

การหาปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีสถานีตรวจวัดไม่เพียงพอ  
โดยแบบจำลอง NRCS-CN ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา  
Assessment of Runoff in Ungauged Watersheds

Using an NRCS-CN Model in the Songkhla Lake Basin

กุลชาติ บุญยอด<sup>1\*</sup> ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ<sup>2</sup> ทศพล จตุระบุล<sup>3</sup> กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ<sup>1</sup>

Kullachart Boonyod<sup>1\*</sup> Teerawat Suwanlertcharoen<sup>2</sup> Thodsapol Chaturabul<sup>3</sup> Kobkiat Pongput<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

<sup>2</sup>สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

<sup>3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

\*Corresponding author E-mail: kullachart.bo@ku.th

## บทคัดย่อ

พื้นที่ต้นน้ำในภาคใต้ของประเทศไทยส่วนใหญ่ประสบปัญหาความไม่แม่นยำในการประเมินน้ำท่า เนื่องจากพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงและมีสถานีตรวจวัดไม่เพียงพอ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าในพื้นที่และศึกษาทดสอบความไม่สอดคล้องกันของค่าอัตราการสูญเสียเริ่มต้น (Ia) และ Curve Number (CN) ในแบบจำลอง NRCS-CN ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งได้เลือก 5 แนวทางในการปรับเปลี่ยนค่า Ia และ CN เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าจากเหตุการณ์พายุฝนใน 2 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ลุ่มน้ำทะเลน้อย และลุ่มน้ำทะเลหลวง รวม 386 ครั้ง การประเมินผลความถูกต้องของแบบจำลอง NRCS-CN ในครั้งนี้ได้ใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE), Nash-Sutcliffe Efficiency (E), Coefficient of Determination ( $R^2$ ) และ Percent Bias (PBIAS) เป็นเกณฑ์ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดจริง และจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าแนวทางที่ 5 ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนการสูญเสียเริ่มต้น ( $\lambda$ ) เท่ากับ 0.05 ในสมการค่าอัตราการสูญเสียเริ่มต้น (Ia) และพิจารณาความลาดชัน ( $\alpha$ ) เท่ากับ 1 ในการประเมินค่า CN ทำให้ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่แม่นยำมากขึ้นเมื่อเทียบกับแบบจำลองดั้งเดิมของ NRCS-CN

**คำสำคัญ:** แบบจำลอง NRCS-CN, พื้นที่ต้นน้ำ, อัตราการสูญเสียเริ่มต้น

## Abstract

Upstream watersheds in Southern Thailand are often inconsistent in assessing the runoff because their slope is high and have few measuring stations in the watershed. The objective of this study aims to assess the runoff and demonstrate the inconsistencies of the initial abstraction (Ia) and Curve Number (CN) in the original NRCS-CN model. This study has five scenarios to improve the Ia and CN for estimating the runoff using 386 storm events in two watersheds: Thale Noi and Thale Luang. Five benchmarks that are Root Mean Square Error (RMSE), Nash-Sutcliffe Efficiency (E), Coefficient of Determination ( $R^2$ ), and Percent Bias (PBIAS), used to evaluate the validity of the NRCS-CN model between calculated and observed runoff. This study illustrates that the fifth scenario, which modified the initial abstraction ratio ( $\lambda$ ) to 0.05 in the Ia equation and considered the slope ( $\alpha$ ) as 1 in the CN value, the resulted in a more accurate runoff estimate for the Songkhla Lake Basin compared to the original NRCS-CN model.

**Keywords:** Initial abstraction, NRCS-CN model, Upstream watersheds

## 1. บทนำ

การประเมินน้ำท่าจากเหตุการณ์ฝนเป็นพื้นฐานของการประยุกต์ใช้ทางอุทกวิทยา เช่น การประเมินเพื่อหาแนวทางในการบริหารจัดการในลุ่มน้ำ การออกแบบอาคารทางชลศาสตร์ การบริหารจัดการน้ำและป้องกันน้ำท่วม ตลอดจนการหาความต้องการใช้น้ำชลประทาน เป็นต้น ปริมาณฝนที่ตกลงมาจนกลายเป็นน้ำท่าเป็นส่วนสำคัญในการปรับปรุงแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ซึ่งการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนที่ตกลงมาจนกลายเป็นน้ำท่าจะเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนให้กลายเป็นน้ำท่านั้น เป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนและมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากมาย และการประเมินน้ำท่าจากเหตุการณ์ฝนก็สามารถทำได้หลายวิธี โดยหนึ่งในวิธีที่ได้รับการยอมรับและเป็นที่ยอมรับคือ NRCS-CN (The Natural Resources Conservation Service Curve Number) เพราะเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย และครอบคลุมปัจจัยที่มีบทบาทต่อการประเมินน้ำท่าอีกด้วย

แบบจำลอง NRCS-CN มีพื้นฐานบนสมการสมมติฐาน 2 สมการ ประกอบไปด้วย 1) ความสัมพันธ์ระยะยาวของค่าความชื้นเฉลี่ยในดินกับระยะเวลาที่ทำให้เกิดน้ำท่า 2) ร้อยละ 20 ของความสามารถในการเก็บกักสูงสุดของดิน (S) เป็นอัตราการสูญเสียเริ่มต้น (Ia) ซึ่งในสมมติฐานที่ 2 ที่เกี่ยวข้องกับค่าอัตราการสูญเสียเริ่มต้น (Ia) นั้น ไม่มีพื้นฐานที่เป็นการอ้างอิงทางวิทยาศาสตร์ในการใช้ค่าอัตราส่วนการสูญเสียเริ่มต้น ( $\lambda$ ) ที่ร้อยละ 20 ที่เป็นปัจจัยสำคัญ จึงทำให้มีข้อโต้แย้งเกี่ยวกับค่าอัตราส่วนการสูญเสียเริ่มต้น ( $\lambda$ ) ที่ร้อยละ 20 นั้นเป็นค่าที่สูงเกินไป จึงได้ทำการรวบรวมผลการศึกษาค่าอัตราส่วนการสูญเสียเริ่มต้น ( $\lambda$ ) ในหลายพื้นที่ทั่วโลก พบว่าค่าอัตราส่วนการสูญเสียเริ่มต้น ( $\lambda$ ) ส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 20 โดยได้สรุปไว้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการศึกษาค่าอัตราส่วนการสูญเสียเริ่มต้น ( $\lambda$ ) ในหลาย ๆ พื้นที่ทั่วโลก

พื้นที่ศึกษา	อัตราส่วนการสูญเสียเริ่มต้น ( $\lambda$ )	หมายเหตุ
ประเทศสหรัฐอเมริกา	มากกว่า 0.05	Woodward et al. (2003)
ประเทศสหรัฐอเมริกา	0.01	Mishra et al. (2004)
ประเทศกรีซ	0.014	Baltas et al. (2007)
ประเทศออสเตรเลีย	0.01 ถึง 0.05	Beck et al. (2009)
ประเทศจีน	0.01 ถึง 0.154	Shi et al. (2009)
ประเทศสหรัฐอเมริกา	0.01 ถึง 0.1	Yuan et al. (2014)

