



การประเมินผลกระทบของความลาดชัน ที่มีผลต่อศักยภาพน้ำท่า
ของลุ่มน้ำยาวโดยวิธี NRCS-CN Method
ASSESSMENT OF THE EFFECT OF SLOPE ON RUNOFF POTENTIAL
OF THE NAMYAO WATERSHED USING
NRCS-CN METHOD

ปัญญาธิ์ศรี แก้วกล้า¹, กอบเกียรติ ผ่องพุ่ม² และ ณัฐ มาแจ้ง³

^{1,2,3}สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

E-mail: ¹panyarat.k@ku.th, ²kobkiat.p@ku.th, ³fengnmj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ปริมาณฝนและน้ำท่าในระบบอุทกวิทยาที่มีความซับซ้อน จะแปรผันตามเวลาและลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำ ความลาดชันเฉลี่ยในลุ่มน้ำและปัจจัยที่ทำให้เกิดการหน่วงของน้ำท่า เป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมกระบวนการไหลของน้ำท่าวิธีการ NRCS-CN (The Natural Resources Conservation Service Curve Number) เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินน้ำท่าโดยปริมาณฝนเนื่องจากไม่ซับซ้อนเข้าใจง่ายมากและมีการใช้พารามิเตอร์ CN เพียงค่าเดียว อย่างไรก็ตามวิธีการ NRCS-CN ได้รับการพัฒนาเพื่อใช้ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีความลาดชันที่จำกัดการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยวิธีการ NRCS-CN ที่ดัดแปลงค่า CN โดยเปลี่ยนแปลงค่าความลาดชันตามสมการ Sharpley and Williams (1990) และ Huang et al. (2006) เพื่อตรวจสอบศักยภาพการไหลของลุ่มน้ำโดยพิจารณาจากความลาดชันในพื้นที่ลุ่มน้ำยาวซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำน่านอยู่ในจังหวัดน่าน ได้วิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนในปี 2556-2560 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำท่าจะได้ค่า $F_{cal} = 17.053$, $F_{crit} = 1.853$ ซึ่ง $F_{cal} > F_{crit}$ หมายถึงความลาดชันมีผลต่อปริมาณน้ำท่าซึ่งส่งผลให้น้ำท่ามีปริมาณมากขึ้น

คำสำคัญ: NRCS-CN, แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า, Remotesensing

Abstract

The rainfall-runoff is a very complex hydrological phenomenon, as this process is highly non-linear, time-varying and spatially distributed. The average slope within the watershed together with the overall length and retardance of overland flow are considered to be the main factors which govern the runoff process. The natural resources conservation service curve number (NRCS-CN) is the most widely used method to estimate direct runoff from rainfall, due to its simplicity and the use of the single CN parameter. However, the NRCS-CN method has been developed for limited watershed area and slope. In the present study, the modified NRCS-CN method for slope and CN conversion have been investigated to determine runoff potential of a watershed in geo-spatial environment. The NAMYOM watershed, which is a sub-watershed of NAN basin located partly in Nan Province of Thailand; has been considered for analysis. The daily rainfall study has been carried out for year 2013-2017. Analysis of variance will yield $F_{cal} = 3.11$ $F_{crit} = 1.61$, which $F_{cal} > F_{crit}$, which means slope affects the amount of runoff.

Keyword: NRCS-CN, Rainfall-Runoff Model, Remotesensing

1. บทนำ

น้ำท่าเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการประเมินศักยภาพการไหลของลุ่มน้ำ และปัจจัยในการประเมินน้ำท่ายังประกอบไปด้วย ชนิดของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่และความลาดชันในพื้นที่ โดยกระบวนการเกิดน้ำท่าเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนมาก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีแบบจำลองหลายชนิดที่สามารถนำไปใช้ในการประเมินน้ำท่า

แบบจำลอง NRCS-CN (The Natural Resources Conservation Service Curve Number) ซึ่งได้รับการพัฒนาจาก(SCS-CN) USDA-Soil Conservation Service, (SCS 1972) เป็นแบบจำลองที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินปริมาณน้ำท่าจากฝนที่ตกลงมาสู่พื้นที่ลุ่มน้ำ โดยแบบจำลองจะใช้ข้อมูลชนิดของดิน สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลทางอุทกวิทยา และข้อมูลความชื้นก่อนหน้า โดยแบบจำลองมีข้อจำกัดคือความลาดชันของพื้นที่ของลุ่มน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 5% (Sharpley and Williams, 1990) โดยจากการศึกษาพบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำและความลาดชันมีผลกระทบต่อ การไหลของน้ำท่าเป็นอย่างมาก (Haggard et al., 2002; Chaplot and Bissonais, 2003; Akbarimehr and Naghdi, 2012)

