



**การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศร่วมกับแบบจำลอง Morgan - Morgan - Finney
เพื่อการคาดการณ์อัตราการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำภูเขา**

**Application of geo-informatics with Morgan-Morgan - Finney for soil erosion
rate estimation in mountainous watershed**

กมลสัน คีร์วงศ์วัฒนา

หน่วยวิจัยเชิงพื้นที่ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม 73000

E-mail: kiriwongwattana_k@su.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าได้ประยุกต์แบบจำลอง Morgan-Morgan-Finney (MMF) ร่วมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ เพื่อประเมินการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ อ.สวนผึ้ง จ.ราชบุรี ซึ่งเป็นลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ลาดชันและมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ได้รับการส่งเสริมการท่องเที่ยว การศึกษาค้นคว้าได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM บันทึกภาพเมื่อเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2558 มาทำการจำแนกพื้นที่เพื่อสร้างชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข SRTM รายละเอียด 30x30 เมตร เพื่อสร้างชั้นข้อมูลความลาดชัน ใช้แผนที่กลุ่มชุดดินจากกรมพัฒนาที่ดินเพื่อสร้างชั้นข้อมูลทางปฐพีวิทยา ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 30 ปี บริเวณสถานีสวนผึ้ง ของกรมอุตุนิยมวิทยาเพื่อสร้างชั้นข้อมูลลักษณะของฝนในพื้นที่ศึกษา จากนั้นนำเข้าสู่ชั้นข้อมูลที่เตรียมไว้เพื่อทำการคาดการณ์อัตราการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยแบบจำลอง MMF

จากการศึกษาพบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ มีปริมาณพลังงานที่เกิดจากการตกกระทบของฝนเฉลี่ย 1.75 จูลต่อตารางเมตร (0-4.67 จูลต่อตารางเมตร) และมีปริมาณตะกอนที่เกิดจากการตกกระทบของฝนเฉลี่ย 1.04 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (0 -3.78 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) นอกจากนี้พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยบ้านบ่อมีปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินเฉลี่ย 222.66 มิลลิเมตร (11.27 -1136.31 มิลลิเมตร) และมีปริมาณตะกอนที่เกิดจากน้ำไหลบ่า

Received: November 06, 2015

Revised: December 13, 2015

Accepted: March 18, 2016

หน้าดินเฉลี่ย 0.34 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (0 - 27.07 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) โดยรวมพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยบ้านบ่อมี ปริมาณตะกอนที่เกิดจากการตกกระทบของฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินเฉลี่ย 1.16 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (0 - 23.37 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี) ส่วนอัตราการเคลื่อนย้ายตะกอนด้วยน้ำไหลบ่าหน้าดินเฉลี่ย 10.25 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (0-84.89 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี) จากการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดในพื้นที่ลุ่มน้ำกับความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอนพบว่าปริมาณตะกอนที่เกิดในพื้นที่ลุ่มน้ำมีน้อยกว่าความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอน ดังนั้นอัตราการชะล้างพังทลายดินเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยบ้านบ่อจึงเท่ากับ 1.16 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี จากนั้นนำ อัตราการชะล้างพังทลายดินที่คาดการณ์ได้มาจำแนกระดับความรุนแรงของอัตราการชะล้างพังทลายดินตาม เกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีการชะล้างพังทลายดินในระดับน้อยมาก ซึ่งมีพื้นที่ 71,944.88 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 95.72 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ รองลงมาเป็นพื้นที่การชะล้างพังทลายดินปานกลาง ซึ่งมีเนื้อ ที่ 2634.19 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.50 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และมีพื้นที่การชะล้างพังทลายดินน้อยและพื้นที่ ชะล้างดิน มาก ซึ่งมีเนื้อที่ 476.44 และ 108 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.63 และ 0.14 ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่มีอัตราการชะล้าง พังทลายดินน้อยมาก ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ ในขณะที่พื้นที่ที่มีอัตราการชะล้างพังทลายดินปานกลาง ส่วน ใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมบนพื้นที่ที่มีความลาดชัน จึงสามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นที่จากพื้นที่ป่า ไม้ เป็นพื้นที่เกษตรกรรมโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลาดชันส่งผลให้อัตราการชะล้างพังทลายดินเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ภูมิสารสนเทศ แบบจำลอง Morgan-Morgan-Finney การชะล้างพังทลายดิน พื้นที่ลุ่มน้ำภูเขา

Abstract

In the present study, the revised Morgan-Morgan-Finney (MMF) model coupled with Geo-informatics is used for soil erosion rate estimation in Huai Ban Bo sub-watershed Suanphueng district, Ratchburi province which most of the watershed area are hilly area and continue changes of land use and land cover due to tourist activities and promotion. This study, Landsat 5 TM image of April, 2015 is used for land use and land cover classification. Digital elevation model of SRTM which have resolution of 30 meter is use to derived slope data layers. Soil map from Land Develop Department is used for derived soil related data layers. Average annual rain fall 30 years of Suanphueng station from Meteorological Department is used to derive rain fall related data layers. Therefrom, all prepared data layers is calculate with MMF in GIS environment to estimate annual soil erosion in the watershed.

