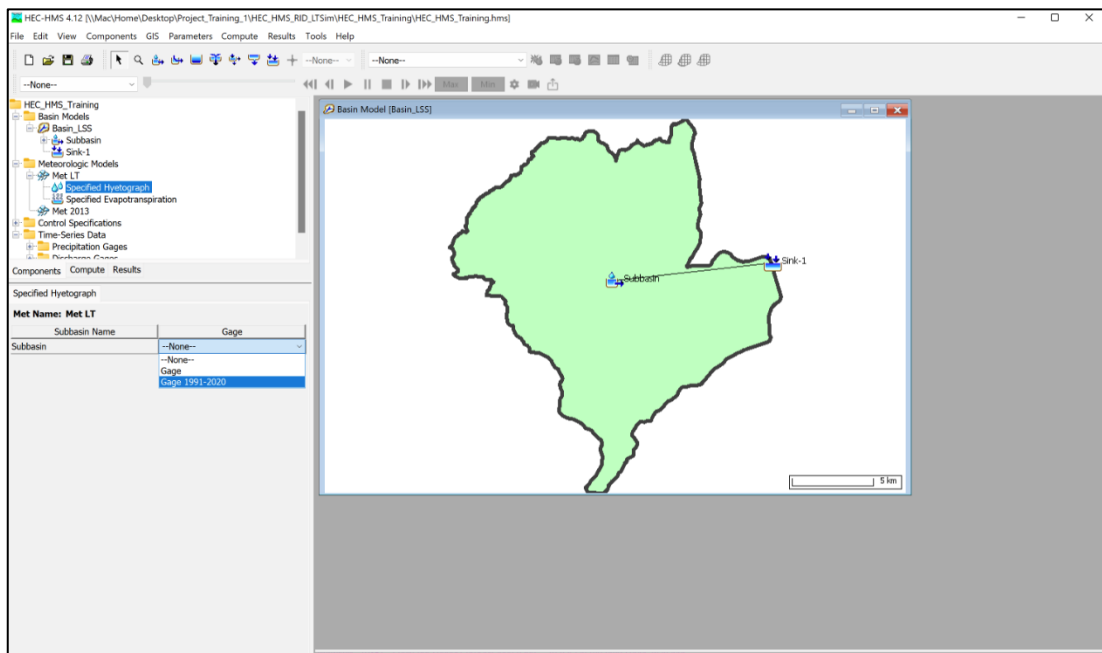
8.1 การใส่ข้อมูลระยะยาวในข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-Series Data)

1. การจัดเตรียมข้อมูลระยะยาว ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน (Rainfall), การระเหย (Evaporation) และอัตราการไหล (Discharge) โดยจัดให้อยู่ในรูปแบบอนุกรมเวลา (Time-Series Data) ผ่านเมนู Time-Series Data Manager ให้ระบุชื่อชุดข้อมูล หน่วย (Units) และช่วงเวลา (Start/End Date and Time) ให้ครอบคลุมระยะเวลา 30 ปี ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 1991 ถึง 31 ธันวาคม 2020 โดยเลือกความละเอียดของข้อมูลเป็นรายวัน (1 Day)



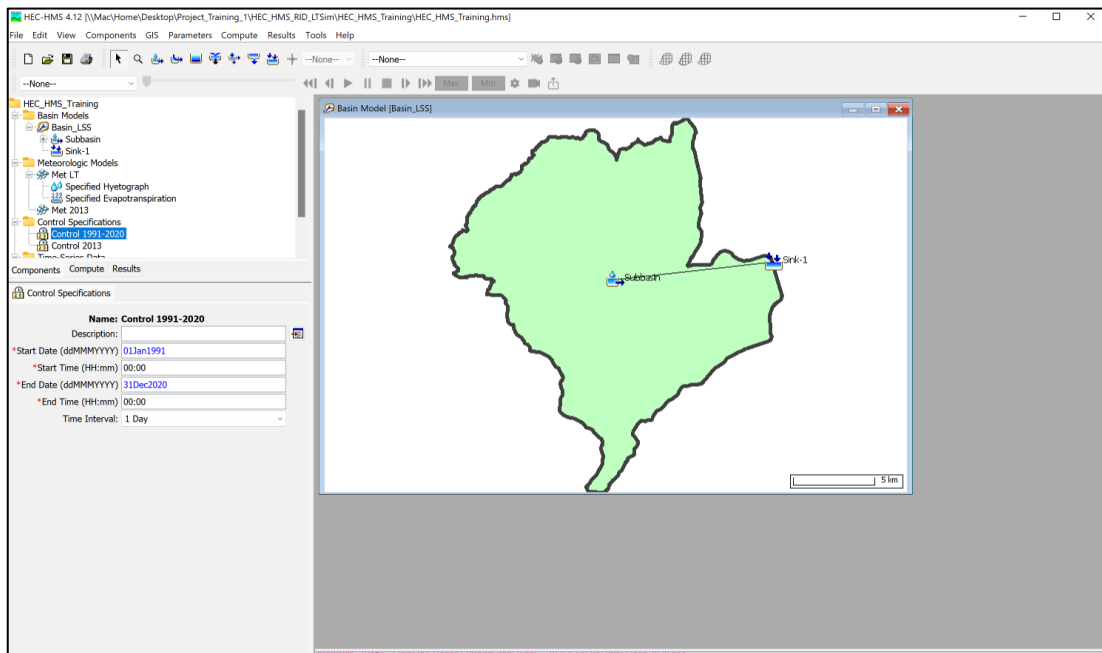


2. ทำการเชื่อมโยงข้อมูลปริมาณฝนและการระเหยเข้าสู่แบบจำลองอุทกนิยมนิยามวิทยา (Meteorologic Model) โดยสร้าง Meteorologic Model ใหม่ และเลือกเชื่อมโยง Precipitation Gage และ Evaporation Gage ที่สร้างขึ้นไว้ก่อนหน้านี้ใน Time-Series Data



8.2 การแก้ไขแบบจำลองข้อกำหนดการควบคุม (Control Specifications)

สร้าง Control Specifications เพื่อให้รองรับการจำลองในระยะเวลา 30 ปี โดยกำหนดวันที่เริ่มต้น (Start Date) และวันที่สิ้นสุด (End Date) ให้ตรงกับช่วง 01Jan1991 – 31Dec2020 และตั้งค่า Time Interval ให้สอดคล้องกับความละเอียดของข้อมูลที่ใช้ เป็น 1 Day เพื่อให้การคำนวณสอดคล้องกับชุดข้อมูลอนุกรมเวลา



8.3 การรันแบบจำลองระยะยาว (Simulation Runs)

1. สร้าง Simulation Run ใหม่ โดยไปที่เมนู Compute และเลือก Create Compute > Simulation Run จากนั้นเลือกใช้ Basin Model ที่ผ่านการ Calibration และ Validation แล้ว, Meteorologic Model ที่เชื่อมโยงกับ Time-Series Data ช่วงปี 1991–2020 และ Control Specifications ที่ได้ตั้งค่าไว้ก่อนหน้านี้



Create a Simulation Run [Step 2 of 4]

A simulation run includes a basin model. Select one from the list below.

Name	Description
Basin_LSS	

To continue, select a basin model and click Next.

< Back Next > Cancel

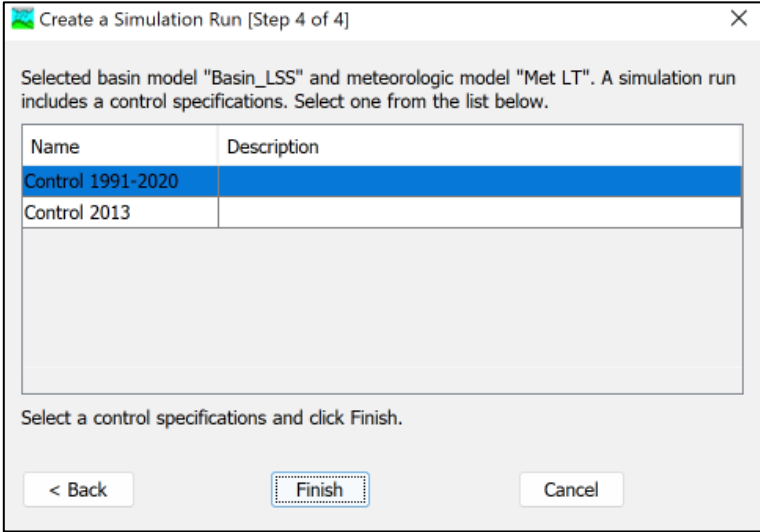
Create a Simulation Run [Step 3 of 4]

Selected basin model "Basin_LSS". A simulation run includes a meteorologic model. Select one from the list below.

Name	Description
Met LT	
Met 2013	

To continue, select a meteorologic model and click Next.

< Back Next > Cancel



Create a Simulation Run [Step 4 of 4]

Selected basin model "Basin_LSS" and meteorologic model "Met LT". A simulation run includes a control specifications. Select one from the list below.

Name	Description
Control 1991-2020	
Control 2013	

Select a control specifications and click Finish.