นอกจากนี้เครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่และสามารถใช้การบ่อนข้อมูลแบบพารามิเตอร์ซึ่งสามารถเรียกดูได้ง่ายแม้ในพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ โดยใช้ข้อมูลการตรวจสอบระยะไกล (Remote sensing data) เครื่องมือ GIS มีความสามารถในการเก็บข้อมูล การประมวลผล และวิเคราะห์



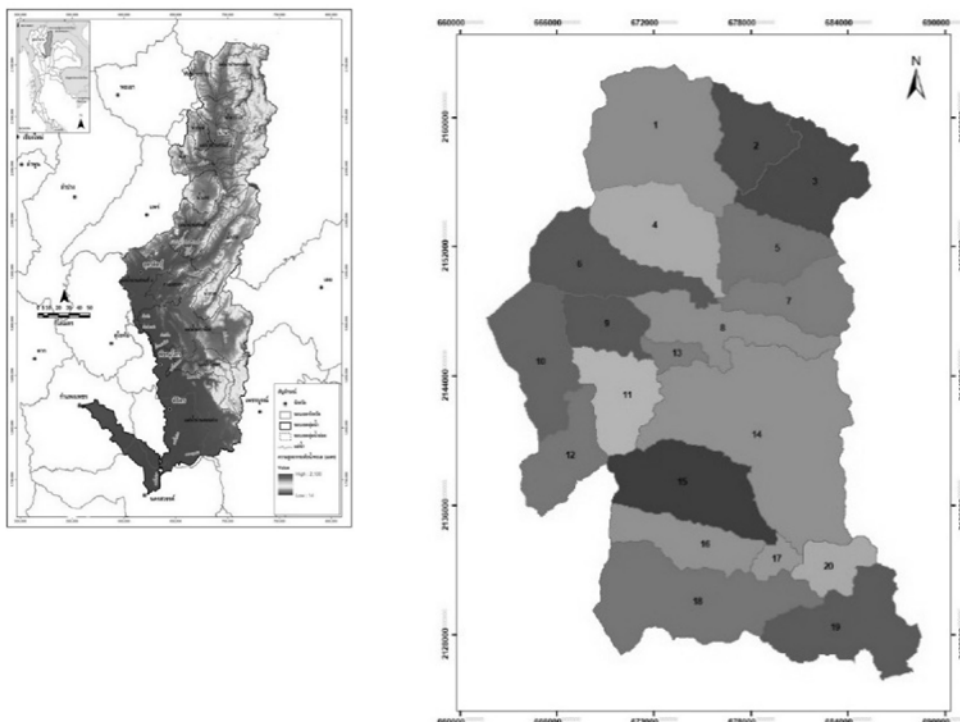
พื้นที่ที่มีความลาดชัน ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ในแบบจำลองทางอุทกวิทยาในการศึกษาครั้งนี้ได้หาแนวทางเพื่อประเมินผลกระทบของความลาดชันที่มีต่อศักยภาพการไหลของลุ่มน้ำยาวซึ่งเป็นพื้นที่ต้นน้ำของลุ่มน้ำน่าน โดยใช้แบบจำลอง NRCS-CN โดยใช้ข้อมูลน้ำฝนในช่วงระยะเวลา พ.ศ. 2556 - 2560 จำนวน 5 ปี

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของความลาดชันที่มีผลต่อศักยภาพการไหลในลุ่มน้ำ
2. เพื่อหาปริมาณน้ำท่าในกรณีที่มีความลาดชันหลายค่า