นอกจากการเลือกใช้อัตราส่วนการสูญเสียเริ่มต้น ( $\lambda$ ) ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่แล้วนั้น พบว่ายังมีอีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญ คือ ค่า CN ที่ได้มีนักวิจัยหลายคนตั้งข้อสังเกตว่าตารางค่า CN (CN<sub>T</sub>) ที่เลือกใช้นั้น ทำให้ความแม่นยำในการประเมินน้ำท่าในพื้นที่ต้นน้ำที่มีความลาดชันสูงลดลง เนื่องจากตารางค่า CN (CN<sub>T</sub>) ที่ใช้อยู่นั้นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในพื้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกา

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ ได้คัดเลือกพื้นที่ต้นน้ำของกลุ่มน้ำทะเลน้อย และพื้นที่ต้นน้ำของกลุ่มน้ำทะเลหลวง ซึ่งเป็นพื้นที่ต้นน้ำที่มีความเหมาะสมสำหรับเลือกเป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำอื่น ๆ ในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เนื่องจากตั้งอยู่ต้นน้ำของกลุ่มน้ำที่มีความลาดชันสูง และพื้นที่ต้นน้ำยังคงอยู่ในสภาพเดิม ไม่มีการสร้างอาคารบังคับน้ำเหนือสถานี เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า และศึกษาทดสอบความไม่สอดคล้องกันของค่าอัตราการสูญเสียเริ่มต้น (Ia) และ Curve Number (CN) ในแบบจำลอง NRCS-CN แบบดั้งเดิม กับแนวทางอื่น ๆ อีก 4 แนวทาง ที่คาดว่าจะมีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษา ต่อไป

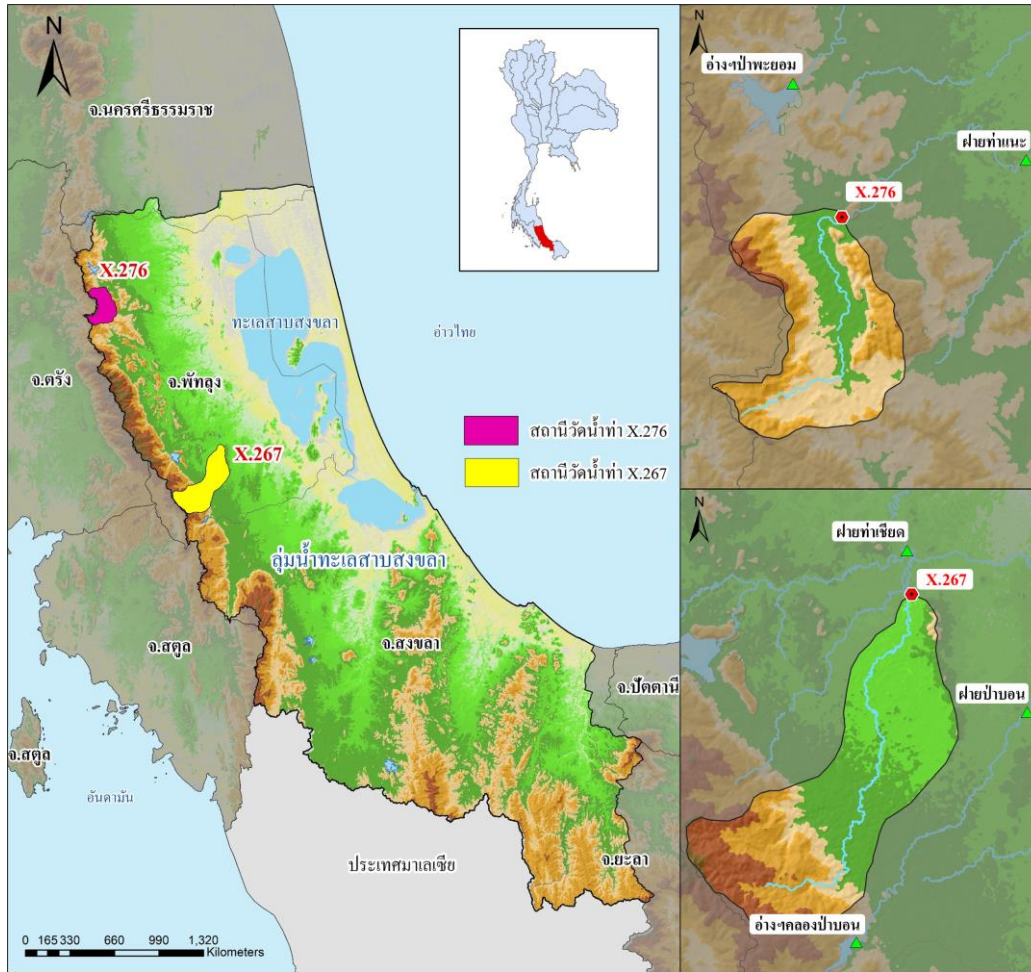
## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า และศึกษาทดสอบความไม่สอดคล้องกันของค่าอัตราการสูญเสียเริ่มต้น (Ia) และ Curve Number (CN) ในแบบจำลอง NRCS-CN ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

2.2 เพื่อเลือกแนวทางที่เหมาะสมจาก 5 กรณี ที่เลือกในแบบจำลอง NRCS-CN สำหรับลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

### 3. วิธีการวิจัย

#### 3.1 พื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา

จากภาพที่ 1 แสดงพื้นที่การศึกษาทั้งหมด 2 กลุ่มน้ำ ที่เป็นตัวแทนในการประเมินปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ประกอบด้วย พื้นที่ต้นน้ำของกลุ่มน้ำทะเลหลวง ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 115 ตารางกิโลเมตร ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำประมาณ 1:800 มีสถานีวัดน้ำท่า X.267 เป็นจุดออกกลุ่มน้ำ และพื้นที่ต้นน้ำของกลุ่มน้ำทะเลน้อย ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 50 ตารางกิโลเมตร ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำประมาณ 1:1,200 มีสถานีวัดน้ำท่า X.276 เป็นจุดออกกลุ่มน้ำ โดยทั้ง 2 กลุ่มน้ำพื้นที่ศึกษา มีความเหมาะสมที่จะเลือกเป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำอื่น ๆ ในภาคใต้ เนื่องจากตั้งอยู่ตอนต้นของลุ่มน้ำที่มีความลาดชันสูง มีการบันทึกข้อมูลครบถ้วน และพื้นที่ต้นน้ำยังคงอยู่ในสภาพเดิม ไม่มีการสร้างอาคารบังคับน้ำเหนือสถานีวัดน้ำท่า

