

การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อกำหนดระดับความรุนแรง
ของการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำอิงตอนบน (พื้นที่รับน้ำฝนของกว๊านพะเยา)
Application of Geographic Information Database for Soil Erosion Severity Level
Determination in Upper Ing Watershed (Catchment Area of Phayao Lake)

วิภพ แพงวังทอง^{1*}, ภูวนเตร พลุดำ² และธำรงค์ สุวรรณรัตน์³

Wipop Paengwangthong^{1*}, Phoowanet Plukham², and Thamrong Suwannarat

^{1*}อาจารย์ และ ²นิสิต หลักสูตรภูมิสารสนเทศศาสตร์ และหน่วยวิจัยเพื่อการพัฒนาบัณฑิตกรรมเชิงพื้นที่

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

³กรรมการผู้จัดการ บริษัท กราฟเมติกส์ จำกัด

*Corresponding author: wipop_p@hotmail.com

Received: October 31, 2021

Revised: December 3, 2021

Accepted: December 15, 2021

บทคัดย่อ

ทรัพยากรดินและที่ดินสามารถเสื่อมโทรมลงได้ด้วยการถูกชะล้างพังทลาย อีกทั้งทำให้เกิดตะกอนและความขุ่นในแหล่งน้ำ การวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายไปที่การกำหนดระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินโดยอาศัยฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์และสมการการสูญเสียดินสากล พื้นที่ลุ่มน้ำอิงตอนบนหรือพื้นที่รับน้ำฝนของกว๊านพะเยาถูกเลือกเป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากมันเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของประชากรจำนวนมาก หลังจากศึกษาการประเมินการสูญเสียดินเชิงพื้นที่ ปัจจัยทั้ง 6 ถูกสร้างขึ้นด้วยรูปแบบชั้นข้อมูลราสเตอร์กับรายละเอียดเชิงพื้นที่ขนาด 40 เมตร ได้แก่ การชะล้างพังทลายของฝน ดิน ความชัน ความยาวของความลาดชัน การจัดการพืช และการอนุรักษ์ดิน แผนที่ปัจจัยทั้งหมดถูกซ้อนทับและประมวลผลรวมกันเป็นค่าการสูญเสียดินในแต่ละพิกเซล หลังจากนั้นทำการจำแนกระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินเป็น 5 ระดับ นั่นคือ น้อยมาก น้อย ปานกลาง รุนแรง และรุนแรงมาก คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 41.79 8.26 14.58 3.81 และ 31.56 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแผนที่ระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินมีประโยชน์ต่อการจัดการเชิงพื้นที่ในอนาคต

คำสำคัญ: ระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดิน สารสนเทศภูมิศาสตร์ สมการการสูญเสียดินสากล

Abstract

Soil and land Resources can be degraded by erosion and also can make sediment and turbidity in a water supply. This research therefore aimed at determining soil erosion severity level using geographic information database and universal soil loss equation. The Upper Ing watershed or catchment area of Phayao Lake was selected as the study area due to it being important water supply for living of large population. After studying in spatially model soil loss, 6 factors were generated by raster layer format with 40-meter spatial resolution included rainfall erosivity, soil erodibility, steepness, slope length, cropping management, and conservation practice. All factors were overlaid and calculated together as soil loss value in each pixel. Later on, their values were classified into 5 levels include very slight, slight, moderate, severe, and very severe. Their areas further summed up to 41.79, 8.26, 14.58, 3.81, and 31.56 percent of total, respectively. The result showed also that the soil erosion severity level map has utilized for spatial management in the future.

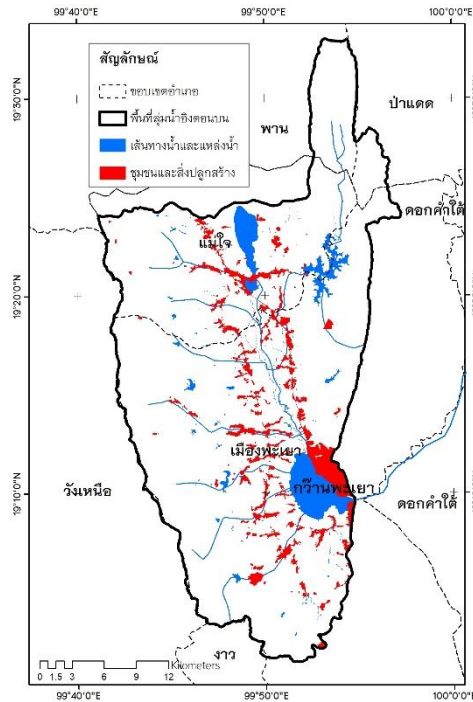
Keywords: Soil Erosion Severity Level, Geographic Information, Universal Soil Loss Equation

บทนำ

ทรัพยากรดินและที่ดินนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญต่อมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านเกษตรกรรม [1] เนื่องจากมันมีส่วนสำคัญต่อกระบวนการผลิตและการลงทุนของเกษตรกร ถ้าดินดีมีความอุดมสมบูรณ์ไปด้วยแร่ธาตุ การลงทุนใส่ปุ๋ยจะน้อยลง พืชผลออกงามดี ผลกำไรจากการเกษตรจะมีมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ทรัพยากรดินและที่ดินสามารถเสื่อมโทรมได้หากไม่มีการบำรุงรักษาหรือถูกใช้งานมากเกินไปทำให้แร่ธาตุมีน้อยลง [2] นอกจากนี้ แร่ธาตุความสมบูรณ์ของดินยังเสื่อมโทรมลงได้หากปราศจากการอนุรักษ์ดินและน้ำด้วย ดังจะเห็นได้จากพระราชกรณียกิจของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 ทรงสนพระทัยเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างมาก [3] เนื่องจากมันเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ทรัพยากรดินและที่ดินเสื่อมโทรมลง อีกทั้งถ้าส่งเสริมการอนุรักษ์ดินและน้ำมากขึ้นนั้นจะทำให้ประเทศมีทรัพยากรดินและที่ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีศักยภาพด้านการเพาะปลูกเพิ่มมากขึ้นทำให้เกษตรกรรมมีผลผลิตที่ดี [4] และมีทางเลือกในการเพาะปลูกพืชได้หลายชนิด สิ่งที่มาอีกคือมีรายได้และคุณภาพชีวิตดีขึ้น เพราะฉะนั้น การชะล้างพังทลายของดินควรมีการติดตามสถานการณ์ในพื้นที่ด้วยโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความเสี่ยง ซึ่งเทคโนโลยีที่เหมาะสมคือเทคโนโลยีด้านแผนที่ หรือระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) มันจะทำให้เราเห็นภาพรวมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ศึกษาที่กว้างใหญ่โดยใช้การจำลองคาดการณ์พารามิเตอร์เชิงพื้นที่ต่าง ๆ ได้ [5 และ 6] และผลลัพธ์ในรูปแบบแผนที่จะช่วยให้เราเข้าไปแก้ไขปัญหาได้ถูกตำแหน่งหรือบริเวณที่เกิดปัญหาการชะล้างพังทลายของดินได้อีกด้วย [7-11]