พื้นที่ศึกษา

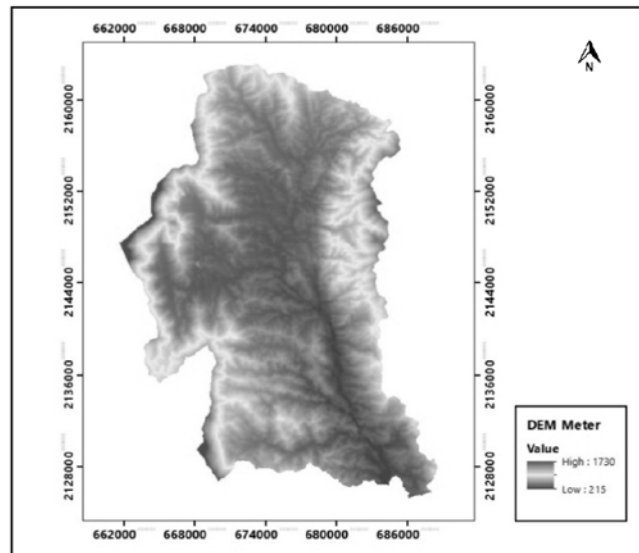
การศึกษาได้ศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำยาวซึ่งเป็นพื้นที่ต้นน้ำแม่น้ำยาวเป็นแม่น้ำสาขาที่ไหลลงสู่แม่น้ำน่าน ตั้งอยู่ประมาณ ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ $19^{\circ} 13' 47''$ เหนือเส้นแวงที่ $100^{\circ} 45' 26''$ ตะวันออกมีสถานี 28017 เป็นสถานีวัดน้ำฝนซึ่งลุ่มน้ำยาวส่วนบนมีพื้นที่ประมาณ 623 ตารางกิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1



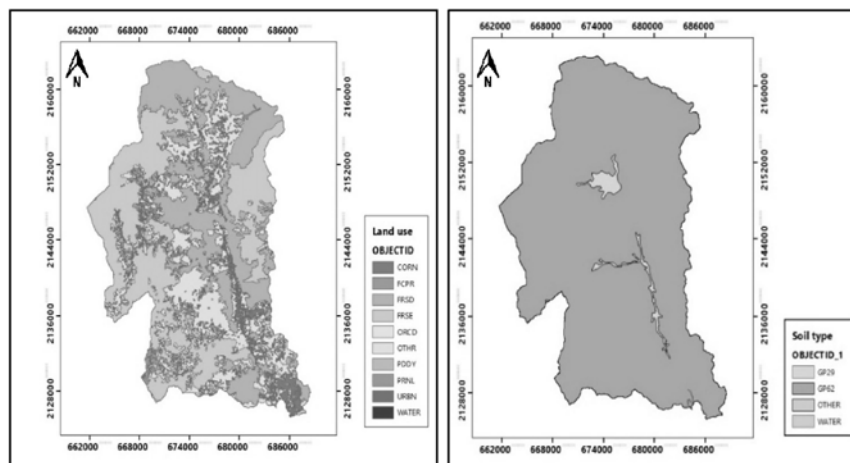
ภาพที่ 1 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

ตารางที่ 1 ร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและชนิดของดิน

Landuse class	Cover (%)	Soil type	Cover (%)
CORN (พืชไร่)	3.44	GP29	4.52
FCRP (ไร่ร้าง)	0.25	GP62	95.10
FRSD (ป่าผลัดใบ)	30.32	OTHER	0.13
FRSE (ป่าสงวน)	31.59	WATER	0.26
ORCD (พืชสวน)	4.08		
OTHR (ไร่หมุนเวียน)	23.95		
PDDY (ทุ่งหญ้า)	1.40		
PNRL (พืชสวน)	3.82		
URBN (ชุมชนเมือง)	0.89		
WATER(น้ำ)	0.26		



ภาพที่ 2 แผนที่ระดับความสูงเชิงเลขเนในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและชนิดของดินในพื้นที่ศึกษา



1.1 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

พารามิเตอร์การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Lane Use/Land Cover) มีผลกระทบต่อปริมาณการไหลในวิธี NRCS-CN (Dunjóet al., 2004) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินจึงมีผลกระทบต่อความสามารถในการกักเก็บน้ำของดิน (Bronstert et al., 1999) ดังนั้นความน่าเชื่อถือของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจึงจำเป็นสำหรับการประเมินน้ำท่าที่ถูกต้องโดยใช้วิธีการ NRCS-CN ซึ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำยาวส่วนบนโดยส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ป่าสงวนรองลงมาคือพื้นที่ป่าผลัดใบมีพื้นที่รวม 385 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 61.91 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และมีพื้นที่ที่เป็นแหล่งน้ำเพียง 1.62 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.26 ของพื้นที่ลุ่มน้ำดังแสดงในภาพที่ 3 และตารางที่ 1