#### 3.2 แบบจำลอง NRCS-CN

วิธี NRCS-CN เป็นแบบจำลองที่ใช้ประเมินปริมาณน้ำท่า ใช้หลักสมการสมดุลน้ำ และสมมติฐานพื้นฐาน 2 ข้อ ดังนี้

- 1) สมมติฐานแรกเป็นความสัมพันธ์ตามช่วงระยะเวลาระหว่าง ปริมาณน้ำท่า (Q) กับปริมาณฝน (P) กับอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดิน (F) และปริมาณการเก็บกักสูงสุด (S)

2) สมมติฐานที่สองเกี่ยวข้องกับอัตราการสูญเสียเริ่มต้น ( $I_a$ ) กับปริมาณการเก็บกักสูงสุด ( $S$ )  
แบบจำลอง NRCS-CN สมการทั่วไปของแบบจำลองสามารถแสดงได้ USDA-NRCS (2004) ดังนี้

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

โดยที่  $Q$ ,  $P$ ,  $I_a$ ,  $S$  คือ ปริมาณน้ำท่า (มม.), ปริมาณฝนสะสม (มม.), อัตราการสูญเสียเริ่มต้น (มม.), ปริมาณการเก็บกักสูงสุด (มม.) ตามลำดับ โดยกำหนด  $S$  มีความสัมพันธ์กับค่า Curve Number (CN) ซึ่งเป็นปริมาณในนามธรรมไม่มีความหมายทางกายภาพ USDA-NRCS (2004) ดังนี้

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad \text{หรือ} \quad CN = \frac{25400}{254+S} \quad (2)$$

สำหรับปริมาณน้ำฝนที่กำหนด ( $P > 0.2S$ ) ถ้า CN มีค่ามากแสดงว่าศักยภาพในการเกิดการไหลโดยตรงสูง โดยค่า CN จะมีค่าตั้งแต่ 0 (ไม่มีน้ำท่า  $S = \infty$ ) ถึง 100 (ปริมาณฝนที่ตกทั้งหมดจะกลายเป็นน้ำท่า  $S = 0.0$ ) สำหรับลุ่มน้ำต้นน้ำที่ไม่มีการตรวจวัด จะได้ค่า CN มาจากตาราง CN ( $CN_T$ ) โดยขึ้นอยู่กับชนิดของดิน สิ่งปกคลุมดิน การจัดการลุ่มน้ำ สภาพทางอุทกวิทยา และสภาพดินโดยเฉลี่ยก่อนเกิดการไหล (Antecedent Runoff Conditions; ARCs) จากปริมาณฝน 5 วันก่อนหน้า ( $P_5$ ) โดย  $CN_{II}$  แทน CN สำหรับสภาพดินโดยเฉลี่ย (ARC-II),  $CN_I$  แทน CN สำหรับสภาพดินแห้ง (ARC-I) และ  $CN_{III}$  แทน CN สำหรับสภาพดินเปียก (ARC-III) ตามลำดับ โดยสามารถหาค่า  $CN_{II}$ ,  $CN_I$  และ  $CN_{III}$  ได้ ดังนี้

$$CN_{II} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n (A_i \times CN_i) \quad (3)$$

$$CN_I = \frac{4.2CN_{II}}{10 - 0.058CN_{II}} \quad (4)$$

$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10 - 0.13CN_{II}} \quad (5)$$

สำหรับลุ่มน้ำต้นน้ำที่มีการตรวจวัดทั่วถึง Hawkins (1993) ได้แสดงให้เห็นว่าค่า CN จากข้อมูลปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่า มีค่ามัธยฐานสอดคล้องกับ ARC-II และขอบเขตของการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณฝนและปริมาณน้ำ สอดคล้องกับ ARC-III และ ARC-I จากการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $P-Q$  และ  $I_a = 0.2S$  สามารถคำนวณ  $S$  ได้จากสมการ (1) ได้ดังนี้

$$S = 5 [P + 2Q - (4Q^2 + 5PQ)^{0.5}] \quad (6)$$

Woodward et al. (2003) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่าง  $S_{0.2}$  (มม.) และ  $S_{0.05}$  (มม.) มีสมการ ดังนี้

$$S_{0.05} = 0.8187S_{0.2}^{1.15} \quad (7)$$

Sharpley และ Williams (1990) พบว่าตารางค่า CN ( $CN_T$ ) มีผลเฉพาะพื้นที่ลาดชันต่ำกว่าหรือประมาณ 5% แต่อย่างไรก็ตามได้มีการนำตารางค่า CN ( $CN_T$ ) มาใช้กับพื้นที่อื่น ๆ โดยไม่คำนึงถึงลักษณะความลาดชันของพื้นที่ เพื่อปรับปรุงความสามารถในการพยากรณ์หาอัตราการไหลจากแบบจำลอง จึงได้นำค่าความลาดชันมาปรับให้สัมพันธ์กับค่า CN โดยมีสมการ ดังนี้

$$CN_{II\alpha} = \left( \frac{CN_{III} - CN_{II}}{3} \right) (1 - 2e^{-13.86\alpha}) + CN_{II} \quad (8)$$

โดยที่  $\alpha$  คือ ค่าเฉลี่ยความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำ (m/m)

ในการศึกษาต่าง ๆ ที่มีการกำหนดให้  $I_a=0.2S$  ได้ถูกปรับเพื่อให้สามารถคำนวณหาอัตราการไหลได้ดียิ่งขึ้น ในการศึกษานี้จะเน้นไปในการศึกษาส่วนประกอบของ  $I_a$  ซึ่งค่า  $I_a$  นั้นจะประกอบไปด้วยสองส่วนหลักๆ ได้แก่ อัตราการสูญเสียเริ่มต้น และ อัตราการสูญเสียจากผิวดิน โดยใช้สมการที่พัฒนาขึ้นโดย USDA-FS (1968) ปริมาณฝนที่ถูกเก็บกักไว้ในดิน interception loss ( $I_{int}$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$I_{int}=0.026P+0.9398 \quad (9)$$

เพื่อคำนวณความสูญเสียบนผิวดิน ( $I_{others}$ ) ตัวอย่างเช่น การแทรกซึมบนผิวดิน การเก็บในบ่อต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$I_{others}=\lambda S\left(\frac{P}{P+P_5+S}\right)^\alpha \quad (10)$$