< Back Finish Cancel

2. เมื่อกำหนดค่าครบถ้วนแล้ว ให้ดำเนินการคำนวณ (Compute) เพื่อประมวลผลการจำลองในระยะยาว โปรแกรมจะประเมินผลการไหลของน้ำในลุ่มน้ำจากข้อมูลฝนและการระเหยที่ป้อนเข้าไปตลอดระยะเวลา 30 ปี ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบผลลัพธ์ได้จากแท็บ Results โดยวิเคราะห์ได้ทั้งในรูปแบบกราฟ (Hydrograph), ตารางข้อมูลอนุกรมเวลา และค่าดัชนีทางสถิติเชิงปริมาณ เช่น ค่าเฉลี่ยรายปี

บทที่ 9

การแสดงผลและการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าจากแบบจำลอง HEC-HMS

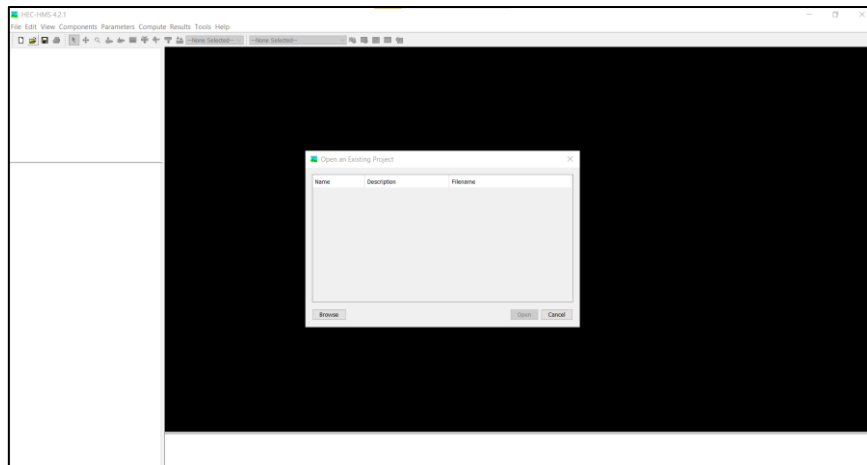
ในบทนี้เป็นการแสดงผลและการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าจากแบบจำลอง HEC-HMS ที่จำลองระยะยาว มีดังต่อไปนี้

9.1 การแสดงผลการจำลองระยะยาว

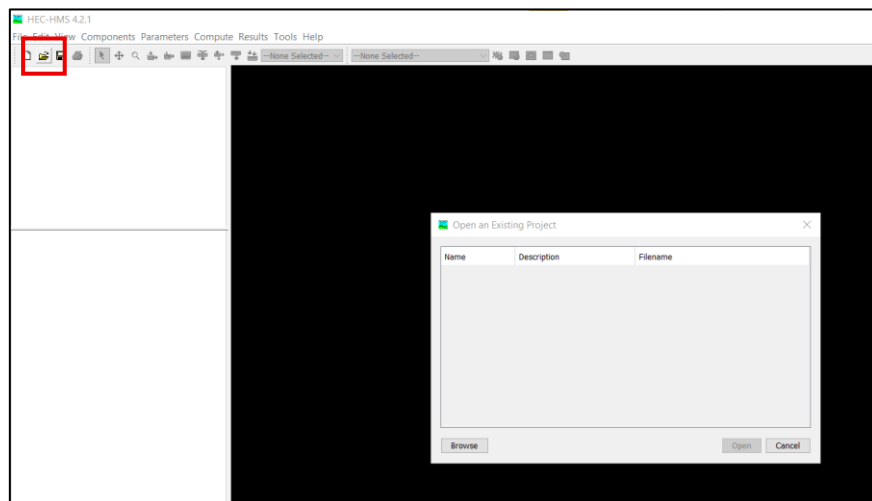
การแสดงผลการจำลองระยะยาวเป็นการแสดงผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในการจำลองข้อมูลน้ำท่าระยะยาว ดังที่ได้ดำเนินการมาจากบทที่ 8 และได้แสดงวิธีการแสดงผลไปแล้วในหัวข้อ 6.6 ของบทที่ 6 ในบทนี้จะแสดงผลในรายละเอียดที่เพิ่มขึ้น โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

9.1.1 การเปิดไฟล์โครงการที่ทำมาแล้ว

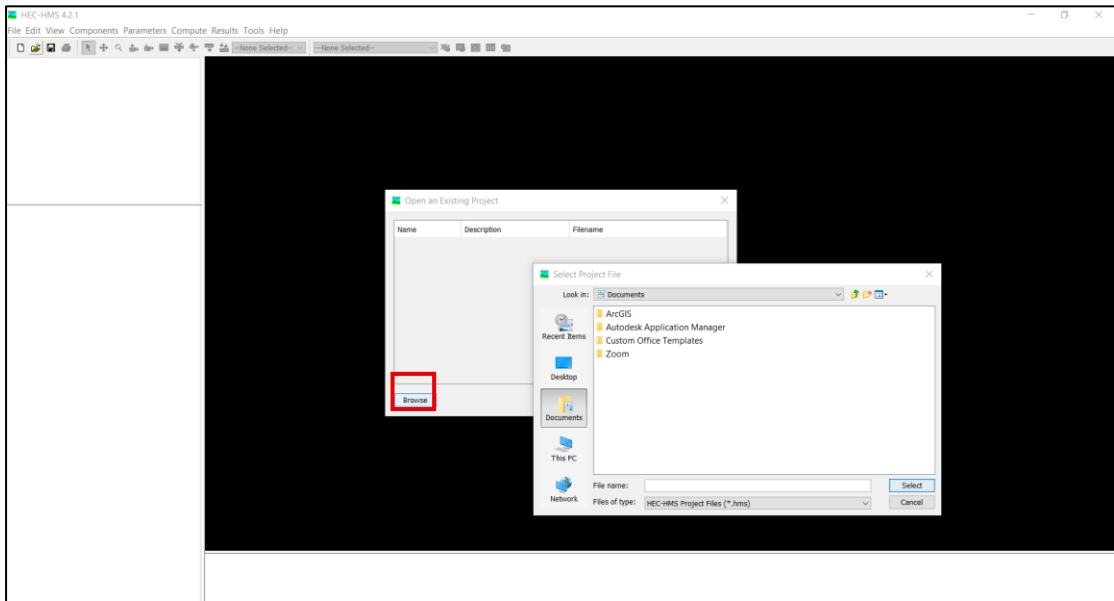
1) เปิดโปรแกรม HEC-HMS โดยดับเบิลคลิกไอคอน  จะปรากฏ



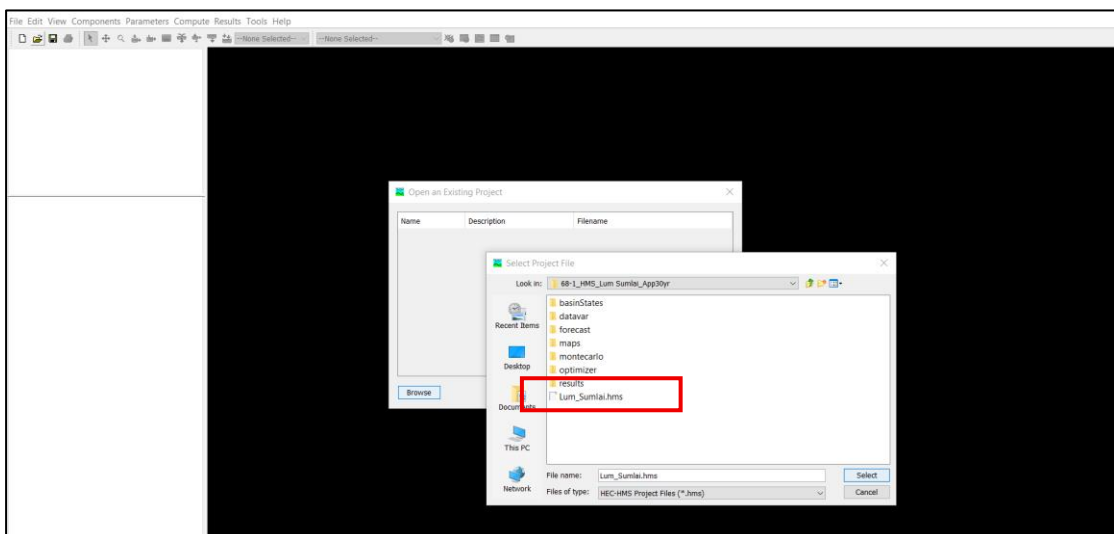
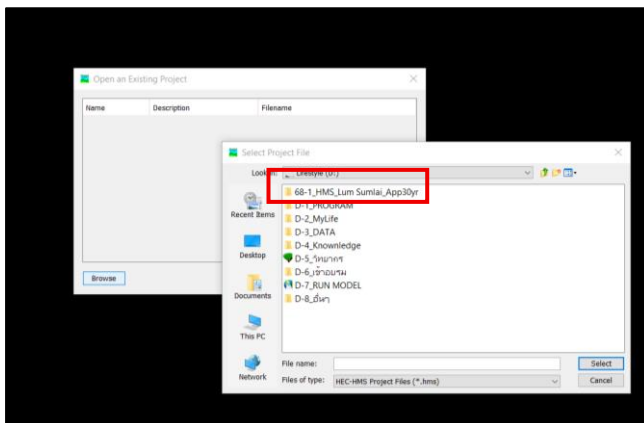
2) กดเปิดไฟล์ จะปรากฏ หน้าต่างย่อยดังรูป