การชะล้างพังทลายของดินนอกจากจะส่งผลต่อความเสื่อมโทรมของดินและที่ดินแล้ว ผลกระทบที่ตามมาอีกคือ ตะกอนและความขุ่นของน้ำ [12 และ 13] และสิ่งที่ตามมาอีกคือการตื่นขึ้นของแหล่งน้ำ แหล่งน้ำขนาดใหญ่ของจังหวัดพะเยา อย่างเช่น กว๊านพะเยา (รูปที่ 1) มีปัญหานี้เกิดขึ้นเช่นกัน [14 และ 15] รวมไปถึงคุณภาพน้ำที่มีปริมาณตะกอนส่งผลกระทบต่อการอุปโภคและบริโภคของประชากรในเขตเทศบาลเมืองพะเยาด้วย ปัญหาเหล่านี้ล้วนเกิดจากตะกอนที่น้ำพัดพา ซึ่งอาจเกิดจากในบริเวณตอนบนหรือพื้นที่รับน้ำดังกล่าวไม่มีมาตรการจัดการอนุรักษ์ดินและน้ำซึ่งจะทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินมากขึ้นและเป็นต้นตอของปัญหา ดังนั้น การค้นหาหรือการระบุพื้นที่ที่มีระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินจะช่วยให้เราสามารถเข้าไปจัดการกับพื้นที่เหล่านั้นเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้น อีกทั้งทำให้ที่ดินเหล่านั้นไม่เสื่อมโทรมลงและยังช่วยให้ปริมาณตะกอนที่จะลงไปสู่กว๊านพะเยาลดน้อยลงด้วย ทำให้กว๊านพะเยากลับมาเป็นแหล่งน้ำที่ดีเป็นทั้งแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ แหล่งท่องเที่ยว สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ และเป็นแหล่งน้ำสำหรับการประปาส่วนภูมิภาคจังหวัดพะเยาที่ดูแลในพื้นที่เขตเทศบาลที่มีประชากรจำนวนมาก

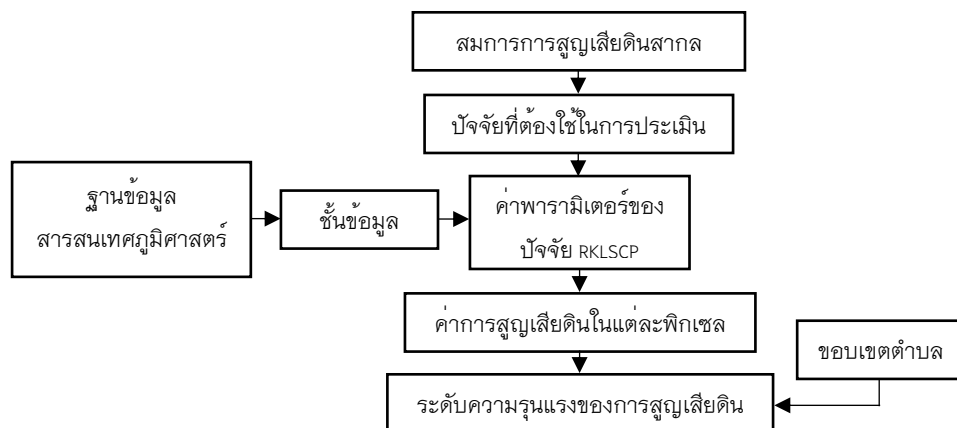
ปัจจุบัน ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ และสมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation) นับว่าเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้เพื่อการคาดการณ์การชะล้างพังทลายของดิน และได้รับความนิยมอย่างมาก ตัวอย่างเช่น การประเมินการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำเขาคองส์ จังหวัดสงขลา [10] บริเวณลุ่มน้ำแควน้อย จังหวัดพิษณุโลก [9] และบริเวณเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี [16] จากการทบทวนวรรณกรรมพบอีกว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับสมการการสูญเสียดินสากลนิยมใช้เพื่อกำหนดความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินด้วย [7-10] จึงนับว่าสิ่งเหล่านี้เป็นเทคโนโลยีหรือวิธีการที่มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ด้านนี้ ดังนั้น การศึกษานี้จึงเกิดขึ้นเพื่อเป็นการติดตามสถานการณ์ความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ศึกษา อีกทั้งเพื่อเป็นการรวบรวมตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้สารสนเทศภูมิศาสตร์ที่มีอยู่ว่าจะเพียงพอหรือไม่ และหากมีการปรับปรุงฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ให้ทันสมัยเป็นปัจจุบันในอนาคตข้างหน้าจะได้ทราบแนวทางที่สอดคล้องกับการศึกษาในรูปแบบนี้ด้วยเพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์ทรัพยากรดิน ที่ดิน และน้ำในพื้นที่กว๊านพะเยา



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา

อุปกรณ์และวิธีการ

กรอบแนวคิดของการศึกษานี้มุ่งเน้นการใช้ข้อมูลทุติยภูมิในสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการสร้างชั้นข้อมูลปัจจัยเป็นตัวแทนในเชิงพื้นที่ที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดิน ตามที่กำหนดไว้โดยสมการการสูญเสียดินสากล กระบวนการแรก พื้นที่ลุ่มน้ำอิงตอนบน จะถูกแบ่งออกเป็นพิกเซลขนาดเท่ากับ 40 เมตร เพื่อพิจารณากำหนดระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดิน โดยที่แต่ละพิกเซลจะมีการคำนวณ “ค่าการสูญเสียดิน” ในหน่วย “ตัน/ไร่” แล้วจึงนำค่านั้นมาจำแนกเป็นระดับความรุนแรง อย่างไรก็ตาม ค่าการสูญเสียดินประจำแต่ละพิกเซลจะถูกคาดการณ์ขึ้นมาจากทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยการชะล้างพังทลายของผืนดิน ความยาวของความลาดชัน ความชัน การจัดการพืช และการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน หลังจากนั้น ชั้นข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำมาซ้อนทับกันเพื่อคำนวณค่าการสูญเสียดินประจำพิกเซล ขั้นตอนสุดท้าย คือ การแบ่งช่วงค่าการสูญเสียดินออกเป็น 5 ระดับความรุนแรงและจำแนกผลลัพธ์เป็นรายตำบล รายละเอียดของกรอบแนวคิดดังรูปที่ 2 และขั้นตอนวิธีการดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย

1. ปัจจัยที่ใช้ประเมินการสูญเสียดิน

การวิจัยครั้งนี้ได้อ้างอิงการคำนวณของสมการการสูญเสียดินสากล ซึ่งเป็นสมการคณิตศาสตร์รูปแบบหนึ่งที่แสดงการคาดการณ์ค่าการสูญเสียดิน (A) ซึ่งจะประกอบด้วยปัจจัยทั้งหมด 6 ตัว ได้แก่ ปัจจัยการชะล้างพังทลายของฝน (R) ดิน (K) ความยาวของความลาดชัน (L) ความชัน (S) การจัดการพืช (C) และการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน (P) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดินและปัจจัยทั้ง 6 ตัว มีรายละเอียดดังสมการ [7-11 และ 17-19]

$$A = RKLSCP \quad (1)$$

1.1 ปัจจัยการชะล้างพังทลายของฝน เป็นค่าที่แสดงถึงพลังงานจลน์ของเม็ดฝนที่ตกกระทบหน้าดินแล้วเกิดการชะล้างพังทลาย ซึ่งปัจจัยนี้อาศัยสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายของฝน (R) และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (X) ของกรมพัฒนาที่ดิน [10 และ 18] ดังสมการที่ 2 ซึ่งค่าปริมาณน้ำฝนมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/ปี และ R ที่คำนวณได้ดังกล่าวมีหน่วยเป็น ตัน/เฮกตาร์/ปี

$$R = 0.4996X - 12.1415 \quad (2)$$

1.2 ปัจจัยการชะล้างพังทลายของดิน เป็นค่าความคงทนของดินต่อการชะล้างพังทลาย ซึ่งปัจจัยนี้อาศัยผลการศึกษาของกรมพัฒนาที่ดินที่ได้นำเสนอค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายของดิน (K) ตามชนิดของเนื้อดินออกมาเป็นตารางโดยแยกค่าดังกล่าวสำหรับพื้นที่ 2 ลักษณะ ได้แก่ บริเวณที่สูง (ความชันมากกว่า 35%) และบริเวณที่ลุ่มต่ำ [10 และ 18] ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายของดินที่นำมาใช้ในพื้นที่ศึกษา [10 และ 18]