ในแบบจำลอง NRCS ค่า  $I_a$  จะเท่ากับ 20% ของ  $S$  แต่ในทางปฏิบัติตัวแปรอื่น ๆ ล้วนมีผล เช่น ปริมาณความลึกของฝน ดังนั้น Jain et al. (2006) ทำการปรับเปลี่ยนความสัมพันธ์ของ  $I_a$  ใหม่ จากสมการที่ (10) ได้ ดังนี้

$$I_a=\lambda S\left(\frac{P}{P+S}\right)^\alpha \quad (11)$$

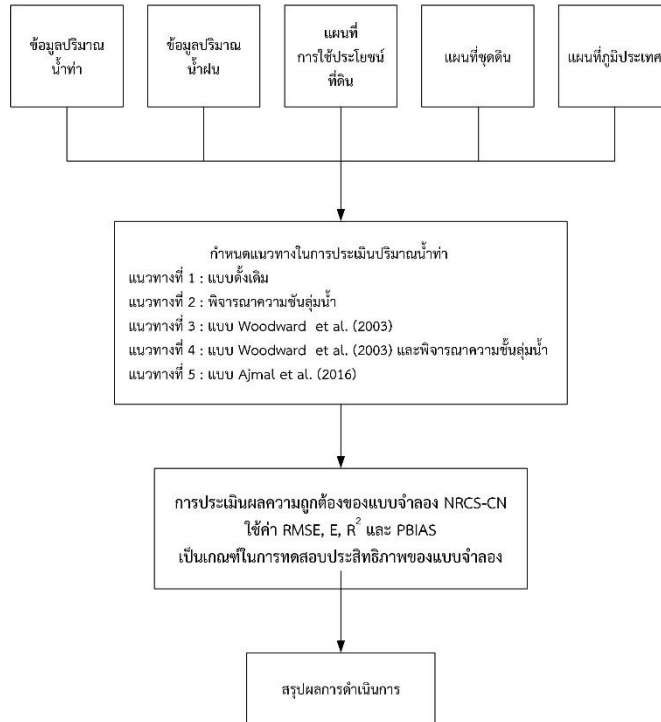
Jain et al. (2006) ได้ทำการศึกษาข้อมูลจาเหตุการณ์พายุฝน จำนวน 22,392 ครั้ง จาก 84 กลุ่มน้ำ ได้ค่า  $\lambda$  และ  $\alpha$  เท่ากับ 0.3 และ 1.5 ตามลำดับ พบว่าในกรณีของกลุ่มน้ำที่ไม่มีการตรวจวัดข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่า การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวแปรทั้งสอง ในสมการที่ (11) จะไม่สามารถทำได้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ Ajmal et al. (2016) ได้ปรับปรุงความสามารถในการทำลายอัตราการไหลจากแบบจำลอง NRCS จากสมการที่ (11) พิจารณาว่า  $\lambda$  เท่ากับ 0.05 และ  $\alpha$  เท่ากับ 1 ยังอยู่ในสัมประสิทธิ์การเพิ่มประสิทธิภาพของพื้นที่ นอกจากการนำ  $P$  และ  $S$  มาใช้ในการคำนวณแล้วนั้น ได้มีการนำ  $P_5$  มาใช้ในการคำนวณด้วย อันเป็นเหตุผลมาจากเมื่อ  $P_5$  เพิ่มขึ้นย่อมหมายถึง  $I_a$  ที่ลดลงในทางกลับกัน ซึ่ง  $I_a$  สามารถคำนวณด้วยการรวมสมการที่ (9) และ (10) ดังนี้

$$I_a=I_{int}+I_{others}=(0.026P+0.9398)+0.05S\left(\frac{P}{P+P_5+S}\right) \quad (12)$$

### 3.3 วิธีการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาแสดงดังภาพที่ 2 และมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

การหาปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีสถานีตรวจวัดไม่เพียงพอ โดยแบบจำลอง NRCS-CN  
ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการศึกษา

### 3.3.1 ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์

ในการศึกษาครั้งนี้ การหาปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง NRCS-CN ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ดำเนินการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ มีรายละเอียด ดังนี้

- 1) รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน จากสถานีวัดน้ำท่าของกรมชลประทาน จำนวน 2 สถานี ได้แก่ X.267 และ X.276 ระหว่างปี พ.ศ. 2554 ถึง 2561 และทำการแยกส่วนประกอบของกราฟน้ำท่าด้วยวิธีเส้นตรง (Straight-line Hydrograph Method) เพื่อหาปริมาณน้ำท่าจากสถานีที่ตรวจวัด
- 2) รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนที่มีอยู่ในพื้นที่และบริเวณใกล้เคียง จากสถานีตรวจวัดของกรมชลประทาน จำนวน 6 สถานี ได้แก่ สถานีฝายท่าเขียด สถานีอ่างเก็บน้ำคลองป่าบอน สถานีฝายป่าบอน สถานีฝายท่าแนะ สถานีฝายคลองนางน้อย และสถานีอ่างเก็บน้ำคลองป่าพะยอม ระหว่างปี พ.ศ. 2554 ถึง 2561 นำมาหาปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยด้วยวิธี อีเอสเซนโพลิกอน และการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้เลือกเหตุการณ์พายุฝนรวม 386 เหตุการณ์ ซึ่งจะทำให้การเลือกเฉพาะเหตุการณ์ฝนตกหนักเท่านั้น ( $P \geq 25.4$  มม.) (Hawkins et al., 2009) โดยสภาพน้ำท่าจะขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตก 5 วันก่อนหน้า ( $P_5$ ) (Beck et al., 2009) ซึ่งสามารถหา  $P_5$  ได้ดังนี้

$$P_5 = \sum_{i=0}^4 P(t_i) \quad (13)$$

โดยที่  $i$  คือ จำนวนวันก่อนเกิดฝนตกหนัก

- 3) รวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2562 มาตราส่วน 1:50,000 จากกรมพัฒนาที่ดิน
- 4) รวบรวมข้อมูลชุดดิน มาตราส่วน 1:50,000 จากกรมพัฒนาที่ดิน โดยนำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลชุดดินที่จัดแบ่งกลุ่มตามวิธี NRCS-CN มาวิเคราะห์ค่า curve number (CN) ของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา
- 5) รวบรวมแผนที่ภูมิประเทศขนาด 1:50,000 จากกรมแผนที่ทหาร เพื่อนำข้อมูลเส้นชั้นความสูงและเส้นลำน้ำ มากำหนดขอบเขตของลุ่มน้ำ

3.3.2 แนวทางในการปรับเปลี่ยนค่า  $\lambda$  และ CN ที่เลือกใช้สำหรับประเมินปริมาณน้ำท่า  
การศึกษาครั้งนี้ใช้กำหนดรูปแบบการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องไว้ 5 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปรายละเอียดรูปแบบที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลอง	ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง			สมการที่ใช้ในการคำนวณ	หมายเหตุ
	$\lambda$	$\alpha$	CN <sub>II</sub> (CN <sub>II</sub> $\alpha$ )		
M1	0.2	-	ตาราง NEH-4	1, 2 และ 3	NRCS ดั้งเดิม
M2	0.2	-	Sharpley and Williams (1990)	1, 2 และ 8	NRCS ดั้งเดิม และพิจารณาความชันของกลุ่มน้ำ
M3	0.0 5	-	Modified NEH-4 CN	1, 2 และ 7	Woodward et al. (2003)
M4	0.0 5	-	Sharpley and Williams (1990)	1, 2, 7 และ 8	Woodward et al. (2003) และพิจารณาความชันของกลุ่มน้ำ
M5	0.0 5	1	ตาราง NEH-4	1, 2 และ 12	Ajmal et al. (2016)

