



วิทยานิพนธ์

การประเมินการชะล้างพังทลายของดินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดย
แบบจำลองคณิตศาสตร์

EVALUATION OF SOIL EROSION IN SONGKHLA LAKE
WATERSHED BY MATHEMATICAL MODEL

นายกิตติพงศ์ ทรงรักษ์เกียรติ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2549



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินการชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์

Evaluation of Soil Erosion in Songkhla Lake Watershed

by Mathematical Model

นามผู้วิจัย นายกิตติพงษ์ ทรงรักษเกียรติ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รศ.ศาสตราจารย์วินัย เลิศเจริญฤทธิ์, D.Eng.)

กรรมการ

(อาจารย์ชัยวัฒน์ ฐานุตตมวงศ์, Ph.D.)

กรรมการ

(รศ.ศาสตราจารย์สุวัฒนา จิตตลดากร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์มงคล คำรงค์ศรี, Dr.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รศ.ศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 22 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินการชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์

Evaluation of Soil Erosion in Songkhla Lake Watershed by Mathematical Model

โดย

นายกิตติพงศ์ ทรงรักษเกียรติ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-1837-9

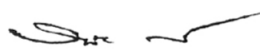
กิตติพงศ์ ทรงรักษ์เกียรติ 2549: การประเมินการชะล้างพังทลายของดินในลุ่มน้ำ
ทะเลสาบสงขลาโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์วินัย เกียงเจริญสิทธิ์, D.Eng. 100 หน้า
ISBN 974-16-1837-9

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาถึงการประเมินการชะล้างพังทลายของดินในลุ่มน้ำทะเลสาบ
สงขลา โดยใช้แบบจำลอง Morgan, Morgan and Finney 1984 (MMF) และมีระบบสารสนเทศ
ภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือในการประมวลผล สำหรับข้อมูลที่ใช้อ้างอิงแบบจำลองนั้น
ประกอบด้วย ปัจจัยด้านน้ำฝน (R, Rn, I) ปัจจัยทางดิน (MS, BD, K) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (C, A,
RD, E/E₀) และสภาพภูมิประเทศ

ผลการชะล้างพังทลายของดินจากแบบจำลอง MMF แบ่งออกเป็น 5 ระดับตามความ
รุนแรง คือ ระดับที่ 1 น้อยมาก (0-2 ตัน/ไร่/ปี) มีเนื้อที่ 4,425,001 ไร่ หรือร้อยละ 92.25 ของพื้นที่
ทั้งหมด ระดับที่ 2 น้อย (2-5 ตัน/ไร่/ปี) มีเนื้อที่ 210,729 ไร่ หรือร้อยละ 4.39 ของพื้นที่ทั้งหมด
ระดับที่ 3 ปานกลาง (5-15 ตัน/ไร่/ปี) มีเนื้อที่ 147,919 ไร่ หรือร้อยละ 3.08 ของพื้นที่ทั้งหมด
ระดับที่ 4 รุนแรง (15-20 ตัน/ไร่/ปี) มีเนื้อที่ 8,010 ไร่ หรือร้อยละ 0.17 ของพื้นที่ทั้งหมด และ
ระดับที่ 5 รุนแรงมาก (>20 ตัน/ไร่/ปี) มีเนื้อที่ 5,165 ไร่ หรือร้อยละ 0.11 ของพื้นที่ทั้งหมด และ
จากการเปรียบเทียบการชะล้างพังทลายของดินที่ประเมินโดยแบบจำลอง MMF กับสมการสูญเสีย
ดินสากล พบว่าพื้นที่ที่มีระดับการชะล้างพังทลายทั้ง 5 ระดับตรงกันมีค่าเท่ากับ 3,535,965 ไร่
หรือร้อยละ 73.71 ของพื้นที่ทั้งหมด ในส่วนของปริมาณการสูญเสียดินจากพื้นที่ลุ่มน้ำพบว่ามีความ
เท่ากับ 3,213,385 ตันต่อปี โดยเป็นปริมาณการสูญเสียดินจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยทางตะวันตกของ
ทะเลสาบสงขลาเท่ากับ 2,883,832 ตันต่อปี สำหรับปริมาณตะกอนแขวนลอยในคลองสายที่ไหล
ลงสู่ทะเลสาบสงขลาทางฝั่งตะวันตก จากการศึกษาค้นคว้ามีค่าเท่ากับ 247,248 ตันต่อปี เมื่อนำผล
การศึกษาดังกล่าวมาคำนวณอัตราส่วนการพัดพาตะกอน พบว่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนของ
ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.57

กิตติพงศ์ ทรงรักษ์เกียรติ

ลายมือชื่อนิติ



ลายมือชื่อประธานกรรมการ

10 / พ.ศ. / 2549

Kittiphong Songrukkiat 2006: Evaluation of Soil Erosion in Songkhla Lake Watershed
by Mathematical Model. Master of Engineering (Environmental Engineering),
Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering.
Thesis Advisor: Associate Professor Winai Liengcharernsit, D.Eng. 100 pages.
ISBN 974-16-1837-9

This thesis studied the evaluation of soil erosion in Songkhla Lake Watershed using Morgan, Morgan and Finney 1984 (MMF) model and geographic information systems. The input data which were used in MMF model included factors of rain (R, Rn), soil (MS, BD, K), land use (C, A, RD, E_t/E_0) and geography.

The results of soil loss from MMF model could be identified into 5 levels due to the degree of soil loss. Level 1 was very slight with 0-2 ton/rai/year. This area was 4,425,001 rai or 92.25 percent of the total studied area. Level 2 was slight with 2-5 ton/rai/year. This area was 210,729 rai or 4.39 percent of total studied area. Level 3 was moderate with 5-15 ton/rai/year. This area was 147,919 rai or 3.08 percent of total studied area. Level 4 was severe with 15-20 ton/rai/year. This area was 8,010 rai or 0.17 percent of total studied area. Level 5 was very severe with more than 20 ton/rai/year. This area was 5,165 rai or 0.11 percent of total studied area. Moreover, the comparison between soil erosion by using MMF model and Universal Soil Loss Equation found that the area which were the same in the 5 levels of the degree of soil loss was 3,535,965 rai or 73.71 percent of total studied area. The amount of soil loss from watershed was 3,213,385 ton per year which was almost all from the amount of soil loss from the sub-watershed in the west of Songkhla Lake of 2,883,832 ton per year. The total amount of canal's suspended sediment that ended up to the west of Songkhla Lake was 247,248 ton per year. According to the overall study, it was found that the sediment delivery ratio of Songkhla Lake Watershed was 8.57 percent.

Kittiphong Songrukkiat

Student's signature

Winai Liengcharernsit

Thesis Advisor's signature

10 / May / 2006

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วินัย เลียงเจริญสิทธิ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำ รวมถึงการให้แนวคิดในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ จนกระทั่งการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลง ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. มณฑล ฐานุดตมวงศ์ กรรมการวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร. สุวัฒนา จิตตลดากร กรรมการวิชาการ อาจารย์ ดร. ประมุข ภาระกุลสุขสถิตย์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ กรมพัฒนาที่ดิน กรมควบคุมมลพิษ และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ประกอบในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากนี้ต้องขอขอบพระคุณ คุณจุฑารัตน์ บุญรัตน์ เจ้าหน้าที่คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดลอม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานในการออกสำรวจภาคสนาม รวมถึงขอขอบพระคุณ อาจารย์ นุสริน สินบัวทอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อุษมา วิเศษสุมน อาจารย์ ยุทธชัย อนุรักษ์พันธุ์ และ ดร. ปิ่นเพชร บุญสุข ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณอา และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัว รวมถึง คุณเดือนจรัส ศิริปานิ ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กิตติพงษ์ ทรงรักษ์เกียรติ์

พฤษภาคม 2549

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตการศึกษา	3
การตรวจเอกสาร	5
ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	5
การชะล้างพังทลายของดิน	14
แบบจำลองคณิตศาสตร์	20
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	33
ผลและวิจารณ์	47
ปัจจัยและกระบวนการในการประเมินการชะล้างพังทลายของดิน	47
การชะล้างพังทลายของดินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	74
การตรวจสอบแบบจำลอง	78
การประเมินอัตราส่วนการพัดพาตะกอน	83
แนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาการชะล้างพังทลายของดิน	87
สรุปและข้อเสนอแนะ	89
สรุป	89
ข้อเสนอแนะ	90
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	92

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก	95
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	100

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สภาพภูมิอากาศของสถานีตรวจอากาศอำเภอเมืองสงขลา ระหว่าง ปี พ.ศ.2514-2543	8
2	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนของกลุ่มน้ำย่อยทางตะวันตกของทะเลสาบสงขลา	12
3	รายชื่อสถานีวัดตะกอนและสถิติปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยรายปี	28
4	ค่าของแข็งแขวนลอยบริเวณปากคลองสายหลักที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา	30
5	ที่มาและรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	34
6	การเตรียมข้อมูลที่ใช้ประมวลผลในแบบจำลอง MMF	35
7	การจัดระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายดิน	43
8	แผนงานรายละเอียดการดำเนินการศึกษาวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์	46
9	ค่าปัจจัยทางกายภาพของดินที่ใช้ในแบบจำลอง MMF จำแนกตามกลุ่มชุดดิน	49
10	ค่าดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝนจำแนกตามเนื้อดิน	50
11	ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง MMF จำแนกตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน	52
12	พื้นที่การชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	74
13	ปริมาณการสูญเสียดินในกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	76
14	พื้นที่การชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	77
15	เปรียบเทียบอัตราการชะล้างพังทลายของดิน โดยแบบจำลอง MMF กับการศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน	78
16	ค่าของแข็งแขวนลอยบริเวณปากคลองสายหลักจากการตรวจวัดภาคสนาม	84
17	อัตราส่วนการพัดพาตะกอนของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	85

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของทะเลสาบสงขลา	7
2	การแบ่งลำน้ำและลุ่มน้ำย่อยในระบบทะเลสาบสงขลา	11
3	แผนภาพแสดงการแบ่งประเภทของแบบจำลองคณิตศาสตร์	22
4	ข้อมูลและขั้นตอนในการประเมินการชะล้างพังทลายดินโดยใช้แบบจำลอง MMF	44
5	แผนที่แสดงค่าปริมาณน้ำฝนรายปี (annual rainfall)	53
6	แผนที่แสดงค่าจำนวนวันฝนตกในรอบปี (rainy day)	54
7	แผนที่แสดงค่าความหนักเบาของฝน (rainfall intensity)	55
8	แผนที่แสดงค่าความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (moisture content at field capacity)	56
9	แผนที่แสดงค่าความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density)	57
10	แผนที่แสดงค่าดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (soil detachability index)	58
11	แผนที่แสดงค่าปัจจัยการปกคลุมของพืชพันธุ์ (crop cover factor)	59
12	แผนที่แสดงค่าร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (crop interception percent factor)	60
13	แผนที่แสดงค่าความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (rooting depth)	61
14	แผนที่แสดงค่าอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (ratio of actual to potential evapotranspiration)	62
15	แผนที่แสดงค่าระดับความสูงของภูมิประเทศ (elevation)	63
16	แผนที่แสดงค่าพลังงานจลน์ของเม็ดฝน (kinetic energy of rainfall)	67
17	แผนที่แสดงค่าปริมาณเม็ดดินที่แตกกระจาย (soil detachment)	68
18	แผนที่แสดงค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวัน (mean rainfall per rainy day)	69
19	แผนที่แสดงค่าปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ (soil moisture capacity under actual vegetation)	70
20	แผนที่แสดงค่าปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (overland flow)	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	แผนที่แสดงค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (slope gradient)	72
22	แผนที่แสดงค่าปริมาณเมื่อดินที่ถูกพัดพา (soil transportation)	73
23	แผนที่แสดงระดับความรุนแรงการชะล้างพังทลายของดิน ในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยแบบจำลอง MMF	75
24	การเปรียบเทียบการชะล้างพังทลายของดินระหว่างการประเมินโดยแบบจำลอง MMF และสมการสูญเสียดินสากล	79
25	แผนที่แสดงระดับความรุนแรงการชะล้างพังทลายของดิน ในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยสมการสูญเสียดินสากล	81
26	แผนที่แสดงการเปรียบเทียบอัตราการชะล้างพังทลายของดินระหว่างการประเมิน โดยแบบจำลอง MMF และสมการสูญเสียดินสากล	82
27	แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ค่าตะกอนแขวนลอย	86

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

MMF	=	แบบจำลอง Morgan, Morgan and Finney 1984
USLE	=	สมการสูญเสียดินสากล
SDR	=	อัตราส่วนการพัดพาตะกอน
R	=	ปริมาณน้ำฝนรายปี
R _n	=	จำนวนวันฝนตกในรอบปี
I	=	ความหนักเบาของฝน
MS	=	ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม
BD	=	ความหนาแน่นรวมของดิน
K	=	ดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน
C	=	ปัจจัยการปกคลุมของพืชพันธุ์
A	=	ร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้
RD	=	ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้
E_t/E_0	=	อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด
E	=	พลังงานจลน์ของฝน
R ₀	=	น้ำฝนเฉลี่ยต่อวันในหนึ่งปี
R _c	=	ปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้
S	=	ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ
Q	=	ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน
D	=	ปริมาณเม็ดดินที่แตกกระจาย
T	=	ปริมาณเม็ดดินที่ถูกพัดพาไปกับน้ำไหลบ่า

การประเมินการชะล้างพังทลายของดินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์

Evaluation of Soil Erosion in Songkhla Lake Watershed by Mathematical Model

คำนำ

การชะล้างพังทลายของดินเป็นกระบวนการอันเนื่องมาจากแรง ซึ่งอาจเกิดจากน้ำ ลม หรือ แรงโน้มถ่วงของโลก มากระทำให้อนุภาคดินแตก แยกออกจากกัน แล้วเคลื่อนย้ายอนุภาคดิน ดังกล่าวไปตกตะกอนทับถมอีกแห่งหนึ่ง การชะล้างพังทลายดินนั้นก่อให้เกิดผลกระทบในทางบวก ในบางกรณี เช่น การเกิดพื้นที่ราบลุ่มปากแม่น้ำ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่น้ำพัดพาเอาตะกอนที่เกิดจากการชะล้างพังทลายดินมากับน้ำ และมาทับถมกันที่ปากแม่น้ำ จนเกิดเป็นที่ราบลุ่มซึ่งมีธาตุอาหารพืชที่อุดมสมบูรณ์ ตัวอย่างเช่น ที่ราบลุ่มเจ้าพระยาที่เกิดมาจากการทับถมของตะกอนดินเป็น เวลายาวนาน แต่อย่างไรก็ตามปัญหาการชะล้างพังทลายของดินนั้นนับว่าเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ที่สำคัญปัญหาหนึ่ง โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการชะล้างพังทลายดินนั้นได้แก่ การสูญเสียหน้าดิน เกิดมลภาวะในแหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ซึ่งผลกระทบดังกล่าวจะกระทบต่อไปยังสภาพ ความเป็นอยู่ของมนุษย์ และทำให้เกิดปัญหาทางเศรษฐกิจและสังคมต่อไปได้

ปัญหาการชะล้างพังทลายของดินนั้น มีจุดเริ่มต้นมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากร และ ความต้องการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ตลอดจนการใช้ทรัพยากรดินเพื่อการยังชีพที่ขาดการ วางแผนอย่างเหมาะสม เช่น การทำการเกษตรโดยปราศจากมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ขาดการ วางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างเหมาะสม จากสาเหตุดังกล่าวทำให้หลายพื้นที่ในประเทศไทย ประสบกับปัญหาการชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งเป็นผลทำให้ทรัพยากรดินเสื่อมลง อันเนื่องมาจากการ สูญเสียธาตุอาหารพืชในดินที่จำเป็นต่อการเกษตรกรรม นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงตะกอนดินที่ ถูกพัดพาไปกับน้ำท่า จะพบว่าตะกอนดินดังกล่าวก่อให้เกิดผลเสียต่อทรัพยากรน้ำไปด้วย เนื่องจาก ถ้าในแหล่งน้ำมีตะกอนดินแขวนลอยในปริมาณมาก จะทำให้น้ำเกิดความขุ่น แสงแดดไม่สามารถ ส่องลงไปยังแหล่งน้ำ และส่งผลกระทบต่อพืชและสัตว์น้ำ นอกจากนี้ตะกอนดินที่ตกทับถมกันก็ทำ ให้เกิดการตื้นเขินของแหล่งน้ำ จนทำให้ระบบนิเวศทางน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้

ปัจจุบันทะเลสาบสงขลาประสบกับปัญหาทางสิ่งแวดล้อมหลายประการ ปัญหาการตื้นเขินของทะเลสาบสงขลานั้นก็เป็นปัญหาหนึ่งซึ่งส่งผลกระทบตั้งแต่อดีตมาถึงปัจจุบัน โดยมีสาเหตุเนื่องจากการทับถมของตะกอนที่มาจากพื้นที่ลุ่มน้ำโดยรอบ อันที่จริงการสะสมของตะกอนในทะเลสาบสงขลาเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เป็นตัวการในการทำให้เกิดการชะล้างพังทลายดินมากขึ้น ซึ่งปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายจากพื้นที่ที่มากขึ้น เป็นสาเหตุให้อัตราการตกตะกอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหาและความจำเป็นในการแก้ปัญหาด้านทรัพยากรดินและน้ำ จึงได้ยกเอาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นกรณีศึกษา โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ดินที่ถูกชะล้างพังทลายและเคลื่อนย้ายไปจากตำแหน่งเดิม และตะกอนดินที่แขวนลอยไปกับน้ำทำในคลองสายหลักจนไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา ในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินนั้นเป็นการศึกษาซึ่งเน้นการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และแบบจำลองคณิตศาสตร์มาอธิบายปรากฏการณ์ ตลอดจนนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา ในศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลอง Morgan, Morgan and Finney 1984 (MMF) เพื่อประเมินการชะล้างพังทลายดิน โดยกลไกการพิจารณาของแบบจำลอง MMF นั้นจะพิจารณากระบวนการแตกกระจายของดิน และการพัฒนาอนุภาคดินที่แตกกระจาย เมื่อได้ผลการศึกษาทั้ง 2 ส่วนมาแล้ว จะใช้ผลของกระบวนการที่มีค่าน้อยกว่าอีกกระบวนการหนึ่ง เป็นตัวจำกัดการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ หรืออาจกล่าวได้ว่ากระบวนการที่มีค่าน้อยกว่าจะเป็นปริมาณการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้น ในส่วนของปริมาณตะกอนที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา จะทำการประเมินปริมาณตะกอนดินที่แขวนลอยไปกับน้ำทำในคลองสายหลัก เป็นตัวแทนของตะกอนดินที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา และเมื่อทราบถึงปริมาณการชะล้างพังทลายของดินและตะกอนแขวนลอยแล้ว จะใช้ข้อมูลทั้ง 2 ส่วนนี้เพื่อคำนวณค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ในการประเมินการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือ
2. เพื่อศึกษาการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และนำมาจัดทำแผนที่การชะล้างพังทลายดิน
3. เพื่อหาค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ และมีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือ ซึ่งขอบเขตการศึกษามีดังนี้

1. พื้นที่ศึกษา คือ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ครอบคลุมพื้นที่ 3 จังหวัด ได้แก่ พัทลุง สงขลา และนครศรีธรรมราช มีพื้นที่ประมาณ 8,754 ตารางกิโลเมตร
2. ทำการรวบรวมข้อมูลที่ต้องนำเข้าสู่แบบจำลองจาก กรมพัฒนาที่ดิน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมควบคุมมลพิษ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
 - 2.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี ข้อมูลจำนวนวันฝนตก
 - 2.2 ข้อมูลด้านดิน ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลกายภาพของดิน
 - 2.3 ข้อมูลด้านน้ำ ได้แก่ ปริมาณน้ำท่า และปริมาณตะกอน

3. ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์กับพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือ โดยโปรแกรมที่ใช้คือ

3.1 โปรแกรม Arcview GIS Version 3.3 พร้อม Spatial Analyst 2.0 (ESRI, USA)

3.2 โปรแกรม ArcInfo 9 ในชุดโปรแกรม ArcGIS (ESRI, USA)

3.3 โปรแกรม ILWIS 3.2 Academic (ITC, The Netherlands)

4. ประเมินระดับการชะล้างพังทลายดิน ปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ และอัตราส่วนการพัดพาตะกอน

5. จัดทำแผนที่การชะล้างพังทลายของดิน รวมถึงทำการเสนอแนะแนวทางป้องกันและแก้ไขผลกระทบที่เกิดจากการชะล้างพังทลายดิน

การตรวจเอกสาร

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

1. สภาพภูมิประเทศ

ทะเลสาบสงขลา เป็นทะเลสาบแห่งเดียวของประเทศไทย ที่เป็นทะเลสาบแบบ ลาอูน (lagoon) ขนาดใหญ่ เป็นแอ่งรองรับน้ำจืด (น้ำฝน น้ำจืดจากคลอง และน้ำหลากจากแผ่นดิน) โดยมีน้ำเค็มจากทะเลไหลเข้ามาผสมผสาน ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่ประมาณ 8,754 ตารางกิโลเมตร ความยาวจากเหนือจรดใต้ประมาณ 150 กิโลเมตร และจากตะวันออกจรดตะวันตกประมาณ 65 กิโลเมตร เป็นแผ่นดิน (รวมเกาะ) ประมาณ 7,712 ตารางกิโลเมตร และเป็นพื้นที่ทะเลสาบประมาณ 1,042 ตารางกิโลเมตร ทางเหนือของทะเลสาบเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่เรียกว่า พรุควนเคร็ง มีพื้นที่ประมาณ 125 ตารางกิโลเมตร (รวมทะเลน้อย) ในพรุควนเคร็งมีทะเลสาบน้ำจืดขนาดเล็กเรียกว่า ทะเลน้อย ขนาดประมาณ 27 ตารางกิโลเมตร ส่วนทางตะวันออกเป็นที่ราบชายฝั่งทะเลติดกับอ่าวไทย ทิศตะวันตกของกลุ่มน้ำ มีเทือกเขาบรรทัดเป็นสันปันน้ำ ทอดตัวยาวในแนวเหนือ-ใต้ ความสูงเฉลี่ยประมาณ 1,200 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง (mean sea level) ลดระดับลงไปทางทิศตะวันออกจน ส่วนทางด้านทิศใต้เป็นส่วนหนึ่งของแนวเทือกเขาสันกาลาคีรี เทือกเขาทั้งสองนี้ปกคลุมไปด้วยป่าไม้ และเป็นแหล่งต้นน้ำของกลุ่มน้ำนี้ ถัดจากพื้นที่ภูเขาลงมาทางตะวันออกเป็นที่ราบสลับเนินเขาเตี้ย ๆ เริ่มตั้งแต่ตอนเหนือ ขนานกับแนวเทือกเขาบรรทัด ไปจนถึงตอนใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ถัดลงมาอีกจะเป็นที่ราบขนาดใหญ่ล้อมรอบด้วยทะเลสาบ พื้นที่นี้เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำที่รับน้ำจากพื้นที่ภูเขาแล้วไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา

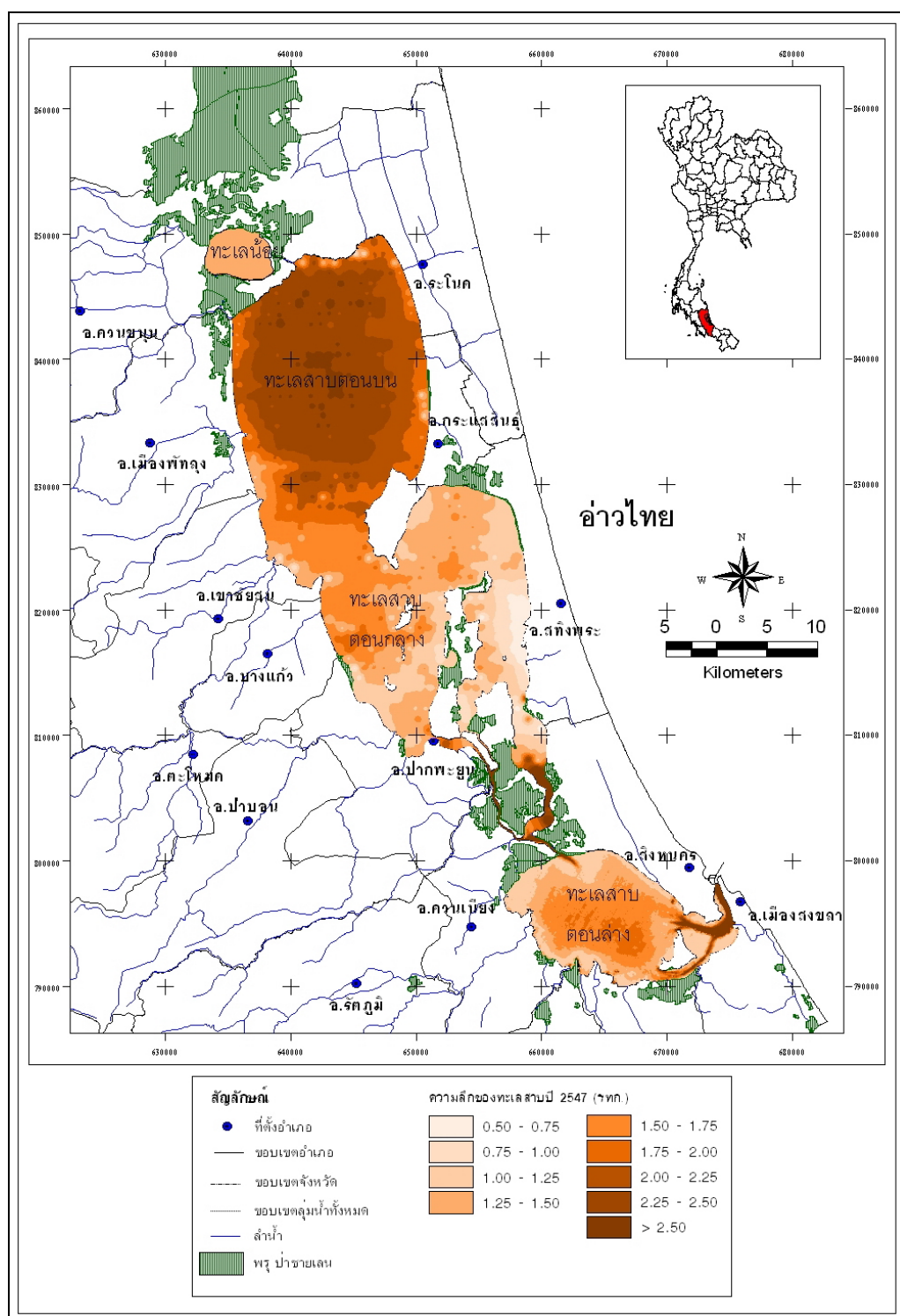
สำหรับทะเลสาบสงขลา นั้นมีลักษณะสอดคล้องเป็นตอนแบ่งได้เป็น 4 ส่วน แสดงดังภาพที่ 1 โดยตอนบนสุดอยู่ในพรุควนเคร็ง ตอนล่างสุดเชื่อมต่อกับอ่าวไทย บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ทำให้น้ำและระบบนิเวศในทะเลสาบได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล อย่างไรก็ตามทะเลสาบสงขลา มีความแตกต่างของระดับน้ำขึ้นน้ำลงไม่มากนัก สำหรับรายละเอียดส่วนต่าง ๆ ทั้ง 4 ส่วนของระบบทะเลสาบสงขลา มีดังนี้

1.1 ทะเลน้อย อยู่ทางตอนบนสุดของพื้นที่ทะเลสาบสงขลา ในเขตจังหวัดพัทลุง มีพื้นที่ประมาณ 27 ตารางกิโลเมตร เป็นทะเลสาบน้ำจืด ลึกเฉลี่ยประมาณ 1.2 เมตร มีคลองเชื่อมต่อกับทะเลสาบตอนบน คือ คลองนางเรียม คลองบ้านกลาง และคลองขวน

1.2 ทะเลสาบตอนบน (ทะเลหลวง) อยู่ห่างจากทะเลน้อยลงไปถึง ตำบลเกาะใหญ่ อำเภอกระเส็นรุ้ง จังหวัดสงขลา บ้านแหลมจองถนน อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง และทางตะวันออกของทะเลสาบ ทางฝั่งตะวันตกของทะเลสาบ มีพื้นที่ประมาณ 473 ตารางกิโลเมตร ลึกเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร มีคลองท่าแนะ คลองนาท่อม และคลองท่ามะเดื่อระบายลงสู่ทะเลสาบตอนบน อิทธิพลของน้ำทะเลขึ้น-ลง ในทะเลสาบตอนบนมีน้อยมาก พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ยไม่เกิน 0.09 เมตร ส่วนใหญ่ของรอบปีน้ำจะเป็นน้ำจืด แต่บางปีที่แล้งจัดจะมีการรุกตัวของน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้ง อาจทำให้ค่าความเค็มสูงถึง 10 psu (practical salinity unit)

1.3 ทะเลสาบตอนกลาง (ทะเลสาบ) อยู่ห่างลงไปจาก ตำบลเกาะใหญ่ อำเภอกระเส็นรุ้ง จังหวัดสงขลา ลงไปถึงบริเวณบ้านปากกรอ ตำบลปากกรอ อำเภอลี้หอนคร จังหวัดสงขลา มีพื้นที่ประมาณ 360 ตารางกิโลเมตร ลึกเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร มีเกาะต่าง ๆ ได้แก่ เกาะสี่-เกาะห้า เกาะหมาก เกาะนางคำ ทะเลสาบตอนกลางเชื่อมต่อกับทะเลสาบตอนล่างโดยคลองหลวงและอ่าวท้องแบน มีคลองพรุพ้อ คลองพานไทร และคลองป่าบอน ระบายลงสู่ทะเลสาบตอนกลาง บริเวณทะเลสาบตอนกลางนี้ ได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลขึ้นลงบ้าง พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ยบริเวณปากกรอประมาณ 0.11 เมตร การผสมผสานของน้ำเค็มและน้ำจืดในสัดส่วนที่ต่างกันในฤดูฝนและฤดูแล้ง ทำให้ระบบนิเวศเป็นทั้งน้ำจืดและน้ำกร่อย ความเค็มจึงอยู่ในช่วง 0-20 psu ขึ้นกับฤดูกาล

1.4 ทะเลสาบตอนล่าง (ทะเลสาบสงขลา) มีพื้นที่เริ่มจากบ้านปากกรอ ตำบลปากกรอ อำเภอลี้หอนคร จังหวัดสงขลา ไปจนถึงจุดที่เชื่อมต่อกับอ่าวไทยที่ปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา พื้นที่ของทะเลสาบตอนล่างประมาณ 182 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร ยกเว้นที่ปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาจะลึกประมาณ 12-14 เมตร มีคลองหลายสายที่ระบายน้ำลงสู่ทะเลสาบตอนล่าง ได้แก่ คลองอู่ตะเภา คลองรัตภูมิ คลองบางโหนด คลองพะวง เป็นต้น ทะเลสาบส่วนนี้ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลขึ้นและน้ำลงมากกว่าส่วนอื่น โดยมีพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ยที่ปากร่องน้ำประมาณ 0.6 เมตร ค่าความเค็มของน้ำในฤดูแล้งอยู่ในช่วง 23-30 psu แต่ฤดูฝนค่าความเค็มที่ผิวเกือบเป็นศูนย์ ทะเลสาบส่วนนี้มีการวางเครื่องมือประมงประเภทไชนั่งและโปงพางเกือบทั่วทั้งทะเลสาบ



ภาพที่ 1 ลักษณะของทะเลสาบสงขลา

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548)

2. สภาพภูมิอากาศ

พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ฝนตกเกือบตลอดปี และมีเพียง 2 ฤดู คือ

2.1 ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนมกราคม แบ่งเป็น 2 ระยะ ระยะแรก ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงกันยายนเป็นช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดผ่านมหาสมุทรอินเดีย ช่วงนี้มีฝนตกน้อย ระยะที่ 2 ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงมกราคม ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านอ่าวไทยทำให้ฝนตกชุก

2.2 ฤดูแล้ง เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ช่วงนี้จะได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นลมร้อนและชื้นทำให้อากาศร้อนโดยในเดือนเมษายนจะมีอากาศร้อนที่สุด

ตารางที่ 1 สภาพภูมิอากาศของสถานีตรวจอากาศอำเภอเมืองสงขลา ระหว่าง ปี พ.ศ.2514-2543

เดือน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)			ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	
ม.ค.	29.6	24.3	27.2	85	68	75	54.6
ก.พ.	30.4	24.4	27.7	86	66	75	37.0
มี.ค.	31.4	24.6	28.4	88	65	75	43.9
เม.ย.	32.4	24.9	29.1	90	64	75	77.6
พ.ค.	32.9	25.0	29.1	90	63	76	119.5
มิ.ย.	32.8	24.7	28.8	90	61	75	93.1
ก.ค.	32.7	24.3	28.6	90	60	75	88.0
ส.ค.	32.7	24.3	28.5	90	59	74	111.4
ก.ย.	32.1	24.2	28.1	91	63	76	130.0
ต.ค.	31.0	24.1	27.6	93	68	81	252.2
พ.ย.	29.5	24.1	26.9	93	74	83	567.3
ธ.ค.	29.0	24.1	26.7	89	73	80	420.3
ในรอบปี	31.4	24.4	28.1	90	65	77	1994.9

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2547)

3. ลำน้ำและลุ่มน้ำย่อยในระบบทะเลสาบสงขลา

กรมชลประทานได้แบ่งพื้นลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาออกเป็นลุ่มน้ำย่อย 12 ลุ่มน้ำย่อย โดยแบ่งตามลำน้ำสายหลักที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา 8 สาย ดังนี้

3.1 ลุ่มน้ำย่อยคลองป่าพะยอม มีพื้นที่ประมาณ 805 ตารางกิโลเมตร มีคลองป่าพะยอมเป็นลำน้ำสายหลักความยาวประมาณ 33 กิโลเมตร มีคลองขนาดเล็กไหลมารวมกัน ได้แก่ คลองดลิ่งชัน คลองกระดิน เป็นต้น ต้นน้ำคือเทือกเขาบรรทัด ไหลผ่านเขตอำเภอป่าพะยอม อำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง ปลายน้ำแยกออกเป็น 2 สาย โดยสายที่ 1 ไหลลงสู่พรุควนเคร็ง จังหวัดพัทลุง และ จังหวัดนครศรีธรรมราช สายที่ 2 ไหลลงไปรวมกับคลองท่าแนะที่บ้านประดู่เรียง ตำบลพนางตุง อำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง

3.2 ลุ่มน้ำย่อยคลองท่าแนะ มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 353 ตารางกิโลเมตร มีคลองท่าแนะเป็นคลองสายหลัก ความยาวประมาณ 38 กิโลเมตร มีคลองขนาดเล็กหลายสายไหลมารวมกัน ได้แก่ คลองโกงน้ำ คลองมะกอกใต้ คลองเหมืองแดน เป็นต้น ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขาบรรทัด ไหลผ่านเขตอำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง ลงสู่ทะเลน้อยที่บ้านประเหนือ ตำบลพนางตุง อำเภอกวนขนุน

3.3 ลุ่มน้ำย่อยคลองนาท่อม มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 747 ตารางกิโลเมตร มีคลองนาท่อมเป็นลำน้ำสายหลัก ความยาวประมาณ 42 กิโลเมตร มีคลองขนาดเล็กหลายสายไหลมารวมกัน ได้แก่ คลองวัดนาโอ คลองนุ้ยคลองลำปำ คลองท่าแค เป็นต้น ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขาบรรทัด ไหลผ่าน อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง ลงสู่ทะเลหลวงที่บ้านลำปำ ตำบลลำปำ อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง

3.4 ลุ่มน้ำย่อยคลองท่าเชียด มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 759 ตารางกิโลเมตร มีคลองท่าเชียดเป็นลำน้ำสายหลัก ความยาวประมาณ 42 กิโลเมตร มีคลองขนาดเล็กหลายสายไหลมารวมกัน ได้แก่ คลองหัวช้าง คลองโถ๊ะจังกระ คลองตะโหมด คลองทะเลพระ คลองบางแก้ว เป็นต้น ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขาบรรทัด ไหลผ่านเขตอำเภอตะโหมด และ อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง ลงสู่ทะเลสาบที่บ้านปากพล ตำบลจองถนน อำเภอเขาชัยสน

3.5 ลุ่มน้ำย่อยคลองป่าบอน มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 323 ตารางกิโลเมตร มีคลองป่าบอนเป็นลำน้ำสายหลัก ความยาวประมาณ 40 กิโลเมตร มีคลองขนาดเล็กหลายสายไหลมารวมกัน

ได้แก่ คลองเกิด คลองทำดินแดง ต้นน้ำคือเทือกเขาบรรทัดไหลผ่านเขตอำเภอป่าบอน และอำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง ลงสู่ทะเลสาบที่บ้านพระเกิด ตำบลฝาละมี อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง

3.6 กลุ่มน้ำย่อยคลองพรุพ้อ มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 500 ตารางกิโลเมตร มีคลองพรุพ้อ เป็นลำน้ำสายหลัก ความยาวประมาณ 36 กิโลเมตร มีคลองขนาดเล็ก หลายสายไหลมารวมกัน ได้แก่ คลองโตน คลองชันเกราะ เป็นต้น ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขาบรรทัด ไหลลงทะเลสาบที่บ้านท่าหยี ตำบลห้วยลึก อำเภอกวนเนียง จังหวัดสงขลา

3.7 กลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ มีพื้นที่ประมาณ 617 ตารางกิโลเมตร มีคลองรัตภูมิเป็นลำน้ำสายหลัก ความยาวประมาณ 63 กิโลเมตร มีคลองขนาดเล็กไหลมารวมกัน ได้แก่ คลองภูมิ คลองแพรกสุวรรณ คลองเขาร้อน เป็นต้น ต้นน้ำคือเทือกเขาบรรทัดไหลผ่าน อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา ก่อนลงสู่ทะเลสาบ โดยไหลลงทะเลสาบที่บ้านบางหัก ตำบลรัตภูมิ อำเภอกวนเนียง จังหวัดสงขลา

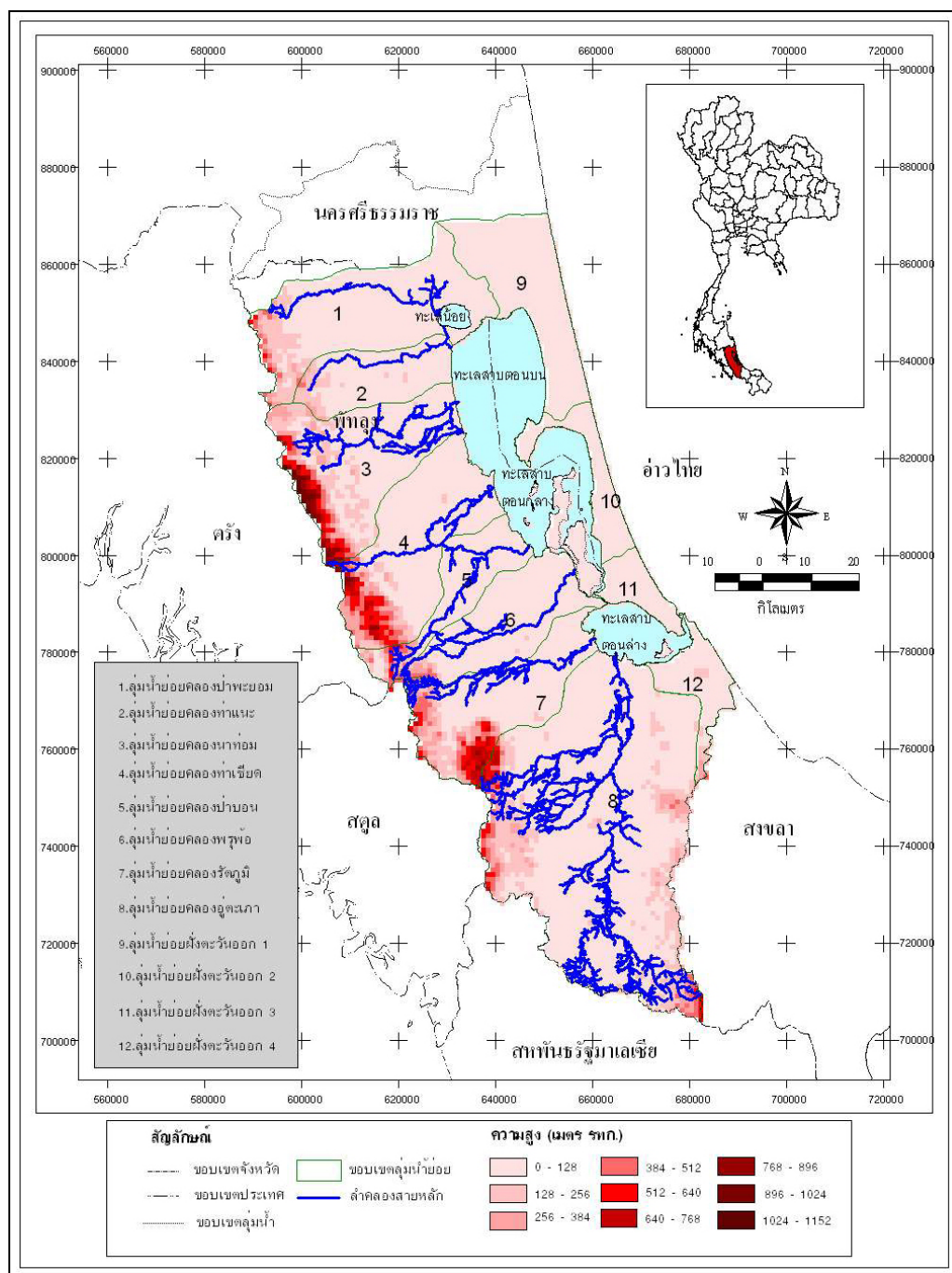
3.8 กลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 2,383 ตารางกิโลเมตร มีคลองอู่ตะเภา เป็นลำน้ำสายหลัก ความยาวประมาณ 68 กิโลเมตร มีขนาดเล็กหลายสายไหลมารวมกัน ได้แก่ คลองตง คลองปอม คลองพังลา คลองรำ คลองหะ คลองหอยโข่ง คลองเล คลองวาด คลองต่ำ คลองจำไทร คลองหลา คลองสะเดา เป็นต้น คลองอู่ตะเภาจะไหลผ่านเขตอำเภอสะเดา และอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่บ้านแหลมโพธิ์ ตำบลคูเต่า อำเภอหาดใหญ่

3.9 กลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 1 (ระโนด) มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 488 ตารางกิโลเมตร มีคลองสำคัญหลายสาย ได้แก่ คลองกก คลองระโนด คลองโรง คลองตะเคียว เป็นต้น

3.10 กลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 2 มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 202 ตารางกิโลเมตร มีคลองสำคัญหลายสาย ได้แก่ คลองคูขุด คลองรี เป็นต้น

3.11 กลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 3 มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 136 ตารางกิโลเมตร คลองสำคัญ ได้แก่ คลองสทิงหม้อ

3.12 กลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 4 มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 204 ตารางกิโลเมตร มีคลองสำคัญหลายสาย ได้แก่ คลองสำโรง คลองพะวง เป็นต้น



ภาพที่ 2 การแบ่งลำน้ำและลุ่มน้ำย่อยในระบบทะเลสาบสงขลา

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548)

4. ปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548) ได้ทำการประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาทางฝั่งตะวันตก โดยใช้แบบจำลอง variable infiltration capacity 2 Layers (VIC-2L) ซึ่งเป็น precipitation-runoff model ที่พัฒนาโดย University of Washington แบบจำลอง VIC-2L นี้จะคำนึงถึงลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำ ความสูงของพื้นที่ และโครงข่ายลำน้ำสายหลักเป็นตัวแปรที่สำคัญในการประเมินปริมาณน้ำท่า สำหรับผลการศึกษาที่ได้นั้น ได้ผ่านการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์กับข้อมูลภาคสนามในแต่ละลุ่มน้ำย่อยแล้ว สำหรับปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนจากการประเมินโดยแบบจำลอง VIC-2L แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนของกลุ่มน้ำย่อยทางตะวันตกของทะเลสาบสงขลา

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (ล้านลูกบาศก์เมตร)							รวม
	คลองป่าพะยอม และท่าแนะ	คลอง นาท่อม	คลอง ท่าเชียด	คลอง ป่าบอน	คลอง พรุพ้อ	คลอง รัตภูมิ	คลอง อู่ตะเภา	
ม.ค.	57.65	15.45	41.92	8.00	11.43	17.40	51.77	203.61
ก.พ.	52.61	18.55	45.06	7.30	10.24	13.09	23.59	170.45
มี.ค.	34.48	13.61	32.09	5.59	7.73	10.09	36.39	139.97
เม.ย.	33.41	11.22	19.76	3.70	7.72	15.53	53.83	145.17
พ.ค.	29.47	13.63	32.75	6.37	12.09	22.37	67.09	183.78
มิ.ย.	22.58	9.65	24.07	5.67	9.88	17.06	53.22	142.12
ก.ค.	29.93	13.74	28.09	6.19	12.54	28.20	75.76	194.44
ส.ค.	35.43	20.14	60.54	7.36	13.13	40.66	115.88	293.13
ก.ย.	46.86	19.53	49.18	8.59	14.92	37.30	109.11	285.49
ต.ค.	84.29	30.90	90.87	17.91	32.53	73.56	178.59	508.64
พ.ย.	248.74	93.97	270.29	43.95	71.71	118.69	286.10	1,133.45
ธ.ค.	270.85	90.33	231.32	40.80	69.42	108.58	318.06	1,129.36
รวม	946.28	350.72	925.92	161.44	273.33	502.53	1,369.38	4,529.60

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548)

5. สภาพปัญหาและสาเหตุของการตื้นเขินของทะเลสาบสงขลา

จากการศึกษาของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548) ได้กล่าวว่าพื้นที่ของทะเลสาบสงขลานั้นเป็นแอ่งบนที่ราบชายฝั่ง ซึ่งมีการสะสมตัวของตะกอนจากแม่น้ำมายาวนาน โดยฝั่งตะวันตกของเป็นเศษหินเชิงเขา (colluvium) ที่แตกย่อยมาจากเขาหินทรายแรก เมื่อถึงฤดูน้ำหลาก น้ำก็จะพัดพากรวด หิน ดิน ทรายมาสะสมตัวบนที่ราบชายฝั่ง กลายเป็นตะกอนน้ำพา (alluvial) ตะกอนน้ำพาจะมีการคั่งขนาดจนเหลือทรายแป้งและดินเหนียว ซึ่งเป็นตะกอนที่อ่อนนุ่มและรอบทะเลสาบสงขลาในปัจจุบัน นอกจากนี้ตะกอนจากคลองต่าง ๆ มาทับถม ทำให้ทะเลสาบตื้นเขินขึ้นเรื่อย ๆ โดยในช่วงท้ายอัตราการตื้นเขินจะทวีความรวดเร็วขึ้น ถ้าปล่อยให้เป็นไปตามธรรมชาติแล้ว ในอนาคตทะเลสาบจะต้องตื้นเขินจนกลายเป็นพรุ และเป็นแผ่นดินในที่สุด ส่วนพื้นที่ทางตะวันออกของทะเลสาบเริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่ยุคน้ำแข็งล่าสุด (ยุคน้ำแข็งวิสคอนซิน ประมาณ 16,000 ปีที่แล้ว) เมื่อระดับน้ำทะเลลดลงต่ำสุดแล้วค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนเกิดชั้นตะกอนดินเหนียวที่ทับถมจากทะเล (marine clay) และเมื่อเวลาผ่านไปจนระดับน้ำทะเลค่อนข้างคงที่ในยุค 6,000 ปีที่แล้ว จึงเกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายชายฝั่ง (longshore process) ทำให้เกิดเป็นแนวสันทรายหลายแนว และเมื่อแนวสันทรายได้เชื่อมต่อกันระหว่างหัวเขาแดงกับเกาะใหญ่ จึงกลายเป็นคาบสมุทรสทิงพระ

การที่ทะเลสาบจะคงความเป็นทะเลสาบอยู่ได้นานเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับอัตราการทับถมของตะกอนที่ท้องทะเลสาบที่ส่วนใหญ่จะมาจากตะกอนที่ไหลมากับน้ำท่า และมีส่วนน้อยที่มาจากการที่พืชน้ำตายและทับถมอยู่ที่ก้นทะเลสาบ บริเวณที่สภาพความตื้นเขินรุนแรง จนทำให้ทะเลสาบเริ่มกลายเป็นพรุและแผ่นดิน คือ ทะเลน้อย ซึ่งมีพื้นที่ผิวน้ำ 28 ตารางกิโลเมตร และมีความลึกเฉลี่ยเพียง 0.5 เมตร การถางป่าในพรุควนเคร็ง ทำให้เกิดการชะล้างหน้าดินได้ง่าย ส่งผลให้ตะกอนไหลลงสู่ทะเลน้อยได้มากขึ้น สำหรับทะเลสาบตอนกลางนั้น จะมีพื้นที่ตื้นเขินขนาดใหญ่ ครอบคลุมเนื้อที่กว่าครึ่งหนึ่งของทะเลสาบตอนกลางด้านตะวันตก การแผ้วถางป่าเพื่อทำไร่และการเปิดหน้าดินจะทำให้ตะกอนแขวนลอยไหลไปกับน้ำท่าสู่ทะเลสาบได้มากขึ้น ตัวเร่งการลดขนาดของทะเลสาบที่สำคัญ คือ การถมที่ล้ำเข้าไปในทะเลสาบในบริเวณที่ชายฝั่งเกิดการตื้นเขินซึ่งปรากฏให้เห็นอยู่บ่อย ๆ ในทางกลับกัน การสร้างเขื่อนหรือฝายน้ำล้นเป็นการดักตะกอนไม่ให้ไหลลงสู่ทะเลสาบ จึงเป็นการช่วยลดการตื้นเขินในทะเลสาบได้เป็นอย่างมาก

การชะล้างพังทลายของดิน

นิพนธ์ (2545) ได้ให้คำจำกัดความของการชะล้างพังทลายของดิน (erosion) ว่าเป็นกระบวนการที่เกิดจากการที่มีแรง ซึ่งอาจเกิดจากน้ำ ลม หรือแรงโน้มถ่วงของโลก มากระทำทำให้วัตถุธาตุหรือสารแตกแยกออกจากกัน แล้วเคลื่อนย้ายอนุภาคของดินหรือสารหรือวัตถุต่าง ๆ ไปตกตะกอนทับถมอีกแห่งหนึ่ง โดยกระบวนการดังกล่าวอาจเรียกว่า การกร่อนดิน

สำหรับกระบวนการชะล้างพังทลายของดินนั้น จะมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการอีกกระบวนการหนึ่งคือ การตกทับถมของตะกอน (sedimentation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ อนุภาคดินหรือวัตถุต่าง ๆ ที่ถูกชะล้างพังทลายมา ไปตกทับถมกันยังสถานที่อีกสถานที่หนึ่ง ตัวสารหรืออนุภาคที่ถูกเคลื่อนย้ายมานั้น เรียกว่า ตะกอน (sediment)

1. การชะล้างพังทลายดินในเขตภูมิศาสตร์ต่าง ๆ ของโลก

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ดินถูกชะล้างพังทลาย คือ ฝนและลม ซึ่งผลกระทบจากปัจจัยทั้งสองต่อการชะล้างพังทลายดินนี้ จะแตกต่างกันไปตามสภาพทางภูมิศาสตร์ของโลก กล่าวคือ ด้วยปริมาณและคุณภาพของฝน ลม และสภาพทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละภูมิภาค จะทำให้ความรุนแรงของการชะล้างพังทลายดินแตกต่างกัน เช่น ในเขตที่มีฝนตกน้อยเกินไปหรือเขตที่มีฝนตกมากเกินไป การชะล้างพังทลายดินมักไม่ค่อยรุนแรงนัก สำหรับประเทศไทยนั้น จะเน้นไปที่การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนกับอัตราการชะล้างพังทลายดินเป็นหลัก พื้นที่ใดก็ตามที่มีปริมาณน้ำฝนรายปีน้อย อัตราการชะล้างพังทลายดินโดยพลังน้ำจะน้อย เนื่องจากขาดแรงตกกระทบจนทำให้อนุภาคดินแตกแยก ในทางเดียวกันก็จะขาดพลังน้ำจากน้ำไหลบ่าหน้าดินด้วย และอัตราการชะล้างพังทลายดินจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีปริมาณฝนที่ตกมีมากขึ้น แต่เมื่อพื้นที่ใดมีฝนตกมากกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปีขึ้นไป อัตราการชะล้างพังทลายดินโดยพลังน้ำก็จะเริ่มลดลง ทั้งนี้เพราะปริมาณฝนในปริมาณดังกล่าวจะเป็นปัจจัยที่ทำให้พืชพรรณ และป่าไม้หนาแน่นมากขึ้น และปกคลุมหน้าดินได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า การชะล้างพังทลายดินโดยพลังน้ำ จะเกิดขึ้นได้มากที่สุด ในบริเวณที่มีปริมาณฝนตกปานกลาง ซึ่งพืชพรรณไม่หนาแน่นมากนัก อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมากนั้น ถ้าหากพืชพรรณหรือป่าไม้ที่ปกคลุมถูกทำลายหรือพื้นดินเปลี่ยนสภาพไป สักยภาพในการชะล้างพังทลายดินก็จะสูงมากขึ้น ซึ่งความเป็นจริงเช่นนี้สามารถสังเกตได้จากลักษณะการตกของฝนและพลังชะล้างพังทลายของน้ำฝนในเขตภูมิศาสตร์ต่าง ๆ ของโลก

2. รูปแบบการชะล้างพังทลายดินที่สำคัญในประเทศไทย

ลักษณะการชะล้างพังทลายดินไม่ว่าจะเป็นรูปแบบใดนั้น มีสาเหตุมาจากความรุนแรงของเม็ดฝนที่ตกกระทบ และจากแรงของน้ำไหลบ่าหน้าดิน อันเกิดจากดินไม่สามารถรับการซึมของน้ำฝนได้หมด และถ้าฝนตกหนักมากอาจเกิดการเคลื่อนและการเลื่อนไหลของมวลดินโดยแรงดึงดูดของโลกและแรงดันของน้ำใต้ผิวดิน แม้ว่าการเลื่อนไหลของดินจะเป็นการพังทลายของดินที่มีปริมาณมากแต่ก็ไม่เกิดบ่อยนัก การพังทลายของดินส่วนใหญ่จึงมักเกิดจากน้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นสำคัญและมักจะเกิดขึ้นเสมอบนพื้นที่ลาดเขา ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะอนุภาคพัฒนาดินลงสู่ที่ต่ำและจะตกตะกอนในตอใดตอหนึ่งของที่ลาดเขาโดยไม่พัฒนาลงสู่ลำธาร ตะกอนที่ตกทับถมก่อนถึงลำธารก็จะเป็แหล่งของดินที่จะถูกพัฒนาสู่ที่ต่ำลงไปอีกจากฝนตกในคราวต่อ ๆ ไป ยกเว้นเสียว่าไม่มีฝนตกตามมาในเวลาใกล้เคียงกัน จนพืชพรรณขึ้นปกคลุมดินอย่างดี ดินที่ตกตะกอนดังกล่าวก็จะได้รับการป้องกันจากพลังน้ำไหลบ่าหน้าดินได้ดียิ่งขึ้น สำหรับรูปแบบการชะล้างพังทลายดินที่สำคัญ ๆ ในประเทศไทยมีดังนี้

2.1 การชะล้างพังทลายของดินแบบกระเด็น (splash erosion) ในการตกกระทบของเม็ดฝนติดต่อกัน จากน้ำฝนนับหมื่นนับล้านเม็ดนั้น จะทำให้อนุภาคดินบนผิวน้ำแตกกระจาย และกระเด็นไปจากตำแหน่งเดิม โดยจะเกิดอย่างรุนแรงบนดินที่ไม่มีสิ่งปกคลุม การชะล้างพังทลายดินชนิดนี้ ถ้าเกิดในที่ราบเม็ดดินก็จะไปไม่ได้ไกลนัก แต่ถ้าเกิดบนพื้นที่ลาดเขาจะถูกน้ำไหลบ่าหน้าดินพัดพาไป อย่างไรก็ตาม การกัดกร่อนในลักษณะประเด้นี้ เป็นจุดเริ่มต้นของการสูญเสียดินที่ค่อยเป็นค่อยไป และมักไม่ค่อยมีคนสนใจมากนัก

2.2 การชะล้างพังทลายดินแบบผิวผ่าน (sheet erosion) เมื่อดินที่ถูกกัดชะโดยกระบวนการชะล้างพังทลายดินแบบนี้ นับเป็นแหล่งดินตะกอนที่จะถูกพัฒนาเคลื่อนที่ออกไปจากพื้นที่ลาดเขา โดยแรงน้ำไหลบ่าหน้าดินซึ่งไหลเอ่อเหนือผิวดินเป็นแผ่นบาง ๆ อัตราการถูกพัฒนาลงสู่ที่ต่ำขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นน้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นสำคัญ ขนาด รูปร่าง และความหนาของตะกอนก็มีส่วนอยู่มากในการที่จะถูกพัดพาไปได้มากหรือน้อย ซึ่งการกัดกร่อนในลักษณะนี้เห็นได้ยาก และไม่ค่อยเป็นที่สังเกต การกัดกร่อนแบบนี้ทำให้เสียดินในส่วนที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นอย่างมาก การปล่อยให้มีการกัดกร่อนเช่นนี้เกิดขึ้นจะทำให้ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ และจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยมาใช้เพิ่มขึ้นในกรณีที่พื้นที่นั้นเป็นพื้นที่การเกษตร

2.3 การชะล้างพังทลายดินแบบร่องริ้ว (rill erosion) การชะล้างพังทลายดินในลักษณะนี้เกิดจากน้ำไหลบ่าหน้าดินรวมกันเป็นทางน้ำเล็ก ๆ แล้วกัดเซาะลงไปในเนื้อดิน แต่เนื่องจากความคงทนของดินแตกต่างกันไป ประกอบกับแผ่นน้ำไหลบ่าหน้าดินยังไม่หนามากนัก การกัดกร่อนจึงเป็นไปในลักษณะร่องตื้นขนาดเล็กระบายทั่วผิวน้ำดิน ปกติร่องขนาดเล็กดังกล่าวจะมีแนวเกือบเป็นเส้นตรงยาวติดต่อกันไปและขนานกันไปเป็นริ้ว ๆ ร่องดังกล่าวนี้ดินจนสามารถปรับให้หายไปได้โดยการไถพรวนแบบธรรมดา ความรุนแรงของกระบวนการกัดเซาะ และกระบวนการเคลื่อนย้ายในกรณีที่เกิดการชะล้างพังทลายดินแบบนี้ มีความรุนแรงมากกว่าที่เกิดในลักษณะการชะล้างพังทลายดินแบบแผ่น การชะล้างพังทลายของดินแบบร่องริ้วนี้จะทำให้สูญเสียหน้าดินบางส่วนไป และเมื่อใดเกิดร่องริ้วแล้วและไม่มีการปรับผิวน้ำดินใหม่ น้ำในร่องริ้วก็จะกัดเซาะล้างพังทลายร่องริ้วนี้ให้ลึก และกว้างจนถึงขั้นล้างได้อย่างรวดเร็ว

2.4 การชะล้างพังทลายดินแบบร่องลึก (gully erosion) การเกิดการชะล้างพังทลายดินลักษณะนี้เกิดขึ้นเนื่องจากไม่ได้มีการป้องกัน หรือปรับปรุงหน้าดินที่มีลักษณะการชะล้างพังทลายดินแบบร่องริ้ว โดยปล่อยให้ฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินกัดกร่อนลึกลงไปเรื่อย ๆ ร่องริ้วจึงขยายตัวขึ้นเป็นร่องลึกลงไปถึงดินชั้นล่าง การเกิดการชะล้างพังทลายดินแบบร่องลึกนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำไหลในร่องทั้งในลักษณะการกัดเซาะและการเคลื่อนย้ายดิน รูปตัดของร่องลึกนี้มักเป็นรูปตัว U หรือ ตัว V แล้วแต่นิคมของดิน การชะล้างพังทลายดินแบบร่องลึกนี้ยากที่จะปรับหน้าดินใหม่ เนื่องจากต้องเสียเวลาและลงทุนมากในการที่จะควบคุมให้ดินกลับสู่สภาพเดิม

2.5 การชะล้างพังทลายดินแบบเลื่อนไหล (mass soil movement) การชะล้างพังทลายดินแบบเลื่อนไหลนี้เป็นการเคลื่อนที่ของมวลดินหรือหินบนที่ที่มีความลาดชันสูง เนื่องจากแรงถ่วงของโลก การพังทลายแบบนี้อาจเกิดตามธรรมชาติได้ แต่กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์มักเป็นตัวเร่งและก่อให้เกิดกระบวนการชะล้างพังทลายดินแบบนี้มากกว่าธรรมชาติ

2.6 การชะล้างพังทลายดินโดยธารน้ำ (stream-bank erosion หรือ channel erosion) สำหรับการชะล้างพังทลายดินแบบนี้เกิดขึ้นในลำน้ำ ที่มีน้ำไหลผ่านในร่องน้ำเป็นเวลายาวนาน โดยเฉพาะภายหลังฝนตกหนัก พลังน้ำที่ไหลตามร่องหรือลำน้ำนี้จะกัดเซาะดินชายฝั่งซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำดิน ทำให้เกิดชะโงกน้ำได้ผิวน้ำลึกเข้าไปในฝั่ง จนดินบนเหนือระดับน้ำไม่มีฐานถ้ำยันที่แข็งแรงเพียงพอที่จะไหลเลื่อนและพังลงมาสู่ท้องลำธารได้ การชะล้างพังทลายดินแบบนี้จะมีมากบริเวณที่ลำธารหักโค้งหรือลำน้ำเปลี่ยนทิศทางการไหล

3 ปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายดิน

ปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่ออัตราการชะล้างพังทลายดิน เมื่อพิจารณาตามกระบวนการที่กล่าว โดยรายละเอียดในตอนต้นนั้น สรุปได้ดังนี้

3.1 อิทธิพลของภูมิอากาศ

3.1.1 อิทธิพลของฝน เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่ง ที่มีอิทธิพลต่อการชะล้างพังทลายของดิน ทั้งนี้เพราะแรงตกระทบของเม็ดฝนนับเป็นพลังงานแรกที่ทำให้ดินเกิดการแตกแยกออกจากกัน แรงตกระทบดังกล่าวยังเป็นตัวการต่อเนื่องที่ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดิน และการเคลื่อนย้ายอนุภาคดินด้วยลักษณะอื่น ๆ คุณสมบัติของฝนที่เกี่ยวข้องกับการชะล้างพังทลายดิน คือ ลักษณะการแตกกระจายของฝน (distribution) ปริมาณการชะล้างพังทลายจะเกิดขึ้นได้สูงสุดเมื่อฝนตกหนักและหน้าดินว่างเปล่าปราศจากสิ่งปกคลุม หรือในช่วงที่พืชเพิ่งเริ่มงอกหรือเพิ่งเริ่มตั้งตัวได้

3.1.2 อิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างช่วงเวลากลางวันและเวลากลางคืน หรือระหว่างฤดูกาลนั้นก็จะมีส่วนต่อการปรับตัวของโครงสร้างดิน กล่าวคืออิทธิพลดังกล่าวทำให้การจับตัวกันของอนุภาคดินมีแรงยึดกันน้อยลง

3.2 อิทธิพลของสภาพภูมิประเทศ

3.2.1 ความลาดเทของพื้นที่ นับเป็นปัจจัยที่สำคัญ ในกระบวนการชะล้างพังทลายดิน โดยทั่วไปแล้วเมื่อความลาดเทมากขึ้นอัตราการชะล้างพังทลายดินจะมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะพื้นที่ลาดชันนั้นมักทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินได้มาก เพราะดินมีโอกาสเก็บกักน้ำฝนที่ตกลงมาน้อย ทำให้มีการไหลบ่าหน้าดินรวดเร็วและรุนแรง บนพื้นที่ที่มีความลาดเทมากนั้น เมื่อน้ำไหลบ่าหน้าดินเกิดได้รวดเร็ว พลังน้ำจะกัดกร่อนและพัดพาดินที่ถูกชะล้างลงสู่ที่ต่ำได้มาก อย่างไรก็ตาม ความลาดชันจะมีผลเพียงเล็กน้อยในขณะที่ฝนตกแผ่วเบาและนาน แต่จะมีอิทธิพลรุนแรงมากถ้าฝนตกในช่วงเวลาสั้น ๆ

3.2.2 ความยาวของแนวความลาดเท พบว่าปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความยาวของความลาดเทมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากอัตราการไหลบ่าหน้าดินจะเพิ่มมากขึ้นไปตามความยาวของความลาดเท อย่างไรก็ตามบนพื้นที่ลาดเขานี้การกัดชะล้างพังทลายผิวหน้าดิน มักจะไม่ปรากฏให้เห็นบนบริเวณสันเขาและส่วนที่เป็นเชิงลาดลงมาในกรณีที่ฝนตกสม่ำเสมอทั่วทั้งลาดเขา แต่จะเห็นการชะล้างพังทลายดินอย่างชัดเจนบริเวณที่ต่ำลงมา ตรงจุดที่น้ำไหลบ่าหน้าดินเริ่มมีพลังกัดชะสูงกว่าแรงต้านทานของอนุภาคดิน ดังนั้นจึงมักเห็นเสมอว่าตามแนวสันเขานั้นจะมีความกว้างอยู่ขนาดหนึ่งซึ่งไม่ค่อยมีการชะล้างพังทลายดินเกิดขึ้นมากนัก ซึ่งความกว้างของแต่ละแนวสันเขานี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายประการด้วยกัน เมื่อน้ำไหลบ่าหน้าดินไหลลงสู่ที่ต่ำนั้น ปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งพลังการเคลื่อนย้ายดินของน้ำไหลบ่าหน้าดินหมดสมรรถนะ ไม่สามารถจะพัดพาเคลื่อนย้ายมวลดินตะกอนลงต่ำไปได้อีกแล้ว กระบวนการตกตะกอนก็จะเกิดขึ้น ณ จุดนั้น ส่วนมากมักจะเป็นบริเวณใกล้สองฝั่งลำธาร ดังนั้นการที่จะลดอัตราและปริมาณการชะล้างพังทลายดินบริเวณลาดเขาควรจะทำเครื่องกีดขวางทางน้ำเป็นช่วง ๆ ตามลาดเขาด้วยระยะทางที่เหมาะสม

3.2.3 รูปร่างของความลาดเท ความลาดเทของพื้นที่ผิวดินหนึ่ง อาจมีลักษณะของแนวความลาดเทแบบตรงเรียบ หรือลาดนูนขึ้น และโค้งลง หรือลาดเว้าลง และงอขึ้นก็ได้ บนความลาดเทที่โค้งขึ้น (convex) นั้น ความลาดเอียงจะมีมากตอนใกล้จุดต่ำสุดของแนวลาดเทซึ่งเป็นบริเวณที่ความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดินเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ผลที่ตามมาคือการชะล้างพังทลายดินจะมากกว่าความลาดเทแบบอื่น ๆ และบนพื้นที่ที่มีความลาดเทแบบเว้า (concave) ความลาดเอียงจะลดน้อยลงตอนบริเวณใกล้จุดสิ้นสุดของความลาดเท ซึ่งมักทำให้เกิดการตกตะกอนบริเวณดังกล่าวนี้มากกว่าที่จะเกิดการชะล้างพังทลายดินต่อไป ทั้งนี้เพราะอัตราการไหลบ่าของน้ำหน้าดินจะถูกทำให้ลดลงอย่างรวดเร็วนั่นเอง

3.3 ปัจจัยที่เกี่ยวกับดิน ดินแต่ละชนิดจะถูกชะล้างพังทลายได้ยากง่ายแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของดินเป็นสำคัญ โดยสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการชะล้างพังทลาย ได้แก่

3.3.1 ความคงทนต่อการถูกกัดเซาะและเคลื่อนย้าย ในกระบวนการชะล้างพังทลายดิน มี 3 ขั้นตอน คือ การกัดเซาะ การเคลื่อนย้าย และการตกทับถม ซึ่งการทดลองในห้องปฏิบัติการได้แสดงให้เห็นว่า กระบวนการต่าง ๆ จะเกิดขึ้นกับดินแต่ละชนิดแตกต่างกันไป โดยทั่วไปนั้นความยากง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลาย (detachability) จะเพิ่มขึ้นไปตามขนาดของอนุภาคดิน แต่จะ

เป็นไปในทางตรงกันข้าม เมื่อกล่าวถึงความยากง่ายในการเคลื่อนย้าย (transportability) ตัวอย่างเช่น อนุภาคของดินเหนียวจะยากต่อการถูกกัดชะมากกว่าอนุภาคดินทราย แต่ก็ง่ายต่อการที่ถูกพัดพาเคลื่อนย้ายไปมากกว่าดินทราย เป็นต้น

3.3.2 อัตราการซึมผ่านของดิน จะมีความแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติทางกายภาพของดินอันได้แก่ ปริมาณและขนาดของช่องว่างในดิน ถ้าหากมีอนุภาคของดินที่ละเอียดจับตัวคลุกเคล้ากันเป็นกลุ่มก้อน ดินประเภทนี้ก็จะมีความสามารถดูดซับน้ำได้ดีพอสมควร และจะมีความสามารถต้านทานต่ออำนาจการชะล้างพังทลายได้สูงถ้าเม็ดดินไม่ถูกทำให้แตกโดยแรงตกกระทบของเม็ดฝนโดยตรง เพราะโอกาสที่จะเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินบนดินชนิดนี้มีน้อยและมักมีอัตราการไหลบ่าหน้าผิวดินต่ำ ลักษณะที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งของอัตราการซึมผ่านผิวดิน คือ จะเป็นไปอย่างรวดเร็วในดินที่ค่อนข้างแห้งและลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อดินเริ่มเปียก ในที่สุดก็เข้าสู่อัตราการซึมลงที่ซึ่งจะเป็นเวลานานเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อดินและโครงสร้างของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินก็เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการนี้ เนื่องจากอินทรีย์วัตถุในดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง และมักจะเป็นตัวเชื่อมปรับปรุงให้ดินมีโครงสร้างจับตัวกันแบบ granular