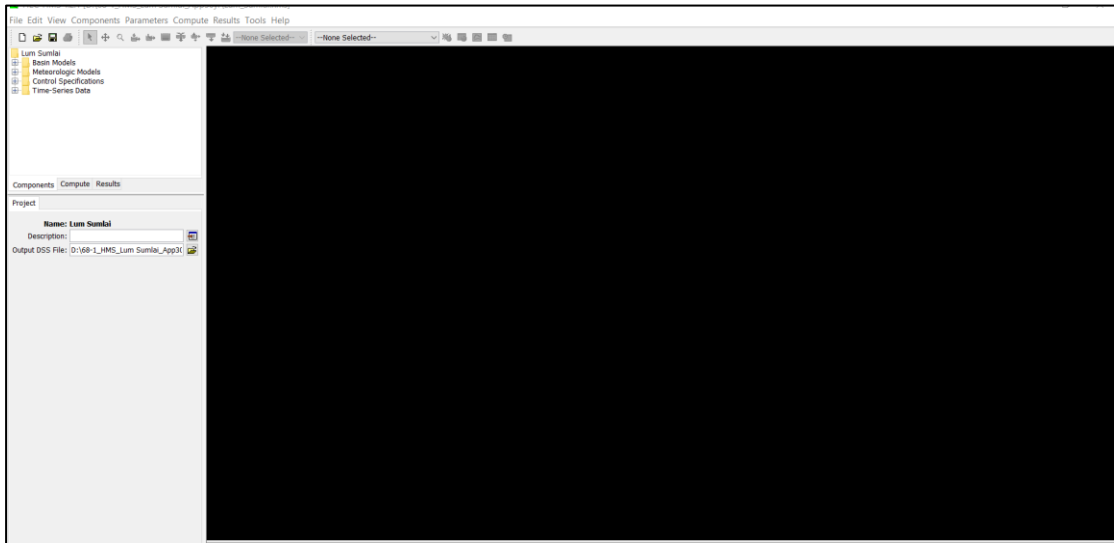
3) กด Brown จะปรากฏ



4) ไปที่เลือกที่ Drive ที่เราเก็บไฟล์ไว้ จะปรากฏไฟล์เตอร์ชื่อ 68-1_HMS_Lum Sumlai_App30yr เมื่อกดดับเบิ้ลคลิก จะปรากฏ Lum_Sumlai.hms

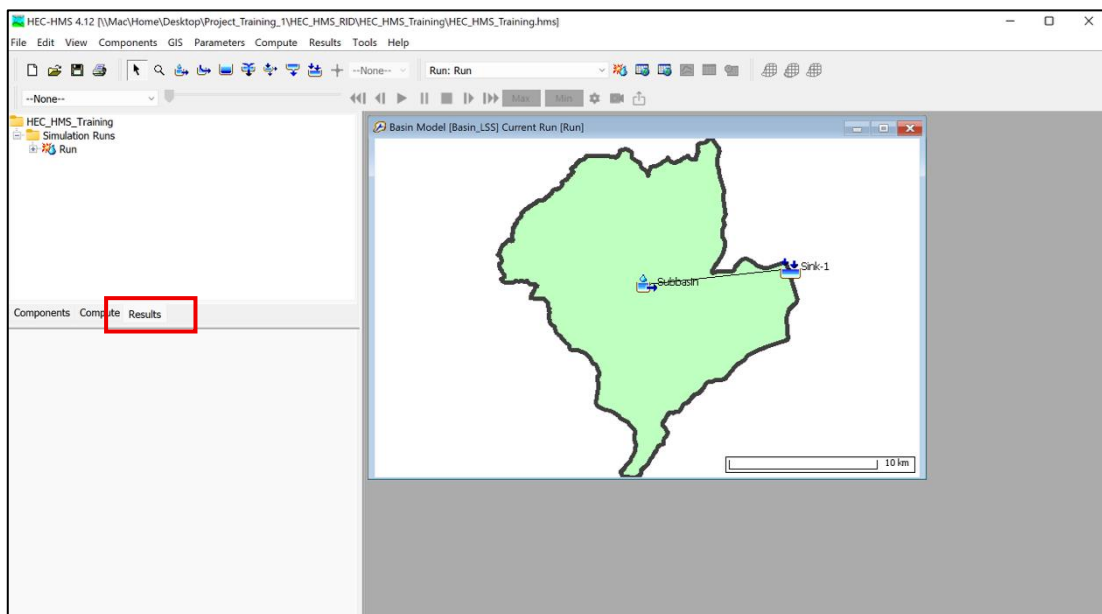


5) คลิกเลือกไฟล์โครงการ Lum_Sumlai.hms แล้วกด Select จะปรากฏหน้าต่างแบบจำลอง

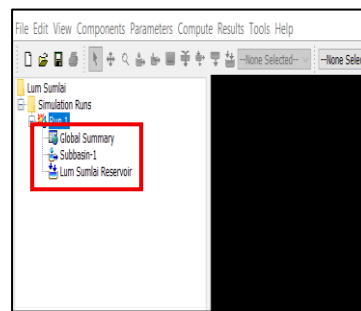
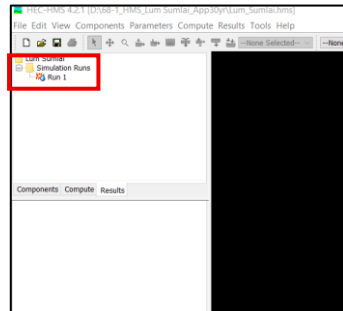


9.1.2 การแสดงผลการจำลอง (Results)

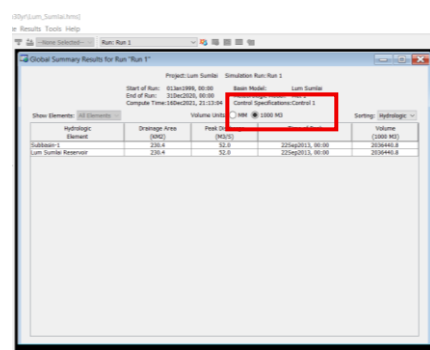
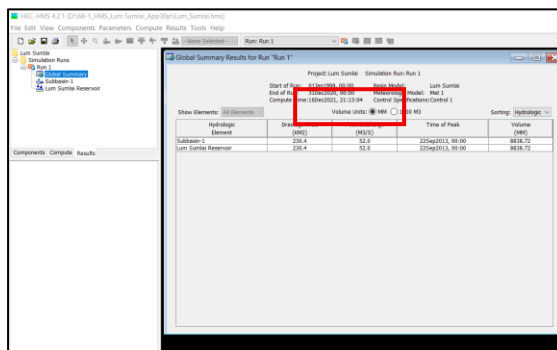
1) เข้าสู่แท็บ Results ในส่วนของ Watershed Explorer ซึ่งจะแสดงผลการจำลองของ Simulation Run ที่ได้สร้างไว้ก่อนหน้านี้



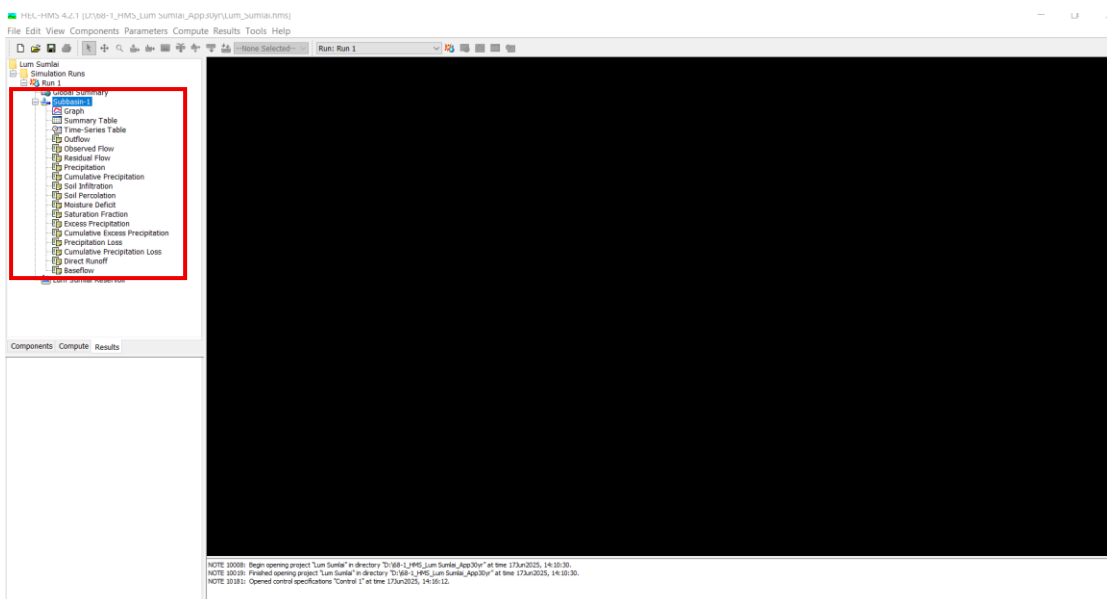
2) กดคลิกเครื่องหมายบวกที่ Simulation Runs จากนั้นกด Run จะปรากฏ 3 รายการ คือ Global Summary, Subbasin-1 และ Lum Sumlai Reservoir