The results show that, average kinetic energy in the watershed is 1.75 J/m² (0-4.67 J/m²). The average detachability by raindrop is 1.04 kg/m² (0 -3.78 kg/m²). Furthermore, there is annual average runoff 222.66 mm. (11.27 -1136.31 mm.), the average detachability by runoff is 0.34 kg/m² (0 - 27.07 kg/m²). The average annual soil detachability is 1.16 kg/Rai/year (0 - 23.37 kg/Rai/year). The average transport capacity by runoff is 10.25 kg/Rai/year (0-84.89 kg/Rai/year). As compare between average annual soil detachability and average transport capacity by runoff, it was observed that, average annual soil detachment was less than

average transport capacity, average annual soil loss of 1.16 kg/Rai/year in Huai Ban Bo sub watershed has been estimated. From soil erosion rate estimated, classify of severity was performed with soil erosion risk class of Land Develop Department. It was observed that, most of the watershed has a very low soil erosion rate which is 71,944.88 Rai (95.72%). There is 2,634.19 Rai (3.50%) has a moderate soil erosion rate and there are 476.44 Rai and 108 Rai (0.63% and 0.14%) are in low and high soil erosion rate respectively. Most of very low soil erosion rate is forest area and most of the moderate soil erosion rate is agriculture area on gentle slope. It can conclude that, changes form forest to agriculture on a slope area can cause increase of soil erosion rate.

Keywords: Geo-informatics, Morgan-Morgan-Finney, Soil erosion, Mountainous watershed.

1. บทนำ

กระบวนการชะล้างพังทลายดินเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่เกิดขึ้น และเป็นกระบวนการหลักที่ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมต่อทรัพยากรดินและน้ำทั่วโลก [1-3] ประเมินการชะล้างพังทลายดินโดยน้ำฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นกระบวนการหลักที่ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมต่อทรัพยากรดินร้อยละ 70 ถึงร้อยละ 90 ของกระบวนการทั้งหมดที่ทำให้ทรัพยากรดินเสื่อมโทรม [2, 4] การสูญเสียดินจากกระบวนการชะล้างพังทลายดินดังกล่าวส่งผลกระทบต่อพัฒนาการของเศรษฐกิจในภาพรวม เนื่องจากการสูญเสียดินเป็นกระบวนการที่ส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง และส่งผลกระทบต่อผลิตพืชอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ [5] เนื่องจากกระบวนการชะล้างพังทลายดินเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อน การคาดการณ์ปริมาณการชะล้างพังทลายดินจึงทำได้ยาก [6,7] เพราะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ คุณสมบัติของดิน ลักษณะการตกของฝน การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน และกิจกรรมอื่น ๆ ของมนุษย์ ในการคาดการณ์การชะล้างพังทลายดินนั้น ได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้เสนอแบบจำลองสำหรับการคาดการณ์การชะล้าง

พังทลายดินไว้หลายแบบจำลอง เช่น สมการสูญเสียดินสากล (USLE) สมการสูญเสียดินสากลทบทุน (RUSLE) สมการสูญเสียดินสากลปรับปรุง (MUSLE) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ได้รับความนิยมในการคาดการณ์อัตราการชะล้างพังทลายดินรายปี เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ใช้จำนวนข้อมูลน้อยและการคำนวณที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน [8-18] แบบจำลอง Morgan-Morgan-Finney (MMF) เป็นอีกแบบจำลองหนึ่งที่มีการประยุกต์เพื่อการคาดการณ์อัตราการชะล้างพังทลายดินอย่างแพร่หลาย [19-22] เนื่องจากแบบจำลองนี้สามารถคาดการณ์อัตราการชะล้างพังทลายดินได้ทั้งแบบการชะล้างพังทลายดินแบบแผ่นและแบบร่องลึก นอกจากนี้ยังมีส่วนของการคำนวณความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอนของน้ำไหลบ่าหน้าดิน ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านได้ประสบความสำเร็จในการประยุกต์แบบจำลอง MMF ร่วมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการคาดการณ์อัตราการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ [23-24] ซึ่งสามารถช่วยให้นักวิจัยทำงานได้สะดวก รวดเร็ว และประหยัดได้ทั้งเวลาและงบประมาณในการศึกษาได้เป็นอย่างมาก

พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ อ.สวนผึ้ง จ.ราชบุรี เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำภูเขา ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำมีความลาดชันสูง และมีการทำการเกษตรบนพื้นที่ลาดชันด้วย จากสถานการณ์การตื่นตัวทางด้านการท่องเที่ยวใน อ.สวนผึ้ง ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่อย่างกว้างขวาง เช่น การเปลี่ยนพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง และการขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรมเดิม เป็นต้น สิ่งเหล่านี้อาจเป็นเหตุทำให้อัตราการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อเพิ่มสูงขึ้นได้ ซึ่งจะส่งผลทำให้ทรัพยากรดินและน้ำในลุ่มน้ำเสื่อมโทรมลงและส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่ลุ่มน้ำ

การศึกษาในครั้งนี้ได้ประยุกต์แบบจำลอง MMF ร่วมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อคาดการณ์อัตราการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ อ.สวนผึ้ง จ.ราชบุรี เพื่อจัดทำแผนที่การชะล้างพังทลายดินให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้นำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนป้องกันและติดตามสถานการณ์การชะล้างพังทลายดินในพื้นที่เพื่อเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรดินและน้ำในพื้นที่ไว้ให้สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างยั่งยืน

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการคาดการณ์อัตราการชะล้างพังทลายดินด้วยแบบจำลอง MMF ร่วมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ โดยดำเนินการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM ซึ่งบันทึกภาพเดือน เมษายน พ.ศ.2558 ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษาเพื่อสร้างเป็นชั้นข้อมูล (Layer) การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน จากนั้นรวบรวมชั้นข้อมูลดินจากแผนที่กลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน

เพื่อสร้างชั้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ลุ่มน้ำ จากนั้นรวบรวมข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) จากเว็บไซต์ของ USGS ประเทศสหรัฐอเมริกา [25] นำมาสร้างชั้นข้อมูลความลาดชันและชั้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำ ใช้ข้อมูลแผนที่ตรวจวัด ณ. สถานีสวนผึ้ง ของกรมอุตุนิยมวิทยา มาใช้ในการสร้างชั้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการตกของฝน จากนั้นนำชั้นข้อมูลที่เตรียมไว้สู่แบบจำลอง MMF เพื่อคาดการณ์อัตราการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

2.2 การคาดการณ์อัตราการชะล้างพังทลายดินด้วยแบบจำลอง Morgan-Morgan-Finney (MMF)

แบบจำลอง MMF แบ่งการคำนวณอัตราการชะล้างพังทลายดินออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนการประเมินปริมาณน้ำฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดิน และส่วนการประเมินปริมาณการเคลื่อนย้ายตะกอน ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นได้จากการรวมปริมาณตะกอนที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน และปริมาณที่เกิดจากน้ำไหลบ่าหน้าดิน จากนั้นนำเอาปริมาณตะกอนที่ได้มาเปรียบเทียบกับความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอน หากค่าใดมีค่าน้อยกว่าให้ถือเอาค่านั้นเป็นอัตราการชะล้างพังทลายดินของพื้นที่ลุ่มน้ำ

2.2.1 การคำนวณพลังงานของฝนและปริมาณตะกอนที่เกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝน

ขั้นตอนการคำนวณพลังงานของฝนทำได้โดยนำค่าปริมาณน้ำฝนมากำหนดอัตราส่วนของปริมาณเม็ดฝนที่ตกลงสู่พื้นหลังจากผ่านกระบวนการน้ำพืชยึดแล้วดังสมการที่ (1) และทำการประเมินพลังงานของเม็ดฝนที่ตกกระทบเม็ดดิน

โดยตรงและหยดน้ำไหลผ่านเรือนยอดลงมาตั้ง
สมการที่ (2) และสมการที่ (3)

$$ER=R*A \quad (1)$$

โดยที่ ER คือ พลังงานของเม็ดฝนที่ตกลงสู่พื้น
(จูล/ตารางเมตร)
R คือ ปริมาณน้ำฝน (มม.)
A คือ ปริมาณน้ำพืชยึด

$$LD=ER*CC \quad (2)$$

$$DT=ER-LD \quad (3)$$

โดยที่ LD คือ ปริมาณน้ำที่เหลือจากกระบวนการน้ำ
พืชยึด (มม.)

CC คือ ปริมาณปกคลุมของเรือนยอด

DT คือ ปริมาณน้ำไหลผ่านเรือนยอด (มม.)

พลังงานจลน์ของน้ำที่ไหลผ่านเรือนยอด
คำนวณได้จากความเข้มของฝนดังสมการที่ (4)

$$KE(DT)=DT*(29.8-(127.5/D)) \quad (4)$$

โดยที่ I คือ ความเข้มของฝน (มม./ชั่วโมง)

พลังงานจลน์ของปริมาณน้ำที่เหลือจาก
กระบวนการน้ำพืชยึดคำนวณได้จากความสูงของ
เรือนยอดปกคลุมตามค่าของ [26] ดังสมการที่ (5)

$$KE(LD) = (5.8*PH^{0.5})-5.87 \quad (5)$$

พลังงานของเม็ดฝนทั้งหมดที่ตกลงสู่
พื้นที่คำนวณได้จากสมการที่ (6) และปริมาณ
ตะกอนที่เกินจากการตกกระทบของเม็ดฝนคำนวณ
ได้จากสมการที่ (7)

$$KE = KE(DT) + KE(LD) \quad (6)$$

$$F = K*KE*10^{-3} \quad (7)$$

โดยที่ F คือ ปริมาณตะกอนที่เกิดจากการตก
กระทบของเม็ดฝน (กิโลกรัม/ตารางเมตร)

K คือ ค่าความคงทนของดินต่อการตก
กระทบของเม็ดฝน (กรัม/จูล)

KE คือ พลังงานของเม็ดฝนที่ตกลงสู่พื้น
(จูล/ตารางเมตร)

2.2.2 ปริมาณตะกอนที่เกิดจากน้ำไหลบ่า

หน้าดินและความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอน

การคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินจะ
เกิดก็ต่อเมื่อปริมาณฝนตกมากกว่าอัตราการซึมน้ำ
ผ่านผิวดินซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (8) และ
สมการที่ (9)

$$Q = R*\exp(-Rc/Ro) \quad (8)$$

$$Rc = 1000*MS*BD*EHD*Et/Eo \quad (9)$$

โดยที่ R คือ ปริมาณฝนรายปี (มม./ปี)

Rc คือ ความสามารถในการเก็บกักน้ำของ
ดินหรือความชื้นในดิน (มม.)

Ro คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนต่อจำนวนวันที่
ฝนตก (มม.)

MS คือ ปริมาณความชื้นในดินในระดับ
ความชื้นสนาม (%)

BD คือ ความพรุนของดิน (มิลลิกรัม/
ลูกบาศก์เมตร)

EHD คือ ความลึกของดินในระดับรากพืช
(เมตร)

Et/Eo คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณการ
คายระเหยจริงต่อการคายระเหยสูงสุด

การคำนวณปริมาณตะกอนที่เกิดจากการ
กระทำของกระบวนการน้ำไหลบ่าหน้าดินทำได้
โดยใช้สมการที่ (10) ซึ่งเสนอโดย [27] และสมการ
ที่ (11)

$$H = Z*Q^{1.5}*\sin(S(1-GC)*10^{-3}) \quad (10)$$

$$Z = 1/(0.5*COH) \quad (11)$$

โดยที่ H คือ ปริมาณตะกอนที่เกิดจากการ
กระบวนการน้ำไหลบ่าผิวดิน (กิโลกรัม
ต่อตารางเมตร)

Q คือ ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (มม.)