3.3.3 การประเมินความไม่สอดคล้องของแบบจำลอง

ในการประเมินความไม่สอดคล้องของแบบจำลอง NRCS-CN ในครั้งนี้ ได้ใช้ค่า root mean square error (RMSE), Nash-Sutcliffe efficiency (E), coefficient of determination ( $R^2$ ) และ percent bias (PBIAS) เป็นเกณฑ์ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดจริง โดยมีสมการ ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{ei})^2} \quad (14)$$

$$E = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{ei})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \right] \quad (15)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_{ei} - \bar{Q}_e)(Q_{oi} - \bar{Q}_o)]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{ei} - \bar{Q}_e)^2 \sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \quad (16)$$

$$PBIAS = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{ei})}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi})} \right] \times 100 \quad (17)$$

โดยที่  $Q_{oi}$  คือ ปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดลำดับที่  $i$ ,  $Q_{ei}$  คือ ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองลำดับที่  $i$ ,  $\bar{Q}_o$  คือ ค่าเฉลี่ยของค่าที่ตรวจวัดจริง และ  $\bar{Q}_e$  คือ ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากแบบจำลอง โดยประเมินจากเหตุการณ์ที่  $i$  ถึง  $n$

การประเมินของค่าที่ได้จากแบบจำลองจะสมบูรณ์ที่สุดสามารถสรุปผล ดังนี้

- 1) ค่า RMSE ที่มีค่าน้อยจะแสดงถึงการประเมินน้ำท่าที่ดี
- 2) ค่า E ที่ใช้สำหรับการกำหนดประสิทธิภาพของแบบจำลองทางอุทกวิทยา มีตั้งแต่  $-\infty$  ถึง 1 (ที่เหมาะสมเท่ากับ 1) อ้างอิงจาก Moriasi et al. (2007) และจากการศึกษาของ Ritter & Muñoz-Carpena (2013) แบบจำลองน่าพอใจถ้า E มากกว่า 0.65
- 3) ค่า  $R^2$  จะอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมถ้า  $R^2$  มากกว่า 0.62 (Diaz-Ramirez et al., 2011)
- 4) โดยที่ค่า PBIAS จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.0 ถึง 1 ซึ่งจะวัดแนวโน้มของโมเดลที่จะประเมินค่าต่ำเกินไปหรือประเมินค่าสูงเกินไปโดยที่ค่าศูนย์แสดงให้เห็นว่าโมเดลเหมาะสม

#### 4. ผลลัพธ์และการอภิปราย

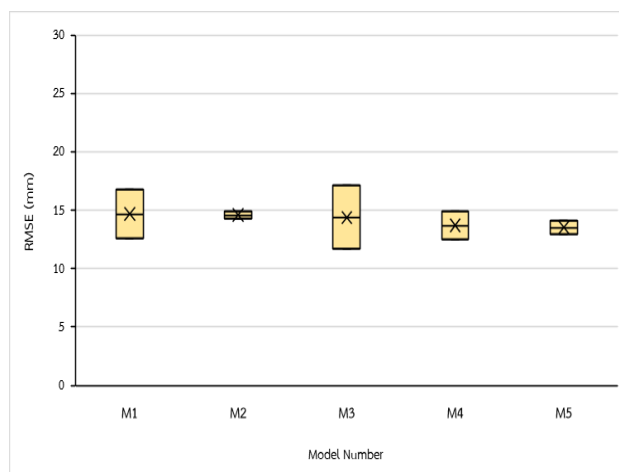
ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง NRCS-CN โดยเลือกจากเหตุการณ์พายุฝนที่ทำให้เกิดเป็นน้ำท่าที่คัดเลือกไว้รวม 386 ครั้ง ระหว่างปี พ.ศ. 2554 ถึง 2561 ที่ได้ปรับเปลี่ยนค่า Ia และ CN จากที่กำหนดไว้ 5 แนวทาง และประเมินผลความถูกต้องของแบบจำลอง NRCS-CN กับข้อมูลตรวจวัดจริง โดยใช้ค่า RMSE, NSE, R<sup>2</sup> และ PBIAS เป็นเกณฑ์ในการประเมินความไม่สอดคล้องของแนวทางในการปรับเปลี่ยนค่า Ia และ CN ที่เลือกใช้ สำหรับประเมินปริมาณน้ำท่าในแบบจำลอง ผลการประเมินผลความถูกต้องของแบบจำลอง NRCS-CN แสดงดังตารางที่ 3 และสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ ดังนี้

ตารางที่ 3 สรุปผลการวิเคราะห์เฉลี่ยห้วงน้ำทะเลสาบสงขลา

แบบจำลอง	R <sup>2</sup>	RMSE (มม.)	E	PBIAS (%)
M1	0.6299	14.70	0.49	52.05
M2	0.6233	14.62	0.45	34.32
M3	0.6416	14.42	0.52	50.49
M4	0.6329	13.72	0.54	33.21
M5	0.6220	13.54	0.53	20.56

##### 4.1 การประเมินโดย Root Mean Square Error (RMSE)

ผลการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองโดย RMSE พบว่าแบบจำลองที่ทำการปรับเปลี่ยน Ia เท่ากับ 0.05S (M3) แทนที่ข้อสันนิษฐานเดิม Ia เท่ากับ 0.2S (M1) ได้ทำให้ค่าเฉลี่ย RMSE เปลี่ยนไปเล็กน้อย (2.30%) โดยที่ตัวเลขในวงเล็บแสดงถึงเปอร์เซ็นต์ที่ดีขึ้น ส่วนแบบจำลองดั้งเดิม (M1) แบบจำลองดั้งเดิมที่พิจารณาความชันของกลุ่มน้ำ (M2) และแบบจำลองที่ปรับเปลี่ยนและพิจารณาความลาดชัน (M4) ถ้านำมาเทียบกันจะพบว่าผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำพบว่าค่าเฉลี่ย RMSE ของ M2 เท่ากับ 14.55 (-1.61%) และ M4 เท่ากับ 13.47 (5.936%) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ CNII $\alpha$  มีผลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าและเป็นไปในทางที่ดีขึ้น และจะสังเกตได้ว่าค่า CNII $\alpha$  ที่ใช้ค่อนข้างสูงกว่าแบบดั้งเดิม ใน M4 จะประเมินปริมาณน้ำท่าที่แม่นยำเมื่อเทียบกับแนวทางก่อนหน้า นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้ว่าใน บริเวณแหล่งต้นน้ำที่ลาดชันจะมีค่า  $\lambda$  ที่ต่ำ (0.05) และ CNII $\alpha$  ที่สูง ทำให้ Ia ลดลงและด้วยเหตุนี้จึงประเมินปริมาณน้ำท่าได้มากขึ้น แบบจำลองที่ปรับสมการ Ia (M5) ได้ค่าเฉลี่ย RMSE เท่ากับ 13.39 (6.49%) ซึ่งดีกว่าเมื่อเทียบกับ M1, M2, M3 และ M4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดย RMSE แสดงดังภาพที่ 3