เนื้อดิน	ค่าปัจจัยการชะล้างพังทลายของดิน (K)	
	บริเวณที่สูง	บริเวณที่ลุ่มต่ำ
ดินร่วนเหนียว	0.29	0.31
ดินเหนียวปนทรายแป้ง	–	0.29
ดินเหนียว	0.11	0.14

1.3 ปัจจัยความชันและความยาวของความลาดชัน อ้างอิงตามการศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน [10 และ 18] สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$LS = (L/22.13)^m (0.065 + 0.045S + 0.065S^2) \quad (3)$$

เมื่อ L คือ ความยาวของความลาดชัน (หน่วยเป็นเมตร) และ S คือ ความชัน (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้การคำนวณค่า LS นั้นจะมีการแบ่งตามลักษณะความชันออกมาเป็นพื้นที่ 5 ลักษณะ ได้แก่ ถ้าพื้นที่มีค่าความชัน 0-1.0% ค่า m จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 0.2 ถ้าพื้นที่มีค่าความชัน 1.1-3.0% ค่า m จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 0.3 ถ้าพื้นที่มีค่าความชัน 3.1-5.0% ค่า m จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 0.4 ถ้าพื้นที่มีค่าความชัน 5.1-21.0% ค่า m จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 0.5 และถ้าพื้นที่มีค่าความชันมากกว่า 21.0% ค่า m จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 0.7 อ้างอิงจาก [10 และ 18]

1.4 ปัจจัยการจัดการพืช เป็นค่าอัตราส่วนของปริมาณการสูญเสียดินจากแปลงทดลองที่มีการปลูกพืชและการจัดการพืชชนิดใดชนิดหนึ่งกับปริมาณการสูญเสียดินที่ถูกชะล้างพังทลายออกจากแปลงทดลองซึ่งอ้างอิงตามรายงานของกรมพัฒนาที่ดิน [10 และ 18] โดยจัดกลุ่มตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินดังตารางที่ 2

1.5 ปัจจัยการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน เป็นค่าที่ได้จากการประเมินอัตราส่วนของปริมาณการสูญเสียดินเมื่อมีการจัดการกับที่ดินและมีมาตรการอนุรักษ์ป้องกันการชะล้างพังทลายของดินสำหรับพืชแต่ละชนิดหรือสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทจะมีการสูญเสียดินมากขึ้นน้อยเพียงใด ซึ่งอ้างอิงตามรายงานของกรมพัฒนาที่ดิน [10 และ 18] เช่นเดียวกับปัจจัยการจัดการพืชโดยจัดกลุ่มตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าปัจจัยการจัดการพืชและการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน [10] ที่นำมาใช้ในพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	ชนิดพืช / การใช้ประโยชน์ที่ดิน	กลุ่ม	ปัจจัย C	ปัจจัย P	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละ
1	เกษตรผสมผสาน/นาข้าว	พื้นที่เกษตรกรรม	0.280	0.100	109,229.6	19.77
2	นาร้าง	พื้นที่เกษตรกรรม	0.100	0.100	389.16	0.07
3	พืชไร่	พื้นที่เกษตรกรรม	0.474	1.000	35,105.78	6.35
4	ไม้ยืนต้น	พื้นที่เกษตรกรรม	0.150	1.000	12,398.87	2.24
5	ไม้ผล	พื้นที่เกษตรกรรม	0.300	1.000	35,256.10	6.38
6	พืชสวน	พื้นที่เกษตรกรรม	0.600	1.000	71.60	0.01
7	ไร่มวนเวียน	พื้นที่เกษตรกรรม	0.250	1.000	1,259.63	0.23
8	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	พื้นที่เกษตรกรรม	0.100	1.000	335.50	0.06
9	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	พื้นที่เกษตรกรรม	0.000	0.000	1,886.23	0.34
10	ป่าดิบ	พื้นที่ป่าไม้	0.010	1.000	6,251.59	1.13
11	ป่าผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู	พื้นที่ป่าไม้	0.040	1.000	23,802.83	4.31
12	ป่าผลัดใบสมบูรณ์	พื้นที่ป่าไม้	0.048	1.000	249,066.2	45.08
13	สวนป่า	พื้นที่ป่าไม้	0.088	1.000	6.33	0.01
14	ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะ	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	0.048	1.000	12,132.65	2.20
15	พื้นที่ลุ่ม	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	0.000	0.000	6,286.21	1.14
16	พื้นที่ลุ่มและนาข้าว	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	0.000	0.100	436.22	0.08
17	เหมือง บ่อดิน ที่หินโผล่ ที่ทิ้งขยะ ที่ถม	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	0.800	1.000	1,729.80	0.31
18	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	0.000	0.000	31,165.12	5.64
19	แหล่งน้ำ	พื้นที่น้ำ	0.000	0.000	25,717.12	4.65

2. การเตรียมข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการประเมินค่าการสูญเสียดิน

การรวบรวมข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการประเมินค่าการสูญเสียดิน เสมือนเป็นพารามิเตอร์แสดงสถานภาพของแต่ละปัจจัยนั้น ผู้วิจัยรวบรวมมาจากข้อมูลทุติยภูมิจากหลายแหล่งโดยพยายามให้มีความทันสมัยและมีรายละเอียดเชิงพื้นที่ที่ดีที่สุดกับการประเมินที่ขนาดพิกเซล 40 เมตร รายละเอียดแหล่งที่มาของข้อมูลดังตารางที่ 3 นอกจากนี้ กระบวนการทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อจัดการกับข้อมูลเพื่อให้สอดคล้องกับปัจจัยการประเมินมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ข้อมูลทุติยภูมิที่นำมาใช้

ปัจจัย	มาตราส่วน/ รายละเอียดเชิงพื้นที่	ชั้นข้อมูล	แหล่งที่มา
R	1:250,000	สถานีตรวจวัดและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี	สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
K	1:250,000	แผนที่ชุดดิน	สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
LS	30 เมตร	แบบจำลองความสูงเชิงเลข	ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
C	1:25,000	การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2558	กรมพัฒนาที่ดิน
P			