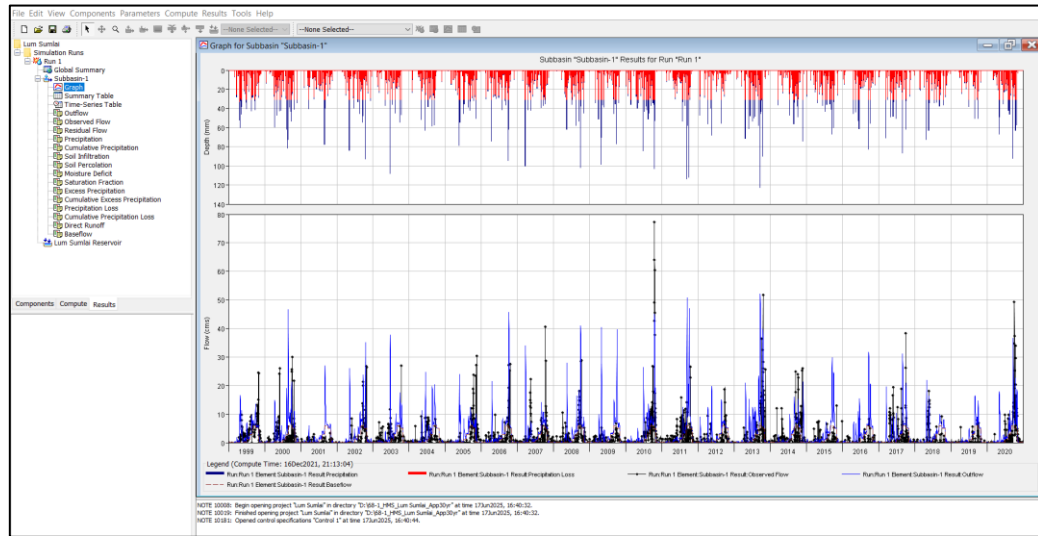
3) กดคลิก Global Summary จะปรากฏข้อมูลสรุปค่าสูงสุด โดยสามารถเลือกหน่วยปริมาตรเป็นมิลลิเมตร (MM) หรือ 1000 ลบ.ม. (1000 M3)



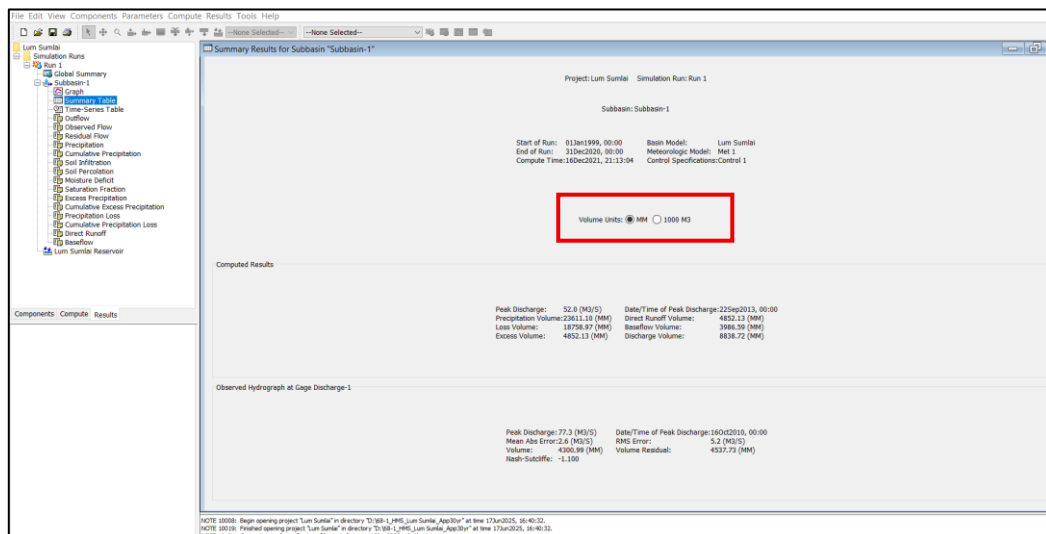
4) เมื่อคลิกเครื่องหมายบวกที่ subbasin-1 จะปรากฏ ผลการคำนวณต่างๆ ในลุ่มน้ำ ประกอบด้วย Graph, Summary Table, Time-Series Table เป็นข้อมูลหลัก ส่วนตั้งแต่ Outflow จนถึง Baseflow สามารถกดเพื่อดู Preview จอล่างซ้าย พร้อมกับ Graph, Summary Table, Time-Series Table ได้



5) กดคลิก **Graph** จะปรากฏกราฟ โดยกราฟล่างคืออัตราการไหลของน้ำ ส่วนกราฟบนคือปริมาณฝน



6) กดคลิก **Summary Table** จะปรากฏ ตารางสรุปภาพรวม โดยสามารถเลือกหน่วยปริมาตรเป็นมิลลิเมตร (MM) หรือ 1000 ลบ.ม. (1000 M3)



7) กดคลิก **Time-Series Table** จะปรากฏตารางข้อมูลอนุกรมเวลารายวันของฝน (Precipitation) การสูญเสีย (Loss) ฝนส่วนเกิน (Excess) น้ำท่าโดยตรง (direct Flow) การไหลพื้นฐาน (Base Flow) น้ำท่ารวม (Total Flow) และ น้ำท่าสำรวจ (Observed Flow)

File Edit View Components Parameters Compute Results Tools Help

Time-Series Results for Subbasin "Subbasin-1"

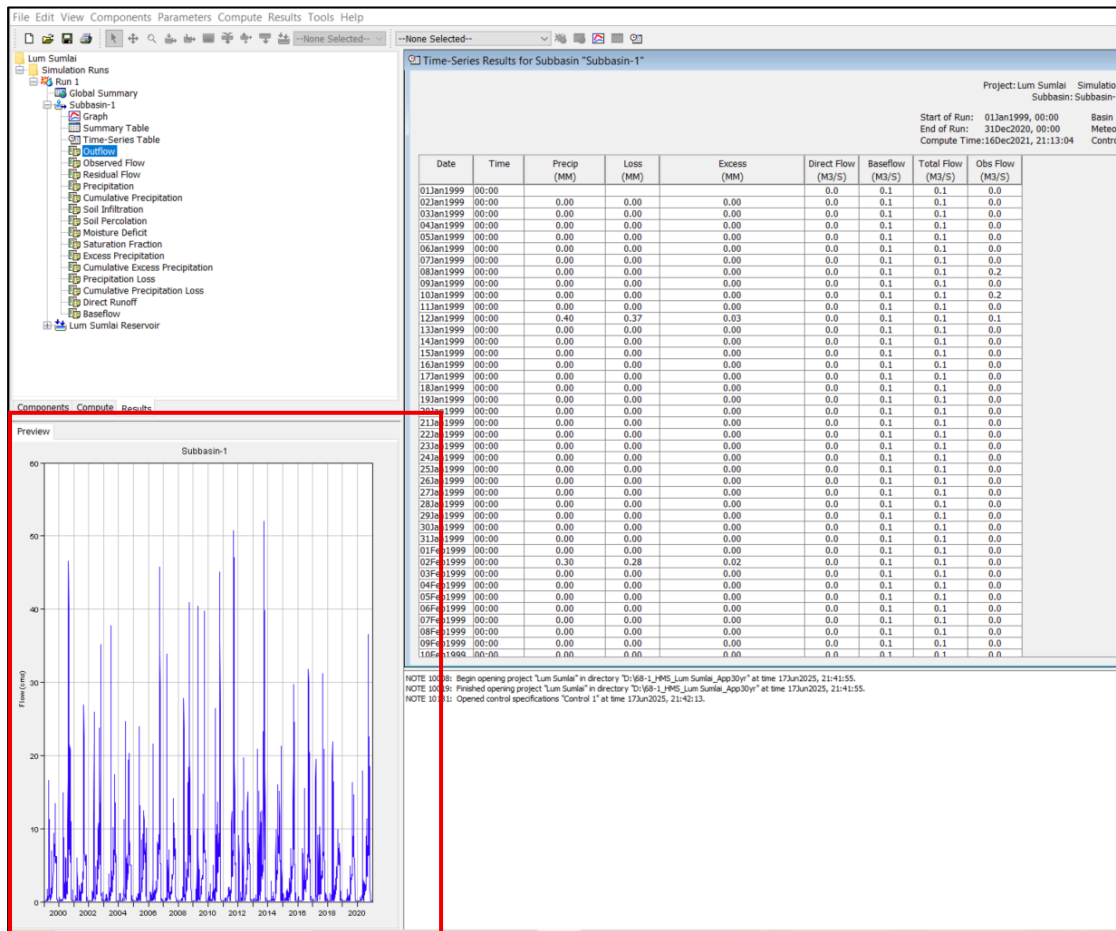
Project: Lum Sumlai Simulation Run: Run 1 Subbasin: Subbasin-1

Start of Run: 01Jan1999, 00:00 Basin Model: Lum Sumlai
End of Run: 31Dec2020, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 16Dec2021, 21:13:04 Control Specifications: Control 1

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
01Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
02Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
03Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
04Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
05Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
06Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
07Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
08Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.2
09Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
10Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.2
11Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
12Jan1999	00:00	0.40	0.37	0.03	0.0	0.1	0.1	0.1
13Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
14Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
15Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
16Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
17Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
18Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
19Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
20Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
21Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
22Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
23Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
24Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
25Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
26Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
27Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
28Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
29Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
30Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
31Jan1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
01Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
02Feb1999	00:00	0.30	0.28	0.02	0.0	0.1	0.1	0.0
03Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
04Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
05Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
06Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
07Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
08Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
09Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
10Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
11Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
12Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
13Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
14Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
15Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
16Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
17Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
18Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
19Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0
20Feb1999	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.0