1.2 สภาพทางธรณีวิทยา

จากข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำยาวของกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2544 พบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำยาวมี 2 กลุ่มชุดดิน คือกลุ่มชุดดิน 62 และกลุ่มชุดดิน 29 โดยกลุ่มชุดดินที่มากที่สุด คือ กลุ่มชุดดินที่ 62 เป็นพื้นที่ร้อยละ 95.10 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นพื้นที่ลาดชันเชิงชันที่มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์รองลงมาคือกลุ่มชุดดินที่ 29 พื้นที่ร้อยละ 4.52 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3 และตารางที่ 1

แบบจำลอง NRCS-CN method

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการใช้วิธีการของ NRCS-CN เพื่อประเมินน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำโดยวิธีการ NRCS-CN ขึ้นอยู่กับความสมดุลของน้ำซึ่งสามารถแสดงได้ตามลำดับดังต่อไปนี้ (SCS, 1972)

$$P = Ia + F + Q \tag{1}$$

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - Ia} \tag{2}$$

$$Ia = \lambda S \tag{3}$$

เมื่อ P คือน้ำฝน (Precipitation) (mm), Q คือน้ำท่า (Direct Runoff) (mm), Ia คือ ปริมาณการสูญเสียเริ่มต้น (Initial abstraction) (mm), F คือปริมาณการสูญเสียต่อเนื่อง (Continuing Abstraction) (mm), S คือปริมาณการเก็บกักสูงสุด(Potential Maximum Retention) (mm), λ คือ อัตราส่วนการสูญเสียเริ่มต้นเมื่อน้ำสมการ (1), (2) และ (3) รวมกันจะได้ สมการ (4)

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)} \quad (4)$$

โดยที่ $S = \frac{25400}{CN} - 254$ หน่วยเป็น มม. (5)

ค่า CN คือหมายเลขโด่งน้ำท่าซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน สภาพความชื้นก่อนหน้า (AMC, Antecedent Moisture Content) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น AMC-I, AMC-II และ AMC-III ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า AMC เพื่อกำหนดค่า CN

AMC	ปริมาณฝนสะสมก่อนหน้า 5 วัน (มม.)	
	ไม่อยู่ในช่วงมรสุม	อยู่ในช่วงมรสุม
AMC-I	น้อยกว่า 12.5	น้อยกว่า 35
AMC-II	12.5– 27.5	35– 52.5
AMC-III	≥ 27.5	≥ 52.5

ที่มา: Chow et al. (1988)

ค่า CN จากประเมินปัจจัยพื้นที่ลุ่มน้ำจะได้เป็น CN_2 ใช้ในกรณีที่ AMC-II ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ที่ดินและชนิดของดินที่แตกต่างกัน (SCS, 1972) (Chow, 1988; Subramanya, 2008) ค่า CN จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 ซึ่งค่า CN โดยวิธีการ NRCS -CN จะไม่พิจารณาความลาดชัน นอกจากนี้ความลาดชันของพื้นที่เป็นพารามิเตอร์ได้รับการพิจารณาว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดการเคลื่อนที่ของน้ำท่า (El-Hassanin et al., 1993 Barros et al., 1999; Haggard et al., 2002; Chaplot and Bissonnais, 2003; Huang และคณะ, 2006) โดย Sharpley and Williams (1990) ได้แก้ปัญหาเกี่ยวกับความลาดชันและปรับค่าความลาดชันให้สัมพันธ์กับค่า CN โดยเรียกว่าค่า $CN_{2\alpha_{3\&W}}$ ดังนี้

$$CN_{2\alpha_{3\&W}} = \frac{1}{3}(CN_3 - CN_2)(1 - 2e^{-13.86\alpha}) + CN_2 \quad (6)$$

เมื่อ $CN_{2\alpha}$ การปรับความลาดชันจาก CN_2 โดย α (m/m) คือ ความลาดชันต่อมาได้มีการนำสมการไปศึกษาต่อ Huang et al. (2006) ได้นำเสนอสมการเกี่ยวกับหมายเลขโด่งน้ำท่าที่มีความลาดชันมาเกี่ยวข้องเรียกว่า $CN_{2\alpha_H}$ โดยค่าความลาดชันจะอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.4 ดังสมการ



$$CN_{2\alpha H} = CN_2 \frac{322.79 + 15.63(\alpha)}{\alpha + 323.52} \quad (7)$$