2.1 ข้อมูลปัจจัยการชะล้างพังทลายของดินได้รับมาจากข้อมูลตำแหน่งสถานีตรวจวัดและปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 30 ปี ของ 22 สถานี ซึ่งเดิมที่อยู่ในรูปแบบเวกเตอร์ ดังนั้น จำเป็นต้องนำมาผ่านกระบวนการประมาณค่าในช่วงเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) เพื่อคาดการณ์ค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีในทุกพิกเซลที่ไม่มีสถานีตรวจวัดโดยอาศัยวิธีค่าน้ำหนักตามส่วนกลับของระยะทาง (Inverse Distance Weighted: IDW) โดยใช้คำสั่ง IDW ในชุดคำสั่ง Spatial Analyst Tools ของโปรแกรม ArcGIS จากนั้นทำการแปลงค่าน้ำฝนรายปีของทุกพิกเซลไปเป็นค่า R ตามสมการ (2) โดยใช้คำสั่ง Raster Calculator ในชุดคำสั่งเดียวกัน รายละเอียดชั้นข้อมูลน้ำฝนรายปีเฉลี่ยและค่า R ดังในรูปที่ 4 และ 5

2.2 ข้อมูลปัจจัยการชะล้างพังทลายของดินได้มาจากชั้นข้อมูลเนื้อดินซึ่งเป็นชั้นข้อมูลแบบเวกเตอร์ โดยขั้นตอนแรก จะต้องแปลงข้อมูลเนื้อดินไปเป็นค่า K โดยอาศัยการแก้ไขในตารางคุณลักษณะ (Attribute table) ตามตารางที่ 1 และหลังจากนั้นทำการแปลงไปเป็นชั้นข้อมูลแบบราสเตอร์ (รูปที่ 5) โดยใช้คำสั่ง Polygon to Raster ในชุดคำสั่ง Conversion ของโปรแกรม ArcGIS ทั้งนี้เพื่อให้พร้อมที่จะทำการคำนวณค่าการสูญเสียดินในขั้นตอนถัดไป

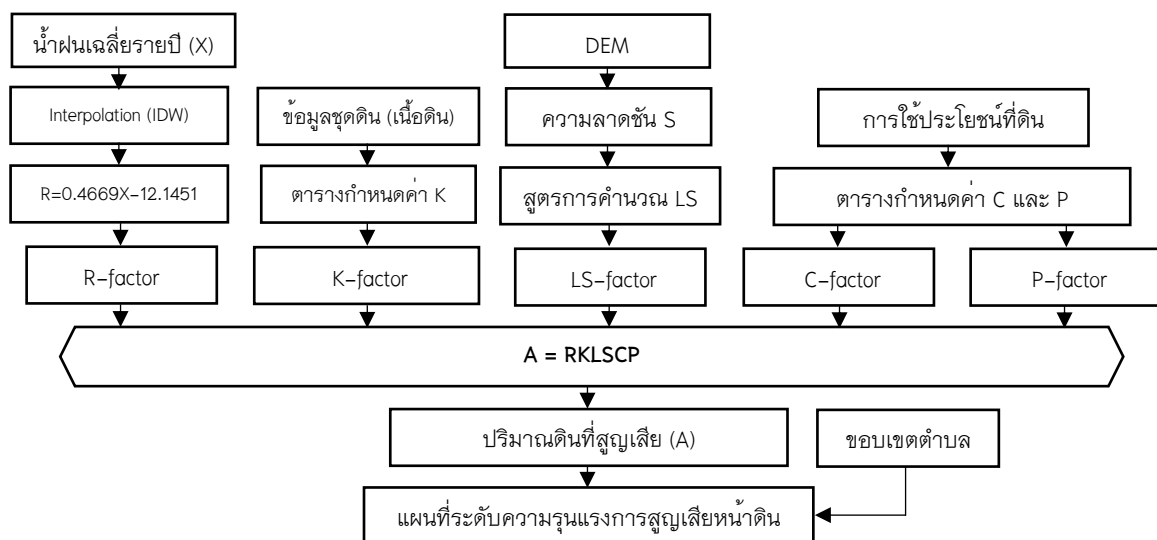
2.3 ปัจจัยความชันและความยาวของความลาดชัน กระบวนการแรก เริ่มต้นจากนำแบบจำลองความสูงเชิงเลขมาทำการคำนวณความชัน โดยใช้คำสั่ง Slope ในชุดคำสั่ง Spatial Analyst Tools ของโปรแกรม ArcGIS โดยกำหนดให้ความชันนั้นมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ขั้นตอนที่สอง ทำการจำแนกพื้นที่ออกเป็น 5 ลักษณะ ตามความชันที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 1.3 หลังจากนั้นขั้นตอนสุดท้าย ทำการคำนวณค่าตามสมการที่ (3) โดยใช้คำสั่ง Raster Calculator ในชุดคำสั่งเดียวกัน ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4 และ 5

2.4 ข้อมูลปัจจัยการจัดการพืชและการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน จะได้มาจากชั้นข้อมูลสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินซึ่งเป็นชั้นข้อมูลแบบเวกเตอร์ โดยขั้นตอนแรก จะต้องแปลงข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินไปเป็นค่า C และ P โดยอาศัยการแก้ไขในตารางคุณลักษณะตามตารางที่ 2 และหลังจากนั้นทำการแปลงไปเป็นชั้นข้อมูลแบบราสเตอร์ (รูปที่ 4) โดยใช้คำสั่ง Polygon to Raster ในชุดคำสั่ง Conversion ของโปรแกรม ArcGIS ทั้งนี้เพื่อให้พร้อมที่จะทำการคำนวณค่าการสูญเสียดินในขั้นตอนถัดไป (รูปที่ 5)

3. การคำนวณค่าการสูญเสียดินและการระบุระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดิน

การคำนวณค่าการสูญเสียดินอาศัยกระบวนการซ้อนทับชั้นข้อมูลเพื่อคำนวณค่าการสูญเสียดินในแต่ละพิกเซล โดยที่การคำนวณเป็นการคูณกันระหว่างค่าของทุกปัจจัยเข้าด้วยกันตามสมการที่ (1) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าทั้งค่า K LSCP จะมีค่าที่เป็นค่าออร์มัลไลซ์แล้ว แต่เราจะเห็นได้ว่าค่า R จะมีหน่วยเป็น ตัน/เฮกตาร์/ปี ดังนั้น ค่าการสูญเสียดิน A และถูกปรับให้มีหน่วยเนื้อที่เป็นไร่ เพื่อให้สะดวกในการทำความเข้าใจและนำไปใช้งาน ดังนั้น การศึกษาจึงทำการแปลงหน่วยดังกล่าวด้วย โดยทำการคูณค่า A ด้วย 0.16 เพื่อแปลงเป็นหน่วย ตัน/ไร่/ปี