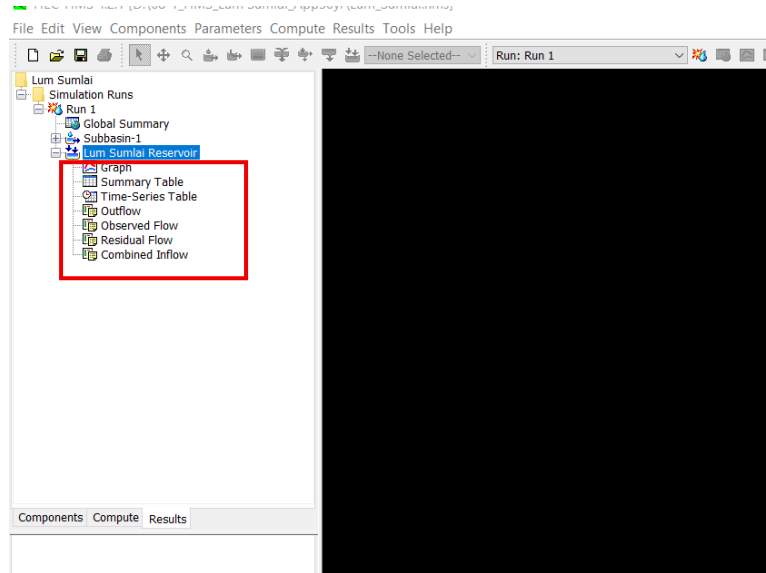
NOTE 1000: Begin opening project "Lum Sumlai" in directory "D:\88-L\88-Lum_Sumlai_App30y" at time 17Jun2025, 16:40:32.
NOTE 1001: Finished opening project "Lum Sumlai" in directory "D:\88-L\88-Lum_Sumlai_App30y" at time 17Jun2025, 16:40:32.
NOTE 1002: Opened control specifications "Control 1" at time 17Jun2025, 16:40:34.

8) กดคลิก **Outflow** เพื่อดู Preview จอล่างซ้าย ในรายการอื่นๆ จนถึง Baseflow จะแสดงผลแบบเดียวกัน

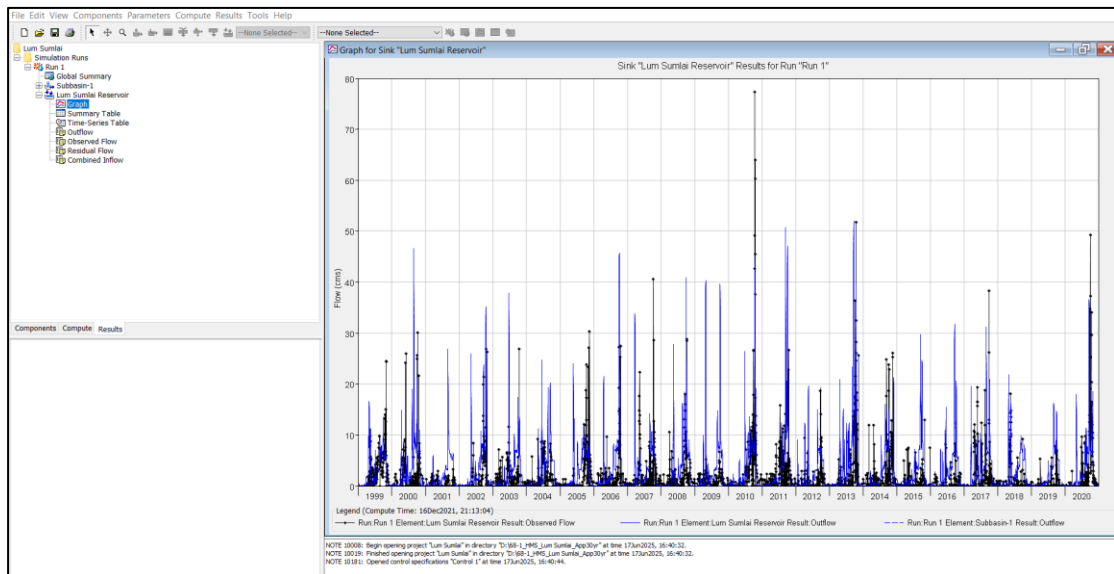


บทที่ 9 การแสดงผลและการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าจากแบบจำลอง HEC-HMS

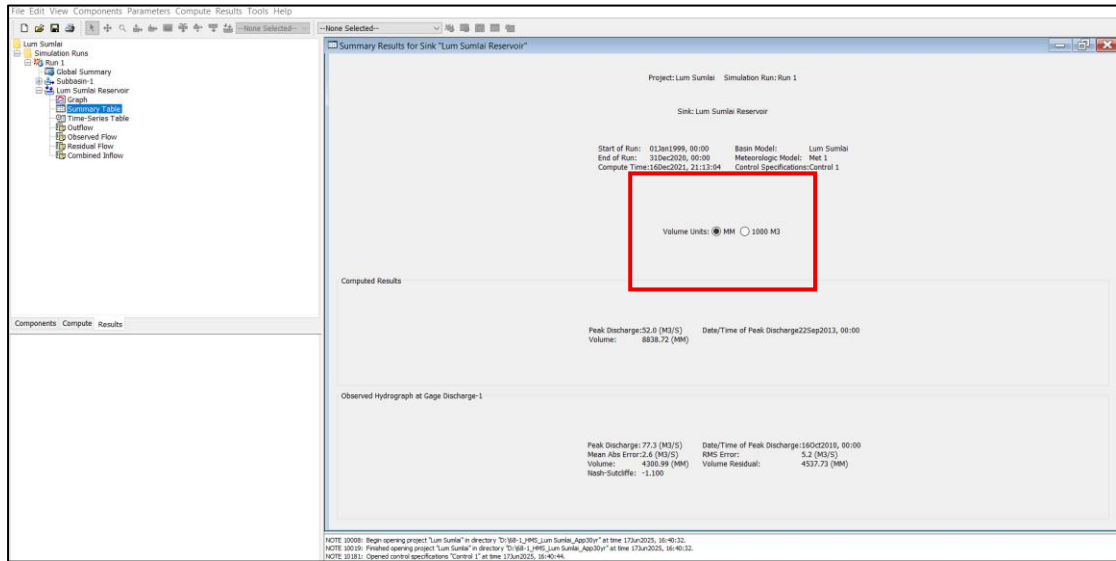
9) เมื่อคลิกเครื่องหมายบวกที่ Lum Sumlai Reservoir จะปรากฏ ผลลัพธ์ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไหลลงมาจากลุ่มน้ำย่อย (Subbasin-1) ประกอบด้วย Graph, Summary Table, Time-Series Table เป็นข้อมูลหลัก ส่วนตั้งแต่ Outflow จนถึง Combined Inflow สามารถกดเพื่อดู Preview จอล่างซ้าย



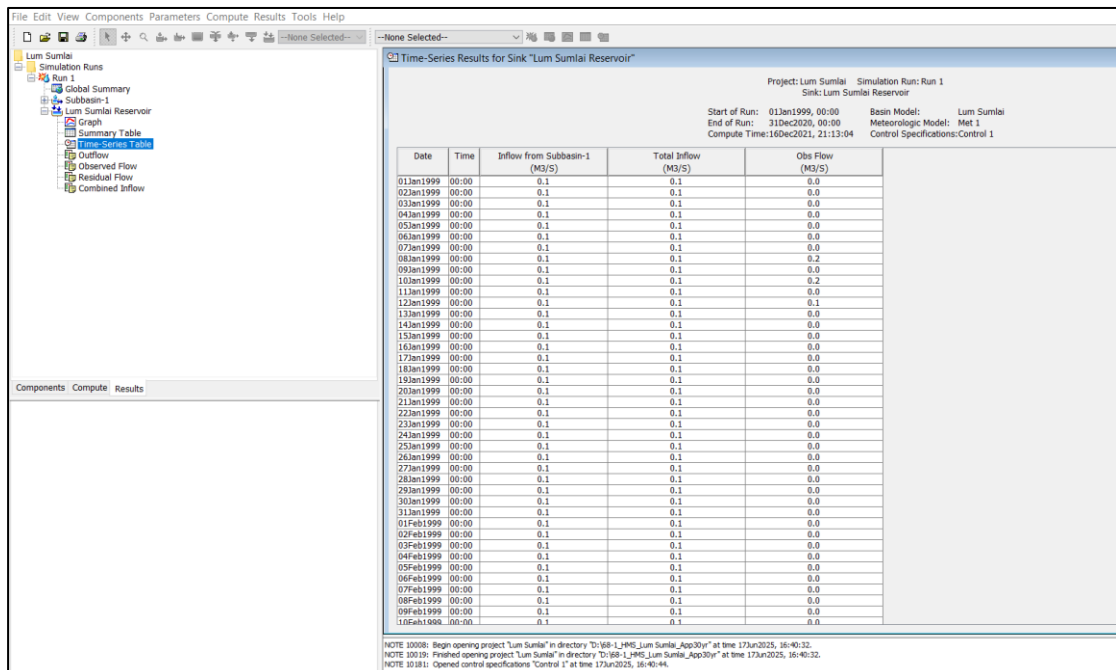
10) กดคลิก Graph จะปรากฏกราฟอัตราการไหลของน้ำเพียงกราฟเดียว ซึ่งในการจำลองนี้จะมีค่าเท่ากับลุ่มน้ำย่อย (Subbasin-1) เนื่องจากมีลุ่มน้ำเดียว