ค่า CN_2 และ CN_3 ในสูตรข้างต้นเป็น CN สำหรับ AMC-I และ AMC-III ตามลำดับเนื่องจากค่า AMC จะไม่คงสภาพเดิมทั้งลุ่มน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ค่า AMC (I / II / III) โดยในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลฝนรายวันจากสถานีวัดน้ำฝน 28017 โดยใช้เครื่องมือ GIS ในการวิเคราะห์ในพื้นที่ 20 ลุ่มน้ำย่อย

การแปลงค่า CN_2 เป็น CN_1 และ CN_3 ตามสมการของ Sobhani (1975), Hawkins et al. (1985), Chow et al. (1988) และ Neitschet al. (2002) ดังตารางที่ 3 (Mishra et. al., 2008) เนื่องจากการกำหนดค่า CN มีความสำคัญมากในการประเมินน้ำท่า จึงมีข้อเสนอแนะว่าสมการ Sobhani (1975) เหมาะสำหรับหาค่า CN_1 ในขณะที่สมการ Hawkins et al. (1985) เหมาะสำหรับการหาค่า CN_3 โดยในปัจจุบันสมการของ Sobhani (1975) และ Hawkins et al. (1985) ได้รับความนิยมในการคำนวณ CN_1 และ CN_3 โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่า $\lambda = 0.2$ และประมาณน้ำท่าแต่ละลุ่มน้ำย่อยในแต่ละเหตุการณ์การเกิดฝนได้คำนวณโดยสมการ (4)