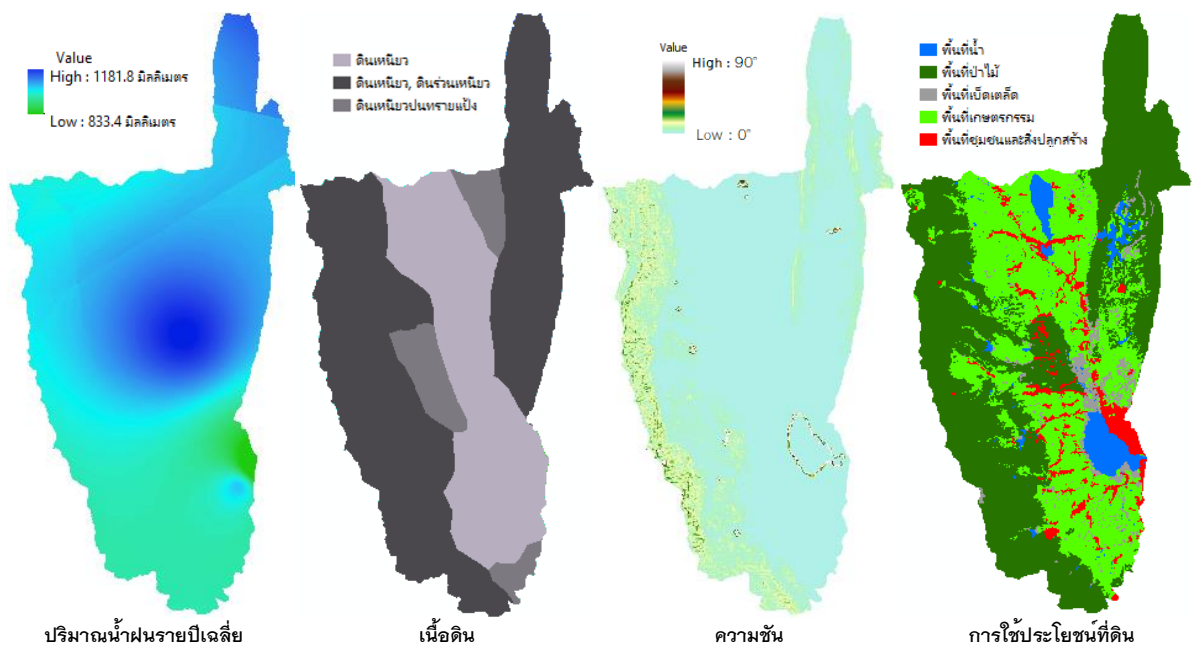
การแบ่งระดับความรุนแรง อาศัยการจัดประเภทโดยใช้คำสั่ง Reclassify ในชุดคำสั่ง Spatial Analyst Tools ของโปรแกรม ArcGIS ซึ่งใช้เกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ 4) ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ระดับความรุนแรงของการสูญเสียดินน้อยมาก น้อย ปานกลาง รุนแรง และรุนแรงมาก โดยกำหนดค่าไว้ดังนี้ 0-2 2-5 5-15 15-20 และมากกว่า 20 ตัน/ไร่/ปี ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการจัดทำข้อมูลออกมาในรูปแบบแผนที่ ดังรูปที่ 5 อย่างไรก็ตาม เพื่อประโยชน์ต่อการนำไปใช้ เราจึงนำเอาขอบเขตตำบลมาซ้อนทับและคำนวณแจกแจงระดับความรุนแรงในแต่ละตำบลด้วย



รูปที่ 3 ขั้นตอนการศึกษา

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

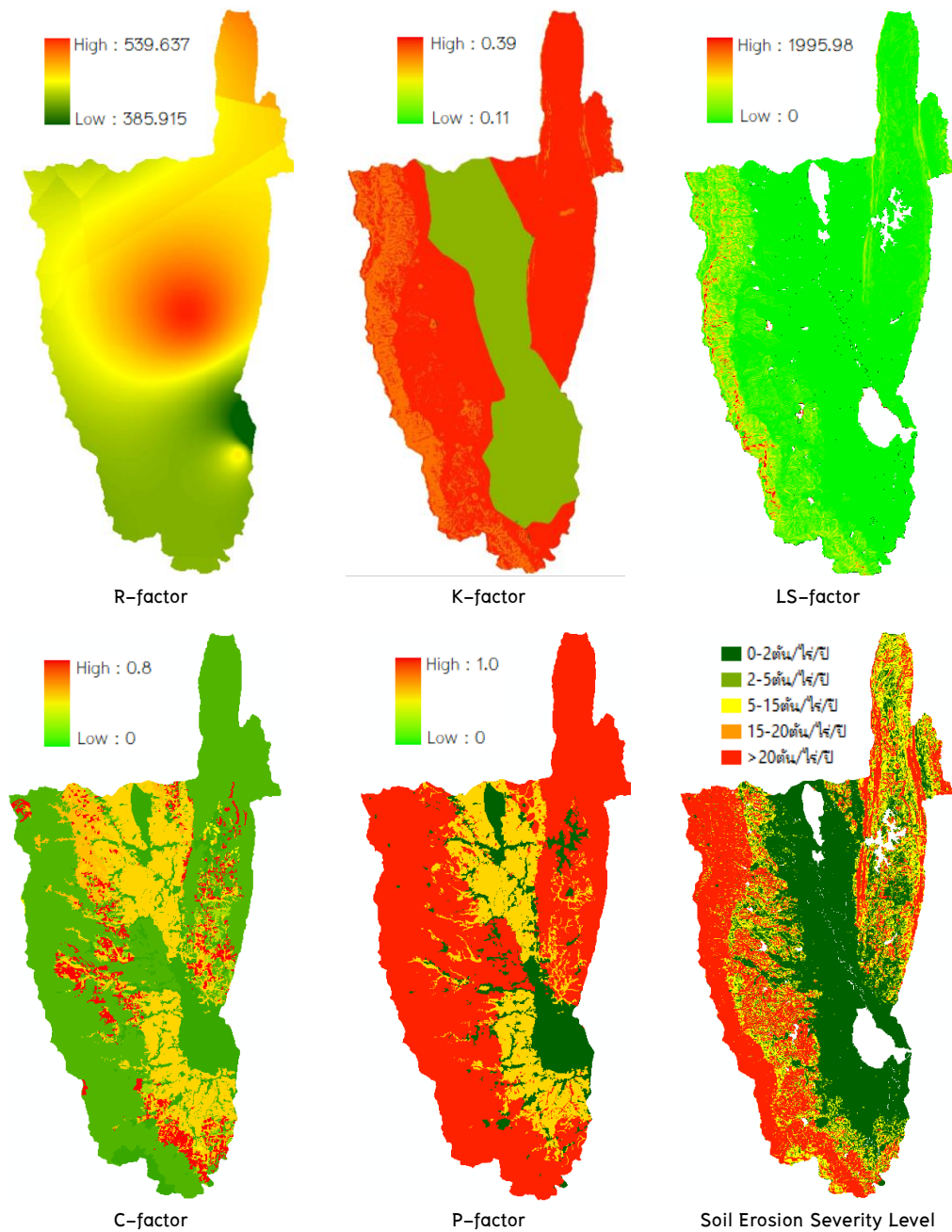
ผลการรวบรวมข้อมูลและดำเนินการทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในแต่ละปัจจัยการชะล้างพังทลายของดิน เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการประเมินค่าการสูญเสียดินดังรูปที่ 4 สำหรับปัจจัยด้านฝนนั้น พบว่า พื้นที่ศึกษามีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 833.4 – 1181.8 มิลลิเมตร โดยที่การกระจายตัวของน้ำฝนส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณตอนกลาง และตอนบนของพื้นที่ศึกษา ส่วนปัจจัยด้านเนื้อดิน พื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นดินเหนียวและดินร่วนเหนียว ซึ่งจะมีศักยภาพในการสูญเสียดิน สำหรับปัจจัยความชันนั้น มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาโดยเฉพาะทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา และในส่วนสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 4 จะพบว่า เนื้อที่ส่วนใหญ่มีสภาพเป็นป่าผลัดใบสมบูรณ์ รองลงมาคือ เกษตรผสมผสานนาข้าว ไม้ผล พืชไร่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และแหล่งน้ำ คิดเป็นร้อยละ 45.08 19.77 6.38 6.35 5.64 และ 4.65 ตามลำดับ