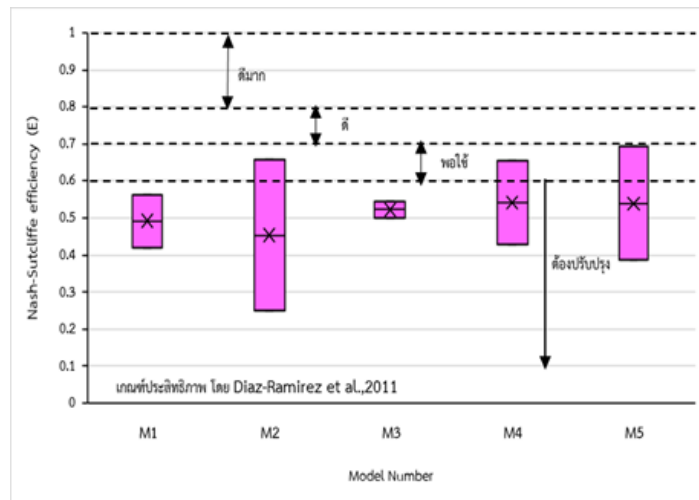


ภาพที่ 3 เกณฑ์และผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดย Root Mean Square Error (RMSE)



#### 4.2 การประเมินโดย Nash-Sutcliffe efficiency (E)

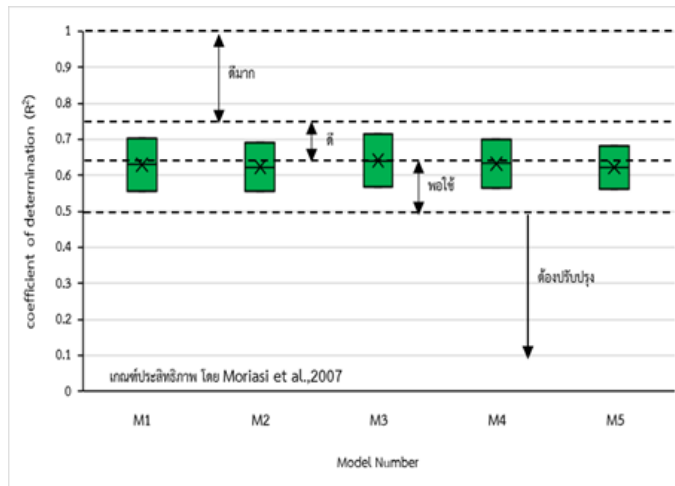
Nash-Sutcliffe efficiency (E) ใช้สำหรับการกำหนดประสิทธิภาพของแบบจำลองทางอุทกวิทยาอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งประเมินจากความใกล้เคียงกันของผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ตรวจวัดจริง (Grimaldi et al. 2013) จากผลการประเมินประสิทธิภาพของ Nash-Sutcliffe (E) พบว่าแบบจำลองดั้งเดิม M1 ที่ใช้ค่า  $\lambda$  เท่ากับ 0.2 และแบบจำลอง M3 ที่ใช้ค่า  $\lambda$  เท่ากับ 0.05 ซึ่งทั้งสองรูปแบบใช้ค่า CN<sub>F</sub> แบบเดิม ผลลัพธ์ที่ได้พบว่ามีค่าเฉลี่ย E เท่ากับ 0.497 และ 0.519 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันสำหรับแบบจำลองดั้งเดิมที่พิจารณาความชันของกลุ่มน้ำ (M2) และแบบจำลองที่ปรับเปลี่ยนและพิจารณาความลาดชัน (M4) โดยใช้  $\lambda$  เท่ากับ 0.2 และ  $\lambda$  เท่ากับ 0.05 ตามลำดับ และใช้ CN<sub>IIA</sub> ในการประเมินปริมาณน้ำท่า พบว่ามีค่าเฉลี่ย E เท่ากับ 0.481 และ 0.554 ตามลำดับ จากผลที่ได้ข้างต้นจะสังเกตเห็นว่าการปรับเปลี่ยน  $\lambda$  จะทำให้ค่าเฉลี่ย E ดีขึ้น ดังที่พบได้ในการเปรียบเทียบกันระหว่างคู่ที่ 1 คือ M1 และ M3 และคู่ที่ 2 คือ M2 และ M4 ซึ่งกำหนดค่า  $\lambda$  ไว้ที่ 0.2 และ 0.05 ตามลำดับ แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อพิจารณาจาก CN<sub>IIA</sub> ระหว่างคู่แบบจำลอง M1 และ M2 ที่มีการนำความชันของกลุ่มน้ำมาพิจารณาด้วย พบว่ามีค่าเฉลี่ย E ลดลง -3.219% นอกจากนี้การใช้ CN<sub>II</sub> และ Ia ของแบบจำลองที่ปรับสมการ Ia (M5) ได้ค่าเฉลี่ย E เท่ากับ 0.56 ซึ่งมีค่าที่ดีกว่ารูปแบบอื่นๆที่กล่าวมา ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เกณฑ์และผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดย Nash-Sutcliffe efficiency (E)

#### 4.3 การประเมินโดย Coefficient of Determination (R<sup>2</sup>)

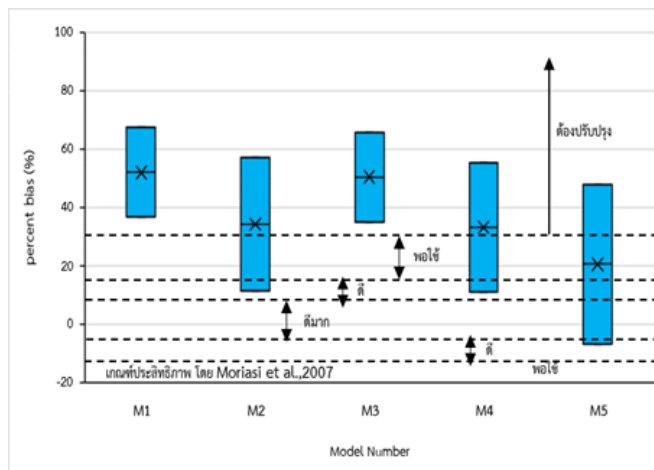
เพื่อหาปริมาณและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองทางอุทกวิทยา ค่า coefficient of determination (R<sup>2</sup>) จึงเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ถูกนำมาใช้เพื่อวัดความสอดคล้องทางสถิติของปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้จากแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดจริง แบบจำลองจะอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก (หรือดี) เมื่อค่า R<sup>2</sup> มากกว่า 0.82 (หรือ 0.73) (Diaz-Ramirez et al. 2011) ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้งหมด พบว่ามีค่า R<sup>2</sup> ของ M1, M2, M3, M4 และ M5 เท่ากับ 0.6167, 0.6045, 0.6305, 0.6177 และ 0.6080 ตามลำดับ ซึ่ง M3 มีค่าเฉลี่ย R<sup>2</sup> มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนค่า  $\lambda$  ที่จากเดิมใช้อยู่ที่ 0.2 ลดลงเหลือ 0.05 ตามแบบจำลอง M3 จะทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบเดิม ( $\lambda$  เท่ากับ 0.2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดย R<sup>2</sup> แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เกณฑ์และผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดย Coefficient of Determination ( $R^2$ )