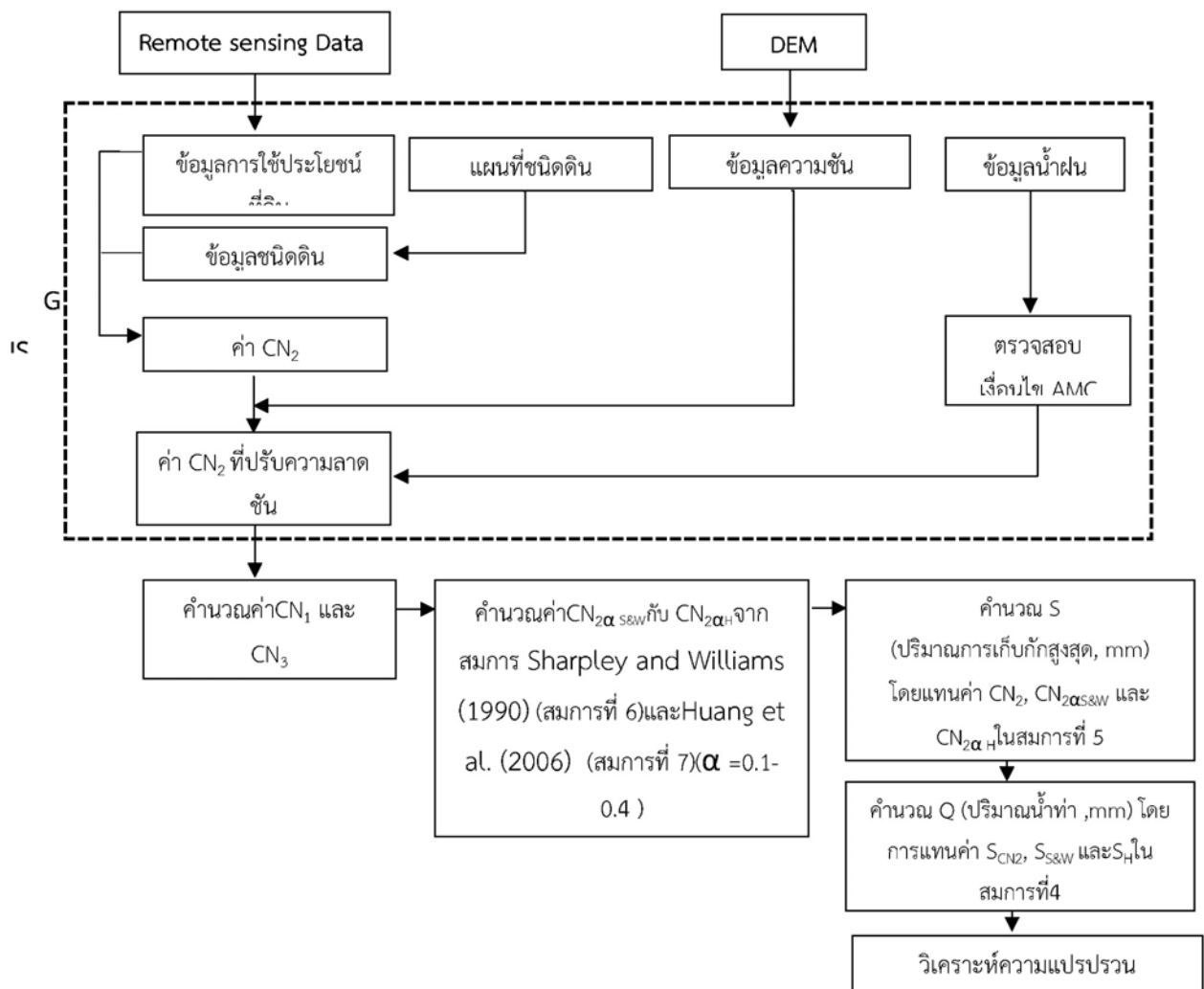
ตารางที่ 3 สมการแปลงค่า CN

Method	AMC-I	AMC-III
Sobhani (1975)	$CN_1 = \frac{CN_2}{2.334 - 0.01334CN_2}$	$CN_3 = \frac{CN_2}{0.4036 + 0.005964CN_2}$
Hawkins et al. (1985)	$CN_1 = \frac{CN_2}{2.281 - 0.01281CN_2}$	$CN_3 = \frac{CN_2}{0.427 + 0.00573CN_2}$
Chow et al. (1988)	$CN_1 = \frac{4.2CN_2}{10 - 0.058CN_2}$	$CN_3 = \frac{23CN_2}{10 - 0.013CN_2}$
Neitsch et al. (2002)	$CN_1 = CN_2 - \frac{20(100 - CN_2)}{\left\{ \begin{array}{l} 100 - CN_2 \\ + \exp \left[\begin{array}{l} 2.533 \\ - 0.0636(100 - CN_2) \end{array} \right] \end{array} \right\}}$	$CN_3 = CN_2 \exp \{0.00673 (100 - CN_2)\}$

ที่มา : Mishra et al. (2008)

วิธีการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาจะใช้ข้อมูลชนิดดิน ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลความลาดชันของพื้นที่ เพื่อวิเคราะห์หาค่าหมายเลขโค้งน้ำท่า (Curve Number, CN) ที่เงื่อนไขความชื้นเริ่มต้นประเภทที่ 2 CN_{AMCII} (Antecedent Moisture Conditions) โดยใช้เครื่องมือ GIS ในการวิเคราะห์ข้อมูลและหาค่าถ่วงน้ำหนักต่อมานำค่า CN_2 ไปหาค่า CN_1 และ CN_3 โดยใช้ สมการของ Hawkins et al. (1985) และ Sobhani (1975) ตามลำดับ และนำค่า CN_1 CN_2 และ CN_3 ไปคำนวณหาค่า $CN_{2\alpha}$ โดยสมการของ Sharpley and Williams (1990) และ Huang et al. (2006) โดยค่า α คือ ความลาดชันของพื้นที่ ($\alpha = 0.1-0.4$) ต่อมานำค่าหมายเลขโค้งน้ำท่าที่แปรผันตามความลาดชันไปหาค่าศักยภาพในการเก็บกักสูงสุดเพื่อหาปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงาน



ผลการศึกษา

การประเมินศักยภาพการไหลของลุ่มน้ำยาวในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านโดยวิธีการ NRCS-CN มีพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด 20 ลุ่มน้ำ ข้อมูลพารามิเตอร์ที่นำเข้าโดยใช้การตรวจสอบระยะไกล ได้แก่ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน ข้อมูลความสูงเชิงเลข และข้อมูลความลาดชันของพื้นที่ โดยคำนวณค่า CN_2 , CN_1 และ CN_3 ซึ่งจะปรับค่าความลาดชันตามพื้นที่ ในการคำนวณปริมาณน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำย่อยมีความสอดคล้องกับเหตุการณ์ฝนตก

ในการดำเนินการคือกำหนดค่า CN_2 ที่มีความลาดชันในช่วง 0.1 ถึง 0.4 ดังแสดงในตารางที่ 4 และหาค่าปริมาณการเก็บกักสูงสุดในแต่ละลุ่มน้ำย่อยดังแสดงในตารางที่ 5 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของความลาดชันที่มีผลต่อศักยภาพการไหลของน้ำท่าโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ทดสอบระหว่างค่าปริมาณน้ำท่าจากการคำนวณทั้ง 3 สมการ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่า CN_2 ในแต่ละลุ่มน้ำย่อย เนื่องจาก $F_{cal}=18.907$ พบว่ามากกว่า $F_{crit}=1.853$ และ $P\text{-value} = 2.5E-14$ น้อยกว่าค่านัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 4 CN_2 , $CN_{2\alpha}$ และพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