S คือ ความลาดชันของพื้นที่ (%)

Z คือ ความคงทนของเม็ดดิน

COH คือ การยึดเกาะตัวกันของเม็ดดิน
(kPa)

ความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอน
โดยน้ำไหลบ่าหน้าดินสามารถคำนวณได้จาก
สมการที่ (12)

$$TC = C * Q^2 * \sin(S * 10^{-3}) \quad (12)$$

โดยที่ C คือ ปัจจัยเรื่องพืชคลุมดิน (ใช้ค่า
เดียวกันกับแบบจำลอง USLE)

Q คือ ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (มม.)

S คือ ความลาดชัน (องศา)

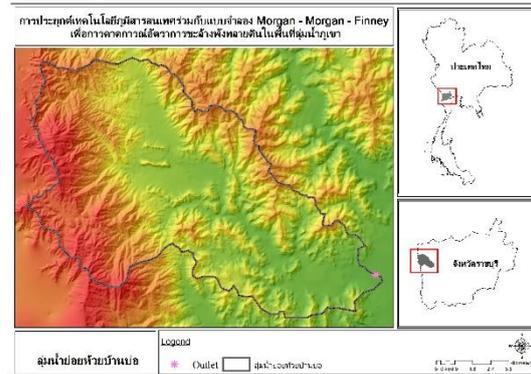
2.2.3 การประเมินอัตราการชะล้าง พังทลายดิน

การประเมินอัตราการชะล้างพังทลายดิน
ทำได้โดยการนำค่าปริมาณตะกอนที่เกิดจากการตก
กระทบของเม็ดฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินมารวมกัน
จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่า
ความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอน หากค่าใด
น้อยกว่าให้ถือเอาค่านั้นเป็นค่าอัตราการชะล้าง
พังทลายดิน [28]

2.3 พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ลุ่ม
น้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ อ.สวนผึ้ง จ.ราชบุรี (รูปที่ 1) ลุ่ม
น้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ ตั้งอยู่ระหว่างพิกัด 1507698
เหนือ ถึง 1494730 เหนือ และ 517938 ตะวันออก
ถึง 535645 ตะวันออก โดยมีพื้นที่ทั้งหมด 448.20
ตารางกิโลเมตร จุดต่ำสุดในลุ่มน้ำ 117 เมตรจาก
ระดับทะเลปานกลาง และจุดสูงสุดของลุ่มน้ำ 1,161

เมตรจากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะภูมิอากาศ
เป็นแบบทุ่งหญ้าสะวันนา ปริมาณฝนตกเฉลี่ย 70
มิลลิเมตรต่อปี และอุณหภูมิเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส
[29]

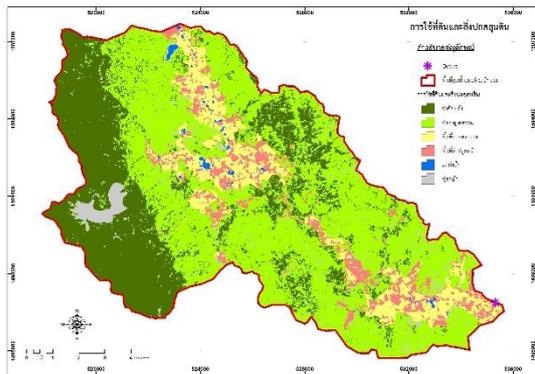


รูปที่ 1 พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ อ.สวนผึ้ง
จ.ราชบุรี

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

3.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

จากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและ
สิ่งปกคลุมดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM
บันทึกภาพเมื่อเดือนเมษายน พ.ศ.2558 และการลง
สำรวจเพื่อตรวจสอบการจำแนกพบว่าพื้นที่การใช้
ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินส่วนใหญ่เป็น
พื้นที่ป่าไม้ ซึ่งประกอบไปด้วยป่าดิบแล้งส่วนใหญ่
พอทางด้านตะวันตกของกลุ่มน้ำและป่าดิบเบญจ
พรรณซึ่งพบได้ทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยพื้นที่ป่าทั้ง 2
ประเภทรวมกันมีพื้นที่ 64,271.25 ไร่ คิดเป็นร้อยละ
79.40 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ รองลงมาเป็นพื้นที่
เกษตรกรรม ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมด 7,671.94 ไร่ คิดเป็น
ร้อยละ 9.48 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ส่วนพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง
มีพื้นที่ 5,267.25 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 6.51 ของพื้นที่
ลุ่มน้ำ พื้นที่ทุ่งหญ้ามีพื้นที่ 2,903.06 ไร่ คิดเป็นร้อย
ละ 3.59 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และพื้นที่ลุ่มน้ำมีพื้นที่
832.50 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.03 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ



รูปที่ 2 การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

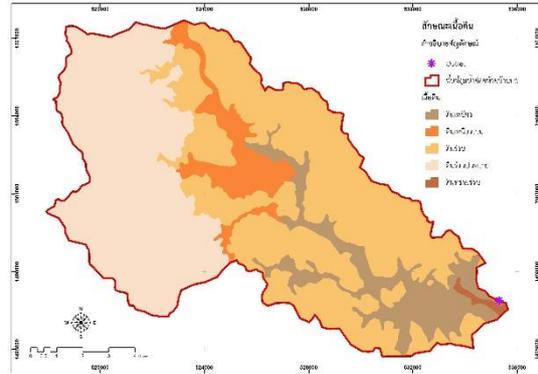
3.2 เนื้อดิน

จากข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน แสดงลักษณะเนื้อดินของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ พบว่าส่วนใหญ่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ มีเนื้อดินเป็นดินร่วน โดยมีเนื้อที่ 36,143.07 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 44.95 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ รองลงมา เป็นเนื้อดินร่วนปนทราย มีเนื้อที่ 29,141.77 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 36.24 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ส่วนเนื้อดินเหนียว ดินร่วนเหนียว และดินทราย มีเนื้อที่ 9,109.19 ไร่ 5,612.06 ไร่ และ 401.26 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 11.33 6.98 และ 0.50 ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ

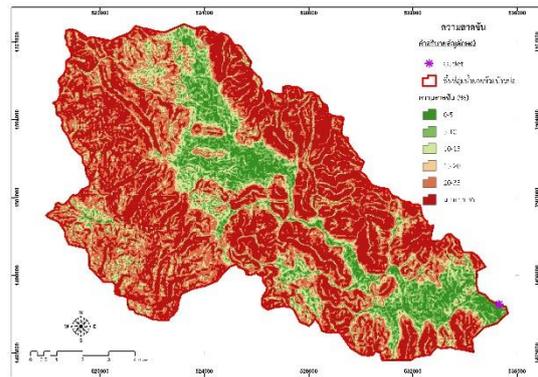
3.3 ความลาดชัน

จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข SRTM รายละเอียด 30x30 เมตร นำมาสร้างแบบจำลองความลาดชันในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีความลาดชันสูง โดยพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 มีพื้นที่ 31,479.75 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 39.15 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด ขณะที่พื้นที่ที่มีความลาดชันระหว่างร้อยละ 20 ถึง 35 มีพื้นที่ 21,690 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 26.98 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด โดยพื้นที่ที่มีความลาดชันระหว่างร้อยละ 0 ถึง 5 ซึ่งถือว่าเป็นที่ราบถึงที่ราบลอนคลื่น มีพื้นที่เพียง 6051.94 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 7.53 ของพื้นที่ลุ่มน้ำเท่านั้น จากข้อมูลความลาดชันที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ลุ่ม

น้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีความลาดชันสูง เนื่องจากมีสภาพภูมิประเทศหลักเป็นเทือกเขาสูงและกระจายตัวทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ



รูปที่ 3 ลักษณะเนื้อดินในพื้นที่ศึกษา



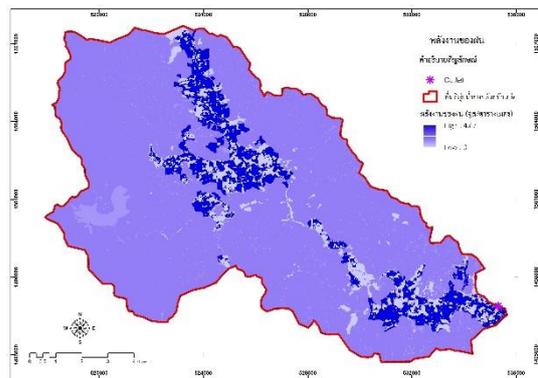
รูปที่ 4 ความลาดชันของพื้นที่ศึกษา

3.4 อัตราการชะล้างพังทลายดิน

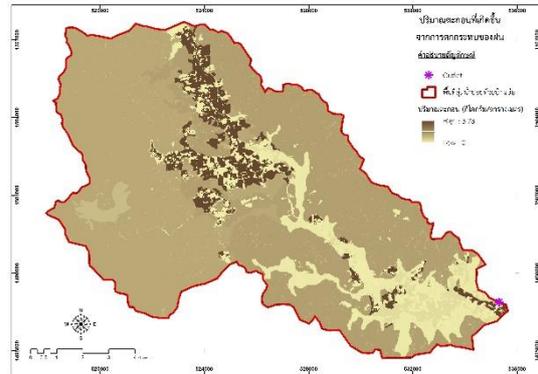
การศึกษาในครั้งนี้ได้ประยุกต์แบบจำลอง Morgan-Morgan-Finney ร่วมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ในการคาดการณ์อัตราการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำภูเขา โดยข้อมูลที่จำเป็นสำหรับนำเข้าคำนวณด้วยแบบจำลอง คือ ข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ข้อมูลลักษณะทางปฐพีวิทยา ข้อมูลความลาดชัน และข้อมูลลักษณะการตกของฝน เมื่อเตรียมข้อมูลดังกล่าวเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลทั้งหมดคำนวณอัตราการชะล้างพังทลายดิน ได้ผลลัพธ์ของการศึกษาดังต่อไปนี้

3.4.1 การชะล้างพังทลายดินจากการตกของฝน

จากข้อมูลที่จัดเตรียมไว้ ทำการคำนวณพลังงานของฝน (KE) ที่ตกผ่านเรือนยอดต้นไม้และตกกระทบดินโดยตรง (สมการที่ (1)-(6)) พบว่ามีพลังงานของฝนที่ตกลงสู่พื้นที่ลุ่มน้ำระหว่าง 0-4.76 จูลต่อตารางเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยของพลังงานดังกล่าวเท่ากับ 1.75 จูลต่อตารางเมตร โดยพบว่าในพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ที่ดินแบบเกษตรกรรมเป็นพื้นที่ที่มีพลังงานดังกล่าวมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่เกษตรกรรมมักเป็นพื้นที่ที่ไม่มีพืชปกคลุมหนาแน่นและนอกจากนี้ยังเป็นพื้นที่ที่ไม่มีพืชพื้นล่างที่ช่วยในการลดแรงกระทบจากฝนได้ จากพลังงานดังกล่าวสามารถคำนวณอัตราการชะล้างพังทลายดินด้วยการตกกระทบของฝน (F) (สมการที่ (7)) พบว่ามีปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นระหว่าง 0-3.78 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกอนที่เกิดจากการตกกระทบของฝนเท่ากับ 1.04 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และพบว่าในพื้นที่เกษตรกรรมจะเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณตะกอนที่เกิดจากฝนมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับพลังงานของฝนที่มีมากที่สุดในพื้นที่เกษตรกรรม



รูปที่ 5 พลังงานจากการตกของฝนในพื้นที่ศึกษา

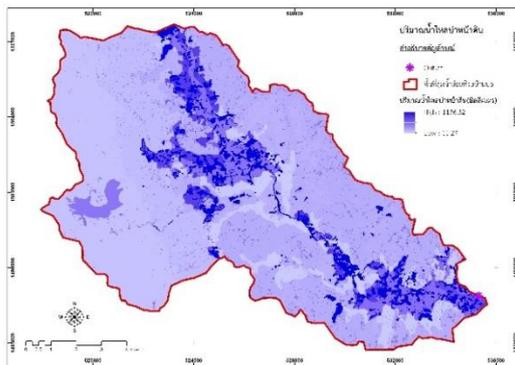


รูปที่ 6 ปริมาณตะกอนที่เกิดจากการตกกระทบของฝน

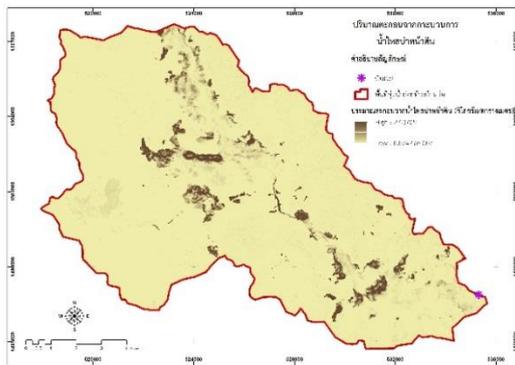
3.4.2 การชะล้างพังทลายดินด้วยน้ำไหลบ่าหน้าดิน และความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอน

ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินจะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำฝนมากกว่าอัตราการซึมน้ำของดิน น้ำที่เหลือจากการบวกรวมการซึมน้ำของดิน จะกลายเป็นน้ำไหลบ่าหน้าดิน ซึ่งปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (Q) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8) และ (9) พบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ มีปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินระหว่าง 11.27 – 1136.32 มิลลิเมตร โดยมีปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินเฉลี่ย 222.66 มิลลิเมตร และพบว่าปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินในพื้นที่เกษตรกรรมมากกว่าพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแบบอื่น โดยเฉพาะพื้นที่เกษตรกรรมที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง จะพบปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินได้มากที่สุด จากปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินที่ได้นำมาคำนวณหาปริมาณตะกอนที่เกิดจากการบวกรวมการน้ำไหลบ่าหน้าดิน (H) ตามสมการที่ (10) และ (11) พบว่า มีปริมาณตะกอนระหว่าง 0-27 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยมีปริมาณตะกอนเฉลี่ย 0.34 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งปริมาณตะกอนที่เกิดจากการบวกรวมการน้ำไหลบ่าหน้าดินจะพบมากที่สุดในพื้นที่เกษตรกรรมที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก

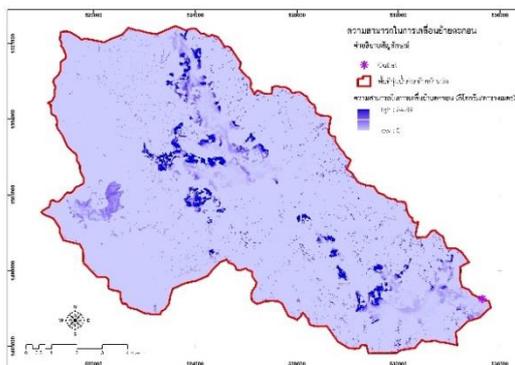
จากนั้นทำการคำนวณความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอน (TC) ของน้ำไหลบ่าหน้าดิน ด้วยสมการที่ (12) พบว่า ความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอนอยู่ระหว่าง 0-84.89 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยมีความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอนเฉลี่ย 1.02 กิโลกรัมต่อตารางเมตร



รูปที่ 7 ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 8 ปริมาณตะกอนที่เกิดจากกระบวนการน้ำไหลบ่าหน้าดิน

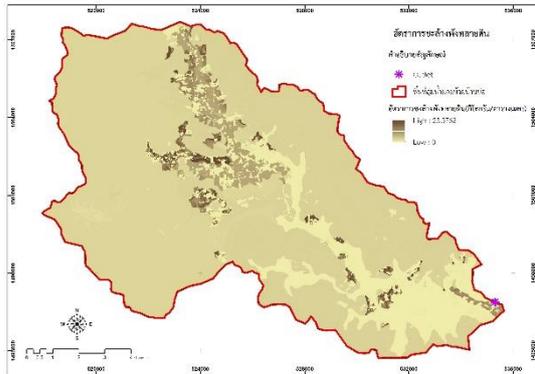


รูปที่ 9 ความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอนของน้ำไหลบ่าหน้าดิน

3.4.3 อัตราการชะล้างพังทลายดิน

จากปริมาณตะกอนที่เกิดจากกระบวนการตกกระทบของฝน (F) รวมกับปริมาณตะกอนที่เกิดจากกระบวนการน้ำไหลบ่าหน้าดิน (H) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอนของน้ำไหลบ่าหน้าดิน (TC) สามารถคาดการณ์อัตราการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อได้ โดยมีอัตราการชะล้างพังทลายดินระหว่าง 0 - 23.37 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยของอัตราการชะล้างพังทลายดินเท่ากับ 1.16 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

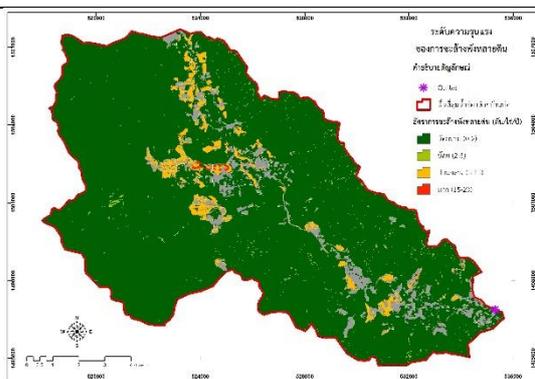
จากอัตราการชะล้างพังทลายดินที่คำนวณได้ นำมาจำแนกระดับความรุนแรงตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดินพบว่า อัตราการชะล้างพังทลายดินส่วนใหญ่อยู่ในระดับน้อยมาก ซึ่งมีเนื้อที่ 71,944.88 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 95.72 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ รองลงมา เป็นพื้นที่ที่มีอัตราการชะล้างพังทลายดินปานกลาง ซึ่งมีเนื้อที่ 2,634.19 ไร่ หรือร้อยละ 3.50 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ นอกจากนี้พื้นที่ที่มีอัตราการชะล้างพังทลายดินน้อยและมากมีพื้นที่ที่ 476.44 และ 108 คิดเป็นร้อยละ 0.63 และ 0.14 ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่มีการชะล้างพังทลายดินน้อยมากส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมดินเป็นป่าไม้สมบูรณ์ ส่วนพื้นที่ที่มีอัตราการชะล้างพังทลายดินปานกลางเป็นพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทเกษตรกรรม โดยเฉพาะพืชไร่ ซึ่งพื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก ซึ่งเป็นส่วนที่ส่งเสริมให้การชะล้างพังทลายดินมีความรุนแรงมากขึ้นได้



รูปที่ 10 อัตราการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 1 ระดับความรุนแรงของอัตราการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ

อัตราการชะล้างพังทลายดิน (ตัน/ไร่/ปี)	เนื้อที่ (ไร่)	เนื้อที่ (%)
น้อยมาก	71,944.88	95.72
น้อย	476.44	0.63
ปานกลาง	2,634.19	3.50
มาก	108.00	0.14
รวม	75,163.50	100.00



รูปที่ 11 อัตราการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ศึกษา

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ประยุกต์แบบจำลอง Morgan-Morgan-Finney (MMF) ร่วมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ เพื่อประเมินการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ

การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM บันทึกภาพเมื่อปี พ.ศ. 2558 มาทำการจำแนกพื้นที่เพื่อสร้างชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข SRTM รายละเอียด 30X30 เมตร เพื่อสร้างชั้นข้อมูลความลาดชัน ใช้แผนที่กลุ่มชุดดินจากกรมพัฒนาที่ดินเพื่อสร้างชั้นข้อมูลทางปฐพีวิทยา และใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 30 ปี สถานีสวนผึ้ง ของกรมอุตุนิยมวิทยาเพื่อสร้างชั้นข้อมูลลักษณะของฝนในพื้นที่ศึกษา จากนั้นนำเข้าชั้นข้อมูลที่เตรียมไว้เพื่อทำการคาดการณ์อัตราชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยแบบจำลอง MMF

จากการศึกษาพบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยบ้านบ่อ มีปริมาณพลังงานที่เกิดจากการตกกระทบของฝนเฉลี่ย 1.75 จูลต่อตารางเมตร และมีปริมาณตะกอนที่เกิดจากการตกกระทบของฝนเฉลี่ย 1.04 กิโลกรัมต่อตารางเมตร นอกจากนี้พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยบ้านบ่อมีปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินเฉลี่ย 222.66 มิลลิเมตร และมีปริมาณตะกอนที่เกิดจากน้ำไหลบ่าหน้าดินเฉลี่ย 0.34 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยรวมพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยบ้านบ่อมีปริมาณตะกอนที่เกิดจากการตกกระทบของฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินเฉลี่ย 1.16 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ส่วนอัตราการเคลื่อนย้ายตะกอนด้วยน้ำไหลบ่าหน้าดินเฉลี่ย 10.25 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

จากการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดในพื้นที่ลุ่มน้ำกับความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอนพบว่าปริมาณตะกอนที่เกิดในพื้นที่ลุ่มน้ำมีน้อยกว่าความสามารถในการเคลื่อนย้ายตะกอน ดังนั้นอัตราการชะล้างพังทลายดินเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยบ้านบ่อจึงเท่ากับ 1.16 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปีจากการจำแนกระดับความรุนแรงของอัตราการชะ