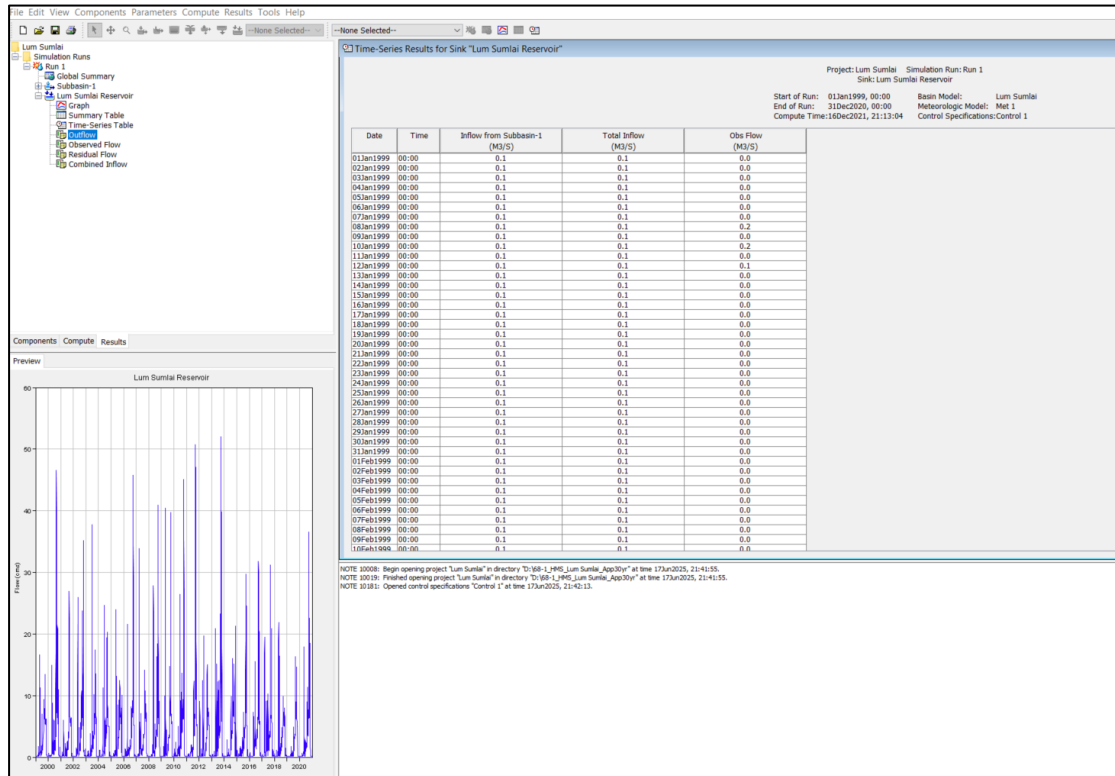
11) กดคลิก **Summary Table** จะปรากฏ ตารางสรุปภาพรวม โดยสามารถเลือกหน่วยปริมาตรเป็นมิลลิเมตร (MM) หรือ 1000 ลบ.ม. (1000 M3)



12) กดคลิก **Time-Series Table** จะปรากฏตารางข้อมูลอนุกรมเวลารายวัน คือ น้ำท่าไหลเข้าอ่างจากลุ่มน้ำย่อย 1 (Inflow from Subbasin-1) น้ำท่ารวม (Total Inflow) และน้ำท่าสำรวจ (Observed Flow) ซึ่งจะพบว่า น้ำท่ารวม (Total Inflow) จะเท่ากับน้ำท่าไหลเข้าอ่างจากลุ่มน้ำย่อย 1 (Inflow from Subbasin-1) เนื่องจากมีลุ่มน้ำเดียว



13) กดคลิก **Outflow** เพื่อดู Preview จอล่างซ้าย ในรายการอื่นๆ จนถึง Combined Inflow จะแสดงผลแบบเดียวกัน



9.2 การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่า

การประเมินปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างขนาดกลาง เพื่อใช้ในการบริหารจัดการน้ำ จะต้องการข้อมูลน้ำท่ารายวัน โดยมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/วัน แต่ผลลัพธ์จากแบบจำลอง HEC-HMS จะมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/วินาที จึงต้องมีการวิเคราะห์แปลงหน่วย และนำข้อมูลรายวันมาวิเคราะห์ทางสถิติต่างๆ

9.2.1 ข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลอง

ข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลอง ซึ่งในการจำลองนี้ศึกษาลุ่มน้ำย่อยเดียว จึงสามารถนำข้อมูล Time-Series Table จากกลุ่มน้ำย่อย 1 (Subbasin-1) และข้อมูล Time-Series Table จาก Lum Sumlai Reservoir ในแบบจำลอง HEC-HMS มาใช้ได้ทั้งคู่ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากต้องการปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ จึงเลือกใช้ข้อมูล Time-Series Table จาก Lum Sumlai Reservoir ดังรูป

File Edit View Components Parameters Compute Results Tools Help

None Selected

Time-Series Results for Sink "Lum Sumlai Reservoir"

Project: Lum Sumlai Simulation Run: Run 1
Sink: Lum Sumlai Reservoir

Start of Run: 01Jan1999, 00:00 Basin Model: Lum Sumlai
End of Run: 31Dec2020, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 16Dec2021, 21:13:04 Control Specifications: Control 1

Date	Time	Inflow from Subbasin-1 (M3/S)	Total Inflow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
01Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
02Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
03Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
04Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
05Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
06Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
07Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
08Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.2
09Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
10Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.2
11Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
12Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.1
13Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
14Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
15Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
16Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
17Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
18Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
19Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
20Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
21Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
22Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
23Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
24Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
25Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
26Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
27Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
28Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
29Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
30Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
31Jan1999	00:00	0.1	0.1	0.0
01Feb1999	00:00	0.1	0.1	0.0
02Feb1999	00:00	0.1	0.1	0.0
03Feb1999	00:00	0.1	0.1	0.0
04Feb1999	00:00	0.1	0.1	0.0
05Feb1999	00:00	0.1	0.1	0.0
06Feb1999	00:00	0.1	0.1	0.0
07Feb1999	00:00	0.1	0.1	0.0
08Feb1999	00:00	0.1	0.1	0.0
09Feb1999	00:00	0.1	0.1	0.0
10Feb1999	00:00	0.1	0.1	0.0

NOTE 1000B: Begin opening project "Lum Sumlai" in directory "D:\68-1\HMS\Lum Sumlai_App30yr" at time 17Jun2025, 16:40:32.
NOTE 1001B: Finished opening project "Lum Sumlai" in directory "D:\68-1\HMS\Lum Sumlai_App30yr" at time 17Jun2025, 16:40:32.
NOTE 1002B: Opened control specifications "Control 1" at time 17Jun2025, 16:40:44.

จากนั้นสามารถ Copy ข้อมูล นำไปวางใน Excel

File Edit View Components Parameters Compute Results Tools Help

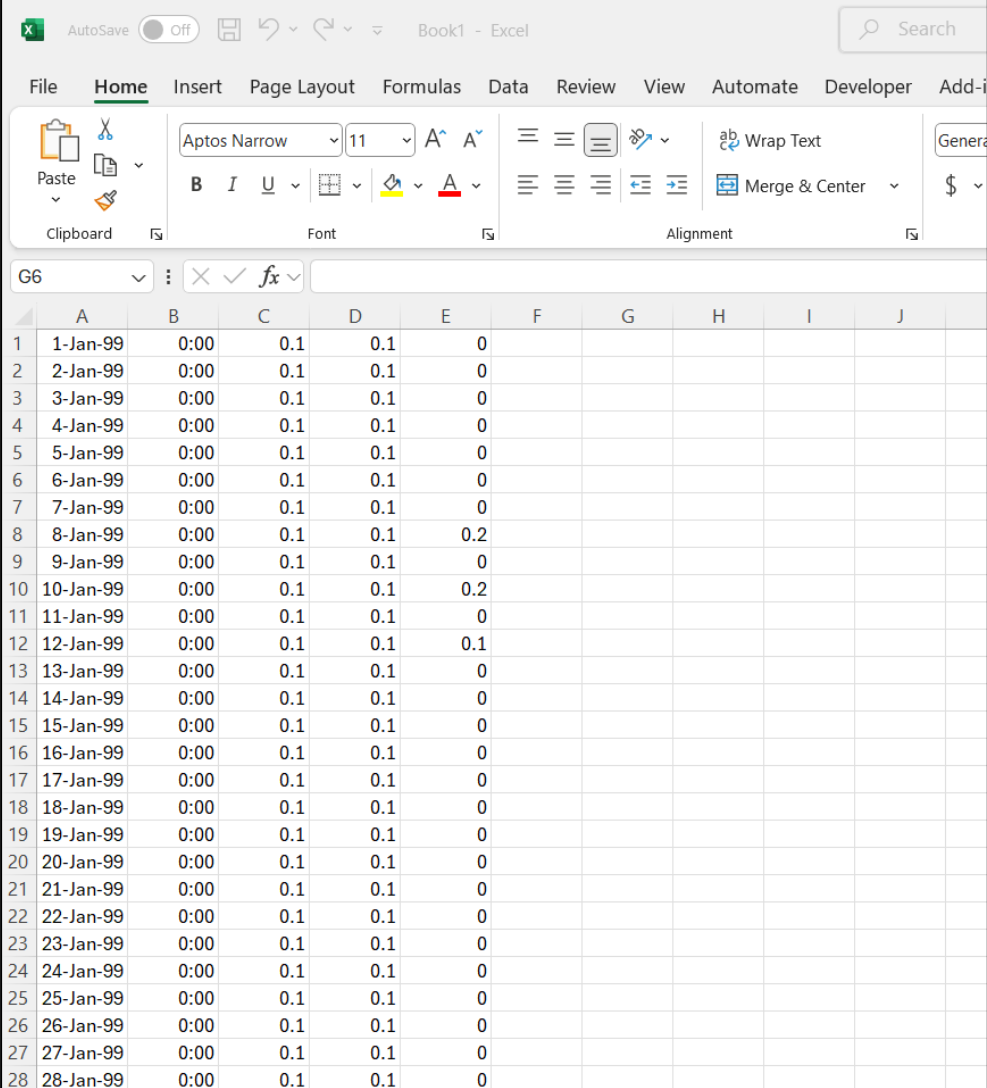
None Selected

Time-Series Results for Sink "Lum Sumlai Reservoir"