รูปที่ 4 ชั้นข้อมูลสำหรับการประเมินค่าการสูญเสียดิน

ผลการสร้างชั้นข้อมูลโดยอาศัยกระบวนการทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการประเมินดังรูปที่ 5 สำหรับปัจจัยด้านฝนนั้น พบว่า พื้นที่ศึกษามีค่าการชะล้างจากฝนอยู่ในช่วง 358.915 – 839.637 ส่วนปัจจัยด้านเนื้อดินอยู่ในช่วง 0.11 – 0.39 ปัจจัยความชันและความยาวของความลาดชันนั้นอยู่ในช่วง 0 – 1995.98 และในส่วนของการปัจจัยด้านการจัดการพืชและการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินนั้นอยู่ในช่วง 0–0.8 และอยู่ในช่วง 0 – 1.0 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่ามี 2 ปัจจัยที่เสริมให้เกิดการสูญเสียดินอย่างเห็นได้ชัดนั่นคือ K และ P ดังเห็นได้จากรูปที่ 5

ผลการนำชั้นข้อมูลมาซ้อนทับกัน แล้วทำการจำแนกค่าการสูญเสียดินออกเป็น 5 ระดับความรุนแรง ได้แก่ น้อยมาก น้อย ปานกลาง รุนแรง และรุนแรงมาก (รูปที่ 5) คิดเป็นเนื้อที่ 230,432.51 45,560.64 80,432.99 21,016.53 และ 174,019.69 ไร่ ตามลำดับ หรือคิดเป็นร้อยละ 41.79 8.26 14.58 3.81 และ 31.56 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด นอกจากนี้ หากพิจารณาการกระจายตัวของพื้นที่ที่มีการชะล้างพังทลายของดินในระดับที่รุนแรงมาก พบว่า มีการกระจายตัวมากทางทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาซึ่งมีสภาพพื้นที่เป็นป่าไม้และพื้นที่เกษตรกรรม และหากพิจารณาตามขอบเขตการปกครองเป็นรายตำบล จะพบว่า ตำบลที่มีพื้นที่ในระดับรุนแรงสูงมากเป็นเนื้อที่มากที่สุด ได้แก่ ตำบลแม่น้ำเรือ แม่ต้า และศรีถ้อย โดยมีเนื้อที่ 25,833.70 23,129.67 และ 21,373.13 ไร่ ตามลำดับ



รูปที่ 5 ปัจจัยและผลลัพธ์ของการระบุระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดิน

ตารางที่ 4 ความรุนแรง 5 ระดับ ของการชะล้างพังทลายของดินและเนื้อที่เป็นรายตำบล

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	ระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดิน				
			น้อยมาก 0-2ตัน/ไร่/ปี	น้อย 2-5ตัน/ไร่/ปี	ปานกลาง 5-15ตัน/ไร่/ปี	รุนแรง 15-20ตัน/ไร่/ปี	รุนแรงมาก >20ตัน/ไร่/ปี
เชียงราย	ป่าแดด	โรงช้าง	429.21	441.48	801.23	213.47	561.04
เชียงราย	ป่าแดด	ศรีโพธิ์เงิน	1,345.13	1,261.08	1,802.99	376.13	2,762.61
เชียงราย	พาน	เวียงหวาย	298.81	461.76	1,026.66	156.60	238.43
เชียงราย	พาน	ทามะวัน	587.83	583.68	1,446.44	455.43	2,622.82
เชียงราย	พาน	ป่าหุง			0.02		0.29
เชียงราย	พาน	ห้วยม	2,593.06	4,127.66	9,330.10	1,812.75	4,544.30
พะเยา	เมืองพะเยา	เวียง	12,323.10				
พะเยา	เมืองพะเยา	แม่ใส	13,236.87	482.38	423.86	25.39	18.83
พะเยา	เมืองพะเยา	แมกกา	4,155.93	272.19	317.03	65.09	287.69
พะเยา	เมืองพะเยา	แม่ต้า	752.39	2.73	2.40		
พะเยา	เมืองพะเยา	แม่ยาว	18,927.54	5,237.22	11,371.78	3,101.48	25,833.70
พะเยา	เมืองพะเยา	แม่ปืม	29,029.76	8,851.83	12,560.83	2,856.39	13,168.65
พะเยา	เมืองพะเยา	ท่าจำปี	11,885.75	1,244.14	2,015.92	628.40	8,685.58
พะเยา	เมืองพะเยา	ท่าวังทอง	2,004.37	187.50	132.24	30.07	74.26
พะเยา	เมืองพะเยา	บ้านใหม่	15,551.41	3,924.99	4,798.87	1,168.61	14,263.93
พะเยา	เมืองพะเยา	บ้านดอม	16,158.90	1,519.32	1,842.16	543.65	3,905.04
พะเยา	เมืองพะเยา	บ้านต้า	18,064.92	4,755.14	8,824.27	2,568.62	23,129.67
พะเยา	เมืองพะเยา	บ้านดุน	7,297.89	981.58	2,101.18	734.22	7,801.78
พะเยา	เมืองพะเยา	บ้านปาง	6,126.32	725.14	1,661.40	446.78	6,172.52
พะเยา	เมืองพะเยา	สันป่าม่วง	4,588.31	1,036.29	2,637.47	794.49	10,782.40
พะเยา	แม่ใจ	เจริญราษฎร์	8,903.89	1,264.25	2,443.27	806.28	8,444.68
พะเยา	แม่ใจ	แม่ใจ	7,254.87	106.44	222.45	42.84	496.10
พะเยา	แม่ใจ	แม่สวก	6,619.81	1,437.45	2,469.74	756.71	6,492.88
พะเยา	แม่ใจ	บ้านเหล่า	25,789.86	4,236.89	7,960.17	2,274.45	9,737.96
พะเยา	แม่ใจ	ป่าแฝก	30.05	30.88	69.09	29.42	919.50
พะเยา	แม่ใจ	ศรีถ้อย	15,955.05	1,827.41	3,363.27	962.91	21,373.13
พะเยา	ภูกามยาว	ดงเจน			0.07	0.01	0.30
พะเยา	ภูกามยาว	ห้วยแก้ว	521.47	561.21	808.11	166.34	1,701.60
รวม			230,432.51	45,560.64	80,432.99	21,016.53	174,019.69

สรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้สารสนเทศภูมิศาสตร์และสมการการสูญเสียดินสากลเพื่อกำหนดระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่รับน้ำฝนของกว๊านพะเยา เพื่อประโยชน์ในการติดตามตรวจสอบแก้ไขปัญหาการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินและที่ดิน ตลอดจนผลกระทบต่องานและความชุ่มชื้นของน้ำซึ่งจะกระทบกับผู้คนจำนวนมากที่อาศัยน้ำจากกว๊านพะเยา การศึกษาเริ่มต้นจากทบทวนปัจจัยที่อยู่ในสมการการสูญเสียดินสากลและการเตรียมชั้นข้อมูลตัวแทนปัจจัยแต่ละตัว แล้วคำนวณค่าการสูญเสียดินโดยการนำเอาแผนที่ปัจจัยมาซ้อนทับกันในรูปแบบชั้นข้อมูลราสเตอร์ที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ขนาด 40 เมตร หลังจากการคำนวณตามสมการดังกล่าวแล้วจัดแบ่งระดับความรุนแรงการสูญเสียดินออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ น้อยมาก น้อย ปานกลาง รุนแรง และรุนแรงมาก ซึ่งคิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 41.79 8.26 14.58 3.81 และ 31.56 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด และหากนำเอาขอบเขตตำบลมาซ้อนทับ พบว่า ตำบลที่มีพื้นที่ในระดับรุนแรงสูงมากเป็นเนื้อที่มากที่สุด ได้แก่ ตำบลแม่ยาว แม่ต้า และศรีถ้อย ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแผนที่ผลลัพธ์สามารถนำไปใช้เพื่อการบริหารจัดการสนับสนุนและป้องกันการชะล้างพังทลายของดินได้ และลดความรุนแรงลงได้ในอนาคต

สมการการสูญเสียดินสากลจัดว่าเป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยวิธีการทางสถิติจากข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงได้ จากแปลงทดลอง (Empirical model) แต่สำหรับแบบจำลองทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS model) ที่นำมา ประยุกต์ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ถูกจัดว่าเป็นแบบจำลองที่เลียนแบบกระบวนการทางธรรมชาติ (Process Model) [20] มัน เป็นการผสมผสานความรู้ที่มีอยู่แล้ว อย่างเช่นกรณีนี้ การสูญเสียดินในโลกความเป็นจริงจะเกิดได้จากปัจจัยต่างๆที่ อยู่ในกระบวนการการสูญเสียดิน มันมีความคล้ายคลึงกับสมการสมดุลของน้ำในดิน (Soil Water Balance Equation) [21] ที่มีการกำหนดปัจจัยจากการพิจารณาว่าในโลกจริงนั้นน้ำในดินมีกระบวนการที่มาจากน้ำฝน ส่วนสาเหตุที่ทำให้ น้ำในดินลดลงได้เป็นเพราะปัจจัย การระเหย การคายน้ำของพืช การไหลออกเป็นน้ำท่าบริเวณผิวหน้าดิน และการไหล ออกของน้ำใต้ดิน เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่า แบบจำลองลักษณะนี้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาแห่งนี้เพราะมีทั้ง ข้อมูลจากแปลงทดลองที่เพียงพอจากกรมพัฒนาที่ดินและชั้นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่เพียงพอ อย่างไรก็ตาม การนำแบบจำลองลักษณะนี้ไปใช้กับพื้นที่ศึกษาอื่นควรพิจารณาว่ามีข้อมูลข้างต้นเพียงพอหรือไม่ก่อนด้วย

เนื่องจาก ปัจจัย R เป็นปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ ปัจจัย K เป็นปัจจัยด้านสมบัติของดิน และปัจจัย LS เป็น ปัจจัยด้านสภาพภูมิประเทศ [11] ซึ่งพิจารณาแล้วจะเห็นว่าทั้งหมดเป็นปัจจัยที่มีลักษณะคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลง น้อยในแต่ละพิกเซล หากเวลาเปลี่ยนแปลงไป แต่ในทางตรงกันข้าม ปัจจัย C และ P สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เพราะมีการกระทำของมนุษย์หรือผู้ถือครองที่ดินนั้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งในการติดตามการเปลี่ยนแปลงจำเป็นต้องมี การปรับปรุงข้อมูลสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินให้บ่อยครั้งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ อย่างไรก็ตาม สำหรับการศึกษา นี้ ยังคงใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ.2558 เนื่องจากการปรับปรุงให้เป็นปัจจุบันนั้นจะต้องใช้วิธีการแปลด้วย สายตาซึ่งผู้วิจัยยังไม่สามารถทำได้เนื่องจากเวลามีจำกัด นอกจากนี้หากทำการจำแนกด้วยคอมพิวเตอร์โดยอาศัย ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายกว่า แต่มันเป็นแค่ข้อมูลสิ่งปกคลุมดิน (land cover) ซึ่งเหมาะสมและสอดคล้องกับ คุณสมบัติของปัจจัย C และ P น้อยกว่าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) เพราะเป็นเรื่องของการจัดการโดยผู้ ถือครองเหล่านั้นด้วย นอกจากนี้หากพิจารณาพื้นที่ป่าไม้ในพื้นที่ศึกษา จะพบว่าเป็นพื้นที่มีลักษณะหลายปัจจัยที่มีค่า สูง ได้แก่ ปัจจัย P เท่ากับ 1 ปรากฏจากการเข้าไปจัดการอนุรักษ์ดินและน้ำ ค่าปัจจัย K เท่ากับ 0.39 เนื้อดินเป็นดิน เหนียว อีกทั้งมีลักษณะเป็นภูเขาสูงมีความลาดชันด้วยจึงเป็นเหตุให้มีการชะล้างพังทลายในระดับที่รุนแรงมากและไม่ เหมือนกับพื้นที่ป่าของพื้นที่ศึกษาอื่นๆ [22 และ 23] ที่มีสภาพเป็นภูเขาสูงชันน้อยกว่า

ข้อจำกัดเรื่องรายละเอียดเชิงพื้นที่ หรือมาตราส่วนของข้อมูลที่น่ามาใช้จะเห็นได้ว่าชั้นข้อมูลเนื้อดินมี มาตราส่วนอยู่ในระดับ 1:250,000 เท่านั้น ด้วยเหตุดังกล่าวจึงทำให้ข้อมูลเนื้อดินที่น่ามาใช้ยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควรกับ ขนาดพิกเซล 40 เมตร เพราะฉะนั้น สำหรับการศึกษาครั้งถัดไปควรพิจารณาเรื่องนี้ด้วย อย่างไรก็ตาม ข้อได้เปรียบที่ ทำให้ผู้วิจัยกำหนดขนาดพิกเซลเช่นนี้เนื่องจากเห็นว่ายังคงมีชั้นข้อมูลสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ถือว่าเป็นชั้นข้อมูลที่ สำคัญต่อการศึกษาซึ่งมีมาตราส่วน 1:25,000 และมีแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่เพียงพอ นอกจากนี้ การศึกษาครั้งถัดไปควรพิจารณาข้อชุดดินด้วยเพื่อความละเอียดของข้อมูลเนื้อดินที่มีมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นการชดเชยข้อด้อยในเรื่องข้อจำกัดของสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา ผู้วิจัย อาศัยการจัดจำแนกความรุนแรงออกเป็น 5 ระดับชั้น ซึ่งเป็นการแปลงข้อมูลจากมาตราอัตราส่วน (ratio scale) ไปเป็น มาตราเรียงลำดับ (ordinal or ranking scale) หรือแปลงข้อมูลตัวเลขการสูญเสียดินไปเป็นตัวเลขที่มีความละเอียด น้อยลงซึ่งจะช่วยลดความผิดพลาดของแผนที่ผลลัพธ์ที่ได้บางส่วนจนเพียงพอสำหรับการแจกแจงเนื้อที่ในแต่ละระดับ ความรุนแรงเป็นรายตำบล

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาถัดไป ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงระดับความ รุนแรงว่ามีโอกาสสูญเสียดินน้อยลงหรือไม่ และเพื่อเป็นการติดตามสถานภาพของปัญหาดังกล่าว เพราะถึงแม้ว่า ประเทศไทยจะมีพระราชบัญญัติพัฒนาที่ดิน พ.ศ.2551 [24] ที่มีหลายมาตราที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการชะล้าง

พังทลายของดินแล้ว แต่ยังไม่มียกย่องให้หน่วยงานรัฐสามารถเข้าไปดำเนินการป้องกันในพื้นที่ของเอกชนได้ หากยังไม่มีความเสี่ยงในระดับรุนแรงจนถึงขั้นดินถล่มสร้างความสูญเสียแก่ชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน นอกจากนี้ ควรมีการศึกษาผลกระทบจากการชะล้างพังทลายของดินต่อปริมาณตะกอนหรือความขุ่นของน้ำด้วยว่ามันสอดคล้องกันอย่างไร หรือว่ามีปัจจัยอย่างอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องอีกหรือไม่

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ หน่วยงานเจ้าของชั้นข้อมูลทั้งหมด ได้แก่ สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย กรมพัฒนาที่ดิน และภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้โอกาสการเข้าถึงข้อมูลดังกล่าว ตลอดจนผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารวิชาการเพื่อการพัฒนาวัตกรรมการเชิงพื้นที่สำหรับข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงการเผยแพร่ผลงานที่สามารถเป็นประโยชน์ได้มากขึ้นในวงวิชาการและการพัฒนาในพื้นที่รับน้ำฝนของกว๊านพะเยา

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2554). จอมปราชญ์แห่งการพัฒนา: ปราชญ์แห่งดิน. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2564, จาก <http://www.rdpb.go.th/UploadNew/Documents/ปราชญ์แห่งดิน.pdf>.
- [2] โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. (2564). การพัฒนาและอนุรักษ์ดิน. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2564, จาก http://www.rspg.or.th/special_articles/hm_king60/king_604.htm.
- [3] กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2564). พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงห่วงใยกับงานด้านการพัฒนาที่ดิน. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2564, จาก <https://www.moac.go.th/king-soil>.
- [4] Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO). (2021). การอนุรักษ์ดิน น้ำ และทรัพยากร. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2564, จาก <https://www.rspo.org/file/Soil%20conservation.pdf>
- [5] วิภาพ พวงวังทอง และอิสระพงษ์ กาจสาริกการณ์. (2564). การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์และการตัดสินใจกลุ่มแบบหลายเกณฑ์เพื่อประเมินความเสี่ยงไฟป่าในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติของจังหวัดพะเยา. วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนาวัตกรรมการเชิงพื้นที่, 2(2): 13-24.
- [6] รุจน์ หาเรือนทรง. (2556). เครื่องมือทางภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2564, จาก <https://www.rspo.org/file/Soil%20conservation.pdf>
- [7] Thinley, U. (2008). Spatial Modeling for Soil Erosion Assessment in Upper Lam Phra Phloeng Watershed, Nakhon Ratchasima, Thailand. M.Sc. Thesis, Institute of Science, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- [8] สุวัชร ธีระโยธิน. (2552). การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจำแนกความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิง 1 อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (การใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน): มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [9] เสาวลักษณ์ สระทองเทียน (2559). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และสมการการสูญเสียดินสากลเพื่อประเมินการชะล้างพังทลายของดิน บริเวณลุ่มน้ำแควน้อย จังหวัดพิษณุโลก. ภาคนิพนธ์ปริญญาตรี (ภูมิศาสตร์): มหาวิทยาลัยนเรศวร.

- [10] อานันท์ คำภีระ, ชิดดา ยงสถิตศักดิ์, เกริกชัย ทองหนู, อุดลย์ เบ็ญนัย, พีระพิทย์ พิษมงคล ยงเฉลิมชัย, นาดยา จิงเจริญธรรม และรัตนาทองน้อย. (2552). การประยุกต์ใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศเพื่อศึกษาการชะล้างพังทลายของดิน พื้นที่ลุ่มน้ำเขาคอหงส์ จังหวัดสงขลา. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย, 10(3): 38-48.
- [11] กรมพัฒนาที่ดิน. (2563). สถานภาพการชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 24 ตุลาคม 2564 จาก https://www.idd.go.th/Web_Soil/PDF/soilerosion.pdf.
- [12] ไชยณรงค์ เศรษฐเชื้อ. (2552). หายนะแม่น้ำโขงเปลี่ยนสี จากสายน้ำที่สมบูรณ์สู่สายน้ำที่หิวโหย. สืบค้นเมื่อ 4 ธันวาคม 2562 จาก <https://www.facebook.com/chainarong.stc.3/posts/577505953051797>.
- [13] วีระ เวตติวงศ์. (2539). การเคลื่อนย้ายตะกอนและวิธีปฏิบัติการสนามสำหรับการวัดตะกอนน้ำ. สืบค้นเมื่อ 24 ตุลาคม 2564 จาก https://www.hydro-1.net/Data/update_web/Knowledgebase/10-01/tagon.pdf.
- [14] สยามรัฐ. (2564). กรมชลฯ ลุยแผนพัฒนากว๊านพะเยา เร่งขุดลอกตะกอนดิน เพิ่มประสิทธิภาพเก็บกักน้ำ. สืบค้นเมื่อ 24 ตุลาคม 2564 จาก <https://siamrath.co.th/n/268628>.
- [15] สำนักงานประชาสัมพันธ์จังหวัดพะเยา. (2563). ฝ่ายพับได้ กว๊านพะเยา แก้ไขปัญหาล้างแล้ง ปัญหาน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภคและภาคการเกษตร. สืบค้นเมื่อ 24 ตุลาคม 2564 จาก https://nbtworld.prd.go.th/th/news/print_news/TCATG200625104759883.
- [16] อัศรเดช โพธิ์สุวรรณ. (2546). การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการชะล้างพังทลายของดินอันเนื่องมาจากอุทกภัยบริเวณเขาดิษฐา จังหวัดจันทบุรี. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม): มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [17] Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Handbook No.537 U.S. Department of Agriculture, Washington. DC, USA.
- [18] กรมพัฒนาที่ดิน (2543). การชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัดเฟิร์สเพรส.
- [19] นิพนธ์ ตั้งธรรม. (2545). แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำ. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: อธิการภาควิชาอนุรักษ์วิทยา.
- [20] ชญา ณรงค์ฤทธิ์. (2547). ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้านสิ่งแวดล้อม. ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [21] นิพนธ์ ตั้งธรรม. (2551). การพัฒนาทรัพยากรน้ำและการบริหารจัดการน้ำภายใต้ภาวะโลกร้อน. การบรรยายในการประชุมวิชาการ 3rd THAICID NATIONAL SYMPOSIUM “การบริหารจัดการด้านทรัพยากรน้ำและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน: จากแนวคิดสู่การปฏิบัติจริงจากวิถีดั้งเดิมสู่ความทันสมัย” ในวันที่ 17 มิถุนายน 2551 ณ โรงแรมดิเอ็มเมอรัลด์ กรุงเทพฯ.
- [22] นิติพัฒน์ นวนมะโน. (2556). การชะล้างพังทลายของดินบนเขาคอหงส์ และมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม): มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [23] บรรจงศักดิ์ พักสมบุญ, บรรจงศรี พันธุ์เหล่า และลลิตา บัวสรวง. (2562). การตอบสนองของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการชะล้างพังทลายของดินและอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร. ลักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 6(2): 11-22.
- [24] กรมพัฒนาที่ดิน. (2551). พระราชบัญญัติพัฒนาที่ดิน พ.ศ.2551. สืบค้นเมื่อ 24 ตุลาคม 2564 จาก <http://www.idd.go.th/ACT/all.pdf>.