SW no.	Area (km ²)	CN_2	$CN_{2\alpha}$ S&W equation (6)	$CN_{2\alpha}$ H equation (7)	SW no.	Area (km ²)	CN_2	$CN_{2\alpha}$ S&W equation (6)	$CN_{2\alpha}$ H equation (7)
1	58	71	76	72	11	24	66	71	66
2	21	71	76	72	12	22	78	82	79
3	31	71	76	72	13	5	78	81	78
4	36	74	78	75	14	99	66	71	67
5	25	66	71	68	15	39	88	90	89
6	32	66	71	68	16	22	78	82	79
7	23	70	75	72	17	5	77	81	77
8	28	74	78	74	18	55	81	84	83
9	17	79	82	79	19	37	81	84	81
10	32	70	75	71	20	12	78	82	78

หมายเหตุ: SW คือ ลุ่มน้ำย่อย

ตารางที่ 5 ปริมาณการเก็บกักสูงสุดในแต่ละลุ่มน้ำย่อย

SW no.	S _{CN2}	S _{S&W}	S _H	SW no.	S _{CN2}	S _{S&W}	S _H
1	103.75	81.47	99.75	11	130.85	102.22	128.26
2	103.75	81.47	100.07	12	71.64	56.70	68.00
3	103.75	81.46	98.18	13	71.64	57.88	70.91
4	89.24	70.32	85.71	14	130.85	102.14	127.06
5	130.85	102.13	121.19	15	34.64	27.73	32.69
6	130.85	102.13	120.70	16	71.64	56.70	68.15
7	108.86	85.37	97.29	17	75.87	60.64	74.83
8	89.24	71.80	88.47	18	59.58	47.31	52.93
9	67.52	54.60	66.79	19	59.58	48.28	58.87
10	108.86	85.37	103.21	20	71.64	56.94	70.17

ตารางที่ 6 ANOVA ของค่า CN₂, CN_{2S&W} และ CN_{2H}

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F _{crit}
Between Groups	1889.435	19	99.443	18.907	2.5E-14	1.853
Within Groups	210.3766	40	5.259			
Total	2099.812	59				

การไหลของน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำย่อยประเมินโดยใช้ CN₂, CN₂ และปริมาณฝน โดยปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 2556-2560 ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยมีค่าเท่ากับ 1,488 มม. 1,557 มม. 1,261 มม. 1,698 และ 1,562 มม. ตามลำดับจากการคำนวณ QT จาก NRCS-CN, Sharpley and Williams (1990), Q_{S&W} และ Huang et al (2006), Q_H แสดงไว้ในตารางที่ 7 ผลการทดสอบ ANOVA ของปริมาณน้ำท่าพบว่าน้ำท่ารายปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ F_{cal} = 17.053 มากกว่า F_{crit} = 1.853 และค่า P = 5.23E-04 น้อยกว่าค่านัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) แสดงในตารางที่ 8



ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำย่อย

SW no.	Rainfall (mm)	Estimated runoff (mm)			SW no.	Rainfall (mm)	Estimated runoff (mm)		
		Q _T	Q _{S&W}	Q _H			Q _T	Q _{S&W}	Q _H
1	162	81.4	93.5	83.5	11	162	69.2	82.2	70.3
2	162	81.4	93.5	83.3	12	162	99.4	109.5	101.8
3	162	81.4	93.5	84.3	13	162	99.4	108.6	99.9
4	162	89.0	100.3	91.0	14	162	69.2	82.2	70.8
5	162	69.2	82.2	73.3	15	162	126.8	132.9	128.5
6	162	69.2	82.2	73.5	16	162	99.4	109.5	101.7
7	162	78.9	91.2	84.7	17	162	96.8	106.7	97.4
8	162	89.0	99.3	89.5	18	162	107.4	116.4	112.2
9	162	102.1	111.0	102.6	19	162	107.4	115.7	107.9
10	162	78.9	91.2	81.7	20	162	99.4	109.3	100.4

ตารางที่ 8 ANOVA ของปริมาณน้ำท่า

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F _{crit}
Between Groups	44490.04	19	99.443	17.053	1.45E-13	1.853
Within Groups	5492.59	40	5.259			
Total	49982.63	59				

สรุปผลการศึกษา

การประเมินผลกระทบของความลาดชัน ที่มีผลต่อศักยภาพน้ำท่าของลุ่มน้ำยาว โดยวิธีการ NRCS-CN มีการแก้ไขความลาดชันตามสภาพแวดล้อมทางภูมิศาสตร์ พบว่าความลาดชันส่งผลกระทบต่อ การประเมินการไหลของน้ำท่า หากในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากจะทำให้เกิดปริมาณน้ำท่ามากขึ้นและหากพื้นที่ มีความลาดชันน้อยปริมาณน้ำท่าก็จะลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละลุ่มน้ำย่อย ค่า ANOVA ของ ปริมาณน้ำท่าแสดงให้เห็นค่า P-Value ในวิธีการ Q_T, Sharpley and Williams และ Huang ต่ำกว่า 0.05 นอกจากนี้การคำนวณปริมาณน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำย่อยโดยวิธี NRCS-CN แล้วยังสามารถปรับใช้กับ สมการของ Sharpley and Williams และ Huang จากการศึกษาพบว่าวิธีการ NRCS-CN เป็นวิธีการ ที่ง่ายและคำนึงถึงพารามิเตอร์อย่างครอบคลุม

เอกสารอ้างอิง

- Akbarimehr, M. and Naghdi, R. (2012) 'Assessing the relationship of slope and runoff volume on skid trails (case study: Nav 3 district)', *Journal of Forest Science*, Vol. 58, No. 8, pp.357-362.
- Barros, A.P., Knapton, D., Wang, M.C. and Kuo, C.Y. (1999) 'Runoff in shallow soils under laboratory conditions', *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp.28-37.
- Bronstert, A., B?rger, G., Heidenreich, M., Katzenmaier, D. and K?hler, B. (1999) 'Effects of climate change influencing storm runoff generation: Basic considerations and a pilot study in Germany', *Proceedings of the 2nd International RIBAMOD Workshop*, Wallingford, 26-27 February 1998, pp.325-340.
- Chaplot, V.A.M. and Bissonnais, Y.L. (2003) 'Runoff features for interrill erosion at different rainfall intensities, slope lengths, and gradients in an agricultural loessial hill slope', *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 67, pp.844-851.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. (1988) *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York.
- Dunj?, G., Pardini, G. and Gispert, M. (2004) 'The role of land use-land cover on runoff generation and sediment yield at a microplot scale, in a small Mediterranean catchment', *Journal of Arid Environments*, Vol. 57, No. 2, pp.239-256.
- El-Hassanin, A.S., Labib, T.M. and Gaber, E.I. (1993) 'Effect of vegetation cover and land slope on runoff and soil losses from the watersheds of Burundi', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 43, Nos. 3-4, pp.301-308.
- Haggard, B.E., Moore, P.A., Delaune, P.B., Smith, D.R., Formica, S., Kleinman, P.J. and Daniel, T.C. (2002) 'Effect of slope, grazing and aeration on pasture hydrology', *Proceedings of ASAE Annual International Meeting/CIGR XVth World Congress*, Hyatt Regency, Chicago, IL, USA, Paper Number 022156.
- Hawkins, R.H., Hjelmfelt Jr., A.T. and Zevenbergen, A.W. (1985) 'Runoff probability, storm depth and curve numbers', *Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE)*, Vol. 111, No. 4, pp.330-340.



- Huang, H., Gallichand, J., Wang, Z. and Goulet, M. (2006) 'A modification to the soil conservation services curve number method for steep slopes in the Loess Plateau of China', *Hydrological Processes*, Vol. 20, No. 3, pp.579-589.
- Mishra, S.K., Jain, M.K., Suresh Babu, P., Venugopal, K. and Kaliappan, S. (2008) 'Comparison of AMC-dependent CN-conversion formulae', *Water Resources Management*, Vol. 22, No. 10, pp.1409-1420.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. and King, K.W. (2002) *Soil and Water Assessment Tool (SWAT): Theoretical Documentation, Version 2000*, Texas Water Resources Institute, College Station, TX, TWRI Report TR - 191.
- Sharpley, A.N. and Williams, J.R. (1990) *EPIC - Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation*, US Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1768, US Government Printing Office, Washington, DC.
- Soil Conservation Service (SCS) (1972) *SCS National Engineerin Handbook, Section 4. Hydrology*. Soil Conservation Service, US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Subramanya, K. (2008) *Engineering Hydrology, 3rd ed.*, McGraw-Hill, New Delhi.