#### 4.4 การประเมินโดย Percent Bias (PBIAS)

Percent bias (PBIAS) เป็นดัชนีชี้วัดแนวโน้มค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากแบบจำลองว่ามีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าการตรวจวัด โดยค่าที่ได้นั้นควรมีค่าใกล้ 0 โดยหากค่าเป็นบวกบ่งบอกถึงการจำลองที่ให้ผลต่ำกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง และหากค่าเป็นลบบ่งบอกถึงการจำลองที่ให้ค่าสูงกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่า PBIAS (%) ของ M1 ถึง M5 คือ 51.86, 34.03, 50.3, 32.94 และ 20.22 ตามลำดับ จากภาพที่ 6 จะเห็นว่า M1 และ M3 ผลการประเมินประสิทธิภาพไม่เป็นที่น่าพอใจ โดยแบบจำลองที่ตั้งกล่าวทั้ง 2 รูปแบบนั้น ได้พิจารณาเพียงแค่ค่า  $\lambda$  ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการพิจารณาค่า CNII $\alpha$  เพิ่มเติมใน M2 ผลการประเมินเริ่มมีแนวโน้มไปในทางที่ดีขึ้น (เพิ่มขึ้นจากเดิม 34.4%) และเมื่อทำการนำค่า  $\lambda$  และค่า CNII $\alpha$  มาพิจารณาร่วมกันใน M4 กลับทำให้เปอร์เซ็นต์เปลี่ยนไปเล็กน้อย (2.1%) เมื่อเทียบกับ M2 แต่ในทางกลับกันถ้าทำการนำค่า  $\lambda$ , ค่า CNII $\alpha$  และปรับสมการ Ia (M5) มาพิจารณาร่วมกัน จะทำให้ประสิทธิภาพการประเมินน้ำท่าเพิ่มขึ้นถึง 61% เมื่อเทียบกับแบบจำลองดั้งเดิม (M1)

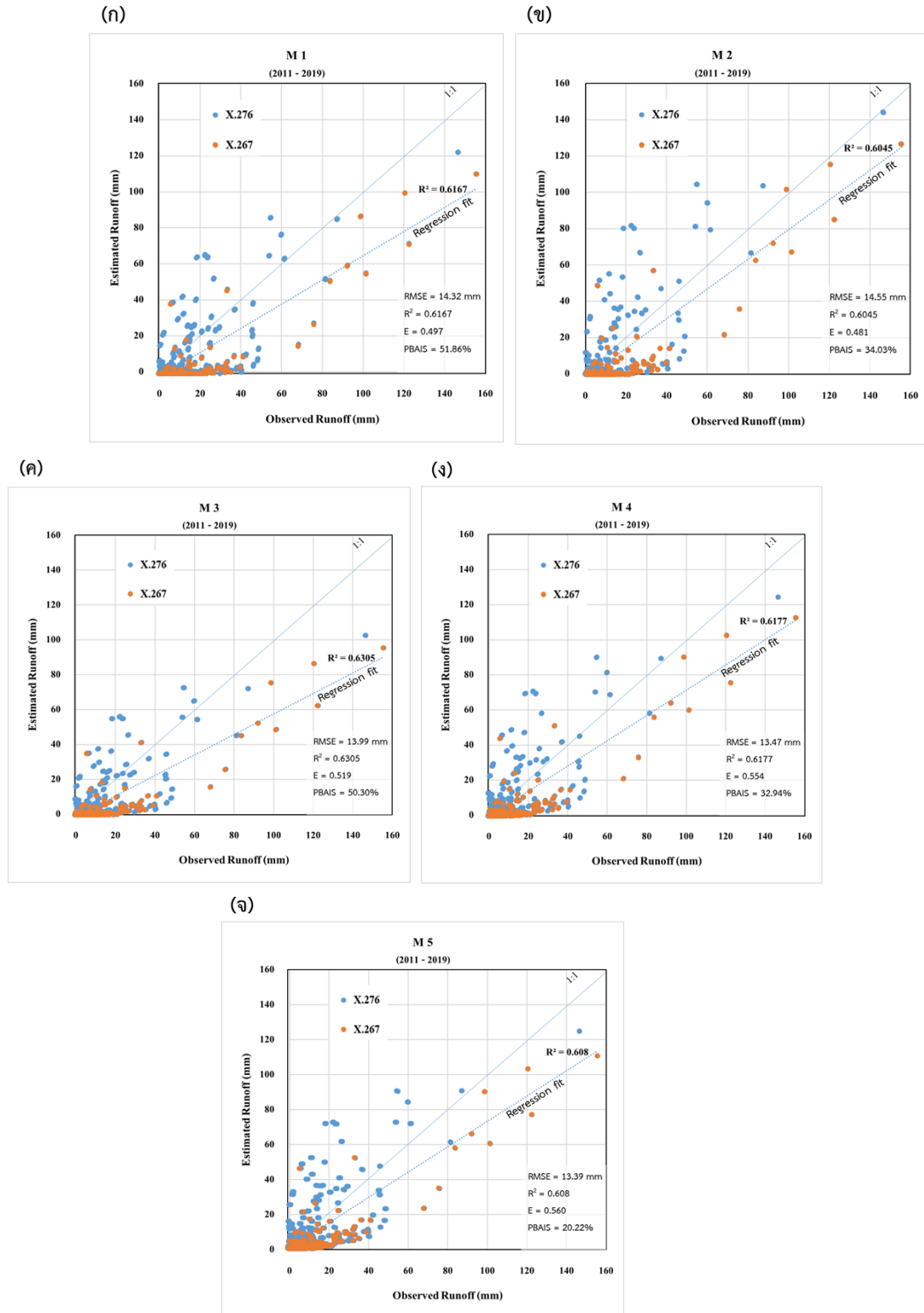


ภาพที่ 6 เกณฑ์และผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโดย Percent Bias (PBIAS)

#### 4.5 ผลการเปรียบเทียบการกระจายตัวปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดและปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง

ผลการเปรียบเทียบการกระจายตัวปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดและปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง ดังภาพที่ 4 พบว่า เมื่อเส้นสมการถดถอยที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองจะมีความชันเข้าใกล้หนึ่ง โดยเมื่อความชันของเส้นสมการถดถอยลดลงจากเส้น 1:1 แสดงถึงผลการประเมินที่ต่ำเกินไป และเมื่อความชันเพิ่มขึ้นจากเส้น 1:1 จะแสดงถึงการประเมินค่าที่สูงเกินไป พบว่าแบบจำลอง M3 มีปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองที่ต่ำและไม่สอดคล้องกับปริมาณที่ได้จากการตรวจวัด เมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ แม้ว่าปริมาณการเก็บกักสูงสุดจะเพิ่มขึ้นจากเดิมแล้วก็ตาม

และแบบจำลอง M5 สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าสอดคล้องกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดมากกว่าแบบจำลองอื่นๆ ซึ่งสังเกตได้จากกลุ่มของค่าที่ใกล้แกนนอน (แกน X) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเข้าใกล้เส้น 1:1 มากขึ้นเมื่อเทียบกับแบบจำลอง M4 แต่อย่างไรก็ตาม ในภาพรวมกลับแสดงให้เห็นว่า ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าของแบบจำลองต่างๆ มีความชันของเส้นสมการถดถอยลดลงจากเส้น 1:1 ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้จากแบบจำลองจะมีค่าที่ต่ำกว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด



ภาพที่ 7 การกระจายตัวปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดและปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง (ก) M1, (ข) M2, (ค) M3, (ง) M4 และ (จ) M5

## 5. บทสรุป

การศึกษาทดสอบความไม่สอดคล้องกันของค่าอัตราการสูญเสียเริ่มต้น ( $I_a$ ) และ Curve Number (CN) เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าจากเหตุการณ์พายุฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยเลือก 2 ลุ่มน้ำที่มีความลาดชันสูง รวม 386 ครั้ง จำนวน 5 แนวทาง พบว่าแบบจำลอง NRCS-CN แบบดั้งเดิมที่มีการใช้ค่าอัตราการสูญเสียเริ่มต้น ( $\lambda$ ) เท่ากับ 0.2 นั้นไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงเนื่องจากเมื่อทำการประเมินปริมาณน้ำท่าจะให้ค่าที่น้อยกว่าค่าที่ตรวจวัดจริงเป็นอย่างมาก นอกจากนี้การเลือกแนวทางที่ค่าปรับอัตราการสูญเสียเริ่มต้น ( $\lambda$ ) จากเดิม 0.2 เป็น 0.05 ไม่เพียงพอให้ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าดีขึ้น เพราะการเลือกใช้เหตุการณ์พายุฝนก็สำคัญเช่นกัน เนื่องจากขนาดของเหตุการณ์พายุฝน และปริมาณฝนตกสะสม 5 วันก่อนหน้า มีผลต่อการประเมินในครั้งนี้ด้วย การพิจารณาความชันของกลุ่มน้ำเพิ่มเติมกลับทำให้ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยรวมมากกว่าแบบเดิมเพียงแค่เล็กน้อย แต่เมื่อทำการพิจารณาความชัน ( $\alpha$ ) เท่ากับ 1 และค่าอัตราการสูญเสียเริ่มต้น ( $\lambda$ ) เป็น 0.05 กลับพบว่าผลการประเมินประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับแบบเดิม โดยแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการนำไปต่อยอดในการประเมินน้ำท่าครั้งนี้ คือแนวทางที่ 4 และ 5 ที่ได้มีการพิจารณาค่าความชัน และ  $\lambda$  เท่ากับ 0.05 มีความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในการประเมินน้ำท่าสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามากกว่าแบบจำลอง NRCS-CN แบบเดิม

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณส่วนบริหารจัดการน้ำและบำรุงรักษา สำนักงานชลประทานที่ 16 และศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคใต้ ที่ให้การสนับสนุนข้อมูล ค่าปรึกษา ข้อเสนอแนะต่างๆ ในการทำงานความวิจัยนี้

## เอกสารอ้างอิง

- Ajmal, M., Ahn, J. H., & Kim, T. W. (2016). Excess stormwater quantification in ungauged watersheds using an event-based modified NRCS model. *Water resources management*, 30(4), 1433-1448.
- Baltas, E. A., Dervos, N. A., & Mimikou, M. A. (2007). Determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(6), 1825-1829.
- Beck, H. E., de Jeu, R. A., Schellekens, J., van Dijk, A. I., & Bruijnzeel, L. A. (2009). Improving curve number based storm runoff estimates using soil moisture proxies. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, 2(4), 250-259.
- Diaz-Ramirez, J. N., McAnally, W. H., & Martin, J. L. (2011). Analysis of hydrological processes applying the HSPF model in selected watersheds in Alabama, Mississippi, and Puerto Rico. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(6), 937-954.
- Grimaldi, S., Petroselli, A., & Romano, N. (2013). Green-Ampt Curve-Number mixed procedure as an empirical tool for rainfall-runoff modelling in small and ungauged basins. *Hydrological processes*, 27(8), 1253-1264.
- Hawkins, R. H., Ward, T. J., Woodward, D. E., & Van Mullem, J. A. (2009). *Curve number hydrology: State of practice*, 106. Reston, VA: ASCE.
- Jain, M. K., Mishra, S. K., Suresh Babu, P., & Venugopal, K. (2006). On the  $I_a$ -S relation of the SCS-CN method. *Hydrology Research*, 37(3), 261-275.
- Mishra, S. K., Jain, M. K., & Singh, V. P. (2004). Evaluation of the SCS-CN-based model incorporating antecedent moisture. *Water resources management*, 18(6), 567-589.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Ritter, A., & Munoz-Carpena, R. (2013). Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, 480, 33-45.

- Sharpley, A. N., & Williams, J. R. (1990). EPIC. Erosion/Productivity impact calculator: 1. Model documentation. 2. User manual.
- Shi, Z. H., Chen, L. D., Fang, N. F., Qin, D. F., & Cai, C. F. (2009). Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. *Catena*, 77(1), 1-7.
- USDA-FS (US Department of Agriculture, Forest Service) (1968) Rainfall interception by annual grass and chaparral. Berkeley, CA: Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service Research Paper PSW-48
- USDA-NRCS (US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service) (2004) 'Hydrology' National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4. Soil Conservation Service, USDA, Washington, DC
- Woodward, D. E., Hawkins, R. H., Jiang, R., Hjelmfelt, Jr, A. T., Van Mullem, J. A., & Quan, Q. D. (2003). Runoff curve number method: Examination of the initial abstraction ratio. In *World water & environmental resources congress 2003* (pp. 1-10).
- Yuan, Y., Nie, W., McCutcheon, S. C., & Taguas, E. V. (2014). Initial abstraction and curve numbers for semiarid watersheds in Southeastern Arizona. *Hydrological processes*, 28(3), 774-783.