Project: Lum Sumlai Simulation Run: Run 1
Sink: Lum Sumlai Reservoir

Start of Run: 01Jan1999, 00:00 Basin Model: Lum Sumlai
End of Run: 31Dec2020, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 16Dec2021, 21:13:04 Control Specifications: Control 1

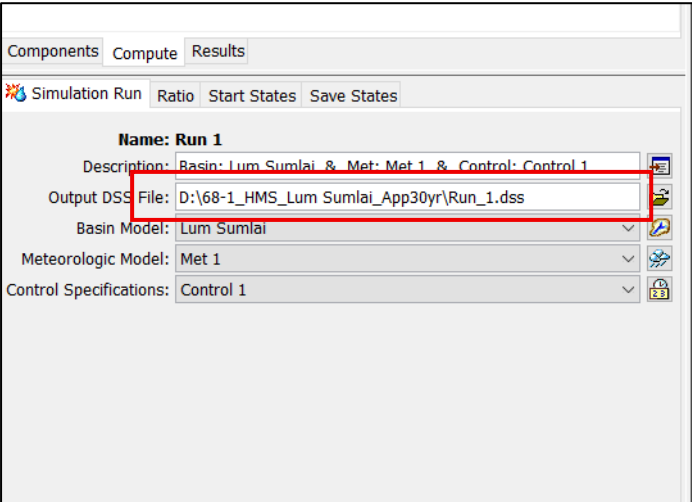
Date	Time	Inflow from Subbasin-1 (M3/S)	Total Inflow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
01Jan2000	00:00	9.6	9.6	9.6
01Jan2000	00:00	10.3	10.3	9.8
01Jan2000	00:00	9.8	9.8	9.5
01Jan2000	00:00	8.8	8.8	1.7
01Jan2000	00:00	7.6	7.6	9.9
01Jan2000	00:00	7.4	7.4	2.1
01Jan2000	00:00	6.9	6.9	2.0
01Jan2000	00:00	6.8	6.8	9.2
01Jan2000	00:00	6.4	6.4	9.0
01Jan2000	00:00	7.1	7.1	2.4
01Jan2000	00:00	8.9	8.9	2.5
01Jan2000	00:00	11.3	11.3	2.3
01Jan2000	00:00	12.2	12.2	2.4
01Jan2000	00:00	11.8	11.8	1.3
01Jan2000	00:00	10.8	10.8	9.0
01Jan2000	00:00	10.3	10.3	1.7
01Jan2000	00:00	12.4	12.4	2.2
01Jan2000	00:00	18.4	18.4	9.1
01Jan2000	00:00	21.2	21.2	25.0
01Jan2000	00:00	20.8	20.8	9.2
01Jan2000	00:00	17.3	17.3	25.7
01Jan2000	00:00	12.7	12.7	9.0
01Jan2000	00:00	11.2	11.2	9.8
01Jan2000	00:00	9.9	9.9	9.0
01Jan2000	00:00	9.1	9.1	28.0
01Jan2000	00:00	9.3	9.3	10.0
01Jan2000	00:00	7.6	7.6	30.1
01Jan2000	00:00	7.1	7.1	9.0
01Jan2000	00:00	6.5	6.5	42.0
01Jan2000	00:00	6.0	6.0	3.0
01Jan2000	00:00	5.7	5.7	9.0
01Jan2000	00:00	5.5	5.5	1.4
01Jan2000	00:00	5.4	5.4	3.9
01Jan2000	00:00	5.4	5.4	1.7
01Jan2000	00:00	5.4	5.4	3.0
01Jan2000	00:00	5.4	5.4	2.2
01Jan2000	00:00	5.4	5.4	22.5
01Jan2000	00:00	5.3	5.3	2.5
01Jan2000	00:00	5.3	5.3	1.8
01Jan2000	00:00	5.2	5.2	1.8



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
2	2-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
3	3-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
4	4-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
5	5-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
6	6-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
7	7-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
8	8-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0.2					
9	9-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
10	10-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0.2					
11	11-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
12	12-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0.1					
13	13-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
14	14-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
15	15-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
16	16-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
17	17-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
18	18-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
19	19-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
20	20-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
21	21-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
22	22-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
23	23-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
24	24-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
25	25-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
26	26-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
27	27-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					
28	28-Jan-99	0:00	0.1	0.1	0					

หรืออาจไปเปิดไฟล์ DSS ที่อยู่ในโฟลเดอร์โครงการ แต่ต้องเข้าใจการใช้งานไฟล์

DSS



Components Compute Results

Simulation Run Ratio Start States Save States

Name: Run 1

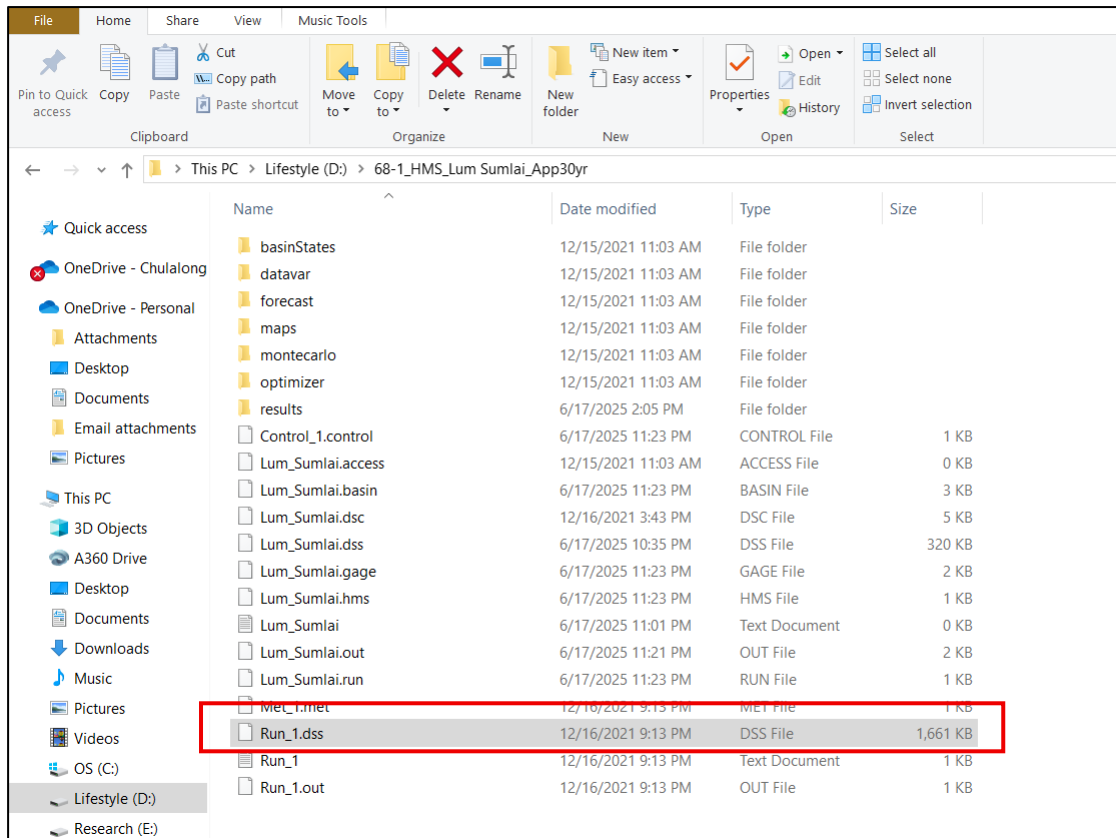
Description: Basin: Lum Sumlai & Met: Met 1 & Control: Control 1

Output DSS File: D:\68-1_HMS_Lum Sumlai_App30yr\Run_1.dss

Basin Model: Lum Sumlai

Meteorologic Model: Met 1

Control Specifications: Control 1



9.2.2 การวิเคราะห์แปลงหน่วย

การวิเคราะห์แปลงหน่วย สามารถดำเนินการโดยผลลัพธ์จากแบบจำลอง HEC-HMS ที่มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/วินาที มาแปลงเป็นลูกบาศก์เมตร/วัน หรืออาจแปลงเป็นล้านลูกบาศก์เมตร/วัน