3.3.3 ความลึกของดินชั้นบน ในกรณีที่ความลึกของดินชั้นบนมีไม่มาก เนื่องจากหน้าดินถูกชะล้างพังทลายไปแล้ว พื้นที่ดังกล่าวก็จะง่ายต่อการเกิดการชะล้างพังทลายของดินมากขึ้น ทั้งนี้เพราะหน้าดินซึ่งเคยเป็นเนื้อดินร่วนซุย โครงสร้างดี และอินทรีย์วัตถุสูง ได้ถูกชะล้างไปจนหมดแล้ว ดินที่เหลืออยู่จึงมีสมรรถนะซึมซับน้ำได้น้อยกว่าที่เป็น ทำให้น้ำไหลบ่าหน้าดินเกิดขึ้นได้ง่าย อัตราการชะล้างพังทลายจึงเป็นไปในอัตราสูง

การชะล้างพังทลายดินรูปแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมานั้น มักเกิดขึ้นได้อยู่เสมอในธรรมชาติ เนื่องจากการชะล้างพังทลายของดินนับเป็นกระบวนการหนึ่งของการปรับระดับผิวโลก แต่มักเป็นไปในอัตราที่ต่ำและเป็นไปอย่างช้า ๆ นอกจากนี้ผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการดังกล่าวตามธรรมชาตินี้ จะมีผลดีต่อมนุษย์มากกว่าผลเสียเนื่องจากทำให้ดินบนที่ราบลุ่มมีความอุดมสมบูรณ์ แต่ถ้าหากว่ากระบวนการชะล้างพังทลายนี้ถูกเร่งโดยการกระทำของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นเหตุผลประการใดก็ตาม ผลเสียหายจะเกิดขึ้นและเพิ่มพูนขึ้นเรื่อย ๆ หากไม่มีมาตรการควบคุมหรือป้องกัน

แบบจำลองคณิตศาสตร์

1. ประเภทของแบบจำลองคณิตศาสตร์

ในการคาดคะเนหรือพยากรณ์การเกิดการชะล้างพังทลายดิน การเกิดตะกอนในลำน้ำ และการปนเปื้อนของมลสารต่าง ๆ ในน้ำ สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการคาดหมายหรือพยากรณ์ เช่น เพื่อนำผลที่ได้ไปจัดเตรียมแผนป้องกันผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมหรือเพื่อประเมินผลกระทบต่อความสูญเสียที่เกิดขึ้นกับภาคการเกษตรจากการสูญเสียหน้าดิน ปัจจุบันได้มีผู้ที่สนใจและได้ให้ความสำคัญกับปัญหาการชะล้างพังทลายดินที่เกิดขึ้น และได้ดำเนินการวิจัยเพื่อประเมินและทำนายการชะล้างพังทลายดิน โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยเพื่อประเมินและทำนายการชะล้างพังทลายดินได้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มีข้อดีในการช่วยลดระยะเวลาการศึกษาลงได้เมื่อทำการศึกษาในพื้นที่ขนาดใหญ่ และสามารถลดงบประมาณในการศึกษาวิจัยไปได้ส่วนหนึ่ง รวมถึงสามารถคาดคะเนถึงผลที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าได้ถูกต้องในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการศึกษานั้นจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลสนับสนุนต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นจำนวนมาก

สำหรับวิวัฒนาการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระยะเริ่มแรกนั้น เป็นการคาดหมายโดยใช้เพียงสมการ และวิธีการง่าย ๆ ต่อมาในยุคที่คอมพิวเตอร์ได้ถูกนำมาใช้งานมากขึ้น สมการต่าง ๆ เหล่านั้นได้ถูกดัดแปลงและปรับปรุงจนเป็นแบบจำลองที่สามารถเลียนแบบกระบวนการทางธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับคำว่า แบบจำลอง ได้เริ่มมีการใช้กันมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1970 โดย Becker and Serban (1990) ได้จำแนกประเภทของแบบจำลองออกเป็น 2 ชนิดหลัก คือ แบบจำลองที่เลียนแบบเหตุการณ์ที่หาความแน่นอนไม่ได้ (stochastic) กับแบบจำลองที่ให้คำตอบตายตัว (deterministic)

1.1 แบบจำลองที่เลียนแบบเหตุการณ์ที่หาความแน่นอนไม่ได้ (stochastic model) เป็นแบบจำลองที่กำหนดขึ้นบนสมมติฐานที่ว่า ผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นจากเหตุการณ์ต่าง ๆ ไม่มีความแน่นอน แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับการชะล้างพังทลายดินที่ใช้แนวคิดเชิงสโตคาสติกนั้นมีน้อยมาก แม้ว่าทุกฝ่ายจะยอมรับว่าเป็นแนวคิดที่ดี ด้วยเหตุที่ว่าแม้จะพยายามใส่ปัจจัยต่าง ๆ เข้าไป

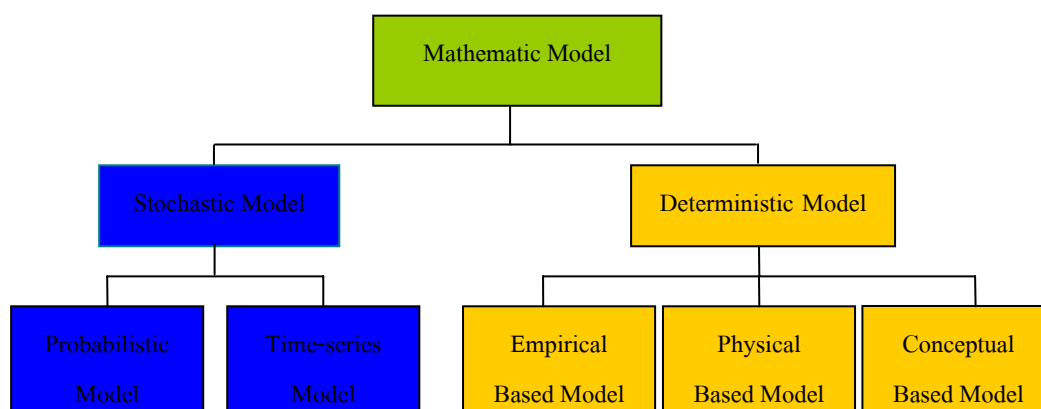
ในแบบจำลอง แต่ก็ยังคงติดขัดอยู่ที่การสร้างแบบจำลองพยากรณ์ ด้วยเหตุนี้ นักพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่จึงหันมาใช้แบบจำลองดีเทอร์มินิสติกมากขึ้น

1.2 แบบจำลองที่ให้คำตอบตายตัว (deterministic model) แบบจำลองประเภทนี้สามารถแบ่งย่อยได้อีก 3 ชนิด คือ แบบจำลองเอ็มไพริคอล (empirical based) แบบจำลองบนฐานฟิสิกส์ (physical based) และแบบจำลองมโนทัศน์ (conceptual based) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1.2.1 แบบจำลองเอ็มไพริคอล (empirical based model) แบบจำลองประเภทนี้นิยมเรียกกันว่าแบบจำลองกล่องดำ เนื่องจากการหาคำตอบโดยไม่สนใจว่าตัวกำหนดมีผลต่อผลลัพธ์อย่างไร เช่น การหาผลลัพธ์โดยกำหนดตัวแปรที่สนใจแล้วทำการใส่ข้อมูลเข้าไปในแปลงทดลอง แล้วตรวจสอบผลที่วัดได้จริง จากนั้นจึงนำไปเป็นตัวหาค่าคงที่ ค่าคงที่ที่ได้นั้นจึงเป็นค่าที่หาได้จากการทดลองจริง โดยที่ไม่ทราบว่ามีกลไกอะไรเกิดขึ้นในกระบวนการธรรมชาติเหล่านั้น แบบจำลองชนิดนี้เกิดขึ้นในยุคแรก ๆ ตั้งแต่ยังไม่มีการมีคำว่าแบบจำลอง โดยมากจะเรียกกันว่าสูตรหรือสมการตัวอย่างของแบบจำลองประเภทนี้ ได้แก่ สมการสูญเสียดินสากล หรือ USLE (Universal Soil Loss Equation) ซึ่งสมการนี้ได้รับการพัฒนาในระยะเริ่มแรกตั้งแต่ปี ค.ศ.1961 โดย U.S. Department of Agriculture หรือ USDA ที่ได้ทำการวางแผนทดลองทั่วประเทศอเมริกามากกว่า 10,000 แปลงต่อปี จึงมีการนำสมการนี้ไปใช้กันอย่างแพร่หลายในการวางแผนใช้ประโยชน์ที่ดิน และคาดคะเนปริมาณตะกอนจากพื้นที่ จากนั้นจึงมีการพัฒนาสมการอื่นต่อมา ได้แก่ สมการ MUSLE ที่จัดทำในปี 1977 เพื่อใช้ในการหาสมรรถนะการกัดชะ (detachment capacity) และสมรรถนะในการเคลื่อนย้ายตะกอน (transport capacity) และนำไปประยุกต์ใช้หาการพัดพาตะกอนจากขอบเขलगสู่ร่องน้ำ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาแบบจำลองอื่น ๆ อีก เช่น แบบจำลอง SLEMSA ในปี 1981 แบบจำลอง RUSLE ในปี 1987 และแบบจำลอง DUSLE ในปี 1990 เป็นต้น

1.2.2 แบบจำลองบนฐานฟิสิกส์ (physical based model) เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนามาจากกฎทางฟิสิกส์ โดยพยายามที่จะใช้กฎเหล่านั้นเลียนแบบกลไกของกระบวนการทางธรรมชาติ แบบจำลองประเภทนี้ ได้แก่ แบบจำลอง Agricultural Non-Point Source Pollution (AGNPS) ที่พัฒนาขึ้นโดยกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา และแบบจำลอง ANSWERS ที่จัดทำในปี 1980 เป็นต้น

1.2.3 แบบจำลองมโนทัศน์ (conceptual based model) เป็นแบบจำลองที่ซับซ้อนที่สุด แนวคิดในการพัฒนา คืออาศัยความเป็นไปทุกขั้นตอนที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการย่อย และพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย ไปพร้อมกันอย่างเป็นระบบ โดยพยายามให้มีการลำดับขั้นตอนการคำนวณ ที่เลียนแบบธรรมชาติมากที่สุด ด้วยเหตุนี้เองแบบจำลองประเภทนี้จึงสมบูรณ์ที่สุด แต่ก็นำไปใช้ได้ยากที่สุดด้วยเช่นกัน เนื่องจากต้องอาศัยข้อมูลเป็นจำนวนมากเพื่อใส่เข้าไปในแบบจำลอง แบบจำลองประเภทนี้ ได้แก่ แบบจำลอง CREAMS แบบจำลอง Water Erosion Prediction Project (WEPP) ของ U.S. Department of Agriculture หรือ USDA และแบบจำลอง European Soil Erosion Model (EUROSEM) สำหรับแบบจำลอง CREAM ที่จัดทำขึ้นในปี 1980 นั้น พัฒนาขึ้นมาเพื่อเสริมรายละเอียดของแบบจำลอง MUSLE โดยมุ่งเน้นในการใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการประเมินค่าอัตราการชะล้างพังทลายรวมถึงมลพิษทางเคมีในพื้นที่ โดยการพัฒนาขึ้น อาศัยแนวคิดให้มีการเลียนแบบกระบวนการธรรมชาติต่าง ๆ ไว้ จากแนวคิดลักษณะนี้ของแบบจำลอง CREAM แม้จะให้รายละเอียดในกระบวนการชะล้างพังทลายดินได้ดีแต่การนำไปใช้ จำเป็นต้องอาศัยตัวพารามิเตอร์มากและสลับซับซ้อน ในหลายกรณีการนำไปใช้ให้ได้ผลถูกต้องได้ จึงเป็นไปได้ยาก Shrestha (2003) ได้กล่าวถึงแบบจำลองมโนทัศน์ว่ามีข้อดี คือ สามารถนำไปใช้ กับพื้นที่อื่น ได้ง่าย เพียงแต่อาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าในแต่ละปัจจัยที่นำมาพิจารณา แต่ข้อเสียของแบบจำลองนี้คือ มีความซับซ้อนสูงและอาศัยข้อมูลในการศึกษาพิจารณามาก



ภาพที่ 3 แผนภาพแสดงการแบ่งประเภทของแบบจำลองคณิตศาสตร์

ที่มา: ยุทธชัย และคณะ (2547)

2. แบบจำลอง Morgan, Morgan and Finney 1984 (MMF model)

แบบจำลอง Morgan, Morgan and Finney 1984 (MMF model) เป็นแบบจำลองในการประเมินการชะล้างพังทลายดิน ที่นำเอาหลักการของแบบจำลองเอ็มไพริคอล และแบบจำลองฐานฟิสิกส์ มาใช้ร่วมกัน (mixed model) ซึ่งการพัฒนาแบบจำลอง MMF อาศัยหลักการของสมการสูญเสียดินสากลในการพัฒนา โดยมีจุดประสงค์ของการสร้างแบบจำลองขึ้นเพื่อทำนายการชะล้างพังทลายดิน โดยมีข้อดี คือ มีความยืดหยุ่นในการนำไปใช้ แบบจำลอง MMF ได้พิจารณาถึงกลไกที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายดินในรูปแบบทางกายภาพ โดยคำนึงถึงกลไกย่อยต่าง ๆ เช่น พลังงานของเม็ดฝนในเขตพื้นที่ต่าง ๆ ที่ทำให้เม็ดดินแตกกระจาย เป็นต้น ซึ่งเป็นหลักการของแบบจำลองบนฐานฟิสิกส์ แต่เนื่องจากการพัฒนากลไกเหล่านี้ซับซ้อน การจะอธิบายถึงกลไกทั้งหมดจะต้องอาศัยข้อมูลและเวลาในการวิเคราะห์มาก ดังนั้นในแบบจำลอง MMF เองจึงต้องอาศัยการพิจารณาในรูปแบบของแบบจำลองเอ็มไพริคอลเข้าผนวกด้วยโดยการนำค่าคงที่เข้าไปใส่ในแบบจำลองสำหรับหลักพิจารณาการเกิดการชะล้างพังทลายดิน ของแบบจำลอง MMF นั้นได้พิจารณากระบวนการที่ก่อให้เกิดการชะล้างพังทลายดินออกเป็น 2 กระบวนการคือ การแตกกระจายของเม็ดดิน (soil detachment) ที่เกิดจากฝน และการพัดพาเม็ดดินที่แตกกระจาย (soil transportation) ไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดิน

2.1 กระบวนการแตกกระจายของดิน (soil detachment) ในการพิจารณาถึงกระบวนการแตกกระจายของดิน แบบจำลอง MMF ได้พิจารณาถึงพลังงานจลน์ของเม็ดฝนที่สามารถทำให้ดินแตกกระจายเป็นเม็ดดิน ซึ่งขนาดของเม็ดฝนที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดพลังงานจลน์ต่างกันตามไป ดังนั้นแบบจำลอง MMF จึงอาศัยการพิจารณาพลังงานจลน์ของเม็ดฝนแต่ละขนาดที่ทำให้เกิดการแตกกระจายของเม็ดดิน ซึ่งพลังงานจลน์ของเม็ดฝนมีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศในแต่ละภูมิภาคของโลก คือ ขนาดของเม็ดฝนในประเทศแถบเส้นศูนย์สูตรจะมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดฝนของประเทศในเขตอบอุ่น ดังนั้นพลังงานจลน์ที่เกิดจากเม็ดฝนในประเทศแถบเส้นศูนย์สูตร ย่อมมากกว่าที่เกิดในประเทศเขตอบอุ่น สำหรับการคำนวณพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นจากเม็ดฝนเพื่อนำมาใช้ในแบบจำลอง MMF จะอาศัยสมการที่ได้จากการทดลองมาแล้วในแต่ละเขตสภาพภูมิอากาศ โดยนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี และความหนักเบาของฝนมาใช้ในการคำนวณพลังงานจากน้ำฝน สำหรับกระบวนการแตกกระจายของดินนอกจากจะพิจารณาถึงพลังงานจลน์จากเม็ดฝนแล้ว ยังต้องประกอบด้วยการพิจารณาถึงความคงทนต่อการถูกกัดชะของดินแต่ละประเภทมาประกอบ ซึ่งค่าความคงทนต่อการถูกกัดชะของดินจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินบน

2.2 การพัดพาเม็ดดินที่แตกกระจาย (soil transportation) เป็นการพิจารณาถึงกระบวนการพัดพาเม็ดดินที่แตกกระจายจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งด้วยน้ำไหลบ่าหน้าดิน โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำไหลบ่าประกอบกับความลาดชันของพื้นที่ รวมถึงชนิดพืชที่ปกคลุมพื้นที่อยู่ สำหรับปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อดินนั้นระบายน้ำได้ไม่ทัน ซึ่งในแบบจำลอง MMF จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวันและความสามารถในการกักเก็บน้ำของดินที่ระดับสนาม เพื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่ดินสามารถกักเก็บไว้และปริมาณน้ำที่มากเกินไปเกินความสามารถในการกักเก็บของดิน สำหรับกรณีที่ดินไม่สามารถระบายน้ำได้ทันก็จะเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินที่สามารถพัดพาเอาเม็ดดินไปเป็นตะกอนดินได้ ซึ่งระยะทางที่เม็ดดินถูกพัดพาไปได้นั้นจะมีระยะทางเพียงใด ก็ขึ้นอยู่กับความลาดชันของพื้นที่ที่สามารถให้น้ำไหลไปได้ และรวมถึงการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ว่าจะยับยั้งการไหลบ่าของน้ำได้มากน้อยเพียงใด

หลังจากพิจารณาถึงกระบวนการแตกกระจายของดิน (soil detachment) และกระบวนการพัดพาเม็ดดินที่แตกกระจาย (soil transportation) แล้ว แนวคิดของแบบจำลอง MMF คือการนำข้อมูลทั้ง 2 กระบวนการมาเปรียบเทียบกัน โดยพิจารณาว่ากระบวนการใดก็ตามที่ก่อให้เกิดปริมาณการสูญเสียดินน้อยกว่า ก็จะเป็นตัวจำกัดในกระบวนการชะล้างพังทลายดิน และให้ปริมาณการสูญเสียดินที่เกิดจากกระบวนการที่น้อยกว่านั้นเป็นปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายจริง หากเปรียบเทียบกระบวนการชะล้างพังทลายดินกับการขุดดิน กระบวนการแตกกระจายของดินนั้นเปรียบได้กับปริมาณดินที่ขุดออกมาได้ และกระบวนการพัดพาเม็ดดินที่แตกกระจายก็เปรียบได้กับรถยนต์ที่มาขนดิน ถ้าเราขุดดินได้ 100 คันต่อวัน แต่รถยนต์ที่มาขนดินขนได้เพียง 50 คันต่อวัน ดังนั้นดินที่ถูกขนไปได้ก็มีเพียง 50 คันต่อวัน กล่าวได้ว่ารถยนต์ขนดินจะเป็นตัวจำกัด ในทางกลับกันถ้าเราขุดดินได้เพียง 100 คันต่อวัน แต่รถยนต์ที่มาขนดินขนได้ 200 คันต่อวัน ปริมาณดินที่ถูกขนไปได้ก็มีเพียง 100 คัน ต่อวัน จำนวนดินที่ถูกขุดออกมาได้ก็จะเป็นตัวจำกัด

สำหรับการนำแบบจำลอง MMF ไปใช้ในการประเมินการชะล้างพังทลายดิน นิพนธ์ (2545) กล่าวว่า การนำแบบจำลอง MMF มาใช้ให้ได้ประสิทธิภาพนั้น ต้องคำนึงถึงความซับซ้อนของข้อมูลต่าง ๆ ที่จะใช้กับแบบจำลอง รวมถึงข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน และเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการประมวลผล จากแนวคิดของแบบจำลอง MMF นี้จะพบว่าไม่ได้มีการให้ความสำคัญไปที่การแตกกระจายของเม็ดดินเนื่องจากการพัดพาของน้ำท่า และไม่ได้พิจารณาถึงค่าอิทธิพลของความยาวของความลาดชันที่มีต่อการชะล้างพังทลายดิน (slope length factor)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยเพื่อประเมินอัตราการชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย ได้มีผู้สนใจและทำการศึกษามาอย่างต่อเนื่อง จากการศึกษาของ กรมพัฒนาที่ดิน (2545) สรุปว่าปัญหาการชะล้างพังทลายของดินเป็นปัญหาที่สำคัญมากประการหนึ่งในประเทศไทย โดยพื้นที่การเกษตรทุกประเภทรวมกันทั้งประเทศไทยจำนวน 188.3 ล้านไร่ จัดเป็นพื้นที่ที่ดินถูกชะล้างพังทลายอย่างรุนแรงและจะต้องรีบแก้ไขประมาณ 108.3 ล้านไร่ การศึกษาดังกล่าวได้ใช้สมการสูญเสียดินสากล (USLE) ที่เป็นแบบจำลองประเภทเอมไพริคอลในการศึกษาวิจัย ซึ่งสมการสูญเสียดินสากลแสดงดังสมการที่ (1)

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

เมื่อ

- A = ค่าการสูญเสียดินต่อหน่วยพื้นที่
- R = ค่าปัจจัยของน้ำฝนและการไหลบ่า
- K = ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน
- L = ค่าของปัจจัยความยาวของความลาดเท
- S = ปัจจัยความชันของความลาดเท
- C = ค่าปัจจัยการจัดการพืช
- P = เป็นค่าปัจจัยการปฏิบัติการป้องกันการชะล้างพังทลาย

ข้อมูลที่กรมพัฒนาที่ดินใช้ในการศึกษาการชะล้างพังทลายดินโดยสมการสูญเสียดินสากลนั้นประกอบด้วย 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน ความลาดชันของพื้นที่ และการประเมินค่าปัจจัยการจัดการพืช

ค่าปัจจัยของน้ำฝนและการไหลบ่าที่ใช้ในสมการสูญเสียดินสากล ประเมินขึ้นโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 324 สถานีทั่วประเทศระหว่างปี พ.ศ.2509-2538 ในส่วนของปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.04-0.56 การประเมินค่าดังกล่าวอาศัยสมบัติของตัวแทนชุดดิน ที่มีการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ สำหรับค่าของปัจจัยความยาวของความลาดเทและปัจจัยความชันของความลาดเท ได้จากการหาความยาวของความลาดเทและความลาดชัน

โดยใช้ข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร และการประเมินค่าปัจจัยการจัดการพืชและค่าปัจจัยการปฏิบัติการป้องกันการชะล้างพังทลาย ที่ขึ้นกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นค่าที่ได้จากการวิจัยร่วมกันของนักวิชาการทางด้านการเกษตรทั้งในและต่างประเทศ อย่างไรก็ตามในการศึกษาดังกล่าวยังได้กล่าวไว้ว่า ผลการศึกษานั้นเป็นการแสดงให้เห็นถึงภาพรวมของความรุนแรงในการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ขนาดใหญ่

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2541) ได้ทำการศึกษาถึงปัญหาการชะล้างพังทลายของดินพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในปี พ.ศ.2539 โดยใช้สมการ USLE และมีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือในการประมวลผล ผลการศึกษาแบ่งระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินเป็น 3 ระดับ คือ น้อย (น้อยกว่า 5 ต้นต่อไร่ต่อปี) ปานกลาง (5 ถึง 20 ต้นต่อไร่ต่อปี) และรุนแรง (มากกว่า 20 ต้นต่อไร่ต่อปี) ผลการศึกษาพบว่า ระดับการชะล้างพังทลายของดินที่รุนแรงน้อย มีพื้นที่ 4.25 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 93.38 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ระดับรุนแรงปานกลางมีพื้นที่ 0.25 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.45 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และระดับรุนแรงมีพื้นที่ 0.05 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.17 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

นิพนธ์ (2545) ได้ใช้สมการ USLE ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำเพื่อประเมินการชะล้างพังทลายของดิน และ Meijerrink and Stewart (1988) ได้ใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ILWIS ร่วมกับสมการ USLE ในการหาผลกระทบจากการกำหนดแผนการใช้ที่ดินรูปแบบต่าง ๆ ต่อปริมาณการชะล้างพังทลายดินและตะกอน

ในการตรวจพิสูจน์อัตราการชะล้างพังทลายของดินที่ประเมินได้จากแบบจำลอง MMF Iampornrat *et al.* (2002) ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณการชะล้างพังทลายดินโดยใช้สมการสูญเสียดินสากล (USLE) กับแบบจำลอง MMF ในพื้นที่ตำบลเขาหินซ้อน อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และได้สรุปผลว่าอัตราการชะล้างพังทลายของดินที่ได้จากการประเมินโดยแบบจำลอง MMF จะมีค่าต่ำกว่าสมการสูญเสียดินสากล โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง สอดคล้องกับการศึกษาของ Yazidhi (2003) ที่พบว่าอัตราการชะล้างพังทลายของดินบริเวณ อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ได้จากแบบจำลอง MMF จะมีค่าต่ำกว่า ค่าที่ได้จากแบบจำลอง RUSLE

Shrestha *et al.* (2004) ได้ศึกษาการการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่อำเภอหล่มเขา จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้สมการสูญเสียดินสากล และแบบจำลอง MMF ผลการศึกษาดังกล่าวพบว่า

การชะล้างพังทลายของดินรายปีที่ประเมินได้จากสมการสูญเสียดินสากลมีค่าอยู่ในช่วง 0-71 ต้นต่อเฮกแตร์ต่อปี ในขณะที่ผลการชะล้างพังทลายของดินที่ประเมินจากแบบจำลอง MMF มีค่าอยู่ในช่วง 0-20 ต้นต่อเฮกแตร์ต่อปี ในการทดสอบความไวของปัจจัยที่มีผลต่อแบบจำลองทั้ง 2 พบว่าสมการสูญเสียดินสากลมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง จากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินมากกว่าแบบจำลอง MMF ในทางตรงกันข้ามแบบจำลอง MMF มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง จากความลาดชันของพื้นที่ และปริมาณน้ำฝนมากกว่าสมการสูญเสียดินสากล ซึ่งแบบจำลอง MMF ได้พิจารณาถึงผลกระทบในส่วนนี้โดยพิจารณาถึงความสามารถในการพัดพาตะกอนดินโดยน้ำไหลบ่าหน้าดิน แต่ในสมการสูญเสียดินสากลจะไม่มีการพิจารณากระบวนการนี้ในแบบจำลอง

ยุทธชัย และคณะ (2547) ได้ทำการศึกษาการชะล้างพังทลายดินในประเทศไทยโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MMF โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือ พบว่า ในปี พ.ศ. 2545 ประเทศไทยมีการสูญเสียดินประมาณ 463.5 ล้านตันต่อปี และมีพื้นที่ที่มีการชะล้างพังทลายดินในระดับปานกลางจนถึงรุนแรงมาก (อัตราการสูญเสียดินตั้งแต่ 5 ถึงมากกว่า 20 ต้นต่อไร่ต่อปี) เป็นพื้นที่ 16.16 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.04 ของพื้นที่ทั้งประเทศ และในปี พ.ศ.2546 ประเทศไทยสูญเสียดินประมาณ 300.6 ล้านตันต่อปี และมีพื้นที่ที่มีการชะล้างพังทลายของดินปานกลางจนถึงรุนแรงมาก (อัตราการสูญเสียดินตั้งแต่ 5 ถึงมากกว่า 20 ต้นต่อไร่ต่อปี) 12.29 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.83 ของพื้นที่ทั้งประเทศ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการชะล้างพังทลายดินปี พ.ศ.2545 และ 2546 ที่ประเมินโดยแบบจำลอง MMF กับที่ประเมินโดยสมการสูญเสียดินสากลในเชิงพื้นที่ พบว่าในปี พ.ศ.2545 มีพื้นที่ที่มีระดับความรุนแรงทั้งห้าระดับตรงกันเป็นพื้นที่ 208.16 ล้านไร่ หรือร้อยละ 64.89 ของพื้นที่ทั้งประเทศ และในปี พ.ศ.2546 มีพื้นที่ที่มีระดับความรุนแรงทั้งห้าระดับตรงกันในเชิงพื้นที่เป็นพื้นที่ 209.34 ล้านไร่ หรือร้อยละ 65.26 ของพื้นที่ทั้งประเทศ

กรมชลประทาน (2538) ได้ทำการศึกษาถึงอัตราการชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียงโดยใช้สมการ USLE รวมถึงมีการศึกษาปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ไหลไปกับน้ำท่าและลงสู่ระบบทะเลสาบสงขลา การศึกษาดังกล่าวได้รวบรวมข้อมูลการตรวจวัดปริมาณตะกอนในรูปของตะกอนแขวนลอย (suspended solid) ที่สถานีวัดตะกอนจำนวน 34 สถานี ทั้งทั้งกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียง โดยเป็นสถานีวัดปริมาณตะกอนในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาจำนวน 10 สถานี ผลการตรวจวัดพบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา จากกลุ่มน้ำย่อยทางตะวันตกของทะเลสาบมีปริมาณเฉลี่ย 142,367 ต้นต่อปี รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายชื่อสถานีวัดตะกอนและสถิติปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยรายปี

รหัสสถานี	อำเภอ	จังหวัด	ช่วงปีสถิติข้อมูล	ปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยรายปี (ตัน/ปี)
X.90	หาดใหญ่	สงขลา	พ.ศ.2521-2534	53,075.50
X.111	สะเดา	สงขลา	พ.ศ.2522-2534	6,783.10
X.113	สะเดา	สงขลา	พ.ศ.2522-2534	6,875.80
X.67	รัตภูมิ	สงขลา	พ.ศ.2521-2532	11,940.80
DEDP.1	หาดใหญ่	สงขลา	พ.ศ.2523-2533	1,395.16
X.21B	เขาชัยสน	พัทลุง	พ.ศ.2523-2512	24,575.00
X.68	เมือง	พัทลุง	พ.ศ.2526-2532	9,480.70
X.129	เขาชัยสน	พัทลุง	พ.ศ.2526-2532	18,504.70
DEDP.2	เมือง	พัทลุง	พ.ศ.2526-2533	7,226.37
DEDP.3	กงหรา	พัทลุง	พ.ศ.2527-2533	2,509.78

ที่มา: กรมชลประทาน (2538)

จากการรวบรวมข้อมูลสถิติปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยรายปี ที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาเพิ่มเติมพบว่า กรมชลประทาน (2547) ได้มีการตรวจวัดปริมาณตะกอนบริเวณปากคลองที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา คือ สถานี X.90 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ในช่วงปี พ.ศ.2521-2544 พบว่ามีค่าตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยรายปี 61,741 ตันต่อปี และสถานี X.129 อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง ในช่วงปี พ.ศ.2526-2537 พบว่ามีค่าตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยรายปี 16,886 ตันต่อปี ซึ่งเมื่อคำนวณข้อมูลดังกล่าวรวมกับข้อมูลเดิมที่ กรมชลประทาน (2538) ได้ศึกษาไว้ พบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา มีปริมาณเฉลี่ย 149,387 ตันต่อปี อย่างไรก็ตามจากการตรวจวัดดังกล่าว ยังไม่ครอบคลุมถึงปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา เนื่องจากสถานีตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มีอยู่ในพื้นที่นั้น มีเพียงบางคลองสายหลักที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาเท่านั้น

นอกจากนี้ในการศึกษาของ กรมชลประทาน (2538) ยังได้อาศัยข้อมูลการตรวจวัดปริมาณตะกอนมาใช้ในการคำนวณด้วยแบบจำลอง HEC-4 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา มีปริมาณ 467,167 ตันต่อปี ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวคำนวณจากข้อมูลตะกอนแขวนลอยในช่วงปี พ.ศ.2506 ถึง พ.ศ.2534

ในการประเมินปริมาณตะกอนดินที่ถูกพัดพาลงสู่ทะเลสาบ รัช และคณะ (2541) ได้รายงานถึงการศึกษาปริมาณตะกอนเฉลี่ยต่อปี ของลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ ภายในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของพื้นที่รับน้ำในลุ่มน้ำย่อย กับปริมาณตะกอนดินที่สามารถถูกพัดพาลงสู่ทะเลสาบสงขลา เป็นสมการแบบเอมไพริคอล ซึ่งสมการประเภทนี้อาศัยพื้นฐานจากการทำการทดลองหลาย ๆ ครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลมา และนำข้อมูลเหล่านั้นมาประมวลผล โดยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และสถิติ ซึ่งสมการที่ได้จากการศึกษาแสดงดังสมการที่ (2)

$$Q_s = 283.16A^{0.662} \quad (2)$$

เมื่อ Q_s = ปริมาณตะกอนที่ไหลลงสู่ทะเลสาบ ในหน่วย ตันต่อปี
 A = พื้นที่รับน้ำของลุ่มน้ำย่อย ในหน่วย ตารางกิโลเมตร

จากการศึกษาของ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2541) ที่ทำการศึกษาระยะล่างพังทลายของดินพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในปี พ.ศ.2539 โดยใช้สมการ USLE พบว่าปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายในพื้นที่ มีทั้งสิ้น 5.3 ล้านตัน นอกจากนี้ในการศึกษาดังกล่าวได้รายงานว่าร้อยละ 5 ของปริมาณตะกอนดินทั้งหมดที่เกิดจากการถูกชะล้างพังทลาย จะไหลออกจากพื้นที่และลงสู่ปากคลองหรือปากแม่น้ำ ดังนั้นจากวิธีการที่กล่าวมา ปริมาณตะกอนดินที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาในปีพ.ศ.2539 จะมีค่าประมาณ 267,010 ตัน โดยร้อยละ 90 ของปริมาณดังกล่าว คือ 240,309 ตัน จะไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาในรูปของตะกอนแขวนลอย ในการศึกษาเดียวกันนี้ ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 24 จุด จากปากคลองสายหลักที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาในปีพ.ศ.2540 ความถี่เดือนละ 1 ครั้ง เพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำ ปริมาณตะกอนแขวนลอย และปริมาณน้ำท่า จากผลการตรวจวัดพบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาจะมีค่าประมาณ 144,610 ตันต่อปี อย่างไรก็ตามปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ได้จากการศึกษาดังกล่าว อาจมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงเนื่องจากในบางจุดเก็บตัวอย่าง และบางช่วงเวลาไม่สามารถทำการวัดปริมาณน้ำท่าได้

กรมควบคุมมลพิษ (2549) ได้ทำการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยบริเวณปากคลองสายหลักที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา ในปี พ.ศ.2547 ซึ่งคลองดังกล่าวเป็นคลองสายหลักของแต่ละลุ่มน้ำย่อยทางฝั่งตะวันตกของทะเลสาบสงขลา รวม 8 ลุ่มน้ำย่อย ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยคลองป่าพะยอม ลุ่มน้ำย่อยคลองท่าแนะ ลุ่มน้ำย่อยคลองนาท่อม ลุ่มน้ำย่อยคลองท่าเชียด ลุ่มน้ำย่อยคลองป่าบอน ลุ่มน้ำย่อยคลองพรุพ้อ ลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ และลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา ซึ่งผลการตรวจวัดดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณตะกอนดินที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาได้ โดยรายละเอียดผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าของแข็งแขวนลอยบริเวณปากคลองสายหลักที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา

เดือน	ค่าของแข็งแขวนลอยในคลองสายหลักของกลุ่มน้ำย่อย (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	คลอง ป่าพะยอม	คลอง ท่าแนะ	คลอง นาท่อม	คลอง ท่าเชียด	คลอง ป่าบอน	คลอง พรุพ้อ	คลอง รัตภูมิ	คลอง อู่ตะเภา
ม.ค.	4.0	10.0	103.0	11.0	8.0	87.0	790.0	145.0
เม.ย.	3.5	43.0	34.0	18.0	35.7	132.0	37.0	55.2
ส.ค.	19.0	46.0	29.0	15.0	31.0	10.0	44.0	66.0
พ.ย.	-	-	18.0	35.0	42.0	14.0	15.6	114.0

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2549)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ฮาร์ดแวร์

- 1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ประมวลผล 32 บิต ที่มีความเร็วหน่วยประมวลผลกลางไม่น้อยกว่า 1.8 GHz ซึ่งมีพื้นที่เก็บข้อมูลไม่น้อยกว่า 120 GB
- 1.2 ฮาร์ดดิสก์ที่มีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 200 GB
- 1.3 เครื่องพิมพ์แผ่นที่สีขนาด A4
- 1.4 เครื่องระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยระบบดาวเทียม (GPS)

2. ซอฟต์แวร์

- 2.1 ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP Professional
- 2.2 โปรแกรม Arcview GIS Version 3.3 พร้อม Spatial Analyst 2.0 (ESRI, USA)
- 2.3 โปรแกรม ArcInfo 9 ในชุดโปรแกรม ArcGIS (ESRI, USA)
- 2.4 โปรแกรม ILWIS 3.2 Academic (ITC, The Netherlands)
- 2.5 ชุดโปรแกรม Microsoft Office 2003

3. ข้อมูล

3.1 แผนที่ภูมิประเทศจังหวัดพัทลุง จังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราช มาตราส่วน 1:50,000

3.2 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน จำนวนวันฝนตก และความชื้นฝนเฉลี่ยเป็นรายเดือนในช่วงเวลา 30 ปี (พ.ศ.2517-2546) จากทุกสถานีที่ตั้งอยู่ในจังหวัดพัทลุง จังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราช จากกรมอุตุนิยมวิทยา

3.3 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ.2543 ในพื้นที่จังหวัดพัทลุง จังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราช จากกรมพัฒนาที่ดิน

3.4 ข้อมูลกลุ่มชุดดินและลักษณะสมบัติของดิน ในพื้นที่จังหวัดพัทลุง จังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราช จากกรมพัฒนาที่ดิน

3.5 ข้อมูลเส้นชั้นความสูง หรือระดับความสูงของภูมิประเทศ (digital elevation model; DEM) ในพื้นที่จังหวัดพัทลุง จังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราช จากกรมพัฒนาที่ดิน

3.6 ข้อมูลการชะล้างพังทลายของดิน ที่ประเมินโดยสมการสูญเสียดินสากล (USLE) ในพื้นที่จังหวัดพัทลุง จังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราช จากกรมพัฒนาที่ดิน

3.7 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ความละเอียด 30x30 เมตร ถ่ายในปี พ.ศ.2543 ของพื้นที่จังหวัดพัทลุง จังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราช จากกรมพัฒนาที่ดิน

วิธีการ

1. ตรวจสอบเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาถึงข้อมูลเบื้องต้นของการชะล้างพังทลายดิน รูปแบบของการชะล้างพังทลายดิน ประเภทของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะส่วนของการใช้แบบจำลอง MMF เพื่อประเมินการชะล้างพังทลายดิน โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือ ศึกษาการหาค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอน นอกจากนี้ต้องศึกษาถึงรายละเอียดของปัจจัยที่นำมาใช้ในการศึกษา อันได้แก่ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศและปัจจัยที่เกี่ยวกับดิน

2. การออกแบบการประเมินการชะล้างพังทลายดิน

ในการออกแบบการจัดทำแผนที่การชะล้างพังทลายดิน ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องและใช้ในแบบจำลอง และนำมาจัดทำกระบวนการในการจัดการข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) และข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ (Attribute Data) เพื่อให้กระบวนการดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษา และสามารถดำเนินการได้โดยคำสั่งของโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ใช้

3. การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลหลักที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยข้อมูลอุตุนิมวิทยา ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศ และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งประเภทของข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ จะมีทั้งข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบแผนที่บนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และข้อมูลดิจิทัลที่มีพิกัดของจุดข้อมูลที่แน่นอน โดยข้อมูลทั้ง 2 ประเภทเป็นข้อมูลที่รวบรวมจากกรมอุตุนิมวิทยา และกรมพัฒนาที่ดิน รายละเอียดของข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ที่มาและรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูล	ที่มา	รายละเอียดข้อมูล
ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลจำนวนวันฝนตก	กรมอุตุนิยมวิทยา	ข้อมูลเชิงปริมาณในรูปแบบดิจิทัล พร้อมพิกัดที่คั่งทางภูมิศาสตร์ของข้อมูล จากสถานีตรวจวัดสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา เป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนในคาบเวลา 30 ปี (พ.ศ.2517-2546)
ข้อมูลสมบัติทางกายภาพของดิน	กรมพัฒนาที่ดิน	ข้อมูลแผนที่บนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในรูปแบบเวกเตอร์ จำนวน 1,273 จุดเก็บตัวอย่างทั่วประเทศ
ข้อมูลระดับความสูงของ ภูมิประเทศ	กรมพัฒนาที่ดิน	ข้อมูลเส้นชั้นความสูง (contour line) ของพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยในรูปแบบแผนที่บนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีระยะห่างชั้นละ 100 เมตร
ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน	การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ.2543 โดยการแปลจากภาพถ่ายดาวเทียม มาตราส่วนแผนที่ 1:100,000 และ 1:50,000
ข้อมูลขอบเขตการปกครองระดับ ตำบล อำเภอ และจังหวัด	กรมพัฒนาที่ดิน	ขอบเขตการปกครองอ้างอิงตามกรมการปกครองปี พ.ศ.2542 มาตราส่วน 1:50,000

4. การเตรียมข้อมูลในการประเมินการชะล้างพังทลายของดิน

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมมาจัดเตรียมเป็นชั้นข้อมูลในรูปแบบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่สามารถประมวลผลได้บนโปรแกรม ILWIS 3.2 และโปรแกรม Arcview GIS Version 3.3 โดยในขั้นตอนนี้จะทำการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการประเมินการชะล้างพังทลายของดินทั้งหมด 11 ปัจจัย รายละเอียดแสดงในตารางที่ 6 นอกจากนี้ในการดำเนินงานขั้นนี้จะได้ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอยในน้ำ เพื่อประเมินปริมาณตะกอนแขวนลอยจากคลองสายหลักที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา และอัตราส่วนการพัดพาตะกอน

ตารางที่ 6 การเตรียมข้อมูลที่ใช้ประมวลผลในแบบจำลอง MMF

ข้อมูล	ที่มาของข้อมูล
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	
- ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี (annual rainfall: R)	เตรียมจากข้อมูลสภาพอากาศ ของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนในคาบเวลา 30 ปี (พ.ศ. 2517-2546) สำหรับข้อมูลความหนักเบาของฝนสำหรับภูมิอากาศในเขตร้อนใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร
- ข้อมูลจำนวนวันฝนตกในรอบปี (rainy day: Rn)	
- ข้อมูลความหนักเบาของฝน (rainfall intensity: I)	
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับดิน	
- ข้อมูลความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (moisture content at field capacity: MS)	เตรียมจากฐานข้อมูลสมบัติทางกายภาพของดินของกรมพัฒนาที่ดิน
- ข้อมูลความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density: BD)	ร่วมกับการใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร
- ข้อมูลดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (soil detachability index: K)	
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน	
- ข้อมูลปัจจัยการปกคลุมของพืช (crop cover factor: C)	เตรียมขึ้นโดยใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร ร่วมกับการใช้ฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2543
- ข้อมูลร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (crop interception percent factor: A)	
- ข้อมูลความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (rooting depth: RD)	
- ข้อมูลอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (ratio of actual to potential evapotranspiration: E/E_0)	
ข้อมูลความสูงภูมิประเทศ	
- ข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศ (Elevation)	คำนวณจากข้อมูลเส้นความสูงที่มีระยะห่างชั้นละ 100 เมตร

จากตารางที่ 6 ปีจัยที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่แบบจำลอง MMF มีทั้งสิ้น 11 ปีจัยซึ่งมีวิธีการเตรียมดังนี้

4.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี (annual rainfall) ข้อมูลจำนวนวันฝนตกในรอบปี (rainy day) ซึ่งข้อมูล 2 ปีจัยนี้เป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน ในคาบเวลา 30 ปี (พ.ศ.2517-2546) และจากการศึกษาของ Wischmeier *et al.* (1978) พบว่าเมื่อปริมาณฝนตกเฉลี่ยในหนึ่งวันมีค่าน้อยกว่า 12.5 มิลลิเมตร ปริมาณฝนดังกล่าวจะไม่ส่งผลต่อการเกิดการชะล้างพังทลายของดิน ดังนั้นในการเตรียมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเพื่อประมวลผลในแบบจำลองจะใช้วิธีที่ Saengthongpinit (2004) รายงานไว้คือ ต้องทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณน้ำฝนออกเป็นค่าเฉลี่ยรายวัน แล้วนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่มีค่าเฉลี่ยรายวันเกิน 12.5 มิลลิเมตร (erosive rain) มาใช้ในแบบจำลอง สำหรับจำนวนวันฝนตกที่นำมาใช้ในการประมวลผลก็จะพิจารณาเฉพาะข้อมูลที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันเกิน 12.5 มิลลิเมตรเช่นกัน ในส่วนของข้อมูลความหนักเบาของฝน (rainfall intensity) การศึกษาของ Shrestha (1997) รายงานว่า ค่าความหนักเบาของฝนที่ส่งผลต่อการเกิดการชะล้างพังทลายของดิน สำหรับเขตอบอุ่นมีค่าเท่ากับ 11.0 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับเขตร้อนเท่ากับ 25.0 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้ค่าความหนักเบาของฝนที่ 25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ในการเตรียมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการประมวลผลทั้ง 3 ปีจัยทำได้โดย

4.1.1 นำเข้าข้อมูลเชิงปริมาณและพิกัดภูมิศาสตร์แบบ Latitude-Longitude ของแต่ละข้อมูลไปเป็นฐานข้อมูลตาราง Database File (.DBF)

4.1.2 นำเข้าสู่ชั้นข้อมูล GIS ในรูปแบบของโปรแกรม Arcview GIS Version 3.3

4.1.3 แปลงพิกัดภูมิศาสตร์ลงสู่ระบบ UTM Indian_Datum_1975 Zone 47

4.1.4 แปลงข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม ILWIS 3.2

4.1.5 ทำการกระจายค่าข้อมูลซึ่งเป็นจุดตามพิกัดลงสู่ทุกพื้นที่โดยการ Interpolation โดยวิธี Moving Average ด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักแบบ Inverse Distance ด้วย Algorithm ของโปรแกรม ILWIS 3.2 ที่ขนาดความละเอียด 100x100 เมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับดิน ประกอบไปด้วย ข้อมูลความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (moisture content at field capacity) ข้อมูลความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) และข้อมูลดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (soil detachability index) สำหรับข้อมูลค่าความจุความชื้นของดินที่ระดับสนามและข้อมูลความหนาแน่นรวมของดินที่นำมาใช้ในการศึกษา มีที่มาจากผลการสำรวจของกรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้สำรวจตัวอย่างดินจำนวน 1,273 จุดทั่วประเทศไทย แล้วนำวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางกายภาพดิน ในส่วนของข้อมูลดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝนอาศัยค่าจากการตรวจเอกสารซึ่งอ้างอิงกับข้อมูลเนื้อดิน สำหรับขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลทั้ง 3 ส่วน คือ

4.2.1 ป้อนข้อมูลความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม และข้อมูลความหนาแน่นรวมของดินที่ได้จากการสำรวจของกรมพัฒนาที่ดิน และข้อมูลดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝนที่ได้จากการตรวจเอกสาร ตามประเภทของเนื้อดินลงสู่ฐานข้อมูลกลุ่มชุดดิน ในรูปแบบข้อมูลตารางของโปรแกรม Arcview GIS Version 3.3

4.2.2 ทำการแปลงข้อมูลจากรูปแบบของโปรแกรม Arcview GIS Version 3.3 เข้าสู่โปรแกรม ILWIS 3.2

4.2.3 แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบพื้นที่ปิด (polygon) ซึ่งเป็นข้อมูลแบบเวกเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบของราสเตอร์ ของโปรแกรม ILWIS 3.2 ที่ขนาดความละเอียด 100x100 เมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4.3 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย ข้อมูลปัจจัยการปกคลุมของพืช (crop cover factor) ข้อมูลร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (crop interception percent factor) ข้อมูลความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (rooting depth) และข้อมูลอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (ratio of actual to potential evapotranspiration) สำหรับข้อมูลปัจจัยการปกคลุมของพืชที่นำมาใช้ เป็นค่าที่ได้จากการตรวจเอกสารซึ่ง กรมพัฒนาที่ดิน (2545) ได้จัดทำไว้ โดยค่าปัจจัยการปกคลุมของพืชในที่นี้เป็นผลคูณระหว่างค่าปัจจัยการจัดการพืช (crop management factor) และค่าการปฏิบัติป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน (practice factor) ที่ใช้ในสมการสูญเสียดินสากล สำหรับค่าปัจจัยการปกคลุมของพืชนั้น แสดงถึงความสามารถของพืชคลุมดินที่มีผลต่ออัตราการเกิดการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่

ในส่วนของการเตรียมข้อมูลร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ และข้อมูลอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด ได้ใช้ค่าจากการตรวจเอกสารโดยจำแนกตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน และในการเตรียมข้อมูลความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในการศึกษาได้ใช้ค่าจากแบบจำลอง revised Morgan, Morgan and Finney ซึ่งได้ใช้คำว่า “effective hydrological depth” แทนคำว่า “rooting depth” ค่าดังกล่าวนี้เป็นค่าความลึกที่รากพืชสามารถดึงเอาน้ำขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ในหน่วยเมตร Morgan (2001) สำหรับวิธีการเตรียมข้อมูลก่อนการนำไปประมวลผลในแบบจำลองมีดังนี้

4.3.1 ป้อนค่าของข้อมูลที่ได้จากการตรวจเอกสาร ตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ เข้าสู่ฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบข้อมูลตารางของโปรแกรม Arcview GIS Version 3.3

4.3.2 ทำการแปลงข้อมูลจากรูปแบบของโปรแกรม Arcview GIS Version 3.3 เข้าสู่โปรแกรม ILWIS 3.2

4.3.3 แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบพื้นที่ปิด (polygon) ซึ่งเป็นข้อมูลแบบเวกเตอร์ ให้อยู่ในรูปแบบของราสเตอร์ ของโปรแกรม ILWIS 3.2 ที่ขนาดความละเอียด 100x100 เมตรเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4.4 ข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศ ที่ใช้ในการศึกษานี้ เตรียมได้จากข้อมูลเส้นชั้นความสูงของภูมิประเทศ (contour line) ที่มีระยะห่างกันชั้นละ 100 เมตร สำหรับวิธีการเตรียมข้อมูลเส้นชั้นความสูงของภูมิประเทศให้เป็นความสูงของภูมิประเทศ สามารถทำได้ดังนี้

4.4.1 แปลงข้อมูลเส้นชั้นความสูงของภูมิประเทศ จากรูปแบบของโปรแกรม Arcview GIS Version 3.3 เข้าสู่โปรแกรม ILWIS 3.2

4.4.2 ทำการกระจายค่าข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบเส้นชั้นความสูง โดยวิธี Interpolation เพื่อสร้างข้อมูล Digital Elevation Model (DEM) ด้วย Algorithm ของโปรแกรม ILWIS 3.2 ที่ขนาดความละเอียด 100x100 เมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

5. การประเมินการชะล้างพังทลายดินโดยแบบจำลอง MMF

ในการศึกษาครั้งนี้จะประเมินปริมาณการชะล้างพังทลายดิน หรือปริมาณตะกอนในพื้นที่ โดยใช้แบบจำลอง MMF ซึ่งแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการแตกกระจายของเม็ดดินที่เกิดจากเม็ดฝน (soil detachment phase) และกระบวนการพัดพาเม็ดดินที่แตกกระจายไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดิน (soil transportation phase) อันเป็นแนวคิดของแบบจำลอง MMF โดยในการประมวลผลจะใช้ข้อมูลทั้ง 11 ปีจจัยที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปของข้อมูลแบบราสเตอร์ และนำข้อมูลดังกล่าวมาประมวลผลตามสมการของแบบจำลอง

5.1 สำหรับการประเมินปริมาณการแตกกระจายของเม็ดดิน สามารถทำได้โดยการคำนวณพลังงานจลน์ของเม็ดฝนที่จะก่อให้เกิดการแตกกระจายของเม็ดดิน แล้วนำพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นมาประเมินปริมาณดินที่กระจายออกเป็นเม็ดดิน ดังนี้

5.1.1 การหาพลังงานจลน์ของเม็ดฝน (kinetic energy of rainfall) ที่มีผลต่อการแตกตัวของดิน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้สมการของ Hudson (1965) ที่ได้ทำการทดลองหาพลังงานจลน์ของเม็ดฝนในประเทศซิมบับเวย์ ทวีปแอฟริกา ซึ่งสมการของ Hudson นี้ได้พัฒนาขึ้นเพื่อให้เหมาะสำหรับการใช้กับประเทศในเขตร้อน ในการประมวลผลสามารถทำได้โดยนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี (annual rainfall) ในหน่วยมิลลิเมตรและข้อมูลความหนักเบาของฝน (rainfall intensity) ในหน่วยมิลลิเมตรต่อชั่วโมง มาทำการประมวลผลตามสมการที่ (3) เพื่อที่จะได้ข้อมูลพลังงานจลน์ของฝน ในหน่วยจูลต่อตารางเมตร

$$E = R \left(29.8 + \frac{127.5}{I} \right) \quad (3)$$

เมื่อ E = พลังงานจลน์ของฝน (kinetic energy of rainfall) ในหน่วย จูลต่อตารางเมตร
 R = ปริมาณน้ำฝนรายปี (annual rainfall) ในหน่วย มิลลิเมตร
 I = ค่าความหนักเบาของฝน (rainfall intensity) ในหน่วย มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

5.1.2 การหาปริมาณเมื่อดินที่แตกกระจาย (soil detachment) จากพลังงานของเม็ดฝน เป็นการใช้อัตราการแตกกระจายของดินด้วยน้ำฝน (soil detachability index) ข้อมูลร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (crop interception percent factor) และข้อมูลพลังงานจลน์ของฝน (kinetic energy of rainfall) มาทำการวิเคราะห์ตามสมการเพื่อหาปริมาณเมื่อดินที่แตกกระจาย ซึ่งสมการที่ใช้ในการประมวลผลแสดงดังสมการที่ (4)

$$D = K(E \cdot \exp^{-0.05A})10^{-3} \quad (4)$$

เมื่อ D = ปริมาณเมื่อดินที่แตกกระจาย (soil detachment) ในหน่วย กิโลกรัมต่อตารางเมตร
 K = อัตราการแตกกระจายของเมื่อดินด้วยน้ำฝน (soil detachability index) ในหน่วย กรัมต่อจุล
 E = พลังงานจลน์ของฝน (kinetic energy of rainfall) ในหน่วย จูลต่อตารางเมตร
 A = ร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (crop interception percent factor)

5.2 การประเมินปริมาณเมื่อดินที่ถูกพัดพาด้วยน้ำไหลบ่าหน้าดิน สามารถหาได้จากการประมวลผลปัจจัยย่อย 2 ปัจจัย คือ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวัน และปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัย จะใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (overland flow) ที่เกิดขึ้น และนำไปประมวลผลต่อจนได้ค่าของปริมาณเมื่อดินที่สามารถถูกพัดพาไปได้ ขั้นตอนดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

5.2.1 การหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวัน (mean rainfall per rainy day) สามารถทำได้โดยการนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี (annual rainfall) ในหน่วยมิลลิเมตร มาพิจารณาพร้อมกับข้อมูลจำนวนวันฝนตกในรอบปี (rainy day) โดยสมการที่ (5)

$$R_0 = \frac{R}{Rn} \quad (5)$$

เมื่อ R_0 = น้ำฝนเฉลี่ยต่อวันในหนึ่งปี (mean rainfall per rainy day) ในหน่วยมิลลิเมตรต่อวัน
 R = ปริมาณน้ำฝนรายปี (annual rainfall) ในหน่วย มิลลิเมตร
 Rn = จำนวนวันฝนตกในรอบปี (rainy day) ในหน่วย วัน

5.2.2 การหาปริมาณน้ำที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ (soil moisture capacity under actual vegetation) จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลลักษณะสมบัติทางกายภาพของดิน 2 ปัจจัยคือ ข้อมูลความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (moisture content at field capacity) ในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก และข้อมูลความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ซึ่งมีหน่วยเป็น เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในการประมวลจะอาศัยการนำปัจจัยทั้ง 2 มาพิจารณาร่วมกับปัจจัยที่เกี่ยวกับพืชอีก 2 ปัจจัยคือ ข้อมูลอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (ratio of actual to potential evapotranspiration) และข้อมูลความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (rooting depth) ในหน่วย เมตร ซึ่งในการประมวลผลจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการเตรียมมาประมวลผลตามสมการที่ (6)

$$R_c = 1000.MS.BD.RD.(E_t / E_0)^{0.05} \quad (6)$$

เมื่อ R_c = ปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ (soil moisture capacity under actual vegetation) ในหน่วย มิลลิเมตร
 MS = ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (moisture content at field capacity) ในหน่วย ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก
 BD = ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ในหน่วย เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 RD = ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (rooting depth) ในหน่วย เมตร
 E_t/E_0 = อัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (ratio of actual to potential evapotranspiration)

5.2.3 การหาปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (overland flow) เป็นการนำเอาข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ (soil moisture capacity under actual vegetation) มาพิจารณาร่วมกับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวัน (mean rainfall per rainy day) โดยค่าที่ได้จะนำมาประมวลผลร่วมกับปริมาณน้ำฝนรายปี (annual rainfall) อีกครั้งหนึ่งซึ่งจะให้ผลออกมาเป็นปริมาณน้ำไหลบ่าที่เกิดขึ้นในหน่วย มิลลิเมตร สำหรับการหาปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินโดยแบบจำลอง MMF นั้นเป็นไปตามสมการที่ (7)

$$Q = R \cdot \exp^{(-R_c / R_0)} \quad (7)$$

- เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (overland flow) ในหน่วย มิลลิเมตร
 R = ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี (annual rainfall) ในหน่วย มิลลิเมตร
 R_c = ปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ (soil moisture capacity under actual vegetation) ในหน่วย มิลลิเมตร
 R_0 = น้ำฝนเฉลี่ยต่อวันในหนึ่งปี (meanfall rain per rainy day) ในหน่วยมิลลิเมตรต่อวัน

5.2.4 การหาปริมาณเมื่อดินที่ถูกพัดพา (soil transportation) สามารถทำได้โดยนำค่าของปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน มาพิจารณาพร้อมกับข้อมูลปัจจัยการปกคลุมของพืช (crop cover factor) รวมถึงค่าความลาดชันของภูมิประเทศในหน่วยองศา (slope gradient) ซึ่งค่าความลาดชันนี้สามารถหาได้จากข้อมูลความสูงของระดับภูมิประเทศ และเมื่อได้ข้อมูลครบทั้ง 3 ปัจจัยแล้วจะต้องนำมาประมวลผลตามสมการที่ (8)

$$T = C \cdot Q^2 \cdot \sin S \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

- เมื่อ T = ปริมาณเมื่อดินที่ถูกพัดพาไปกับน้ำไหลบ่า (soil transportation) ในหน่วย กิโลกรัมต่อตารางเมตร
 C = ปัจจัยการปกคลุมของพืช (crop cover factor)
 Q = ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (overland flow) ในหน่วย มิลลิเมตร
 S = ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (slope gradient) ในหน่วย องศา

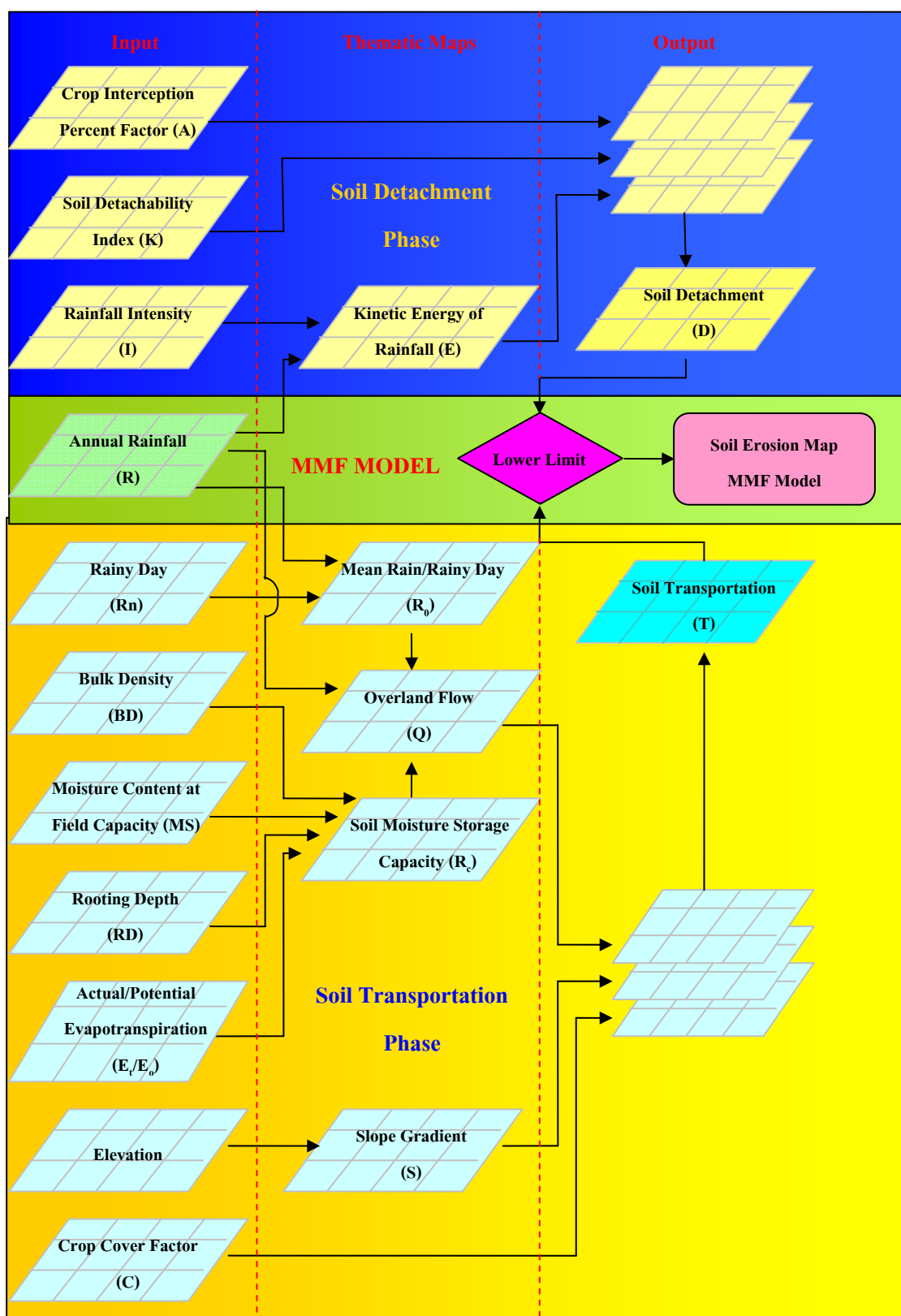
จากสมการที่ (3) ถึง สมการที่ (8) เมื่อได้ผลการคำนวณจากสมการที่ (4) ก็คือชั้นข้อมูลปริมาณเมื่อดินที่แตกกระจายด้วยพลังงานจลน์ของฝน และสมการที่ (8) ก็คือชั้นข้อมูลปริมาณเมื่อดินที่ถูกพัดพาไปกับน้ำไหลบ่า จะต้องนำชั้นข้อมูลทั้งสองมาซ้อนทับกัน และประมวลผลตามเงื่อนไขของแบบจำลอง MMF โดยที่เงื่อนไขนั้นกำหนดว่า ชั้นข้อมูลใดที่มีค่าน้อยกว่าให้ถือว่าค่าน้อยกว่านั้น เป็นปริมาณการชะล้างพังทลายดินในพื้นที่ ซึ่งขั้นตอนการประมวลผลดังกล่าวจะใช้การเขียนชุดคำสั่งในรูปแบบของโปรแกรม ILWIS 3.2

จากขั้นตอนที่กล่าวไปแล้วนั้น เมื่อได้ผลปริมาณการชะล้างพังทลายของดินที่ประเมินจากแบบจำลอง MMF จะนำชั้นข้อมูลปริมาณการชะล้างพังทลายดินดังกล่าว มาทำการแบ่งระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายดินออกเป็นระดับความรุนแรง 5 ระดับ คือตั้งแต่ระดับที่มีการชะล้างพังทลายดินน้อยมากจนถึงระดับที่มีการชะล้างพังทลายดินรุนแรงมาก ตามอัตราการสูญเสียดินต่อปี หลังจากได้ชั้นข้อมูลระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายดินแล้ว ก็จะนำชั้นข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการจัดทำแผนที่ระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาต่อไป สำหรับการจัดระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดิน แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การจัดระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายดิน

ระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดิน	อัตราการสูญเสียดิน (ตัน/ไร่/ปี)
1 : น้อยมาก (very slight)	0-2
2 : น้อย (slight)	2-5
3 : ปานกลาง (moderate)	5-15
4 : รุนแรง (severe)	15-20
5 : รุนแรงมาก (very severe)	มากกว่า 20

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2545)



ภาพที่ 4 ข้อมูลและขั้นตอนในการประเมินการชะล้างพังทลายดินโดยใช้แบบจำลอง MMF

6. การตรวจสอบแบบจำลอง

ในการตรวจสอบอัตราการชะล้างพังทลายของดินที่ได้จากการศึกษานั้น จะใช้ข้อมูลอัตรา การชะล้างพังทลายดินที่กรมพัฒนาที่ดินได้ทำการศึกษาและสำรวจไว้ ซึ่งการตรวจสอบแบบจำลอง สามารถทำได้โดยการนำผลการศึกษาที่คำนวณได้จากแบบจำลอง มาทำการซ้อนทับกันในเชิงพื้นที่ กับค่าที่กรมพัฒนาที่ดินศึกษาไว้ เพื่อหาร้อยละของพื้นที่ที่ผลการศึกษามีอัตราการชะล้างพังทลาย ดินตรงกันกับที่กรมพัฒนาที่ดินได้ศึกษาไว้

7. การประเมินอัตราส่วนการพัดพาตะกอน

ในการประเมินอัตราส่วนการพัดพาตะกอนนั้นต้องอาศัยข้อมูลทั้งหมด 2 ส่วน ได้แก่ ปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่ประเมินได้จากแบบจำลอง MMF และปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำคลองสายหลักที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา ซึ่งค่าอัตราส่วนการ พัดพาตะกอน คำนวณได้จากสมการที่ (9)

$$\text{อัตราส่วนการพัดพาตะกอน} = \frac{\text{ปริมาณตะกอนแขวนลอย}}{\text{ปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลาย}} \times 100 \quad (9)$$

เมื่อ ปริมาณตะกอนแขวนลอย = ปริมาณตะกอนแขวนลอยในคลองสายหลัก
 ปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลาย = ปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายโดยแบบจำลอง MMF

ข้อมูลปริมาณดินจากการถูกชะล้างพังทลายดินในสมการที่ (9) สามารถคำนวณได้จากการ เขียนชุดคำสั่งบนโปรแกรม ILWIS 3.2 เพื่อทำการคำนวณปริมาณรวมของดินที่ถูกชะล้างพังทลาย ในแต่ละตารางกริด โดยใช้ชั้นข้อมูลการชะล้างพังทลายดินจากแบบจำลอง MMF ที่ถูกแบ่งเป็น ตารางกริดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 100x100 เมตร สำหรับปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ใช้ในสมการ จะใช้ปริมาณตะกอนแขวนลอยในคลองสายหลักเป็นตัวแทน

8. สรุปผลการศึกษา การวางแผนทางป้องกันและแก้ไขปัญหา

ทำการสรุปผลการศึกษา รวมถึงแนะนำแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาคาร์ดินเงินของทะเลสาบสงขลาด้วยการป้องกันการชะล้างพังทลายดิน โดยเลือกวิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำให้เหมาะสมกับพื้นที่

9. สถานที่และระยะเวลาในการวิจัย

การศึกษานี้ได้ดำเนินการที่ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีระยะเวลาในการศึกษาตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2548 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2549 รวมระยะเวลา 1 ปี

ตารางที่ 8 แผนงานรายละเอียดการดำเนินการศึกษาวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์

รายละเอียด	พ.ศ.2548										พ.ศ.2549	
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. การตรวจเอกสาร												
2. การรวบรวมและ ทบทวนข้อมูล												
3. การนำเข้าข้อมูล และวิเคราะห์ ข้อมูลเบื้องต้น												
4. วิเคราะห์ข้อมูล												
5. สัมภาษณ์												
6. สรุปผล												
7. การจัดทำรายงาน วิทยานิพนธ์												

ผลและวิจารณ์

ปัจจัยและกระบวนการในการประเมินการชะล้างพังทลายของดิน

การประเมินการชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่ทำการศึกษานี้ ได้ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MMF ที่อาศัยปัจจัยอุณหภูมิมหาสมุทร คุณสมบัติของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และสภาพภูมิประเทศ เพื่อนำมาพิจารณาเป็นกระบวนการแตกกระจายของดินอันเนื่องมาจากฝน และกระบวนการพัดพาเม็ดดินที่แตกกระจายไปกับน้ำไหลบ่า ผลการศึกษาปัจจัยและกระบวนการดังกล่าวคือ

1. ปัจจัยในการประเมินการชะล้างพังทลายของดิน

ในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินโดยแบบจำลอง MMF ในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา จำเป็นต้องเตรียมชั้นข้อมูลทั้งหมดจำนวน 11 ชั้นข้อมูล เพื่อมาใช้ในการประมวลผลตามเงื่อนไขของแบบจำลอง จากการเตรียมข้อมูลดังกล่าวได้ผลการศึกษาเบื้องต้นคือ ชั้นข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่มีรายละเอียด คือ

1.1 ปริมาณน้ำฝนรายปี (annual rainfall) เป็นผลจากการกระจายค่าข้อมูลผลรวมปริมาณน้ำฝนที่มีค่าเฉลี่ยรายวันเกิน 12.5 มิลลิเมตร (erosive rain) จำนวน 99 สถานี ที่อยู่ในรูปแบบจุดพิกัดลงสู่พื้นที่กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ที่ถูกแบ่งออกเป็นตารางกริดขนาด 100x100 เมตร โดยผลการศึกษาที่ได้ พบว่าปริมาณน้ำฝนรายปีมีค่าอยู่ระหว่าง 575.1-2,885.1 มิลลิเมตรต่อปี รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งปริมาณน้ำฝนที่มากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการชะล้างพังทลายของดินสูงขึ้น

1.2 จำนวนวันฝนตกในรอบปี (rainy day) คือผลจากการกระจายค่าข้อมูลจำนวนวันฝนตกที่มีปริมาณน้ำฝนที่มีค่าเฉลี่ยรายวันเกิน 12.5 มิลลิเมตร โดยผลการศึกษาที่ได้พบว่าจำนวนวันฝนตกในรอบปีของพื้นที่กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีค่าอยู่ระหว่าง 40-140 วัน รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 6

1.3 ความหนักเบาของฝน (rainfall intensity) จากการเตรียมข้อมูลเพื่อการประมวลผลได้ใช้ค่าความหนักเบาของฝนเท่ากับ 25.0 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงกับพื้นที่ศึกษา ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าความหนักเบาของฝนสำหรับภูมิอากาศในเขตร้อน รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 7

1.4 ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (moisture content at field capacity) การศึกษาค่าความจุความชื้นของดินที่ระดับสนามในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.00-0.50 ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 8 ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นผลที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยข้อมูลความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม เพื่อเป็นตัวแทนของกลุ่มชุดดินต่าง ๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยพื้นที่ที่มีค่าความจุความชื้นของดินเท่ากับ 0.00 ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก คือ พื้นที่หินโพล์ พื้นที่แหล่งน้ำ หรือพื้นที่ที่ถูกรบกวนจากมนุษย์ เช่น พื้นที่ในเขตเมือง ถนน นาทุ่ง ฯลฯ สำหรับดินที่มีค่าความจุความชื้นของดินที่ระดับสนามสูง จะเป็นดินที่กักเก็บน้ำไว้ได้มาก และส่งผลให้ปริมาณเมล็ดดินที่ถูกพัดพาไปกับน้ำไหลบ่าลดลง

1.5 ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.0000-1.6268 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 9 ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นผลการศึกษาที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยข้อมูลความหนาแน่นรวมของดิน เพื่อเป็นตัวแทนของกลุ่มชุดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยพื้นที่ที่มีค่าความจุความชื้นของดินเท่ากับ 0.0000 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คือ แหล่งน้ำ พื้นที่หินโพล์ หรือพื้นที่ที่ถูกรบกวนจากมนุษย์ สำหรับดินที่มีความหนาแน่นรวมของดินและความจุความชื้นของดินที่ระดับสนามสูง จะสามารถเก็บกักน้ำไว้ในดินมากขึ้น ส่งผลให้เกิดปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินลดลง และทำให้ปริมาณเมล็ดดินที่ถูกพัดพาไปกับน้ำไหลบ่าลดลงตามไปด้วย

ตารางที่ 9 ค่าปัจจัยทางกายภาพของดินที่ใช้ในแบบจำลอง MMF จำแนกตามกลุ่มชุดดิน

กลุ่มชุดดิน	ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก)	ความหนาแน่นรวมของดิน (เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
2	0.30	1.4075
3	0.31	1.4470
5	0.32	1.3185
6	0.26	1.4720
7	0.20	1.4852
8	0.20	1.4852
10	0.34	1.3540
11	0.34	1.3540
13	0.22	1.2180
14	0.50	1.1270
16	0.19	1.3350
17	0.14	1.5744
22	0.18	1.5664
23	0.03	1.3963
25	0.07	1.6268
26	0.13	1.3619
32	0.19	1.3350
34	0.14	1.5350
35	0.14	1.5813
39	0.06	1.4067
41	0.05	1.5394
42	0.03	1.3963
43	0.05	1.5394
45	0.21	1.4776
50	0.14	1.5213
51	0.18	1.4278
53	0.22	1.2180
58	0.31	0.1700
59	0.18	1.4278
60	0.06	1.4067
62	0.22	1.2180
พื้นที่ที่ถูกครอบงวนจากมนุษย์	0.00	0.0000

1.6 ดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (soil detachability index) เป็นการใช้ค่าที่ได้จากการตรวจเอกสาร และนำค่าดังกล่าวมาอ้างอิงกับข้อมูลเนื้อดิน จากการศึกษาพบว่าค่าดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝนของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00-1.20 กรัมต่อจุล รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 10 โดยพื้นที่ที่มีค่าดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝนเท่ากับ 0.00 กรัมต่อจุล คือ พื้นที่หินโพล์ พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่ที่ถูกรบกวนจากมนุษย์ สำหรับดินที่มีค่าดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝนสูงเช่น ดินที่มีอนุภาคเป็นทรายและทรายแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก จะส่งผลให้เกิดอัตราการแตกกระจายของเม็ดดินสูงกว่าดินที่มีค่าดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝนต่ำ เช่น ดินที่มีอนุภาคดินเหนียวเป็นองค์ประกอบหลัก

ตารางที่ 10 ค่าดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝนจำแนกตามเนื้อดิน

เนื้อดิน	ดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน
	(กรัมต่อจุล)
Sand	1.20
Loamy sand	0.30
Sandy loam	0.70
Loam	0.80
Silt	1.00
Silt loam	0.90
Sandy clay loam	0.10
Clay loam	0.70
Silt clay loam	0.80
Sandy clay	0.30
Silt clay	0.50
Clay	0.05

ที่มา: Morgan (2001)

1.7 ปัจจัยการปกคลุมของพืช (crop cover factor) ค่าปัจจัยการปกคลุมของพืชที่ใช้ในการประมวลผลโดยแบบจำลอง MMF นั้นเป็นค่าจากการตรวจเอกสารที่ กรมพัฒนาที่ดิน (2545) ได้ศึกษาไว้ โดยการให้ค่านั้นจะอ้างอิงกับประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากการเตรียมข้อมูลพบว่าค่าปัจจัยการปกคลุมของพืชในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีค่าอยู่ในช่วง 0.000-0.800 รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 11 ซึ่งในพื้นที่ที่มีค่าปัจจัยการปกคลุมของพืชต่ำ จะส่งผลให้มีปริมาณเมื่อดินที่สามารถถูกพัดพาไปกับน้ำไหลบ่าน้อย

1.8 ร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (crop interception percent factor) จากการเตรียมข้อมูลร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ เป็นการใช้ค่าจากการตรวจเอกสารที่จำแนกตามประเภทของพืช และการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยการให้ค่านั้นจะอ้างอิงกับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ จากฐานข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน และจากการเตรียมข้อมูลพบว่าค่าร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0-35 รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 12 โดยค่าร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ที่มีค่าต่ำนั้น จะส่งผลให้พลังงานจลน์จากฝนที่กระทบต่อดินนั้นมากขึ้น และปริมาณเมื่อดินที่แตกกระจายจากฝนก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

1.9 ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (rooting depth) ค่าความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้น หมายถึงปริมาณน้ำในดินที่รากพืชสามารถดึงไปใช้ได้ โดยบอกเป็นระดับความลึกของน้ำในดิน สำหรับการเตรียมข้อมูลนั้นจะอ้างอิงจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ โดยค่าความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ที่ใช้ในการศึกษาจะอยู่ในช่วง 0.00-0.20 เมตร รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 13 สำหรับพื้นที่ที่มีค่าความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก จะส่งผลให้เกิดน้ำไหลบ่าลดลง

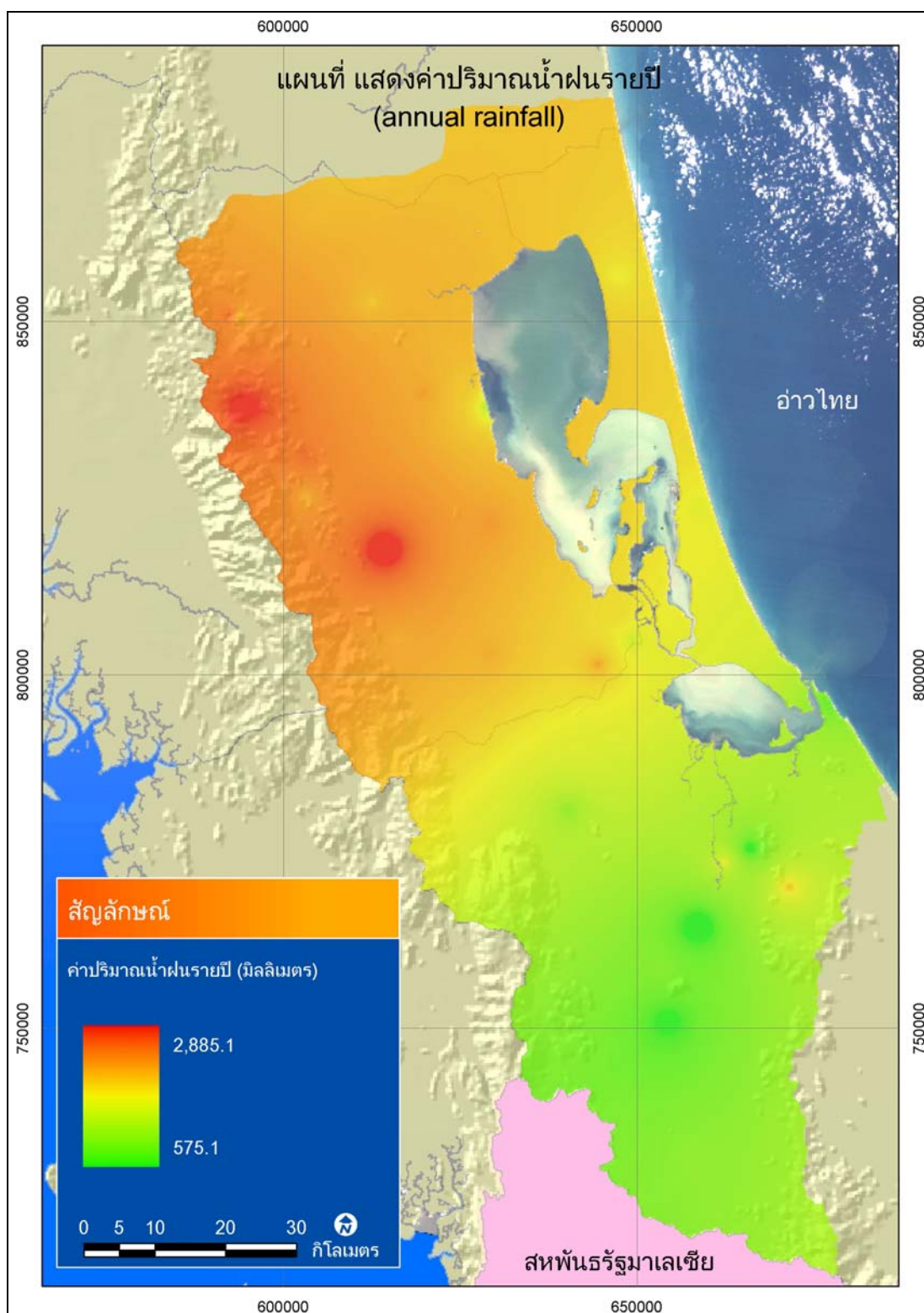
1.10 ค่าอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด (ratio of actual to potential evapotranspiration) ค่าของอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุดนั้น เป็นการเตรียมข้อมูลโดยการใช้ค่าจากการตรวจเอกสาร ซึ่งค่าต่าง ๆ จะขึ้นกับชนิดของพืช และการใช้ประโยชน์ที่ดิน สำหรับการให้ค่านั้นจะอ้างอิงกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งค่าอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุดที่นำมาใช้นั้น จะอยู่ในช่วง 0.00-1.35 รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 14 สำหรับพื้นที่ที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุดมาก หมายถึงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณนั้นเป็นพืชที่สามารถดึงน้ำในดินไปใช้ได้ปริมาณมาก และส่งผลให้ปริมาณการเกิดน้ำไหลบ่าลดลง

ตารางที่ 11 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง MMF จำแนกตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน

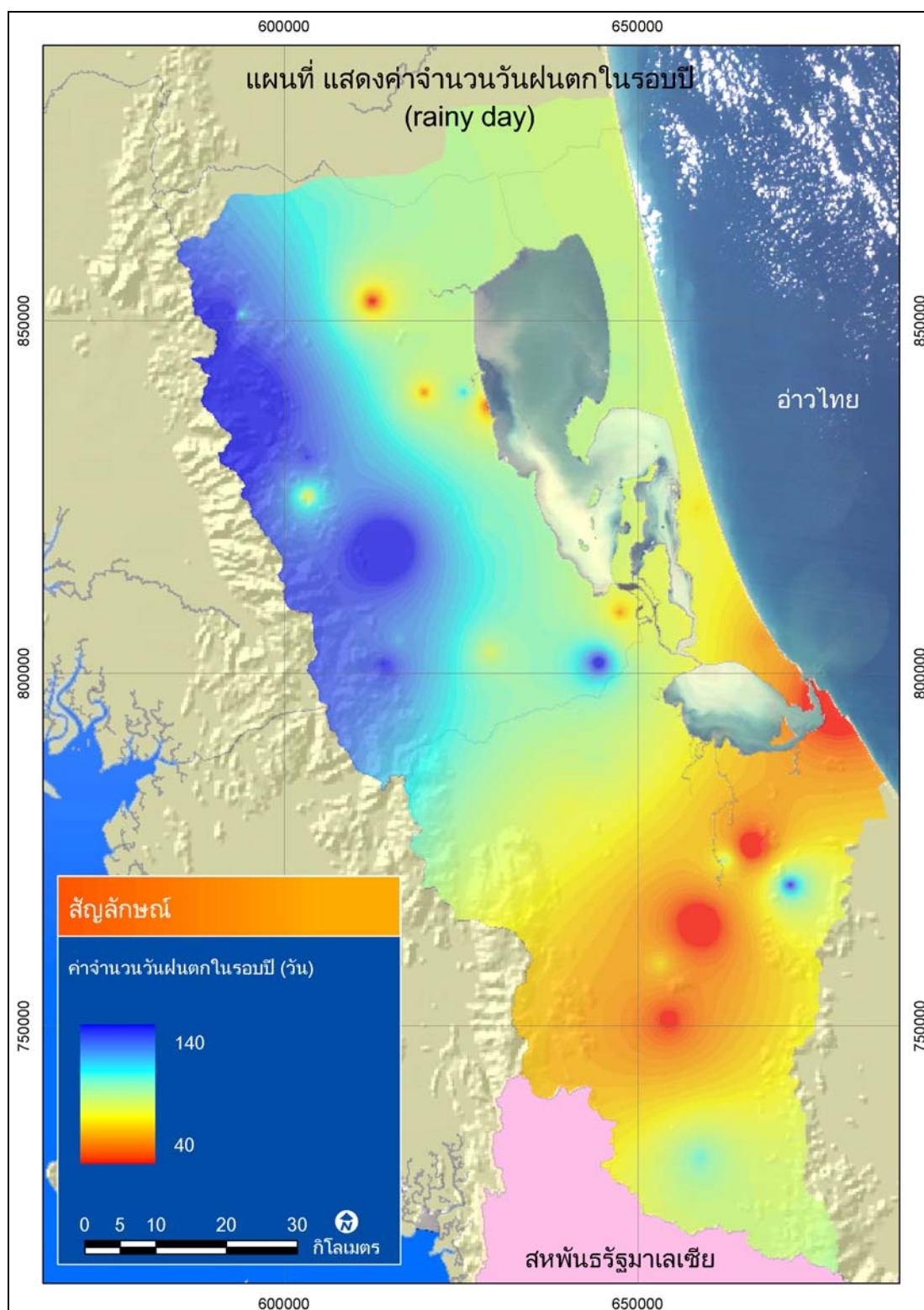
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	C	A (ร้อยละ)	RD (เมตร)	E_i/E_0
พื้นที่ทุ่งหญ้าธรรมชาติ	0.032	20	0.88	0.14
ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	0.100	20	0.88	0.14
ไม้ยืนต้น	0.150	20	0.90	0.15
พืชไร่	0.340	25	0.60	0.12
ป่าไม้ไม่ผลัดใบ	0.001	35	0.90	0.20
นาข้าว	0.280	35	1.35	0.12
ตัวเมืองและย่านการค้า	0.000	0	0.00	0.00
แหล่งน้ำ	0.000	0	0.00	0.00
เหมืองแร่ ป่อบุค	0.800	0	0.05	0.05

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2545); นิพนธ์ (2545); Morgan (2001)

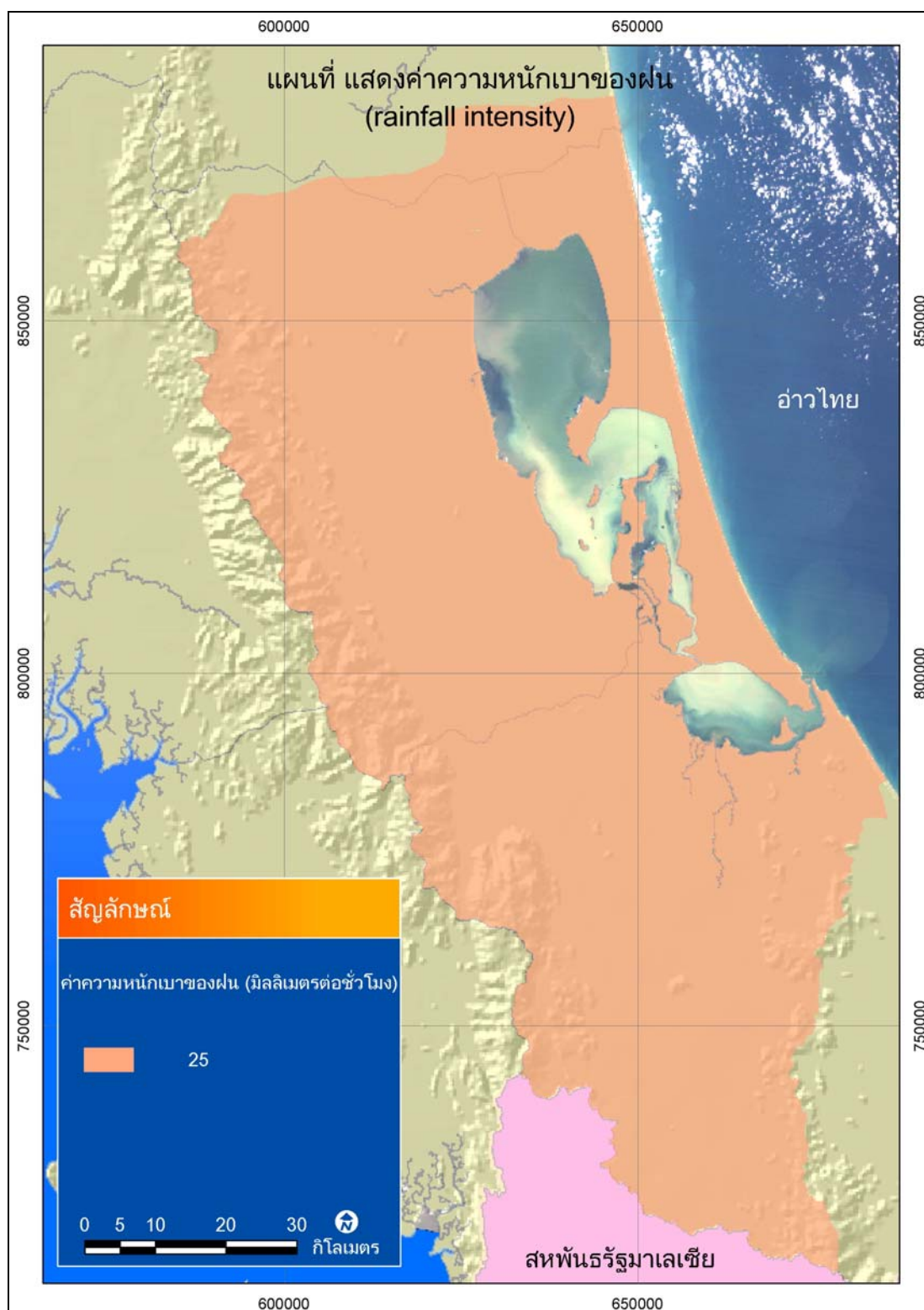
1.11 ระดับความสูงของภูมิประเทศ (elevation) สำหรับค่าระดับความสูงของภูมิประเทศสามารถเตรียมได้จากข้อมูลเส้นชั้นความสูงเท่า (contour) โดยใช้วิธีการกระจายค่าระดับความสูงของภูมิประเทศในเส้นชั้นความสูงเท่าลงสู่ทุกตารางกริดของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เพื่อสร้างข้อมูล digital elevation model (DEM) สำหรับค่าระดับความสูงของภูมิประเทศที่ได้จากการทำ digital elevation model ของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลานั้นจะอยู่ในช่วง 2-1,280 เมตร รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 15



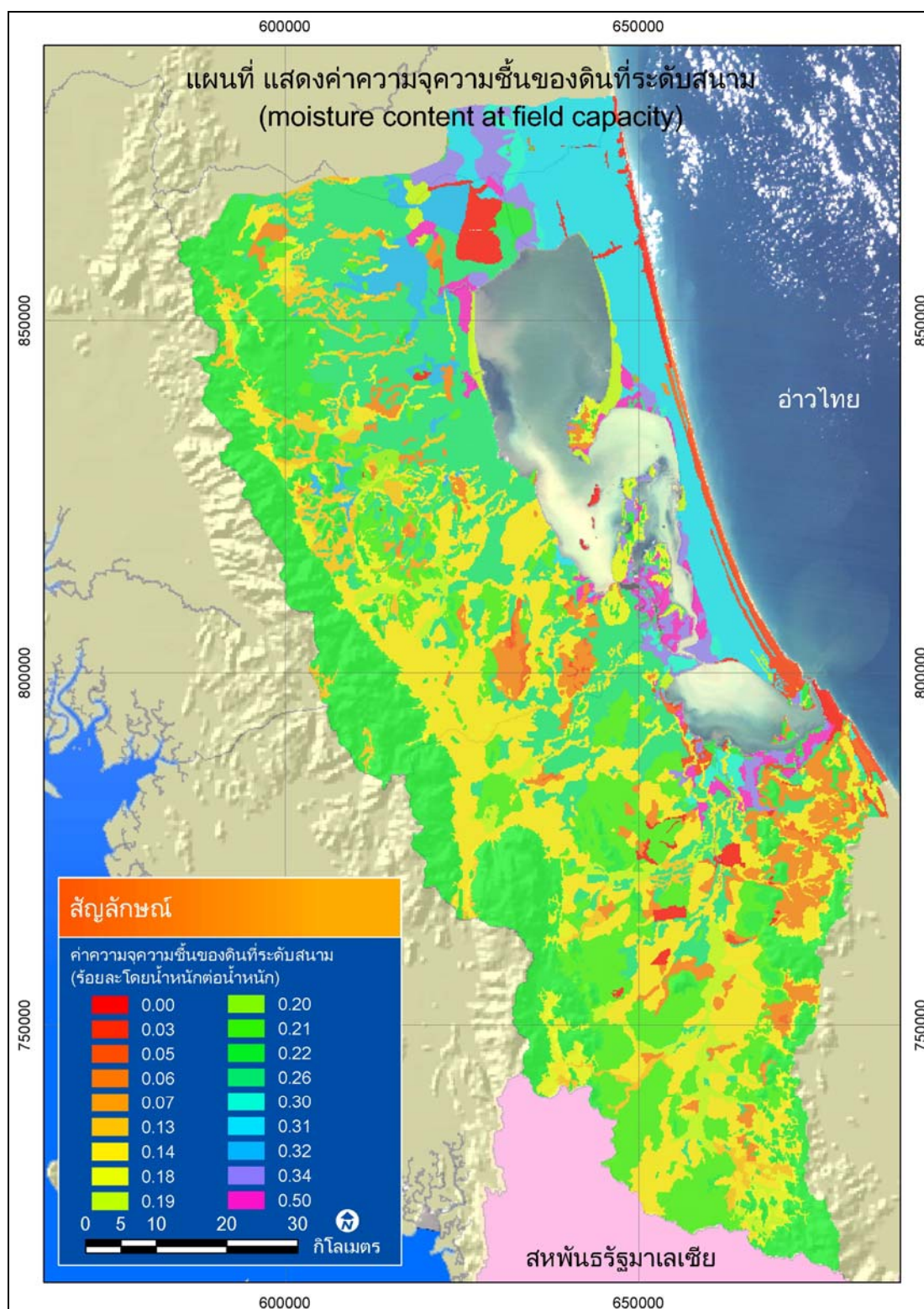
ภาพที่ ๕ แผนที่แสดงค่าปริมาณน้ำฝนรายปี (annual rainfall)



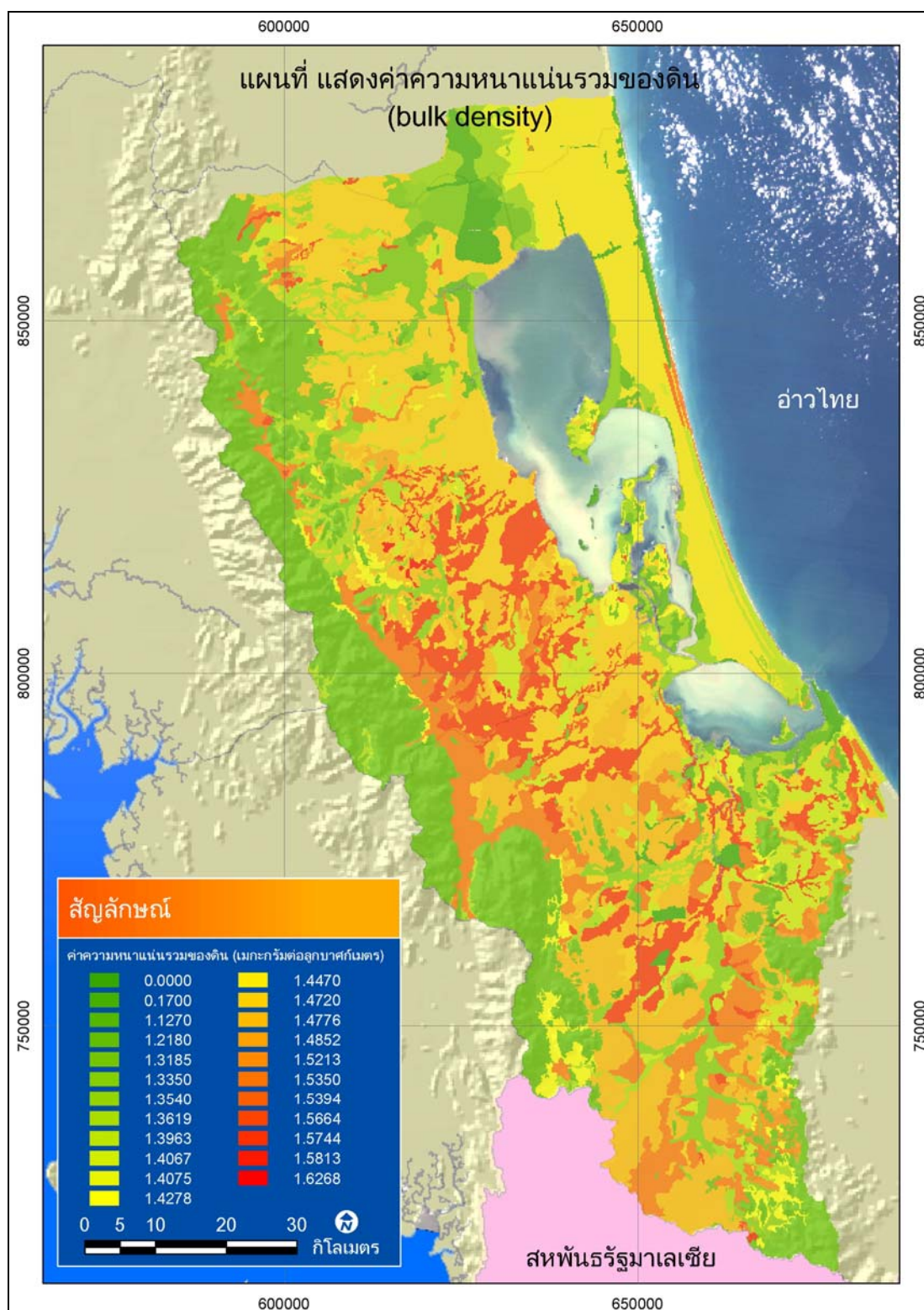
ภาพที่ 6 แผนที่แสดงค่าจำนวนวันฝนตกในรอบปี (rainy day)



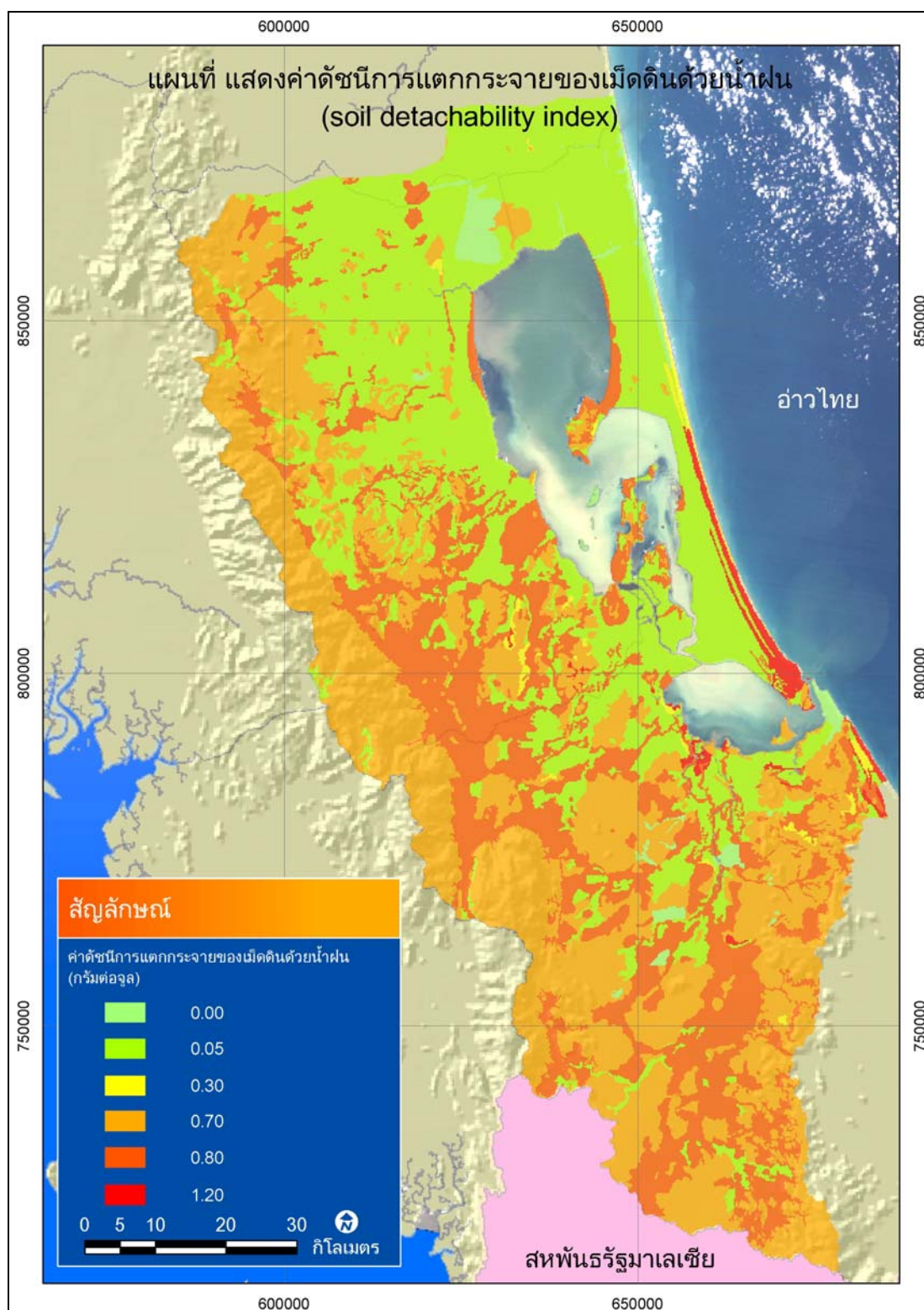
ภาพที่ 7 แผนที่แสดงค่าความหนักเบาของฝน (rainfall intensity)



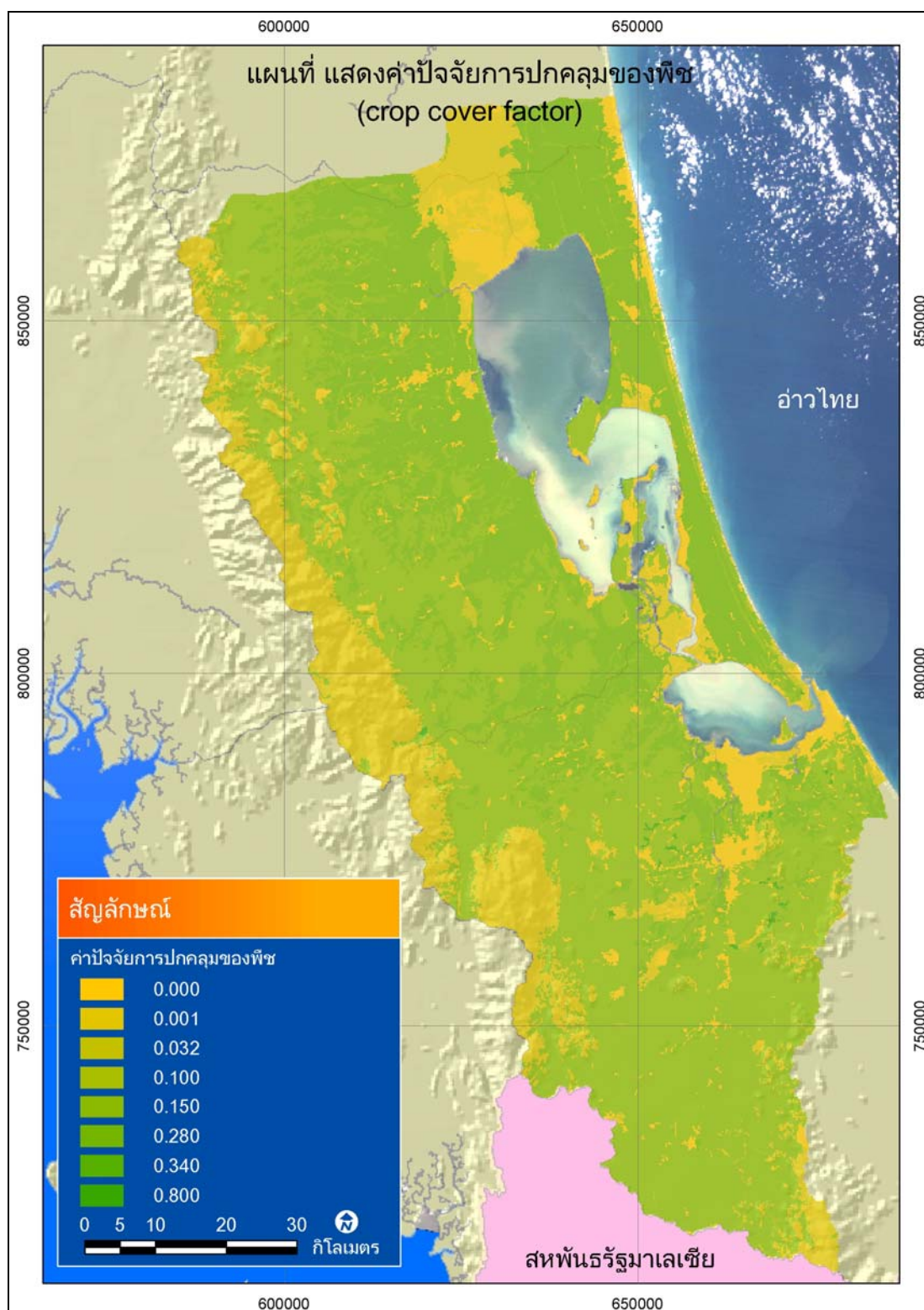
ภาพที่ 8 แผนที่แสดงค่าความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม (moisture content at field capacity)



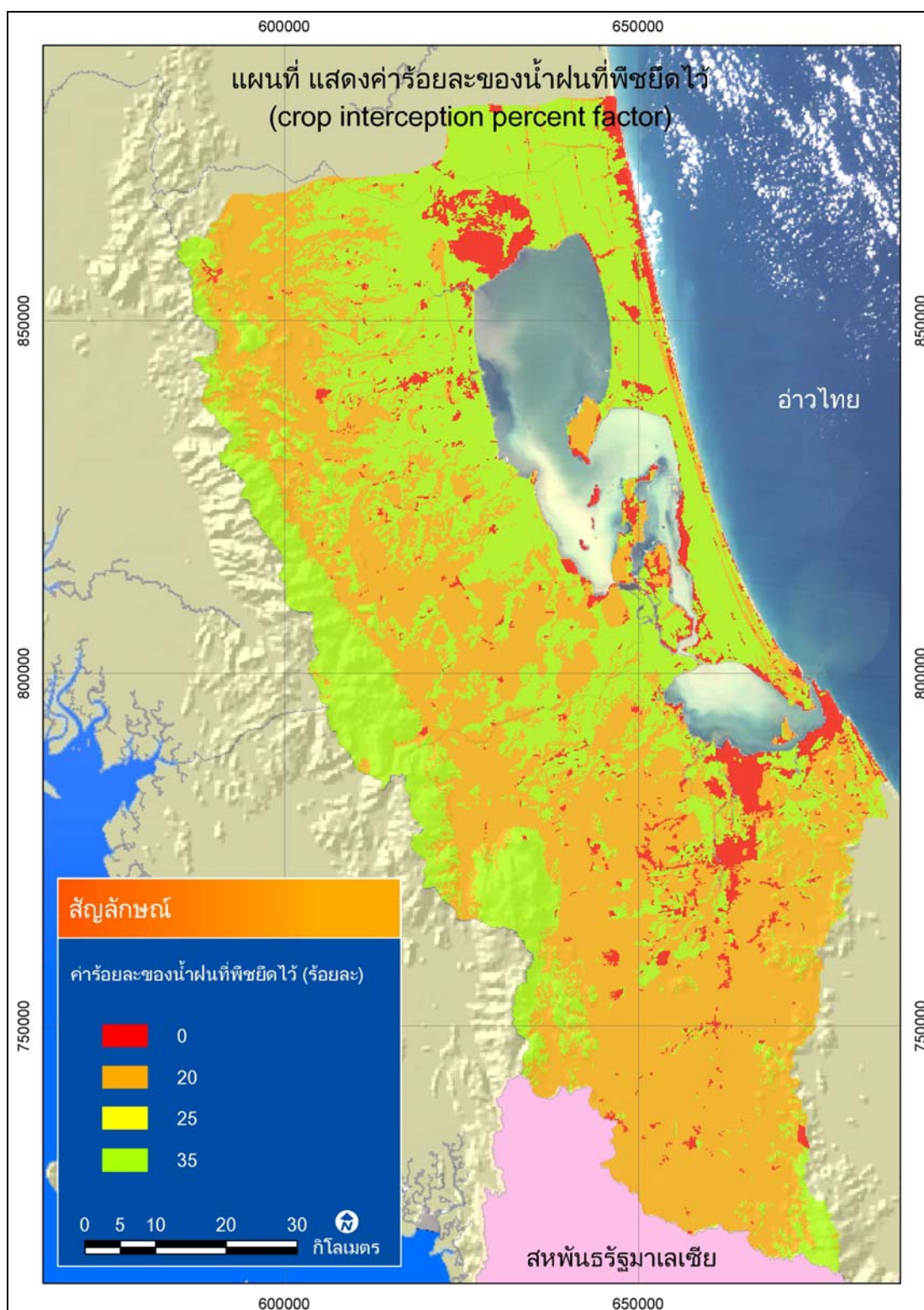
ภาพที่ ๙ แผนที่แสดงค่าความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density)



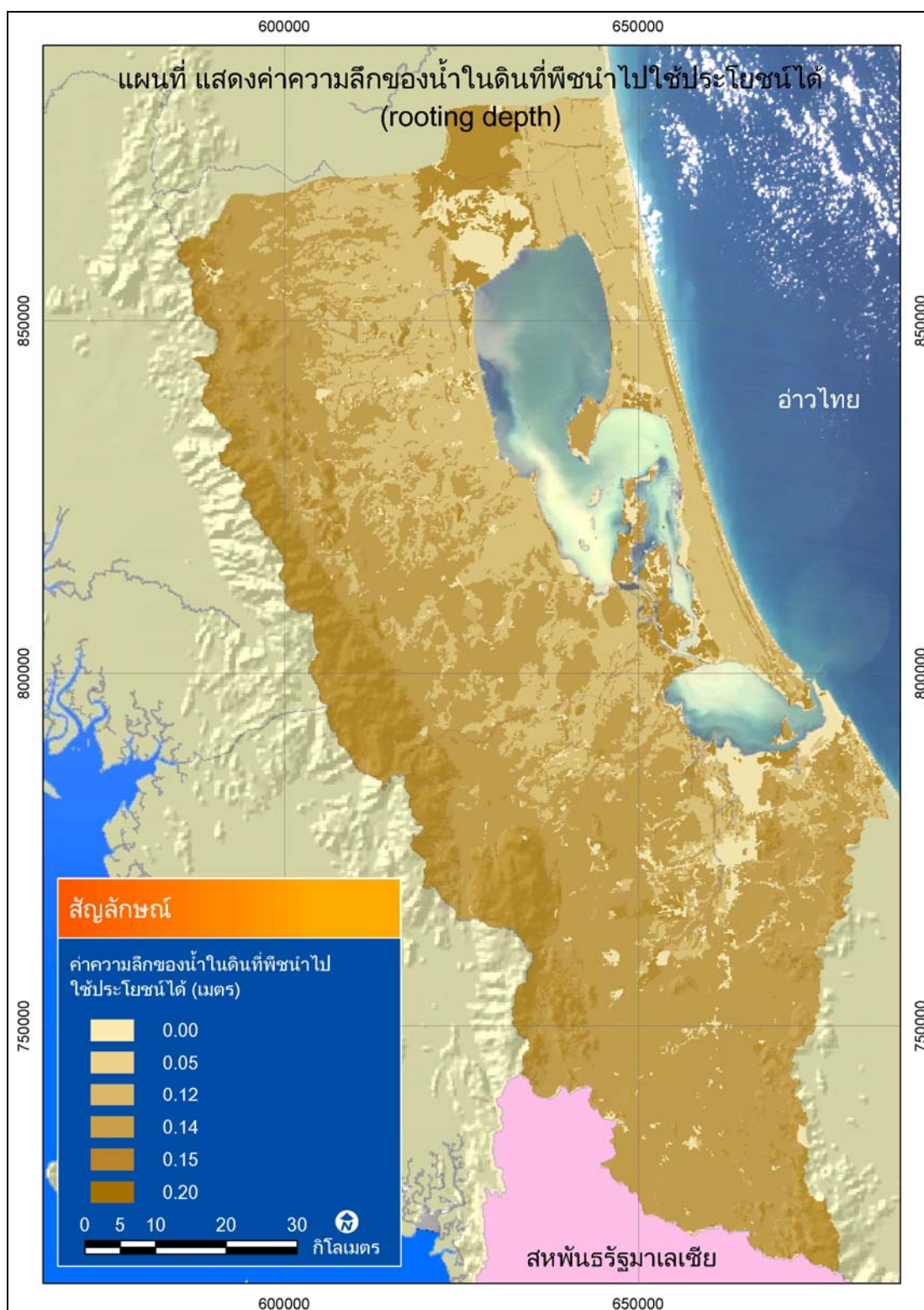
ภาพที่ 10 แผนที่แสดงค่าดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน (soil detachability index)



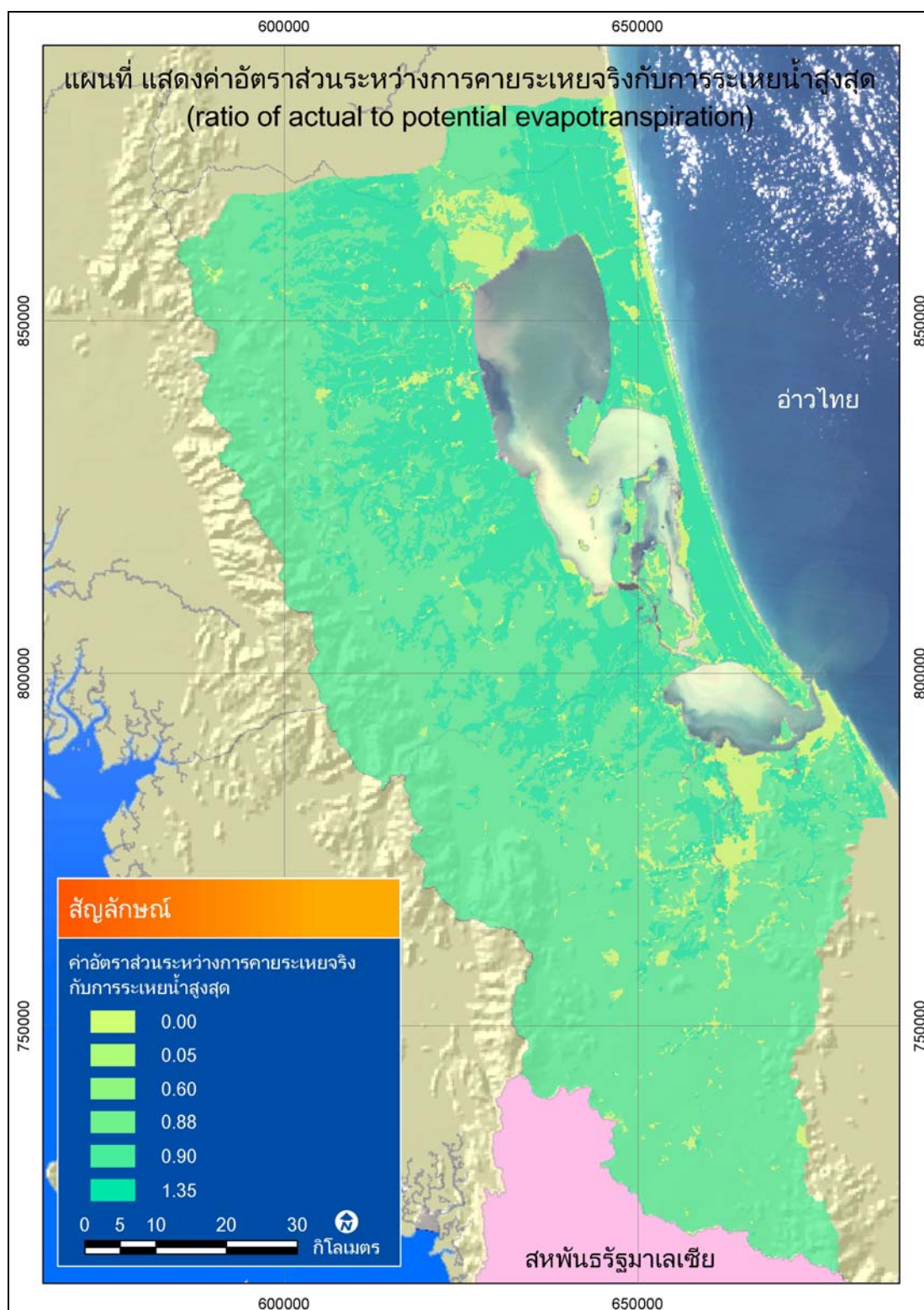
ภาพที่ 11 แผนที่แสดงค่าปัจจัยการปกคลุมของพืช (crop cover factor)



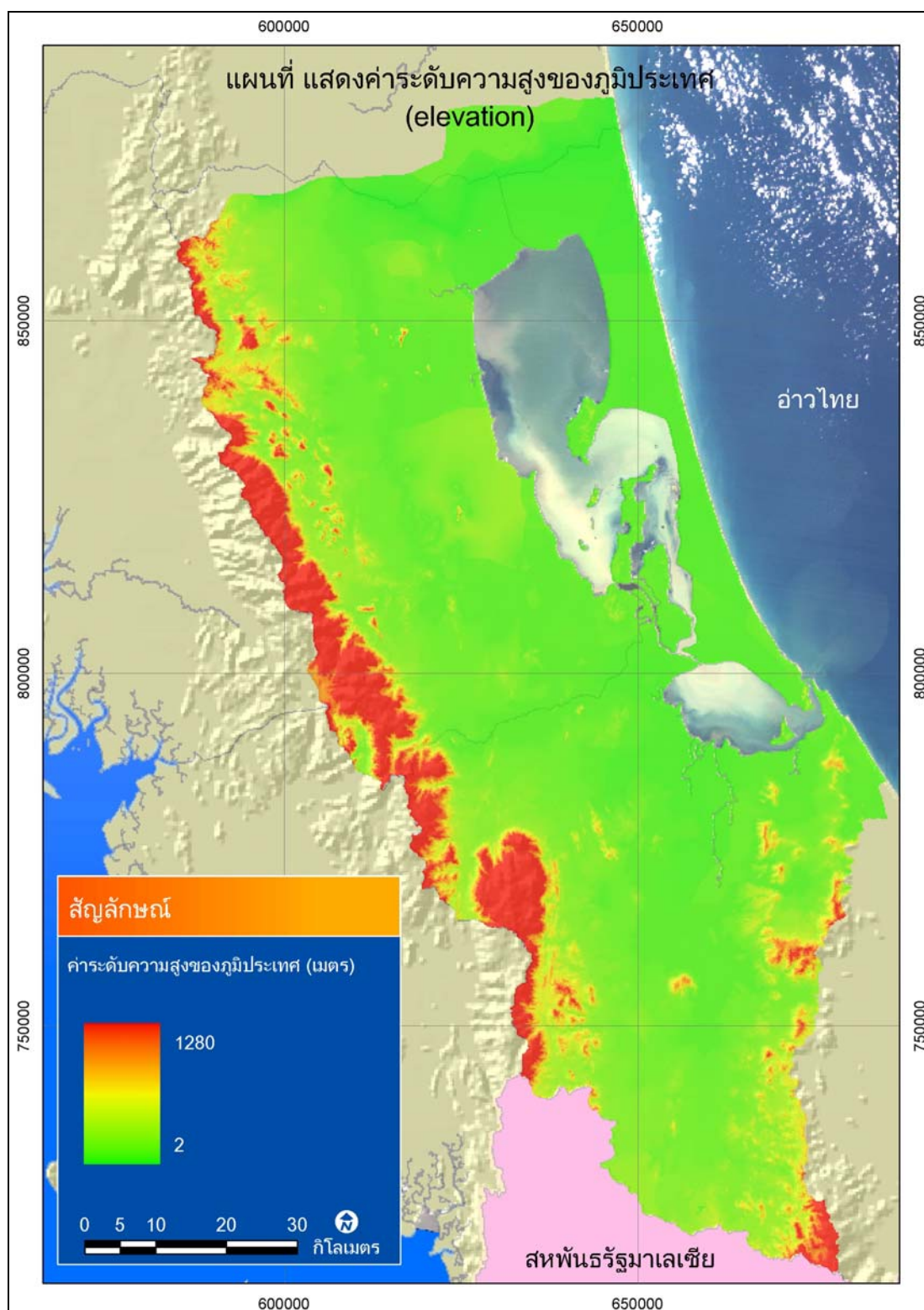
ภาพที่ 12 แผนที่แสดงค่าร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ (crop interception percent factor)



ภาพที่ 13 แผนที่แสดงค่าความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (rooting depth)



ภาพที่ 14 แผนที่แสดงค่าอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด
(ratio of actual to potential evapotranspiration)



ภาพที่ 15 แผนที่แสดงค่าระดับความสูงของภูมิประเทศ (elevation)

2. กระบวนการในการประเมินการชะล้างพังทลายของดิน

กระบวนการที่ก่อให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินที่แบบจำลอง MMF นำมาพิจารณานั้น ประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือกระบวนการแตกกระจายของดินอันเนื่องมาจากฝน และกระบวนการพัดพาเม็ดดินที่แตกกระจายไปกับน้ำไหลบ่า ซึ่งผลการศึกษากระบวนการทั้ง 2 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีนี้อย่างนี้

2.1 กระบวนการแตกกระจายของดินอันเนื่องมาจากฝน (soil detachment phase) ผลจากการศึกษาในส่วนของการแตกกระจายของดินอันเนื่องมาจากฝนนั้น เป็นผลการประเมินหาปริมาณดินที่ถูกแรงกระทำจากน้ำฝนและแตกกระจายออกเป็นเม็ดดิน การแตกกระจายของเม็ดดินเหล่านี้ ถือเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญต่อการเกิดการชะล้างพังทลายของดิน ในการพิจารณาปริมาณการแตกกระจายของดินอันเนื่องมาจากฝน สามารถพิจารณาได้เป็น 2 ส่วน คือ การหาพลังงานจลน์ของเม็ดฝน และการหาปริมาณเม็ดดินที่แตกกระจาย ซึ่งผลการศึกษาเป็นดังนี้

2.1.1 พลังงานจลน์ของเม็ดฝน (kinetic energy of rainfall) ผลการหาพลังงานจลน์ของเม็ดฝนจากการประมวลผลข้อมูลที่เตรียมขึ้น อันประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี และข้อมูลความหนักเบาของฝนโดยใช้สมการของ Hudson (1965) พบว่าค่าพลังงานจลน์ของเม็ดฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีนี้อยู่ในช่วง 14,204.97-71,261.97 จูลต่อตารางเมตร รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 16 และจากแนวคิดในการพิจารณาของแบบจำลอง MMF สามารถกล่าวได้ว่าค่าพลังงานจลน์ของเม็ดฝนที่มีค่าสูง จะส่งผลให้เกิดการชะล้างพังทลายสูงขึ้นเมื่อปัจจัยอื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง

2.1.2 ปริมาณเม็ดดินที่แตกกระจาย (soil detachment) ผลการศึกษาในส่วนของการประเมินปริมาณเม็ดดินที่แตกกระจายด้วยพลังงานจลน์ของฝนนั้น อาศัยข้อมูลดัชนีการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน พลังงานจลน์ของฝน และร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ เมื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาประมวลผลตามหลักการพิจารณาของแบบจำลอง MMF ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณเม็ดดินที่แตกกระจายอันเนื่องมาจากน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีนี้อยู่ในช่วง 0.00-82.03 กิโลกรัมต่อตารางเมตร รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 17

2.2 กระบวนการพัดพาเม็ดดินที่แตกกระจายไปกับน้ำไหลบ่า (soil transportation phase) ผลการศึกษาในส่วนของกระบวนการพัดพาเม็ดดินที่แตกกระจายไปกับน้ำไหลบ่านั้น สามารถแบ่งได้เป็น 5 ส่วน ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวัน ปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน และการหาปริมาณเม็ดดินที่ถูกพัดพา สำหรับผลจากการศึกษามีดังนี้

2.2.1 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวัน (mean rainfall per rainy day) ผลการศึกษาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวัน สามารถประเมินได้จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี และจำนวนวันฝนตกในรอบปี ที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดิน โดยผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวันที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายดินของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีค่าอยู่ในช่วง 13.69-31.86 มิลลิเมตรต่อวัน รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 18

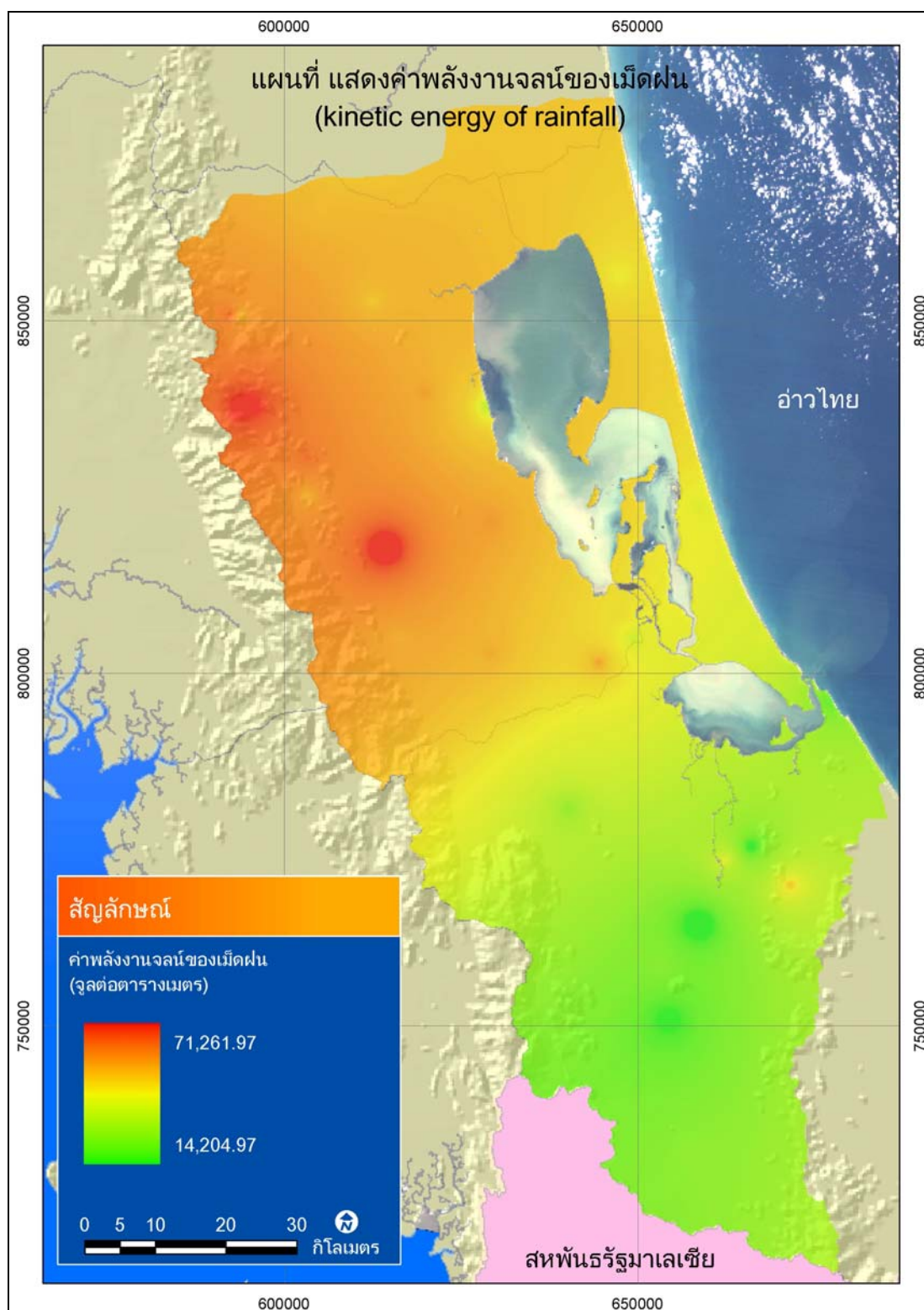
2.2.2 ปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ (soil moisture capacity under actual vegetation) การประมวลผลเพื่อประเมินหาปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้นั้น อาศัยข้อมูลเตรียมขึ้นคือ ความจุความชื้นของดินที่ระดับสนาม ความหนาแน่นรวมของดิน ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ และอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาประมวลผลโดยแบบจำลอง MMF ผลการศึกษาที่ได้พบว่า ค่าของปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีค่าอยู่ในช่วง 0.00-106.91 มิลลิเมตร รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 19

2.2.3 ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (overland flow) การคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินนั้นสามารถประเมินได้จากข้อมูล ปริมาณน้ำฝนรายปี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวัน และปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้ โดยผลการศึกษาตามหลักการของแบบจำลอง MMF พบว่าปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีค่าอยู่ในช่วง 4.83-2,280.1 มิลลิเมตร รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 20

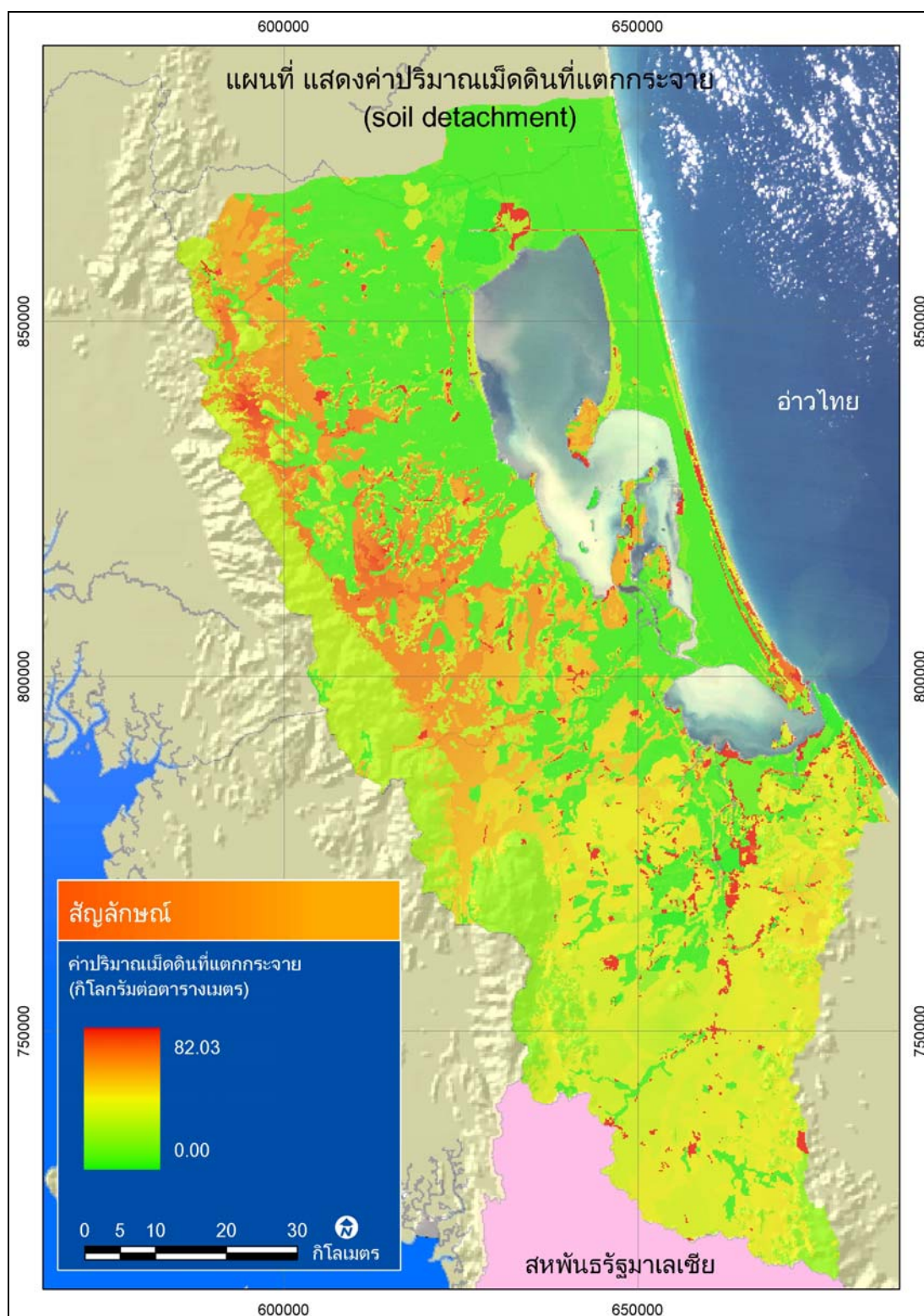
2.2.4 ความลาดชันของภูมิประเทศ (slope gradient) ในการพิจารณากระบวนการพัดพาเม็ดดินไปกับน้ำไหลบ่า เพื่อประเมินการชะล้างพังทลายของดินด้วยแบบจำลอง MMF ความลาดชันของภูมิประเทศเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลต่อการชะล้างพังทลายดิน สำหรับข้อมูลความลาดชันของภูมิประเทศ สามารถประเมินได้จากชั้นข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศ ซึ่งผลการศึกษา

พบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่ที่มีความลาดชันของภูมิประเทศอยู่ในช่วง 0.00-83.12 องศา โดยพื้นที่ที่มีระดับความลาดชันมาก คือแนวเทือกเขาทางทิศตะวันตกและทางทิศใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำ รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 21

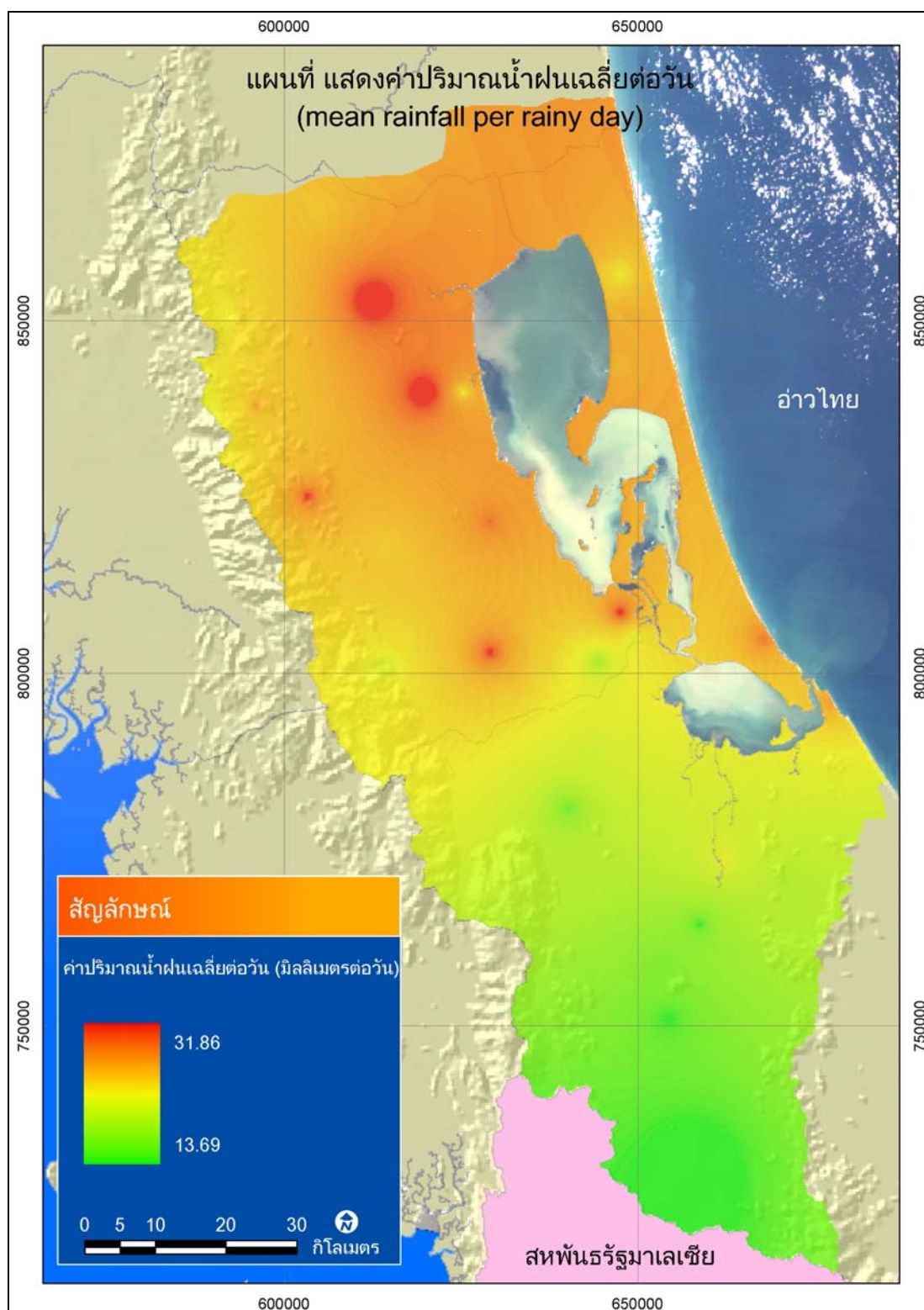
2.2.5 ปริมาณเมื่อดินที่ถูกพัดพา (soil transportation) จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณเมื่อดินที่ถูกพัดพาไปกับน้ำไหลบ่าของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ที่ได้จากการประเมินโดยแบบจำลอง MMF มีค่าอยู่ในช่วง 0.00-829.16 กิโลกรัมต่อตารางเมตร รายละเอียดของผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 22 จากค่าดังกล่าวพบว่าค่าสูงสุดของปริมาณเมื่อดินที่สามารถถูกพัดพาไปกับน้ำไหลบ่าที่พบนั้นมีค่าสูงมาก อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวเป็นเพียงค่าในทางทฤษฎีเท่านั้น ในความเป็นจริงปริมาณดังกล่าวอาจจะไม่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากปริมาณเมื่อดินที่สามารถถูกพัดพาไปได้อาจจะไม่มีมากถึงค่าดังกล่าว



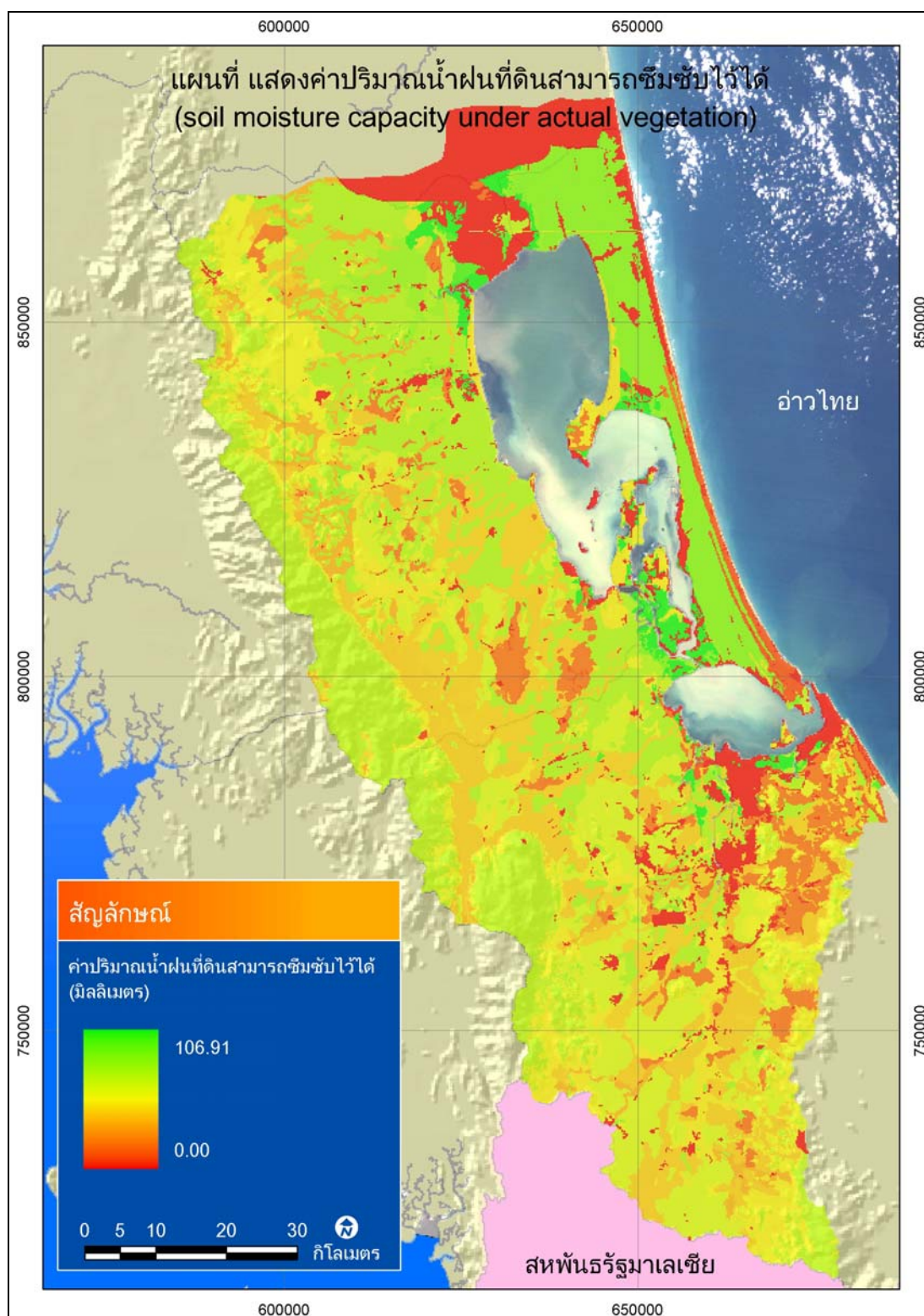
ภาพที่ 16 แผนที่แสดงค่าพลังงานจลน์ของเม็ดฝน (kinetic energy of rainfall)



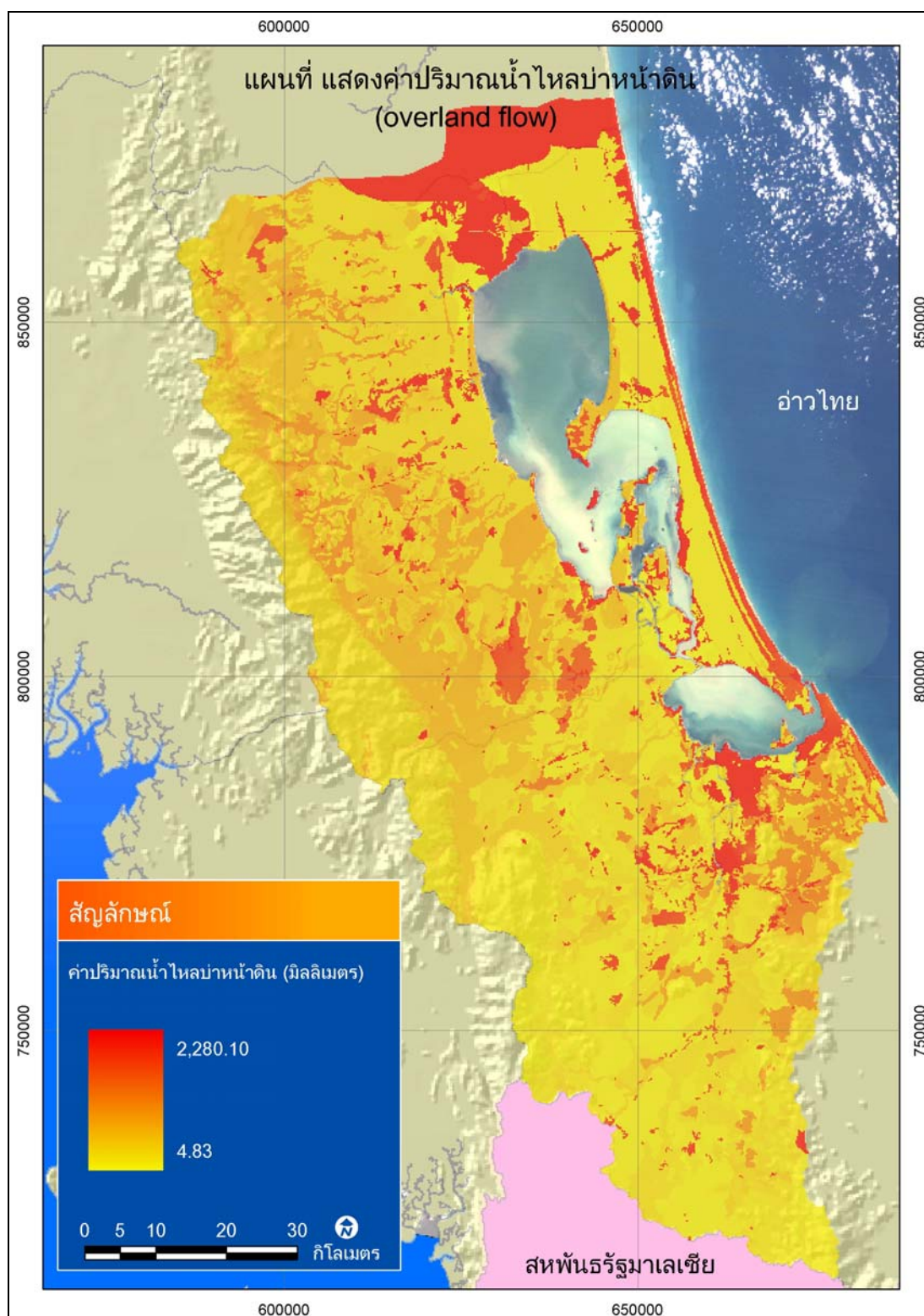
ภาพที่ 17 แผนที่แสดงค่าปริมาณเมื่อดินที่แตกกระจาย (soil detachment)



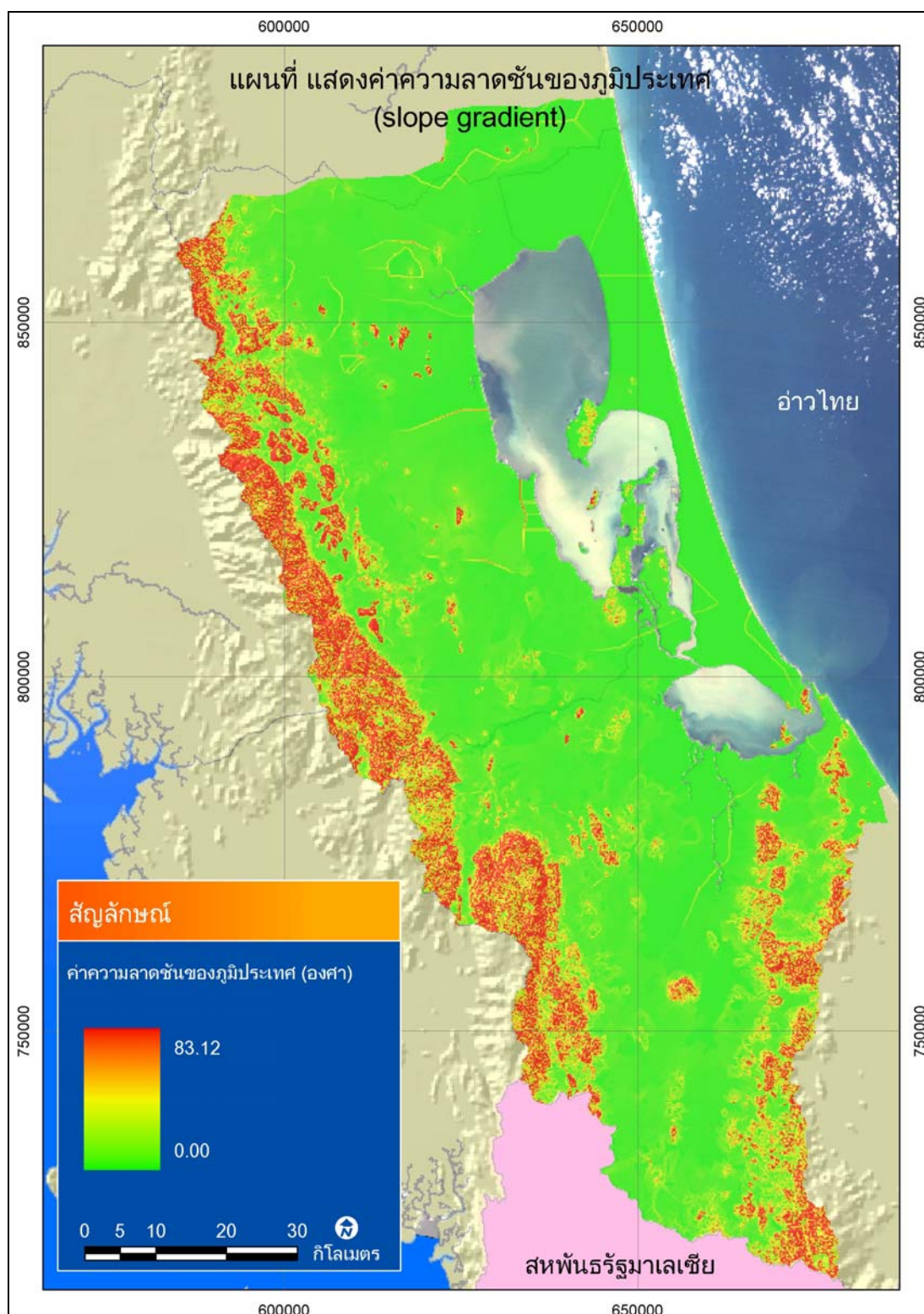
ภาพที่ 18 แผนที่แสดงค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวัน (mean rainfall per rainy day)



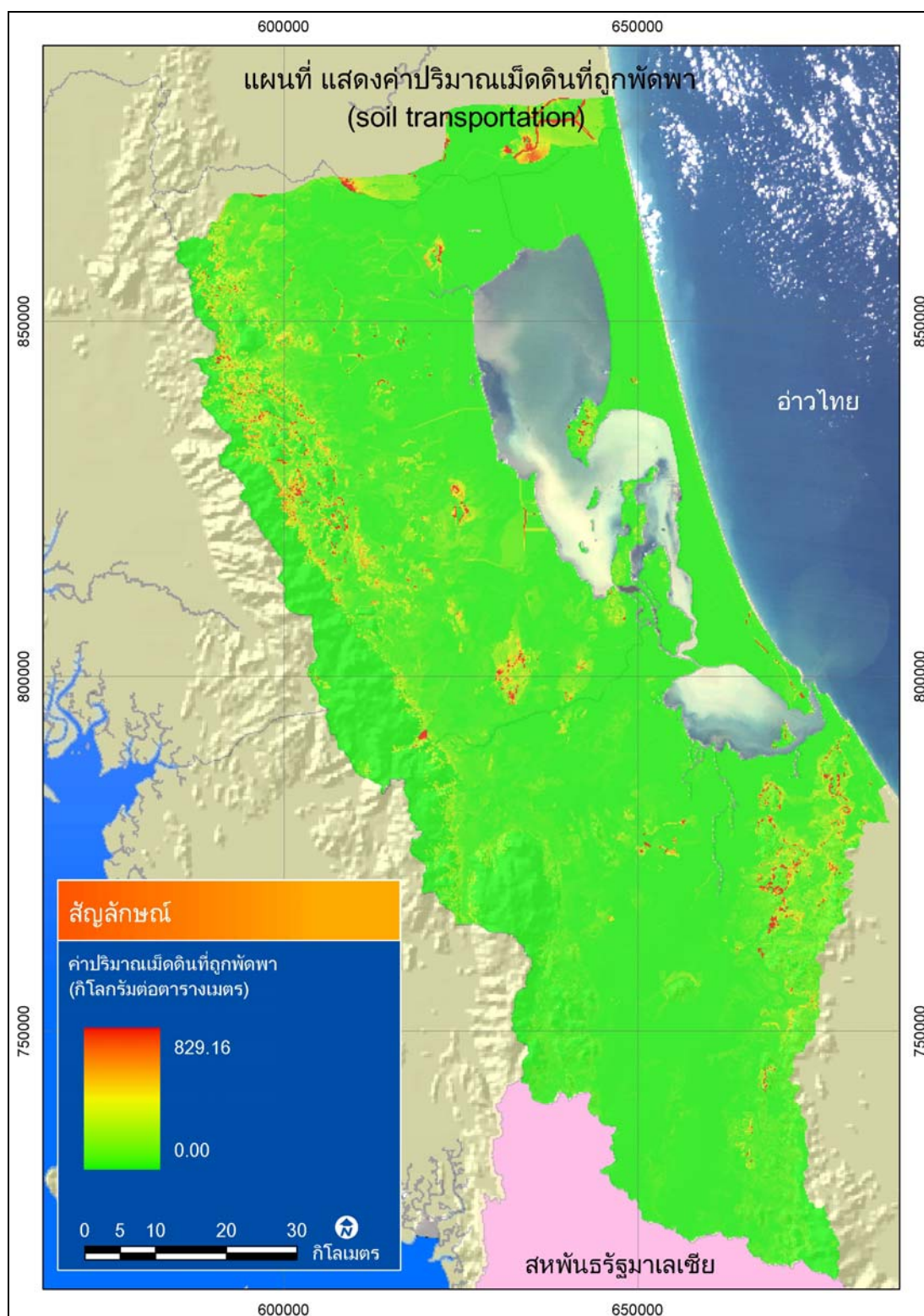
ภาพที่ 19 แผนที่แสดงค่าปริมาณน้ำฝนที่ดินสามารถซึมซับไว้ได้
(soil moisture capacity under actual vegetation)



ภาพที่ 20 แผนที่แสดงค่าปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (overland flow)



ภาพที่ 21 แผนที่แสดงค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (slope gradient)



ภาพที่ 22 แผนที่แสดงค่าปริมาณเมื่อดินที่ถูกพัดพา (soil transportation)

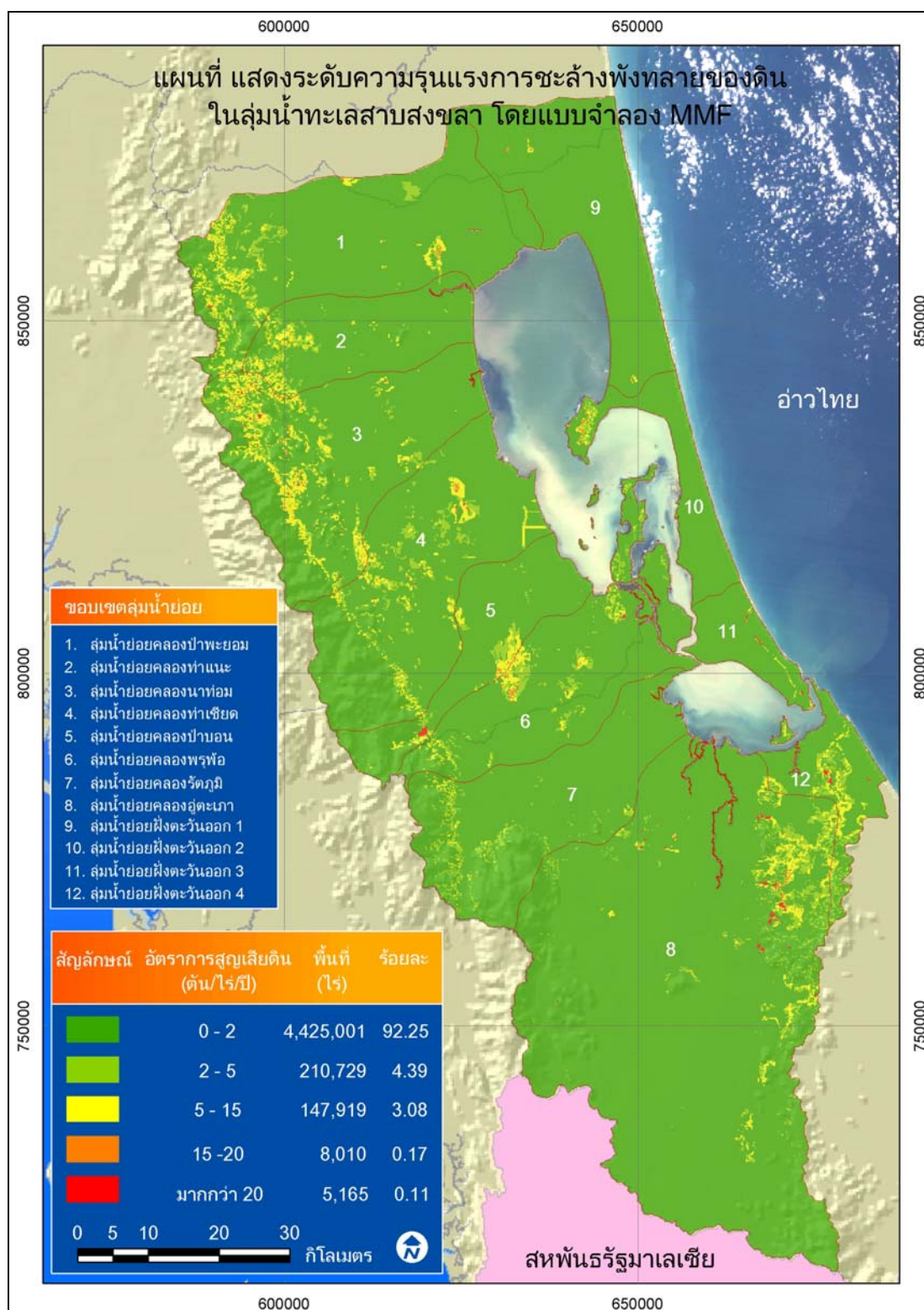
การชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

การประเมินการชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ Morgan, Morgan and Finney 1984 (MMF) ได้ใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 11 ปัจจัยเพื่อป้อนเข้าสู่แบบจำลอง และในการประมวลผลได้แบ่งการพิจารณาการเกิดการชะล้างพังทลายดินออกเป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการแตกกระจายของดินอันเนื่องมาจากฝน และกระบวนการพัฒนาเม็ดดินที่แตกกระจายไปกับน้ำไหลบ่า ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินออกเป็น 5 ระดับ ตามอัตราการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้น

สำหรับผลการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ MMF สามารถสรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ย 3,213,385 ตันต่อปี และพื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำมีระดับการชะล้างพังทลายของดินอยู่ในระดับน้อยมากถึงน้อย หรือมีอัตราการชะล้างพังทลายของดินอยู่ในช่วง 0-5 ตันต่อไร่ต่อปี โดยคิดเป็นพื้นที่ 4.64 ล้านไร่ หรือร้อยละ 96.64 ของพื้นที่ และพบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่ที่มีระดับการชะล้างพังทลายรุนแรงปานกลางถึงมาก หรือมีอัตราการชะล้างพังทลายของดินในช่วง 5-20 ตันต่อไร่ต่อปี เป็นพื้นที่ 0.16 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 3.25 ของพื้นที่ ในส่วนของพื้นที่ที่มีการชะล้างพังทลายของดินรุนแรงมาก หรือมีอัตราการชะล้างพังทลายของดินมากกว่า 20 ตันต่อไร่ต่อปี มีพื้นที่เพียง 0.01 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 0.11 ของพื้นที่ รายละเอียดของผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 12 และภาพที่ 23

ตารางที่ 12 พื้นที่การชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ระดับความรุนแรงของ การชะล้างพังทลายของดิน	อัตราการสูญเสียดิน (ตัน/ไร่/ปี)	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
1 : น้อยมาก (very slight)	0-2	4,425,001	92.25
2 : น้อย (slight)	2-5	210,729	4.39
3 : ปานกลาง (moderate)	5-15	147,919	3.08
4 : รุนแรง (severe)	15-20	8,010	0.17
5 : รุนแรงมาก (very severe)	มากกว่า 20	5,165	0.11
รวม		4,796,824	100.00



ภาพที่ 23 แผนที่แสดงระดับความรุนแรงการชะล้างพังทลายของดินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
โดยแบบจำลอง MMF

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาในแต่ละลุ่มน้ำย่อยรวม 12 แห่ง พบว่าลุ่มน้ำย่อยที่มีปริมาณการสูญเสียดินมากที่สุดคือ ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา ที่มีปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ย 759,084 ต้นต่อปี อย่างไรก็ตามพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกานั้น เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีพื้นที่รับน้ำมากที่สุดในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา นอกจากนี้จากผลการศึกษาพบว่า ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออกของทะเลสาบสงขลาทั้ง 4 ลุ่มน้ำ มีปริมาณการสูญเสียดินน้อยกว่าลุ่มน้ำย่อยทางฝั่งตะวันตกของทะเลสาบ สาเหตุดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากการที่พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยทั้ง 4 ทางฝั่งตะวันออกมีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มและมีพื้นที่ภูเขาอยู่ทางตอนล่างของลุ่มน้ำเท่านั้น ต่างจากลุ่มน้ำทางฝั่งตะวันตกที่มีแนวเทือกเขาทอดตัวจากทางทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ สำหรับรายละเอียดปริมาณการสูญเสียดิน และอัตราการชะล้างพังทลายของดินในแต่ละลุ่มน้ำย่อย แสดงดังตารางที่ 13 และ ตารางที่ 14 ตามลำดับ

ตารางที่ 13 ปริมาณการสูญเสียดินในลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ลุ่มน้ำย่อย	ปริมาณการสูญเสียดิน (ต้นต่อปี)	พื้นที่ (ไร่)
ลุ่มน้ำย่อยคลองป่าพะยอม	385,676	521,479
ลุ่มน้ำย่อยคลองท่าแนะ	177,526	219,846
ลุ่มน้ำย่อยคลองนาท่อม	648,082	472,538
ลุ่มน้ำย่อยคลองท่าชีเขด	387,045	479,780
ลุ่มน้ำย่อยคลองป่าบอน	165,816	204,931
ลุ่มน้ำย่อยคลองพรุพ้อ	221,231	314,694
ลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ	139,373	389,835
ลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา	759,084	1,465,834
ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 1	45,997	331,596
ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 2	43,538	124,120
ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 3	27,138	83,182
ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 4	183,527	125,552
พื้นที่เกาะ	29,353	63,439
รวม	3,213,385	4,796,824

ตารางที่ 14 พื้นที่การชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

กลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่การชะล้างพังทลายของดิน (ไร่)					
	อัตราการชะล้างพังทลายของดิน (ตัน/ไร่/ปี)					รวม
	0-2	2-5	5-15	15-20	> 20	
กลุ่มน้ำย่อยคลองป่าพะยอม	472,241	25,559	22,719	912	48	521,479
กลุ่มน้ำย่อยคลองท่าแนะ	197,987	11,728	9,920	205	7	219,846
กลุ่มน้ำย่อยคลองนาท่อม	400,416	26,322	42,552	2,469	779	472,538
กลุ่มน้ำย่อยคลองท่าเชียด	433,042	28,522	17,244	661	312	479,780
กลุ่มน้ำย่อยคลองป่าบอน	187,912	8,857	6,924	542	695	204,931
กลุ่มน้ำย่อยคลองพรุพ้อ	285,838	17,536	9,977	1,274	67	314,694
กลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ	369,220	18,316	2,300	0	0	389,835
กลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา	1,389,766	49,361	23,468	940	2,299	1,465,834
กลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 1	330,704	183	439	269	0	331,596
กลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 2	118,586	3,322	1,496	716	0	124,120
กลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 3	81,238	754	707	23	460	83,182
กลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 4	100,136	15,690	9,228	0	498	125,552
พื้นที่เกาะ	57,915	4,578	946	0	0	63,439
รวม	4,425,001	210,729	147,919	8,010	5,165	4,796,824

จากผลการศึกษาที่พบว่าพื้นที่ขนาด 5,165 ไร่ ที่มีอัตราการชะล้างพังทลายของดินมากกว่า 20 ตันต่อไร่ต่อปี เมื่อตรวจสอบกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินแล้วพบว่าพื้นที่ดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ประเภทเหมืองแร่และบ่อขุด บนที่มีความลาดชันสูง ดังนั้นจึงทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินในระดับรุนแรงมาก ในการแก้ปัญหาการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ดังกล่าวจึงควรมีการวางแผนทางป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน เช่น การกำหนดมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในพื้นที่

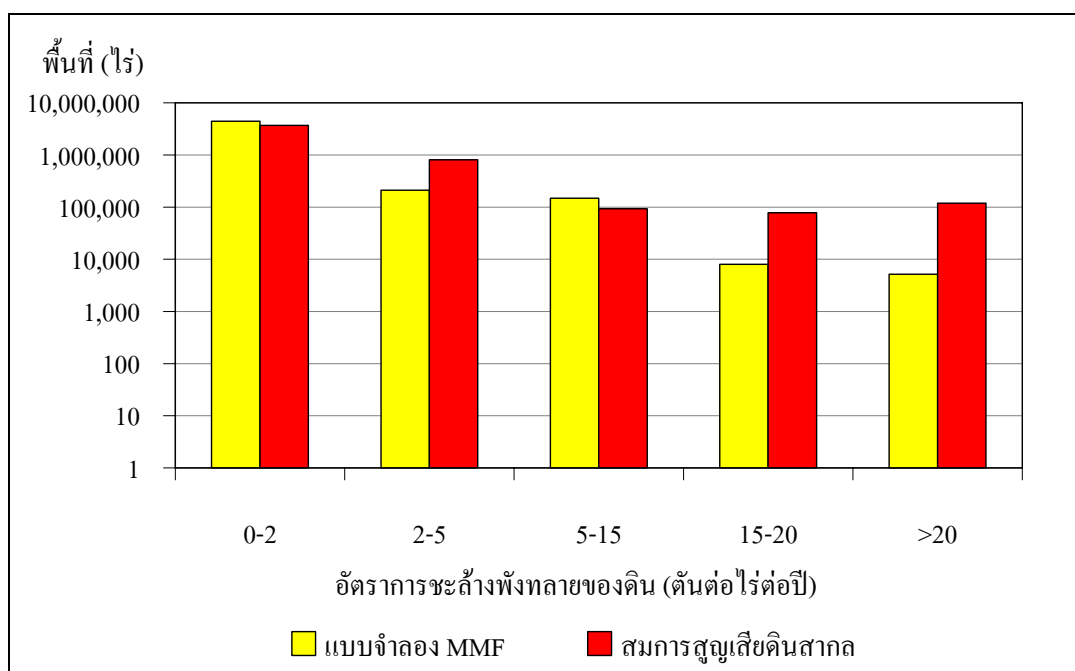
การตรวจสอบแบบจำลอง

ในการตรวจสอบผลอัตราการชะล้างพังทลายของดินที่ได้จากการศึกษานั้น สามารถทำได้ โดยการนำผลการศึกษาที่ประมวลผลได้จากแบบจำลอง MMF มาทำการซ้อนทับ (overlay) กันในเชิงพื้นที่กับข้อมูลอัตราการชะล้างพังทลายของดินที่ กรมพัฒนาที่ดิน (2545) ทำการสำรวจและศึกษาไว้ เพื่อหาร้อยละของพื้นที่ที่มีอัตราการชะล้างพังทลายดินตรงกัน สำหรับข้อมูลการชะล้างพังทลายดินที่กรมพัฒนาที่ดินได้ทำการศึกษาไว้นั้น เป็นการใช้สมการสูญเสียดินสากลประกอบกับการสำรวจภาคสนาม และแบ่งอัตราการชะล้างพังทลายของดินออกเป็น 5 ระดับ ซึ่งตรงกันกับที่ได้แบ่งไว้ในการศึกษาครั้งนี้

จากการเปรียบเทียบการชะล้างพังทลายของดินที่ประเมินโดยแบบจำลอง MMF กับผลการศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่ามีพื้นที่ที่อัตราการชะล้างพังทลายของดินตรงกันในเชิงพื้นที่อยู่ 3,535,965 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 73.71 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยรายละเอียดของผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบอัตราการชะล้างพังทลายของดินโดยแบบจำลอง MMF กับการศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน

พื้นที่การชะล้างพังทลายของดินโดยกรมพัฒนาที่ดิน (ไร่)								
ชนิดแผนที่			อัตราการชะล้างพังทลายของดิน (ตัน/ไร่/ปี)					
			0-2	2-5	5-15	15-20	> 20	รวม
พื้นที่การชะล้างพังทลายของดิน โดยแบบจำลอง MMF (ไร่)	อัตราการชะล้างพังทลายของดิน (ตัน/ไร่/ปี)	0-2	3,480,687	726,366	77,780	64,274	75,894	4,425,001
		2-5	118,398	49,931	10,439	10,512	21,450	210,729
		5-15	87,566	31,576	4,787	3,266	20,724	147,919
		15-20	4,991	2,057	203	9	750	8,010
		> 20	3,140	1,201	271	2	552	5,165
		รวม	3,694,782	811,130	93,480	78,062	119,370	4,796,824



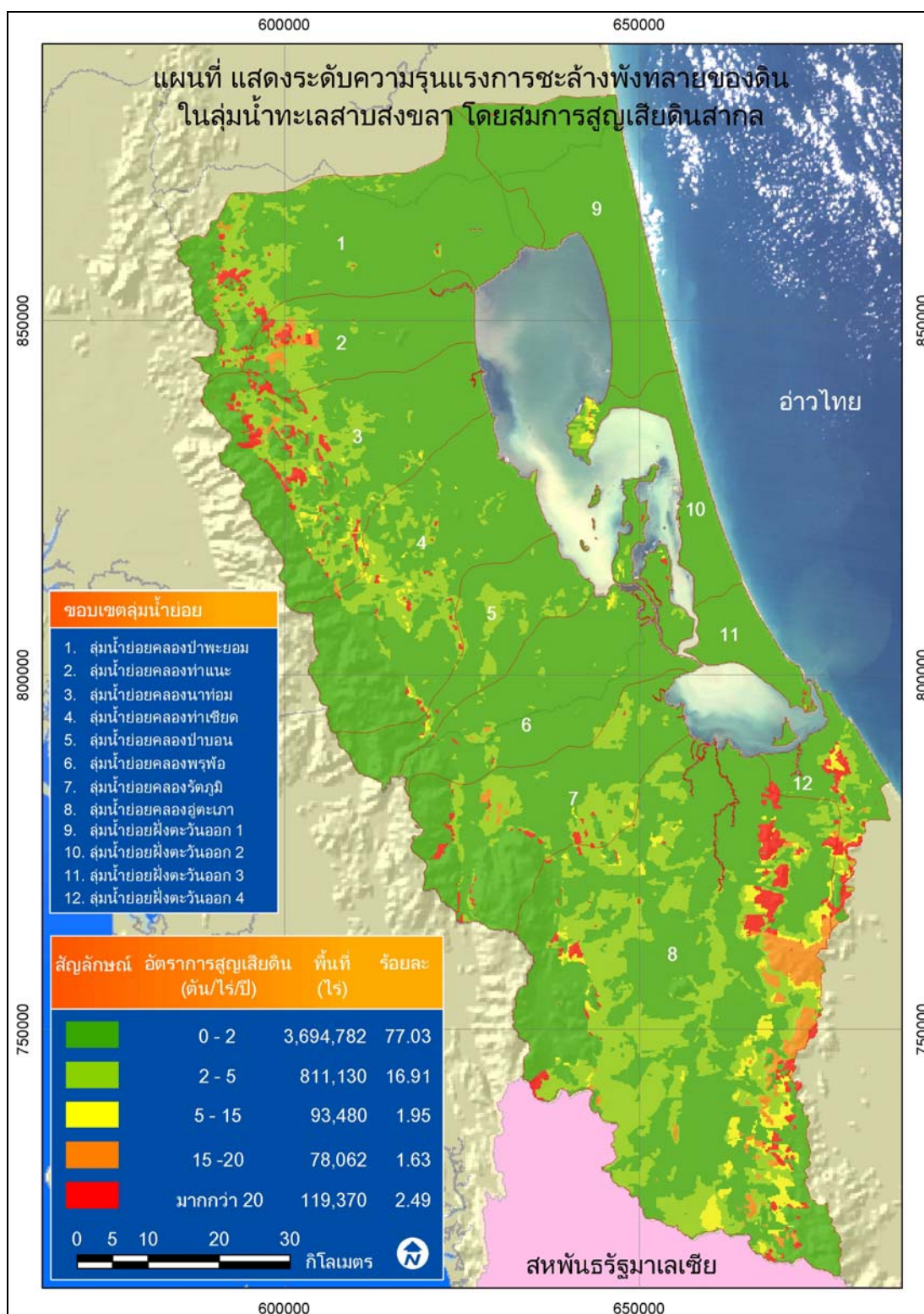
ภาพที่ 24 การเปรียบเทียบการชะล้างพังทลายของดินระหว่างการประเมิน โดยแบบจำลอง MMF และสมการสูญเสียดินสากล

ในส่วนของการตรวจสอบอัตราการใช้ที่ดินระหว่างแบบจำลอง MMF และสมการสูญเสียดินสากล ที่มีผลไม่ตรงกันร้อยละ 26.69 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลานั้น มีผลมาจากการที่สมการสูญเสียดินสากล ให้ผลการประเมินอัตราการใช้ที่ดินในระดับรุนแรงเป็นพื้นที่มากกว่าแบบจำลอง MMF ซึ่งผลการตรวจสอบดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้มีผู้ศึกษามาแล้ว

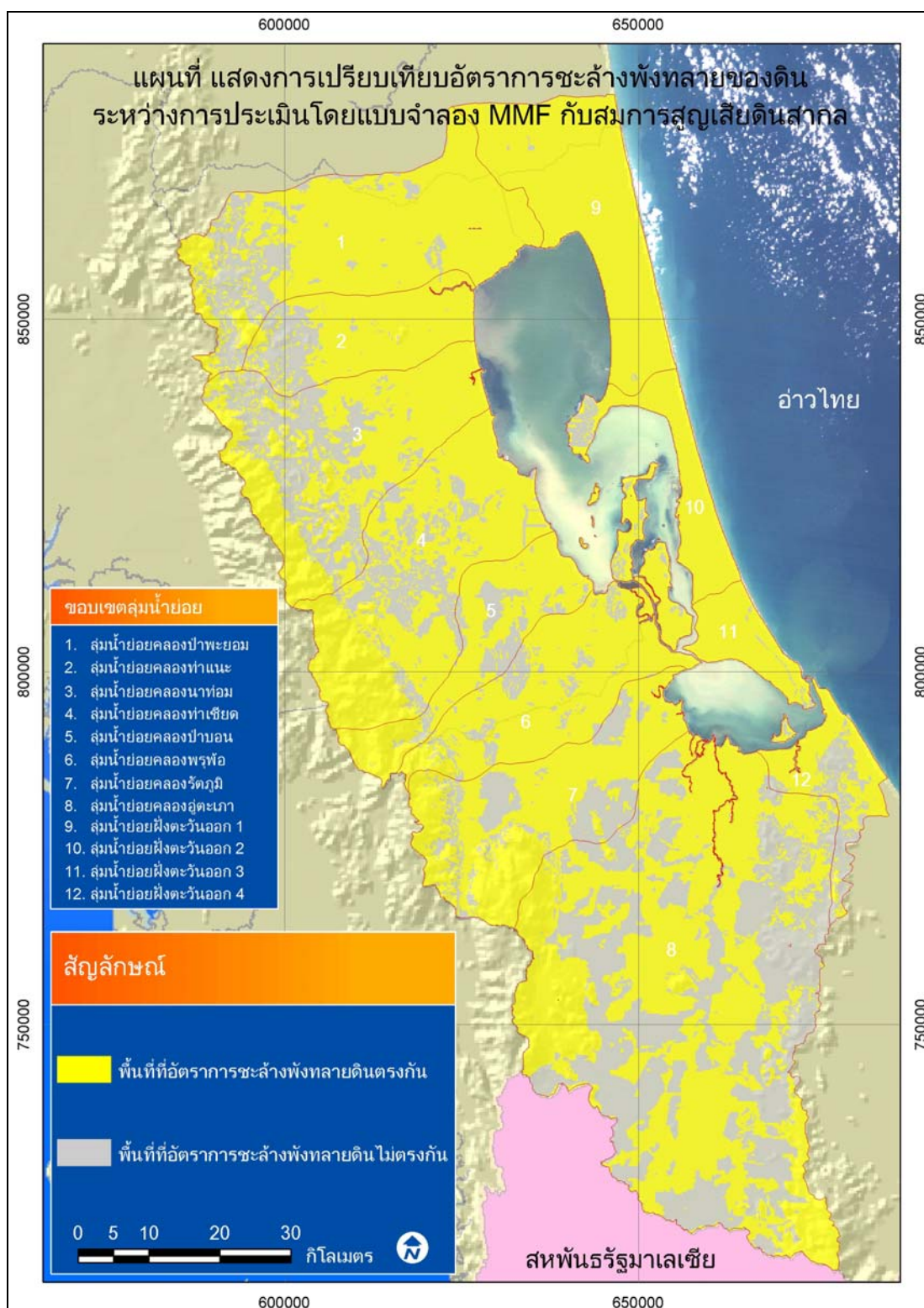
สำหรับสาเหตุที่สมการสูญเสียดินสากล มีผลการประเมินการชะล้างพังทลายของดินรุนแรงกว่าที่ประเมินได้จากแบบจำลอง MMF มีที่มาจากที่ผลการชะล้างพังทลายของดินที่ประเมินจากสมการสูญเสียดินสากล เป็นผลที่ได้จากการที่ปัจจัยที่เกี่ยวข้องรวม 6 ปัจจัย ถูกกำหนดให้มีความสำคัญในระดับเดียวกัน กล่าวคืออัตราการใช้ที่ดินที่ประเมินได้ จะเป็นผลคูณของปัจจัยที่เกี่ยวข้องรวม 6 ปัจจัย ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลอง MMF ที่มีการแบ่งกระบวนการที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายดินออกเป็น 2 ส่วน คือการแตกกระจายของอนุภาคดิน และการพัดพาอนุภาคดินไปกับน้ำไหลบ่า โดยผลจากการแบ่งกระบวนการทั้ง 2 จะทำให้ผลการประเมินอัตราการใช้ที่ดินที่ได้จากแบบจำลอง MMF มีค่าต่ำลง

ตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก ค่าปัจจัยความลาดชันในสมการสูญเสียดินสากล จะถูกคูณกับปัจจัยอื่น ที่เกี่ยวข้องโดยตรง ดังนั้นหากพื้นที่ใดยังมีความลาดชันมากอัตราการชะล้างพังทลายของดินก็จะสูงขึ้น แต่กลไกของแบบจำลอง MMF จะพิจารณาว่าพื้นที่ที่มีความลาดชันมากจะมีศักยภาพต่อการพัดพาอนุภาคดินไปกับน้ำไหลบ่ามากเท่านั้น แต่ยังไม่ใช่ปริมาณการสูญเสียดินที่แท้จริง สำหรับผลการชะล้างพังทลายของดินที่แท้จริงจะขึ้นศักยภาพในการแตกกระจายของอนุภาคดินในบริเวณนั้นด้วย ดังนั้นถ้าในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากมีการแตกกระจายของอนุภาคดินในปริมาณที่น้อย อัตราการชะล้างพังทลายของดินก็จะไม่รุนแรง จากแนวคิดนี้จึงเป็นสาเหตุที่ผลการประเมินระหว่าง 2 แบบจำลองมีผลไม่ตรงกันในบางพื้นที่

สำหรับการตรวจสอบผลอัตราการชะล้างพังทลายของดินที่ได้จากการศึกษานั้น หากต้องการทราบผลการตรวจสอบที่แม่นยำและถูกต้องมากขึ้น จำเป็นต้องอาศัยการวางแผนทดลองทั่วพื้นที่ศึกษา โดยแบ่งตามระดับความลาดชันของภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และเนื้อดิน เพื่อศึกษาการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นในรอบปี อย่างไรก็ตามหากต้องการตรวจสอบแบบจำลองด้วยวิธีดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เวลา และงบประมาณในการศึกษามากเนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนั้นอีกทางเลือกหนึ่งของวิธีการตรวจสอบอัตราการชะล้างพังทลายของดิน คือ การวัดสารไอโซโทปของซีเซียม-137 (^{137}Cs) ซึ่งเกิดขึ้นจากการทดลองระเบิดปรมาณูบนดินและสะสมอยู่ในดินทั่วโลก



ภาพที่ 25 แผนที่แสดงระดับความรุนแรงการชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
โดยสมการสูญเสียดินสากล



ภาพที่ 26 แผนที่แสดงการเปรียบเทียบอัตราการชะล้างพังทลายของดินระหว่างการประเมินโดย
แบบจำลอง MMF และสมการสูญเสียดินสากล

การประเมินอัตราส่วนการพัดพาตะกอน

ค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอน เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณตะกอนดินที่สามารถถูกพัดพาไปโดยน้ำท่าและไหลไปตามทางน้ำออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำในรูปแบบของตะกอนแขวนลอย โดยค่าที่ได้จะเป็นร้อยละของปริมาณตะกอนแขวนลอย เมื่อเทียบกับปริมาณตะกอนที่เกิดจากการชะล้างพังทลายของดิน การประเมินอัตราส่วนการพัดพาตะกอนสามารถทำได้โดยใช้ข้อมูลทั้งหมด 2 ส่วน ส่วนแรกคือปริมาณตะกอนดินที่เกิดจากการถูกการชะล้างพังทลาย และส่วนที่สองคือ ปริมาณตะกอนแขวนลอยในทางน้ำ

การคำนวณปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายในการศึกษารุ่นนี้ คือปริมาณการสูญเสียดินที่ได้จากการประเมินโดยแบบจำลอง MMF ปริมาณตะกอนดินดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากการเขียนชุดคำสั่งบนโปรแกรม ILWIS 3.2 ให้ทำการคำนวณปริมาณรวมของตะกอนดินที่ถูกชะล้างพังทลายในแต่ละตารางกริด โดยใช้ชั้นข้อมูลการชะล้างพังทลายของดินที่ถูกแบ่งเป็นตารางกริดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 100x100 เมตร ในส่วนของปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา จะใช้ปริมาณตะกอนแขวนลอยจากคลองสายหลักรวม 8 คลอง ได้แก่ คลองป่าพะยอม คลองท่าแนะ คลองนาท่อม คลองท่าเขียด คลองป่าบอน คลองพรุพ้อ คลองรัตภูมิ และคลองอู่ตะเภา ซึ่งคลองดังกล่าวเป็นคลองสายหลักของกลุ่มน้ำย่อยที่อยู่ทางทิศตะวันตกและทิศใต้ของทะเลสาบสงขลา ดังนั้นในการศึกษารุ่นนี้จะหาค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนของกลุ่มน้ำย่อยรวม 8 กลุ่มน้ำย่อยเท่านั้น

ในการหาปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาจากคลองสายหลักในรอบปี จะอาศัยค่าการตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอยที่สำรวจโดย กรมควบคุมมลพิษ (2549) ประกอบกับผลจากการตรวจวัดในภาคสนาม ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อหาค่าตะกอนแขวนลอยในจุดเดียวกันกับที่กรมควบคุมมลพิษได้ทำการสำรวจไว้ นอกจากนี้ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในรอบปี จะใช้ผลการศึกษาที่ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548) ได้ทำการประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาทางฝั่งตะวันตก โดยใช้แบบจำลอง variable infiltration capacity 2 Layers (VIC-2L) สำหรับผลการตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอยในภาคสนามแสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าของแข็งแขวนลอยบริเวณปากคลองสายหลักจากการตรวจวัดภาคสนาม

ลุ่มน้ำย่อย	พิกัดแกน X	พิกัดแกน Y	ค่าของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
คลองป่าพะยอม	604001	866074	14.2
คลองท่าแนะ	626577	854034	41.0
คลองนาท่อม	626453	842359	47.8
คลองท่าเขียด	635386	825140	28.2
คลองป่าบอน	641566	814016	26.4
คลองพรุพ้อ	643236	799121	16.2
คลองรัตภูมิ	655471	793913	89.0
คลองอยู่ตะเภา	662125	785685	37.0

หมายเหตุ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในวันที่ 19 และ 20 เมษายน พ.ศ.2549

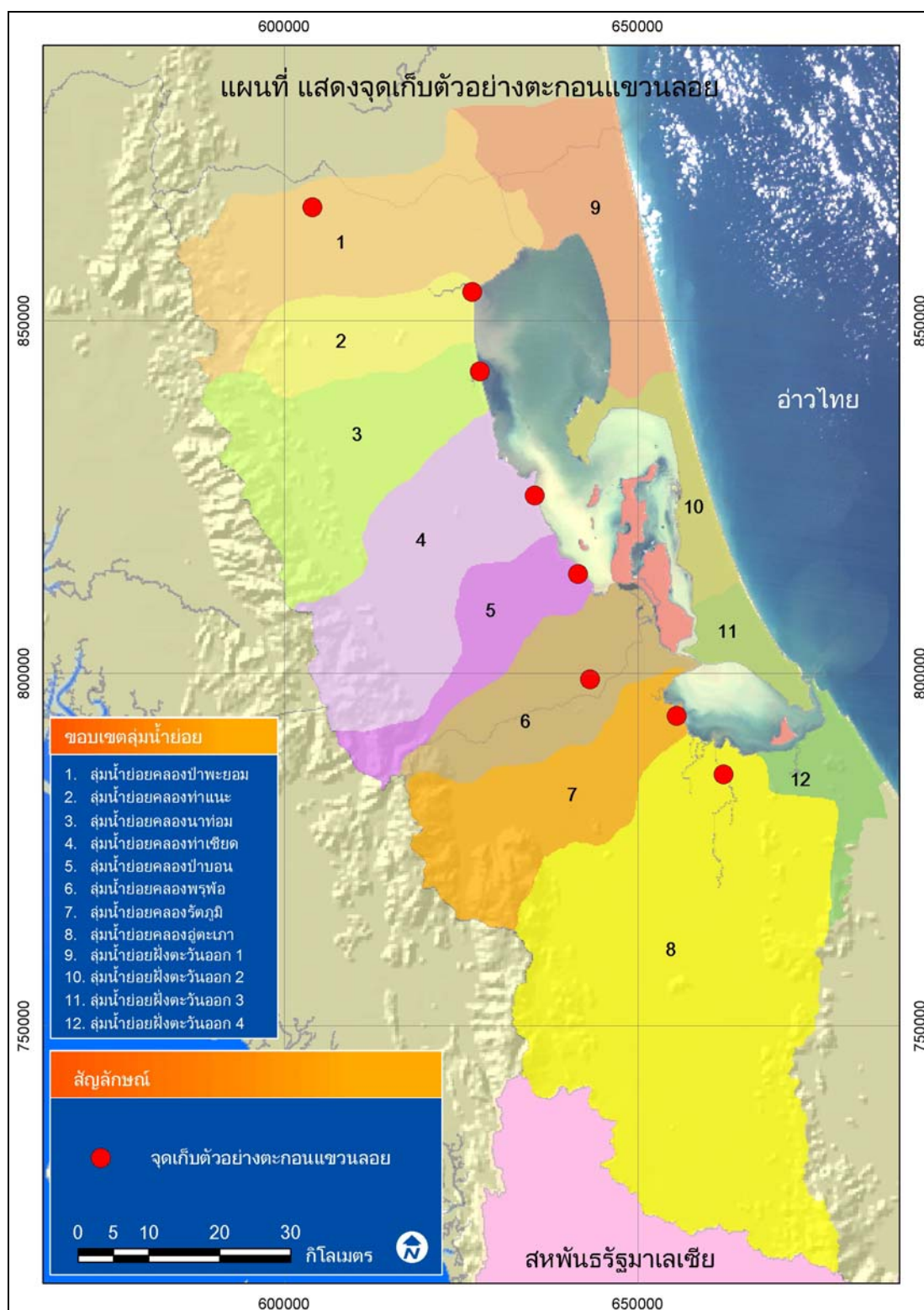
ในการประเมินค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอน ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีสัณฐานภาพของการชะล้างพังทลายดินหรือการสูญเสียดินจากพื้นที่เท่ากับ 3,213,385 ตันต่อปี โดยเป็นปริมาณการสูญเสียดินจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 8 ลุ่มน้ำทางตะวันตกของทะเลสาบสงขลาเท่ากับ 2,883,832 ตันต่อปี ซึ่งปริมาณการสูญเสียดินดังกล่าวเป็นผลที่คำนวณได้จากแบบจำลอง MMF สำหรับปริมาณตะกอนในคลองสายหลักรวม 8 คลองที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาทางฝั่งตะวันตก ในรูปของตะกอนแขวนลอย จากการศึกษาพบว่ามีค่าเท่ากับ 247,248 ตันต่อปี ดังนั้นค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 8.57 สำหรับรายละเอียดของผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 อัตราส่วนการพัดพาตะกอนของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ลุ่มน้ำย่อย	ปริมาณดินที่ถูก ชะล้างพังทลาย (ตันต่อปี)	ปริมาณตะกอน แขวนลอยในลำคลอง (ตันต่อปี)	อัตราส่วน การพัดพาตะกอน (ร้อยละ)
คลองป่าพะยอมและคลองท่าแนะ	563,202	26,247	4.66
คลองนาท่อม	648,082	12,241	1.89
คลองท่าเชียด	387,045	24,292	6.28
คลองป่าบอน	165,816	5,457	3.29
คลองพรุพ้อ	221,231	8,268	3.74
คลองรัตภูมิ	139,373	47,508	34.09
คลองคูตะเกา	759,084	123,234	16.23
ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	2,883,832	247,248	8.57

จากการพิจารณาผลการศึกษาที่ได้ พบว่าลุ่มน้ำย่อยที่มีค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนสูงคือ ลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ และลุ่มน้ำย่อยคลองคูตะเกา เนื่องจากทั้ง 2 ลุ่มน้ำย่อยดังกล่าวมีค่าตะกอนแขวนลอยที่ตรวจวัดได้สูงกว่าลุ่มน้ำย่อยอื่น ๆ สำหรับอัตราส่วนการพัดพาตะกอนของลุ่มน้ำย่อยคลองนาท่อมที่มีค่าต่ำกว่าลุ่มน้ำย่อยอื่น ๆ นั้นมีผลมาจากการที่ศักยภาพของดินที่ถูกชะล้างพังทลายในลุ่มน้ำย่อยดังกล่าวมีสูง แต่ผลการตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ตรวจวัดได้กลับมีค่าไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับลุ่มน้ำย่อยอื่น สาเหตุที่ปริมาณตะกอนแขวนลอยในคลองนาท่อมมีค่าต่ำนั้นอาจเป็นเพราะในพื้นที่ดังกล่าวมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนดินไหลลงสู่แหล่งน้ำ ดังนั้นลุ่มน้ำย่อยคลองนาท่อมจึงมีค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนต่ำ

การศึกษาค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนในการศึกษารั้งนี้ ยังมีข้อจำกัดอยู่ที่การหาปริมาณตะกอนแขวนลอยและปริมาณน้ำท่าในลำคลอง เนื่องจากยังไม่มีผลการตรวจวัดค่าตะกอนแขวนลอยและปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาครบทุกคลองสายหลัก อีกทั้งผลการตรวจวัดค่าตะกอนแขวนลอยบริเวณปากคลองที่สามารถรวบรวมได้ยังมีอยู่น้อยมาก กล่าวคือยังไม่มี การตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอยเป็นประจำครบทุกลุ่มน้ำย่อย ซึ่งการศึกษาเพื่อคำนวณหาอัตราส่วนการพัดพาตะกอนที่ดีนั้น จะต้องอาศัยข้อมูลปริมาณตะกอนที่ตรวจวัดต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหลายปี ดังนั้นผลจากการศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับการศึกษาในขั้นต่อไป



ภาพที่ 27 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ค่าตะกอนแขวนลอย

แนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหการชะล้างพังทลายของดิน

การกำหนดแนวทางในการแก้ไขปัญหการชะล้างพังทลายของดินในแต่ละพื้นที่ เพื่อป้องกันปัญหการพัดพาตะกอนดินลงสู่ทะเลสาบ สามารถแบ่งออกเป็นแนวทางหลักได้ 2 แนวทาง คือ แบ่งตามระดับความรุนแรงของการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้น หรือแบ่งตามประเภทของมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่นำมาปฏิบัติใช้ ซึ่งผลการศึกษามีดังนี้

1. แนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหการชะล้างพังทลายของดินแบ่งตามระดับความรุนแรง

1.1 พื้นที่ที่มีระดับการชะล้างพังทลายดินรุนแรงน้อยมากในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่มีทั้งสิ้น 4,425,001 ไร่ หากเป็นพื้นที่ราบไม่จำเป็นต้องมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำเป็นพิเศษ ส่วนในพื้นที่ที่เป็นภูเขาสูงชันที่ยังคงสภาพเป็นป่าไม้ธรรมชาติ ควรมีมาตรการอนุรักษ์พื้นที่ป่าไม้ไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหการชะล้างพังทลายของดินในระดับที่เป็นปัญหา

1.2 พื้นที่ที่มีระดับการชะล้างพังทลายดินรุนแรงน้อยในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่มีทั้งสิ้น 210,729 ไร่ หากเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันไม่มากนักควรกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างระมัดระวัง โดยการปลูกพืชตามแนวระดับหรือขวางความลาดเทเพื่อใช้พืชเป็นแนวคักตะกอนดิน และในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากควรมีมาตรการอนุรักษ์สภาพป่าไม้ไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหการชะล้างพังทลายของดินในระดับที่เป็นปัญหา

1.3 พื้นที่ที่มีระดับการชะล้างพังทลายดินรุนแรงปานกลางในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่มีทั้งสิ้น 147,919 ไร่ หากเป็นพื้นที่ราบควรใช้มาตรการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินทั้งวิธีพืชและวิธีกล ในกรณีที่เป็นพื้นที่สูงส่วนควรมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างเคร่งครัด

1.4 พื้นที่ที่มีระดับการชะล้างพังทลายดินรุนแรงในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่มีทั้งสิ้น 8,010 ไร่ ควรมีการอนุรักษ์ดินและน้ำเพื่อป้องกันปัญหการชะล้างพังทลายอย่างเคร่งครัด ควบคู่ไปกับการฟื้นฟูสภาพป่าเพื่อลดการชะล้างพังทลายของดินให้น้อยลง

1.5 พื้นที่ที่มีระดับการชะล้างพังทลายดินรุนแรงมากในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่มีทั้งสิ้น 5,165 ไร่ ควรทำการฟื้นฟูป่าอย่างเร่งด่วน

2. แนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาการชะล้างพังทลายของดินแบ่งตามมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ

2.1 วิธีกล (mechanical method) เป็นการก่อสร้างสิ่งกีดขวางบนพื้นที่ลาดชัน เพื่อสกัดกั้นน้ำไหลบ่าและการพังทลายของดิน การอนุรักษ์ดินและน้ำโดยวิธีกลนี้เป็นการป้องกันการพังทลายได้ทันทีแต่เสียค่าใช้จ่ายสูงเช่น การสร้างแนวคันดิน การปลูกพืชตามแนวระดับ และการปลูกแถบหญ้าตามแนวระดับ เป็นต้น

2.2 วิธีพืช (vegetative method) เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและลงทุนต่ำ เช่น การปลูกพืชคลุมดิน การปลูกพืชสลับเป็นแถว และการปลูกพืชหมุนเวียน เป็นต้น

2.3 วิธีเกษตรกรรม (agronomic method) เช่น การไถพรวนดิน การไถกลบเศษพืช และการใช้วัสดุคลุมดิน เป็นต้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ Morgan, Morgan and Finney 1984 (MMF) เพื่อประเมินการชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยอาศัยข้อมูล 4 ส่วน เพื่อป้อนเข้าสู่แบบจำลอง ส่วนแรกคือข้อมูลทางอุทกนิยมนิคมวิทยา ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรายปี และจำนวนวันฝนตกในรอบปี ในช่วงปี พ.ศ.2517 ถึง พ.ศ.2546 รวมถึงข้อมูลความหนักเบาของฝนสำหรับประเทศไทยที่มีค่าเท่ากับ 25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ส่วนที่สองคือข้อมูลคุณสมบัติของดิน ได้แก่ ความจุความชื้นที่ระดับสนาม และความหนาแน่นรวมของดินที่กรมพัฒนาที่ดินได้ทำการสำรวจไว้ ส่วนที่สาม ได้แก่ ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความสัมพันธ์กับค่าปัจจัยการปกคลุมของพืช ร้อยละของน้ำฝนที่พืชยึดไว้ ความลึกของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ และอัตราส่วนระหว่างการคายระเหยจริงกับการระเหยน้ำสูงสุด และส่วนที่สี่คือข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศ รวมข้อมูลทั้งหมด 11 ข้อมูล

2. จากการนำข้อมูลรวม 11 ข้อมูลป้อนเข้าสู่แบบจำลอง MMF และพิจารณากระบวนการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝนประกอบกับกระบวนการพัดพาเม็ดดินไปกับน้ำไหลบ่า เพื่อประเมินการชะล้างพังทลายดิน ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาปริมาณการสูญเสียดินจากพื้นที่เฉลี่ย 3,213,385 ตันต่อปี และมีพื้นที่ที่มีการชะล้างพังทลายของดินอยู่ในระดับน้อยมากถึงน้อย หรือมีอัตราการชะล้างพังทลายของดินอยู่ในช่วง 0-5 ตันต่อไร่ต่อปี คิดเป็นพื้นที่ 4.64 ล้านไร่ หรือร้อยละ 96.64 ของพื้นที่ พื้นที่ที่มีระดับการชะล้างพังทลายรุนแรงปานกลางถึงมาก หรือมีอัตราการชะล้างพังทลายของดินในช่วง 5-20 ตันต่อไร่ต่อปี คิดเป็นพื้นที่ 0.16 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 3.25 ของพื้นที่ และพื้นที่ที่มีระดับการชะล้างพังทลายของดินรุนแรงมาก หรือมีอัตราการชะล้างพังทลายของดินมากกว่า 20 ตันต่อไร่ต่อปี เป็นพื้นที่ 0.01 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 0.11 ของพื้นที่ สำหรับการตรวจสอบผลอัตราการชะล้างพังทลายของดินที่ได้จากการศึกษา โดยการนำผลการศึกษาที่ได้มาซ้อนทับกันในเชิงพื้นที่กับข้อมูลอัตราการชะล้างพังทลายของดินที่ได้จากสมการสูญเสียดินสากล ที่กรมพัฒนาที่ดินทำการศึกษาไว้ พบว่ามีพื้นที่ที่อัตราการชะล้างพังทลายของดินตรงกันในเชิงพื้นที่อยู่ 3,535,965 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 73.71 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

3. จากการศึกษาปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายและปริมาณตะกอนดินที่สามารถไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีปริมาณการสูญเสียดินจากพื้นที่เฉลี่ย 3,213,385 ตันต่อปี โดยเป็นปริมาณการสูญเสียดินจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 8 ลุ่มน้ำทางตะวันตกของทะเลสาบสงขลาเท่ากับ 2,883,832 ตันต่อปี ซึ่งปริมาณการสูญเสียดินดังกล่าวเป็นผลที่คำนวณได้จากแบบจำลอง MMF สำหรับปริมาณตะกอนในคลองสายหลักรวม 8 คลองที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาทางฝั่งตะวันตกในรูปของตะกอนแขวนลอย จากการศึกษาพบว่ามีค่าเท่ากับ 247,248 ตันต่อปี เมื่อนำผลการศึกษาดังกล่าวมาคำนวณอัตราส่วนการพัดพาตะกอน พบว่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.57 สำหรับแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา นั้น ในพื้นที่ที่มีการชะล้างพังทลายของดินอยู่ในระดับน้อยมากถึงน้อย จำนวน 4.64 ล้านไร่ หากเป็นพื้นที่ราบไม่จำเป็นต้องมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำเป็นพิเศษ สำหรับพื้นที่สูงควรใช้มาตรการอนุรักษ์พื้นที่ป่าไม้ไว้ พื้นที่ที่มีระดับการชะล้างพังทลายรุนแรงปานกลางถึงมาก จำนวน 0.16 ล้านไร่ หากเป็นพื้นที่ราบควรใช้มาตรการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินทั้งวิธีพืช และวิธีกล ในกรณีที่เป็นพื้นที่สูงควรมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างเคร่งครัด และในพื้นที่ที่มีระดับการชะล้างพังทลายของดินรุนแรงมาก จำนวน 0.01 ล้านไร่ ควรใช้มาตรการในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดินทั้งวิธีพืชและวิธีกล นอกจากนี้ควรทำการฟื้นฟูพื้นที่ป่าไม้อย่างเร่งด่วน

ข้อเสนอแนะ

1. การหาพลังงานจลน์จากเม็ดฝนเพื่อใช้ประเมินปริมาณดินที่แตกกระจาย ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้สมการที่ได้จากการทดลองในประเทศซิมบับเวย์ ทวีปแอฟริกา เนื่องจากยังไม่พบการศึกษาวิจัยเพื่อหาค่าพลังงานจลน์จากเม็ดฝนเพื่อใช้กับแบบจำลอง Morgan, Morgan and Finney 1984 (MMF) ในประเทศไทย ดังนั้นหากมีการศึกษาถึงเรื่องดังกล่าวต่อไปในอนาคตก็จะส่งผลให้ผลการประเมินการชะล้างพังทลายของดินที่ได้จากแบบจำลอง MMF มีความถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MMF ที่ใช้ในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินในครั้งนี้ แม้จะมีข้อดี คือ มีการพิจารณาถึงกระบวนการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยน้ำฝน และการพัดพาเม็ดดินไปกับน้ำไหลบ่า เพื่อประเมินค่าการชะล้างพังทลายของดิน แต่การชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติ ยังมีกระบวนการอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องอีก เช่น กระบวนการแตกกระจายของเม็ดดินด้วยพลังงานจากน้ำไหลบ่าหน้าดิน กระบวนการพัดพาเม็ดดินไปกับลม ดังนั้นในการศึกษาต่อไปควรพิจารณาถึงปัจจัยเหล่านี้ในการศึกษาด้วย

2. การตรวจสอบอัตราการชะล้างพังทลายของดินที่ได้จากแบบจำลอง MMF ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้กับผลจากการประเมินโดยสมการสูญเสียดินสากลที่กรมพัฒนาที่ดินศึกษาไว้เท่านั้น ดังนั้นหากต้องการทราบที่แม่นยำและถูกต้องมากขึ้น จำเป็นต้องอาศัยการวางแผนทดลองทั่วพื้นที่ศึกษา โดยแบ่งตามระดับความลาดชันของภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และเนื้อดิน เพื่อศึกษาการสูญเสียดินที่เกิดขึ้นในรอบปี อย่างไรก็ตามหากต้องการตรวจสอบแบบจำลองด้วยวิธีดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เวลา และงบประมาณในการศึกษามากเนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนั้นอีกทางเลือกหนึ่งของวิธีการตรวจสอบอัตราการชะล้างพังทลายของดิน คือ การวัดสารไอโซโทปซีเซียม-137 (^{137}Cs) ซึ่งเกิดขึ้นจากการทดลองระเบิดปรมาณูบนดินและสะสมอยู่ในดินทั่วโลก

3 การศึกษาค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนในการศึกษานี้ ยังมีข้อจำกัดอยู่ที่การหาปริมาณตะกอนแขวนลอยและปริมาณน้ำท่าในลำคลอง เนื่องจากยังไม่มีผลการตรวจวัดค่าตะกอนแขวนลอยและปริมาณน้ำท่าในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาครบทุกคลองสายหลัก อีกทั้งผลการตรวจวัดค่าตะกอนแขวนลอยบริเวณปากคลองที่สามารถรวบรวมได้ยังมีอยู่น้อยมาก กล่าวคือยังไม่มีผลการตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอยเป็นประจำครบทุกกลุ่มน้ำย่อย ซึ่งการศึกษาเพื่อคำนวณหาค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนที่ดีนั้น จะต้องอาศัยข้อมูลปริมาณตะกอนที่ตรวจวัดต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหลายปี ดังนั้นในการศึกษาขั้นต่อไปจึงควรมีการตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอยและปริมาณน้ำท่าในทุกคลองสายหลักอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำผลการตรวจวัดที่ได้มาคำนวณค่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนที่ถูกต้องมากขึ้นต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2549. ข้อมูลปริมาณตะกอนแขวนลอยในคลองสายหลักของพื้นที่ลุ่มน้ำ
ทะเลสาบสงขลา. (CD-ROM). กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.

กรมชลประทาน. 2538. การศึกษาและออกแบบโครงการกั้นกั้นน้ำเค็มทะเลสาบสงขลา จังหวัด
สงขลาและจังหวัดพัทลุง เล่ม 1. 654.

_____. 2547. ข้อมูลปริมาณตะกอนที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา. (CD-ROM). กรมชลประทาน,
กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2545. การชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

_____. 2547. ข้อมูลกลุ่มชุดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และเส้นชั้นความสูง. (CD-ROM). กรม
พัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2547. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีและจำนวนวันฝนตกรายปี. (CD-ROM). กรม
อุตุนิยมวิทยา, กรุงเทพฯ.

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2541. รายงานการวิจัยระบบนิเวศและการ
ใช้ทรัพยากรชายฝั่งลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. 130.

ธวัช ชิตตระการ, สมบูรณ์ พรพิเนตพงศ์, ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และ ไพบุลย์ นวลนิล. 2541.
รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาอัตราการ
ตกตะกอนในทะเลสาบสงขลา. 71.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2545. แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนใน
พื้นที่ลุ่มน้ำ. ครั้งที่ 1. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

ยุทธชัย อนุศักดิ์พันธุ์, กิตติพงษ์ ทรงรักษเกียรติ์ และ อรรถ สมร่าง. 2547. **แบบจำลองการชะล้างพังทลายของดิน**. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เล่ม 5**. 408.

Becker, A. and P. Serban. 1990. **Hydrological Models for Water Resources System Design and Operation**. WMO, Geneva, Switzerland.

Hudson, N.W. 1965. **The Influence of Rainfall on the Mechanic of Soil Erosion with Particular Reference to Northern Rhodesia**. M.S. thesis, University of Cape Town

Iampornrat, K., M. Vanmolle and V. Heyvaert. 2002. Application of the USLE model and the Morgan model for soil erosion mapping: the case study in Tambon Khao Hin Sorn, Amphoe Phanomsarakam, Chachoengsao Province, Thailand, pp. 2318-1-2318-7. *In World Congress of Soil Science 17. ed.* The International Union of Soil Sciences, Bangkok.

Meijerrink, A.M.C. and A. Stewart. 1988. **ILWIS the Integrated Land and Watershed Manage Information Systems**. International Institute for Aerospace Survey and Earth Science, Enschede, The Netherland.

Morgan, R.P.C. 2001. **A Simple Approach to Soil Loss Prediction: a Revised Morgan-Morgan-Finney Model**. Catena, United Kingdom.

Saengthongpinit, C. 2004. **Soil Erosion Assessment Using Revised MMF Equations with Special Reference to Terrain Parameter(s). a Case Study in Nam Chun sub-Watershed, Lomsak District, Thailand**. M.S. thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation.

- Shrestha, D.P. 1997. **Assessment of Soil Erosion in the Nepalese Himalaya: a Case Study in Likhu khola Valley, Middle Mountain Region Land Husbandry.** International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands.
- Shrestha, D.P. 2003. **Modelling Approach.** (Presentation). International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherland.
- Shrestha, D.P., B. Yazidhi and G. Teklehaimanot. 2004. **Assessing Soil Losses Using Erosion Models and Terrain Parameters: a Case Study in.** International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands.
- Wischmeier, W.H., D.D. Smith and United States. Science and Education Administration. 1978. **Predicting Rainfall Erosion Losses : a Guide to Conservation Planning.** G.P.O., Washington, D.C.
- Yazidhi, B. 2003. **A Comparative Study of Soil Erosion Modeling in Lom Kao-Petchabun, Thailand.** M.S. thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation.

ภาคผนวก

ชุดคำสั่งที่ใช้ในการประมวลผลการชะล้างพังทลายของดินบนโปรแกรม ILWIS 3.2

1. ชุดคำสั่งในการประมวลผลปริมาณเม็ดดินที่แตกกระจาย

```
// .....
//Script for Soil Detachment
// Input Parameters      : K = soil detachability index (%1)
//                        : A = crop interception percent factor (%2)
//                        : I = rainfall intensity (%3)
//                        : R = annual rainfall (%4)
//                        : Energy = kinetic energy of rainfall
//                        : SoilDetachment = rate of soil detachment (kg/m2)
// .....
//Generate Kinetic Energy of Rainfall
//      Begin
//          Energy{dom=value.dom;vr=0.000:1000000.000:0.001}=%4*(29.8-(127.5/%3))
//          calc Energy.mpr
//      End
// .....
//Generate Rate of Soil Detachment
//      Begin
//          SoilDetachment{dom=value.dom;vr=0.000:1000000.000:0.001}
//          =%1*(Energy*(Exp((-0.05)*%2)))*1*(10^(-3))
//          calc SoilDetachment.mpr
//      End
// .....
```

2. ชุดคำสั่งในการประมวลผลปริมาณเมล็ดดินที่ถูกพัดพา

```
//.....
//Script for Soil Transportation
// Input Parameters      : Elevation = elevation in metres (%1)
//                        : R = annual rainfall (%2)
//                        : Rn = rainy day (%3)
//                        : Et/E0 = ratio of actual to potential evapotranspiration (%4)
//                        : C = crop cover factor (%5)
//                        : MS= moisture storage capacity (%6)
//                        : BD = bulk density (%7)
//                        : RD = rooting depth (%8)
//                        : Flow = overlandflow
//                        : SoilTransport = rate of soil transport (kg/m2)
//.....
//Generate Slope Map in Percent and Degree
//      Begin
//
//      dx {dom=value.dom;vr=-10000.00:10000.00:0.01}=MapFilter(%1,DFDX)
//      dy {dom=value.dom;vr=-10000.00:10000.00:0.01}=MapFilter(%1,DFDY)
//      calc dx.mpr
//      calc dy.mpr
//      SLOPEPCT = 100 * HYP(DX,DY)/ PIXSIZE(%1)
//      SLOPEDEG = RADDEG(ATAN(SLOPEPCT/100))
//      calc Slopepct.mpr
//      calc Slopedeg.mpr
//
//      End
//.....
```

```
//.....
//Generate OverlandFlow Map
//      Begin
      Rc{dom=value.dom;vr=-10000.000:10000.000:0.0001}
      =1000*%6*%7*%8*(%4^0.5)
      Ro{dom=value.dom;vr=-10000.000:10000.000:0.0001}=%2/%3
      Calc Rc.mpr
      Calc Ro.mpr
      Flow{dom=value.dom;vr=-10000.000:10000.000:0.001}=%2*(Exp((-Rc)/Ro))
      calc Flow.mpr
//      End
//.....
//Generate Rate of Soil Transport
//      Begin
      SoilTransport{dom=value.dom;vr=0.000:50000.000:0.001}
      =%5*(Flow^2)*(Sin(Degrad(Slopedeg)))*(10^(-3))
      calc SoilTransport.mpr
//      End
//.....
```

3. ชุดคำสั่งในการประมวลผลปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลาย

```
//.....
//Script for Calculate SoilErosion
//Input Parameters      : SoilDetachment (%1)
//                      : SoilTransport (%2)
//.....
//Estimation of SoilErosion
//      Begin
      Erosion_kgpm2{dom=value.dom;vr=0.000:50000.000:0.001}=Min(%1,%2)
      Erosion_tonpha{dom=value.dom;vr=0.000:50000.000:0.001}=Erosion_kgpm2*10
      Erosion_tonprai{dom=value.dom;vr=0.000:50000.000:0.001}=Erosion_kgpm2*1.6
      calc Erosion_kgpm2.mpr
      calc Erosion_tonpha.mpr
      calc Erosion_tonprai.mpr
//      End
//.....
```

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายกิตติพงษ์ ทรงรักษเกียรติ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 18 มกราคม 2525
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (พ.ศ.2547)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิทยาศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัยประเภทวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ.2548) ทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ.2548)