ล้างพังทลายดินตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีการชะล้างพังทลายดินในระดับน้อยมาก ซึ่งมีพื้นที่ 71,944.88 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 95.72 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ รองลงมา เป็นพื้นที่การชะล้างพังทลายดินปานกลาง ซึ่งมีเนื้อที่ 2634.19 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.50 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และมีพื้นที่การชะล้างพังทลายดินน้อยและพื้นที่ชะล้างดินมาก ซึ่งมีเนื้อที่ 476.44 และ 108 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.63 และ 0.14 ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่มีอัตราการชะล้างพังทลายดินน้อยมาก ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ ในขณะที่พื้นที่ที่มีอัตราการชะล้างพังทลายดินปานกลาง ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมบนพื้นที่ที่มีความลาดชัน จึงสามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นที่จากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรมโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลาดชันส่งผลให้อัตราการชะล้างพังทลายดินเพิ่มขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. J. Scherr, "Soil degradation: a threat to developing-country food security by 2020?" *Food, Agriculture, and Environment Discussion Paper 27, International Food Policy Research Institute*, Washington, DC, USA, 1999.
- [2] R. Lal, "Soil degradation by erosion," *Land Degradation and Development*, vol. 12, no. 6, pp. 519–539, 2001.
- [3] R. P. C. Morgan, "Soil Erosion and Conservation", *Blackwell, Malden, Mass, USA*, 3rd edition, 2005.
- [4] M. A. Zoebisch and E. DePauw, "Degradation and food security on a global scale," in *Encyclopedia of Soil Science*, R. Lal, Ed., pp. 281–286, Marcel Dekker, 2002.
- [5] R. Lal, "Soil quality and sustainability," in *Methods for Assessment of Soil Degradation*, R. Lal, W. H. Blum, C. Valentine, and B. A. Stewart, Eds., pp. 17–30, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 1998.
- [6] J. Ananda and G. Herath, "Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal," *Journal of Environmental Management*, vol. 68, no. 4, pp. 343–353, 2003.
- [7] L. Tamene, "Reservoir siltation in the drylands of northern Ethiopia: causes, source areas and management options" [*Ph.D.thesis*], *University of Bonn*, Bonn, Germany, 2005.
- [8] Wischmeier, W. H., and Smith, D. D. "Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky mountains." *Agricultural Handbook* No. 282, USDA, Washington, DC. 1965.
- [9] Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., and Porter, J. P. "RUSLE: Revised universal soil loss equation." *J. Soil Water Conserv.*, 46(1), 30–33. 1991.
- [10] Jones, A. J., Lal, R., and Huggins, D. R. "Soil erosion and productivity research: A regional approach." *Am. J. Altern. Agric.*, 12(04), 185–192. 1997.
- [11] Di Stefano, C., Ferro, V., and Porto, P. "Length slope factors for applying the

- revised universal soil loss equation at basin scale in southern Italy.” *J. Agric. Eng. Res.*, 75(4), 349–364. 2000.
- [12] Lal, R. “Soil degradation by erosion.” *Land Degrad. Dev.*, 12(6), 519–539. 2001.
- [13] Merritt, W. S., Letcher, R. A., and Jakeman, A. J. “A review of erosion and sediment transport models.” *Environ. Modell. Software*, 18(8–9), 761–799. 2003.
- [14] Lim, J. K., Sagong, M., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., and Kim, K. “GIS based sediment assessment tool.” *CATENA*, 64(1), 61–80. 2005.
- [15] Xu, Y., Shao, X., Kong, X., Peng, J., and Cai, Y. “Adapting the RUSLE and GIS to model soil erosion risk in a mountains karst watershed, Guizhou Province, China.” *Environ. Monit. Assess.*, 141(1–3), 275–286. 2008.
- [16] Ustun, B. “Soil erosion modelling by using GIS and remotesensing: A case study of Ganos Mountain.” *Int. Arch. Photogramm., Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 37, 1681–1684. 2008.
- [17] Gitas, I. Z., Douros, K., Minakou, C., Silleos, G. N., and Karydas, C. G. “Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model.” *EARSeL eProc.*, 8(1), 40–52. 2009.
- [18] Garg, V., and Jothiprakash, V. “Sediment yield assessment of a large basin using PSIAC approach in GIS environment.” *Water Resour. Manage.*, 26(3), 799–840. 2012.
- [19] Morgan, R. P. C. “Stability of agricultural ecosystems: Validation of a simple model for soil erosion assessment”, *International Institute for Applied Systems Analysis*, Laxenburg, Austria. 1982.
- [20] Morgan, R. P. C., et al. “The European soil erosion model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments.” *Earth Surf. Processes Landforms*, 23(6), 527–544. 1998.
- [21] Morgan, R. P. “A simple approach to soil loss prediction: A revised Morgan–Morgan–Finney model.” *CATENA*, 44(4), 305–322. 2001.
- [22] Velmurugan, A. S. T. P., Thakur, P. K., and Ravisankar, N. “Soil erosion estimation with Modified MMF model for watershed prioritization in Dhankari watershed of south Andaman, India.” *Indian J. Soil Conserv.*, 36(3), 179–187. 2008.
- [23] D. M. Fox and R. B. Bryan, “The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient,” *Catena*, vol.38, no.3, pp.211–222, 2000.
- [24] P. I. A. Kinnell, “AGNPS-UM: applying the USLE-M within the agricultural non point source pollution model,” *Environmental Modelling and Software*, vol. 15, no. 3, pp. 331–341, 2000.

- [25] USGS. "Land processes distributed active archive center." <http://lpdaac.usgs.gov> (Oct. 17, 2015).
- [26] Brandt, C.J., "Simulation of the size distribution and erosivity of raindrops and throughfall drops". *Earth Surface Processes and Landforms* 15, pp. 687-698. 1990.
- [27] Quansah, C., "Laboratory experimentation for the statistical derivation of equations for soil erosion modelling and soil conservation design". *PhD Thesis, Cranfield Institute of Technology*. 1982.
- [28] Wischmeier, W.H., Smith, D.D., "Predicting rainfall erosion losses", USDA. *Agricultural Research Service Handbook*, pp. 537. 1978.
- [29] K.Kiriwongwattanaa, S.P.Aggarwal, "Runoff and Soil Erosion Assessment for Watershed Conservation Planning - A Case Study of Asan Watershed" 4th *International Science, Social Science, Engineering and Energy Conference 2012, Proceeding - Science and Engineering* pp. 416-428, December 2012.