AutoSave Off | แปลงหน่วย CMS to M3D • Saved to this PC | Search

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Automate Developer Add-ins Help ACROBAT

Clipboard Font Alignment Number

TH Sarabun New 16 A⁺ A⁻ B I U Wrap Text Merge & Center Number \$ % , .00 →.00

C4 : =ROUND(B4*60*60*24,1)

1	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างรายวัน				E	F
2	Date	อัตราการไหล, Q (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างรายวัน (ลบ.ม./วัน)	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างรายวัน (ล้าน ลบ.ม./วัน)		
4	1/1/1997	0.1000	8,640.0	0.009		
5	1/2/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
6	1/3/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
7	1/4/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
8	1/5/1997	0.1000	8,640.0	0.009		
9	1/6/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
10	1/7/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
11	1/8/1997	0.1000	8,640.0	0.009		
12	1/9/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
13	1/10/1997	0.1000	8,640.0	0.009		
14	1/11/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
15	1/12/1997	0.1000	8,640.0	0.009		
16	1/13/1997	0.1200	10,368.0	0.010		

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Automate Developer Add-ins Help ACROBAT

Clipboard Font Alignment Number

TH Sarabun New 16 A⁺ A⁻ B I U Wrap Text Merge & Center Number \$ % , .00 →.00

D4 : =ROUND(C4/1000000,3)

1	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างรายวัน				E	F
2	Date	อัตราการไหล, Q (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างรายวัน (ลบ.ม./วัน)	ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างรายวัน (ล้าน ลบ.ม./วัน)		
4	1/1/1997	0.1000	8,640.0	0.009		
5	1/2/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
6	1/3/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
7	1/4/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
8	1/5/1997	0.1000	8,640.0	0.009		
9	1/6/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
10	1/7/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
11	1/8/1997	0.1000	8,640.0	0.009		
12	1/9/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
13	1/10/1997	0.1000	8,640.0	0.009		
14	1/11/1997	0.1200	10,368.0	0.010		
15	1/12/1997	0.1000	8,640.0	0.009		

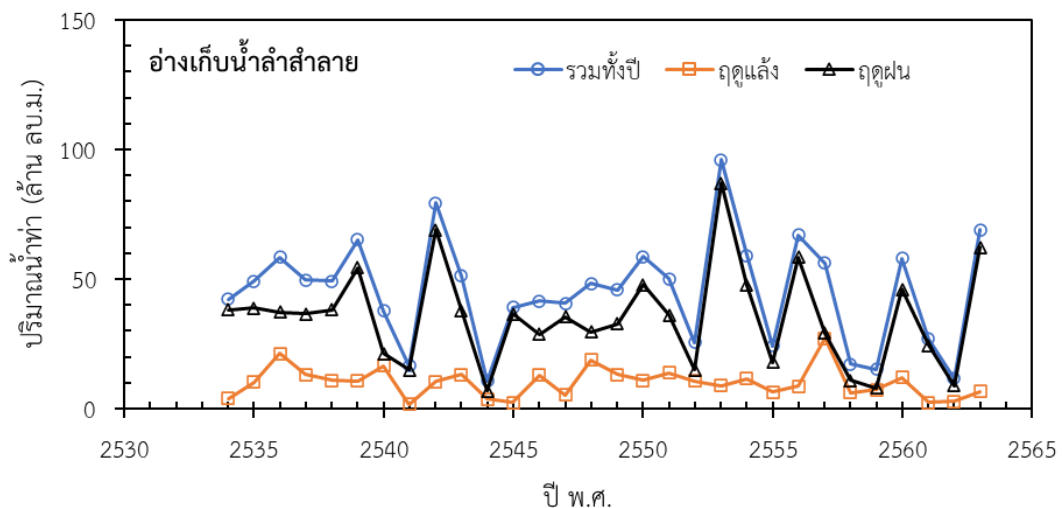
9.2.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจะนำข้อมูลรายวันมารวมเป็นรายเดือนและรายปี จากนั้นจะพิจารณาความผันแปรในแต่ละปี ความผันแปรรายเดือนในรอบปี รายฤดู และค่าทางสถิติต่างๆ รวมถึงวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลรายปี โดยใช้วิธี Mann-Kendall (MK) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้วิธี Mann-Kendall (MK) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมและยอมรับแพร่หลายมีการนำมาใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลทางอุทกวิทยา (Jiang et al., 2015; Mama et al., 2018; Namsai et al., 2020; Shi et al., 2017; Yue et al., 2014; Zhang et al., 2017)

ในการบริหารจัดการน้ำโดยส่วนใหญ่จะสนใจรายปี และรายฤดูการเพาะปลูก โดยฤดูฝน คือเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม และฤดูแล้ง คือเดือนพฤศจิกายน ถึง เมษายน ของปีถัดไป ข้อมูลต่างๆ สามารถวิเคราะห์ใน Excel หรือ โปรแกรมทางสถิติ

ตารางผลการทดสอบแนวโน้มของข้อมูลปริมาณน้ำท่าด้วยวิธี Mann-Kendall (MK) ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p-value < 0.05)

โครงการอ่างเก็บน้ำ ขนาดกลาง	ฤดูแล้ง (ล้าน ลบ.ม.)			ฤดูฝน (ล้าน ลบ.ม.)			รวมทั้งปี (ล้าน ลบ.ม.)		
	ค่าเฉลี่ย	แนวโน้ม	นัยสำคัญ	ค่าเฉลี่ย	แนวโน้ม	นัยสำคัญ	ค่าเฉลี่ย	แนวโน้ม	นัยสำคัญ
ลำสำลาย	10.116	ลดลง	ไม่มี	35.188	ลดลง	ไม่มี	45.304	ลดลง	ไม่มี



บทที่ 10

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในงานอุทกวิทยา

แบบจำลอง HEC-HMS เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่สามารถมาประยุกต์กับงานอุทกวิทยาของกรมชลประทานได้หลากหลาย อาทิเช่น การจำลองกระบวนการไหลของน้ำในลุ่มน้ำ การวิเคราะห์และพยากรณ์อุทกภัย การออกแบบโครงสร้างควบคุมน้ำ การวิเคราะห์การจัดการน้ำในลุ่มน้ำ และการประเมินและจัดทำแผนบริหารจัดการน้ำ

10.1 การจำลองกระบวนการไหลของน้ำในลุ่มน้ำ

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS จำลองกระบวนการไหลของน้ำในลุ่มน้ำ สามารถใช้จำลองกระบวนการฝนตกไปเป็นน้ำท่า (Rainfall-Runoff) ที่ตำแหน่งต่างๆ ในลุ่มน้ำ ประเมินปริมาณน้ำท่าจากพายุหรือฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำ เหมาะสำหรับลุ่มน้ำที่มีข้อมูลจำกัดหรือยังไม่มีสถานีตรวจวัดเพียงพอ (ungauged basin)

ในกรณีลุ่มน้ำที่มีข้อมูลจำกัดหรือยังไม่มีสถานีตรวจวัดเพียงพอ (ungauged basin) อาจจำเป็นที่จะต้องวัดเก็บข้อมูลอัตราการไหลของน้ำเองในตำแหน่งทางออกของลุ่มน้ำ เพื่อนำมาใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)

10.2 การวิเคราะห์และพยากรณ์อุทกภัย

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS วิเคราะห์และพยากรณ์อุทกภัย (Flood Forecasting) ใช้พยากรณ์ระดับน้ำและปริมาณน้ำหลากจากพายุหรือฝนหนัก เชื่อมโยงกับระบบ HEC-RAS เพื่อดูผลกระทบด้านการท่วมในพื้นที่ราบ เหมาะสำหรับเตือนภัยน้ำท่วมล่วงหน้าในลุ่มน้ำวิกฤติ

10.3 การออกแบบโครงสร้างควบคุมน้ำ

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ประเมินปริมาณน้ำสูงสุดที่อาจเกิดขึ้น (Design Flood) สำหรับใช้ในการออกแบบทางอุทกวิทยา (hydrologic design) ของอ่างเก็บน้ำ อาคารระบายน้ำ ท่อระบายน้ำ คลองส่งน้ำ รองรับการวิเคราะห์เงื่อนไขต่าง ๆ เช่น รอบการเกิด 50 ปี, 100 ปี ฯลฯ จะวิเคราะห์เหตุการณ์สูงสุดในแต่ละปี นำไปวิเคราะห์ความถี่ (frequency analysis)

10.4 การวิเคราะห์การจัดการน้ำในลุ่มน้ำ

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS วิเคราะห์การจัดการน้ำในลุ่มน้ำ (Watershed Management) โดยวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (เช่น การสร้างชุมชน

การเกษตร หรือโครงการพัฒนา) ช่วยในการประเมินมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในลุ่มน้ำ เช่น เชื้อนฝาย ฝายชะลอน้ำ

10.5 การประเมินและจัดทำแผนบริหารจัดการน้ำ

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ประเมินและจัดทำแผนบริหารจัดการน้ำ โดยวางแผนการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ประเมินสถานการณ์น้ำในช่วงวิกฤติ เช่น ภัยแล้งหรือน้ำท่วม จัดทำแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบทางเลือกในการจัดการน้ำ