บทที่ 4

ศักยภาพของการชะพาของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน ลงสู่ทะเลสาบสงขลา

จากการศึกษาลักษณะอุทกวิทยา และปริมาณธาตุอาหารที่ถูกพัดพาออกไปในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคต่างๆ ในประเทศไทย พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม) ที่ถูกพัดพาออกไปมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำท่า การกษัยการของดิน และตะกอนแขวนลอยในน้ำ (มนู ศรีขจร และคณะ, 2542; ปฤษณา นันทพันธุ์ และคณะ, 2542ก ; 2542ข; จุไร ทองมาก, 2542; ประภัสร์ จินดา และคณะ, 2540) โดยธาตุอาหารจะติดไปกับอนุภาคของดินลงสู่แหล่งน้ำ การที่มีปริมาณธาตุอาหารเข้าสู่แหล่งน้ำมากเกินไปอาจก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน ซึ่งพบว่าแหล่งกำเนิดมลพิษแบบไม่ทราบตำแหน่งแน่นอน จัดว่าเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำต่างๆ เนื่องจากครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง มีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมหลายชนิด ตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ฤดูกาล และกิจกรรมอื่นๆ เช่น กิจกรรมการเกษตร ภาวะฝนตกหนัก และการก่อสร้าง เป็นต้น (Carpenter, *et al*. 1998a; Janson, *et al.* 2003) การตรวจสอบและควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิดดังกล่าวกระทำได้ยาก และพบว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษแบบไม่ทราบตำแหน่งแน่นอน ถูกชะพาลงสู่ทะเลสาบสงขลาถึงปีละ 2,715 และ 275 ตัน ตามลำดับ (Emsong project, 1998a)

ดังนั้น การประเมินพื้นที่ที่มีผลต่อศักยภาพการชะพาของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อนำไปสู่การจัดการมลพิษจากธาตุอาหารที่ลงสู่แหล่งน้ำได้อย่างเหมาะสม การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาเกณฑ์วินิจฉัยศักยภาพการชะพาของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการชะพาธาตุอาหารเหล่านั้นติดไปกับอนุภาคของดินพร้อมกับน้ำท่า การกษัยการของดิน และการชะล้างหน้าดิน โดยอาศัยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และนำเทคนิคการซ้อนทับข้อมูล (Overlay) ระหว่างเกณฑ์วินิจฉัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และจัดระดับความเหมาะสมของข้อมูลโดยวิธีถ่วงน้ำหนัก (Rating weighting) มาใช้ในการศึกษา และใช้กระบวนการ AHP (Analytic Hierarchy Process) ในวิธีการวิเคราะห์ เพื่อการตัดสินใจเกณฑ์วินิจฉัยหลายเกณฑ์ (Multi-Criterion Decision Analysis) หรือที่เรียกว่า MCDA (Saaty, 1980; 2000)

4.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อศักยภาพการชะพาไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงสู่ทะเลสาบสงขลา

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำได้กล่าวไว้แล้วในข้อ 1.5.2 ได้แก่ การใส่ปุ๋ยในดิน ถ้ามีการใส่ปุ๋ยในปริมาณมากเกินกว่าดินสามารถดูดซับไว้ได้อาจก่อให้เกิดการเคลื่อนย้ายของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน ปริมาณน้ำฝนและความแรงของฝนที่ตกในพื้นที่ ส่งผลต่อการชะละลายธาตุอาหารลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ปริมาณน้ำท่า และการกษัยการของดินโดยสูญเสียธาตุอาหารไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดิน การหลุดติดไปกับอนุภาคของดิน หรือชะละลายลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน คุณสมบัติบางประการของดิน เช่น ค่า pH มีผลต่อการปลดปล่อยไอออนฟอสเฟตออกมาสู่สารละลายดินได้โดยดินที่เป็นกลางจะมีอำนาจในการตรึงฟอสฟอรัสต่ำกว่าดินที่มีความเป็นกรดหรือด่าง (สมชาย องค์ประเสริฐ, 2531) และขนาดอนุภาคของดินก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการชะพาธาตุอาหารลงสู่แหล่งน้ำ โดยขนาดอนุภาคของดินจะเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับการยึดเกาะของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Armitage, 1974; ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การทำเกษตรกรรมต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน การตัดไม้ทำลายป่า มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในดิน และลักษณะของสิ่งปกคลุมดินที่แตกต่างกันจะมีผลต่อการชะพาธาตุอาหารในดินแตกต่างกัน

4.2 การศึกษาศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่ทะเลสาบสงขลา

4.2.1 การวิเคราะห์เกณฑ์วินิจฉัยที่เกี่ยวข้องกับประเมินศักยภาพการชะพาของไนโตรเจน

เกณฑ์วินิจฉัยที่เกี่ยวข้องกับการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำได้กล่าวไว้แล้วในข้อ 1.5.2 ซึ่งสามารถเลือกเกณฑ์วินิจฉัยได้ดังนี้

ปริมาณน้ำฝน ในส่วนของน้ำท่า (Run off) ใช้ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ VIC-2L ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดย ณัฐพล ศรีสุธาสินี (2545) เป็นเกณฑ์ในการวินิจฉัย และในส่วนของการกษัยการของดิน (Erosion) ใช้ค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน (Soil erodibility; K) ในภาคใต้ (ตารางภาคผนวก จ) มาใช้เป็นเกณฑ์วินิจฉัย โดยค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดินเป็นข้อมูลมาจากลักษณะของเนื้อดินซึ่งได้จากขนาดอนุภาคของดินที่ทำการศึกษาในพื้นที่ ร่วมกับสภาพความลาดชันของพื้นที่ (Slope gradient) ซึ่งค่าของความลาดชันในพื้นที่ จัดว่าเป็นเกณฑ์วินิจฉัย ที่มีความซ้ำซ้อนกับลักษณะธรณีสัณฐานของดิน (Landform) แต่ในส่วนของการชะละลาย (Leaching) ไม่ได้ใช้ในการ

พิจารณาเนื่องจากในการศึกษานี้ทำการศึกษาศักยภาพการชะพาของไนโตรเจนที่ระดับผิวหน้าดินเพียงอย่างเดียว

สมบัติบางประการของดินพิจารณาเรื่องของขนาดอนุภาคของดิน โดยทั่วไปขนาดอนุภาคของดินจะเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับการยึดเกาะของไนโตรเจนในดิน แต่ขนาดอนุภาคของดินได้ใช้พิจารณาแล้วในส่วนของค่าคงที่ต่อการชะล้างพังทลายของดินจึงจัดว่าเป็นเกณฑ์วินิจฉัย ที่ซ้ำซ้อน และค่า pH ของดินไม่นำมาพิจารณาในส่วนของการชะพาไนโตรเจน เนื่องจากค่า pH ของดินมีผลน้อยมากกับการชะพาของไนโตรเจน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use) ในพื้นที่ เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาในพื้นที่แหล่งกำเนิดมลพิษแบบไม่ทราบตำแหน่งแน่นอน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม โดยคุณสมบัติในการยึดเกาะดินและป้องกันการชะพาของพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน จึงใช้ชนิดของพืชที่ปกคลุมดินเป็นเกณฑ์วินิจฉัย

ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) ในดิน ซึ่งจัดว่าเป็นแหล่งสะสมของธาตุไนโตรเจนในดิน โดยทั่วไปปริมาณอินทรียวัตถุจะแปรผันตรงกับปริมาณไนโตรเจนในดิน และเกณฑ์วินิจฉัยในส่วนของปริมาณไนโตรเจนในพื้นที่ศึกษา ใช้ค่าอนินทรียไนโตรเจนทั้งหมด (Total inorganic nitrogen ; TIN) เป็นเกณฑ์ในการวินิจฉัย

จากนั้นนำเกณฑ์วินิจฉัยเหล่านี้มาเปรียบเทียบแบบจับคู่ โดยใช้ตารางเมทริกซ์ (matrix) เพื่อป้องกันการซ้ำซ้อนของเกณฑ์วินิจฉัย เมื่อมีเกณฑ์วินิจฉัยที่มีความซ้ำซ้อนจะแสดงแถบทึบในตาราง ซึ่งพบว่าในส่วนที่จับคู่ระหว่างตัวเอง เช่น Runoff กับ Runoff จะปรากฏเป็นแถบทึบในลักษณะที่เป็นเส้นทแยงมุม (ตาราง 4-1) หลังจากนั้นตัดเกณฑ์วินิจฉัยที่ซ้ำซ้อนออกก็จะเหลือเกณฑ์วินิจฉัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อพิจารณาความซ้ำซ้อนของเกณฑ์วินิจฉัยที่ใช้ ซึ่งแสดงเป็นแถบทึบตามคอลัมน์ในตาราง 4-1 จะพบว่าส่วนของค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน จะมีแถบทึบซ้ำซ้อนกับความลาดชัน และเนื้อดิน แสดงว่าเกณฑ์ที่ใช้มีความซ้ำซ้อนกันในส่วนของ ค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน มีการใช้ข้อมูลความลาดชัน และเนื้อดินในพื้นที่ นอกจากนี้ธรณีสัณฐานของดินยังมีความสัมพันธ์กับความลาดชันของพื้นที่ เนื่องจากธรณีสัณฐานของดินมีความแตกต่างกันตามระดับของความลาดชันในพื้นที่

ตาราง 4-1 เมทริกซ์ (matrix) วิเคราะห์เลือกเกณฑ์วินิจฉัยที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ

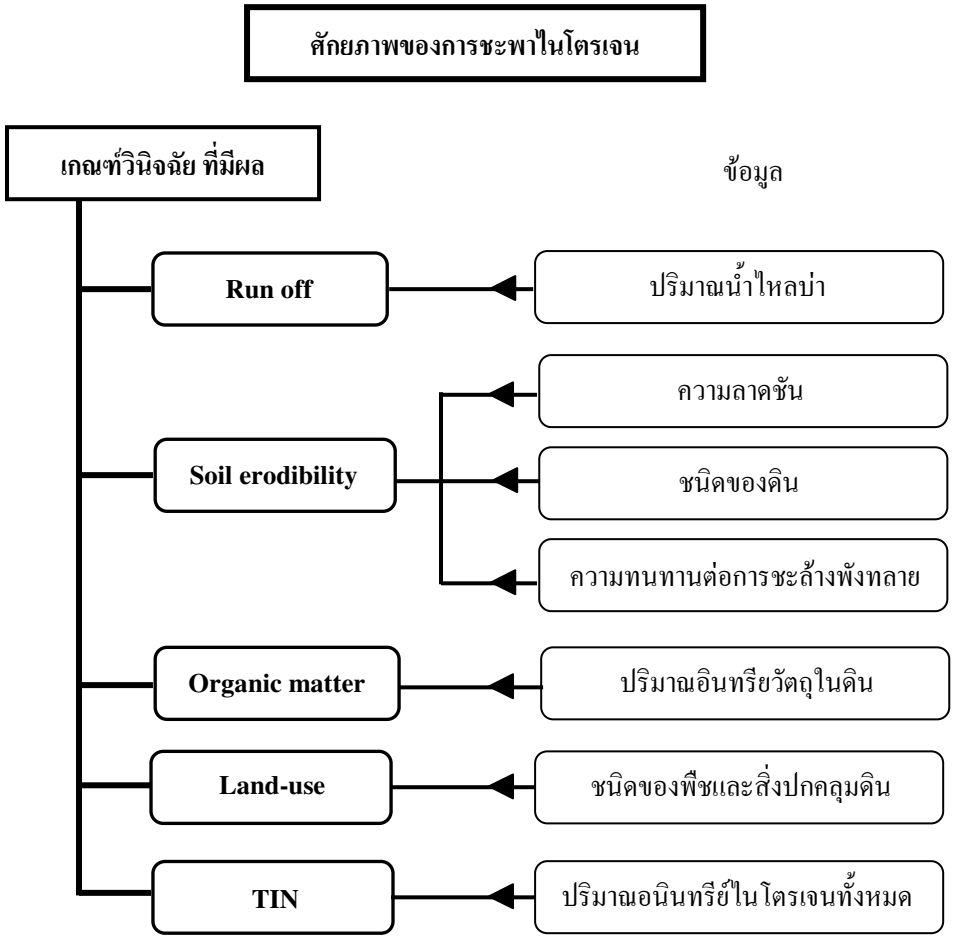
	Run off	Soil erodibility	Land form	Slope gradient	Organic matter	Soil textural	Land-use	TIN
Run off								
Soil erodibility								
Land form								
Slope gradient								
Organic matter								
Soil textural								
Land-use								
TIN								

จากตาราง 4-1 เมื่อทำการตัดเกณฑ์ที่มีความซ้ำซ้อนออกแล้วพบว่าเหลือเกณฑ์วินิจฉัยที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำทั้งหมด 5 เกณฑ์ และมีการใช้ข้อมูลต่างๆ มาช่วยในการวิเคราะห์ (รูป 4-1) ได้แก่

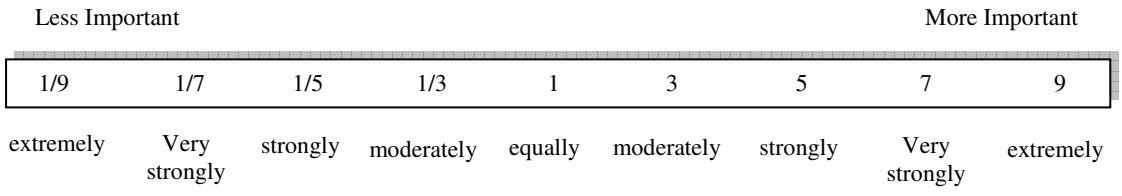
1. ปริมาณน้ำไหลบ่า (Run off)
2. ความคงทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน (Soil erodibility; K)
3. อินทรียวัตถุ (Organic matter)
4. การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)
5. อนินทรียไนโตรเจนทั้งหมด (Total inorganic nitrogen ; TIN)

4.2.2 การให้ค่าน้ำหนักของเกณฑ์วินิจฉัย

การให้ค่าน้ำหนักของเกณฑ์วินิจฉัย ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาศักยภาพการชะพาไนโตรเจนมีความสำคัญมาก เนื่องจากเกณฑ์วินิจฉัยแต่ละเกณฑ์ มีระดับความสำคัญที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อช่วยให้การตัดสินใจมีทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ตรงตามเป้าหมาย และเป็นการตัดสินใจที่อยู่ในรูปลำดับความสำคัญ จึงอาศัยอัตราการให้คะแนนตามมาตราส่วนในรูป 4-2 โดยค่าความสำคัญในระดับสูงสุดจะเป็น 9 และหากมีความสัมพันธ์น้อยกว่าจะเป็นสัดส่วนผกผันกัน การใส่คะแนนเปรียบเทียบทำโดยผู้วิจัยและคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และสอบถาม



รูป 4-1 แผนผังข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ



รูป 4-2 มาตราส่วนการให้คะแนนระดับความสำคัญของเกณฑ์วินิจฉัย

จากผู้เชี่ยวชาญภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ตาราง 4-2)

ตาราง 4-2 การเปรียบเทียบการให้คะแนนของเกณฑ์เป็นคู่เพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักของเกณฑ์วินิจฉัยที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ

	Criterion	Run off	Soil erodibility	Organic matter	Land-use	TIN	
ส่วนที่ 1	Run off	1	3	3	3	5	
	Soil erodibility	1/3	1	3	4	4	
	Organic matter	1/3	1/3	1	1/3	3	
	Land-use	1/3	1/4	3	1	2	
	TIN	1/5	1/5	1/3	1/2	1	
	Sum	2.19	4.78	10.3	8.83	15	**Average**
ส่วนที่ 2	Run off	0.46	0.63	0.29	0.34	0.33	**0.41**
	Soil erodibility	0.15	0.21	0.29	0.45	0.27	**0.27**
	Organic matter	0.15	0.07	0.1	0.04	0.2	**0.11**
	Land-use	0.15	0.05	0.29	0.11	0.13	**0.15**
	TIN	0.09	0.04	0.03	0.06	0.07	**0.06**

จากตาราง 4-2 ที่ใช้เปรียบเทียบเกณฑ์เป็นคู่ ยกตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบ การเปรียบเทียบเกณฑ์วินิจฉัยกับตัวเองจะให้คะแนนเป็น 1 (Runoff : Runoff = 1:1) ซึ่งจะเห็นเป็นเส้นทแยงมุมเลข 1 ในตารางส่วนที่ 1 และการเปรียบเทียบ Runoff กับเกณฑ์อื่นๆ (ตามแถว) พบว่าการเปรียบเทียบระหว่าง Runoff : Soil erodibility เท่ากับ 3:1 (คือ ค่าของ Runoff มีความสำคัญมากกว่า Soil erodibility ที่ส่งผลต่อศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ), Runoff : Organic matter เท่ากับ 3:1, Runoff : Land-use เท่ากับ 3:1 และ Runoff : TIN เท่ากับ 5:1 หลังจากนั้นทำการวินิจฉัยเกณฑ์การให้คะแนนอื่นๆ ที่ได้คัดเลือกไว้จากตารางเมตริกซ์

เมื่อจัดลำดับคะแนนครบแล้วนำมาหาผลรวม (Sum) ในแต่ละคอลัมน์ เช่น ในคอลัมน์ของ Runoff ได้ผลรวม เท่ากับ 2.19 มาจาก (1)+(1/3)+(1/3)+(1/3)+(1/5) ทำเช่นนี้ทุกคอลัมน์ หลังจากนั้นนำผลรวมในแต่ละคอลัมน์มาหารกับค่าของคะแนนในส่วนของคอลัมน์นั้น เช่น คอลัมน์ Runoff ค่าผลรวมเท่ากับ 2.19 นำมาหารกับคะแนนของ Runoff ในแถวซึ่งเท่ากับ 1 (1÷2.19) ดังนั้นจะได้ 0.4.6 นำมาใส่ในส่วนที่ 2 ทำเช่นนี้เหมือนกันทั้งคอลัมน์ นำตัวเลขในคอลัมน์

(1/3), (1/3), (1/3) และ (1/5) มาหารกับ 2.19 ตามลำดับ จะได้ค่า 0.15, 0.15, 0.15 และ 0.09 มาใส่ในคอลัมน์ส่วนที่ 2 ตามลำดับ หลังจากนั้นทำเช่นนี้ทุกเกณฑ์วินิจฉัย

นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย (Average) ในแต่ละแถว ได้เป็นค่าถ่วงน้ำหนักของเกณฑ์วินิจฉัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

	เกณฑ์วินิจฉัย ที่เกี่ยวข้อง	น้ำหนัก
W_1	ปริมาณน้ำท่า (Run off)	0.41
W_2	ความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน (Soil erodibility)	0.27
W_3	การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	0.15
W_4	อินทรียวัตถุ (Organic matter)	0.11
W_5	ค่าอนินทรียไนโตรเจนทั้งหมด (Total inorganic nitrogen)	0.06

4.2.3 การหาค่าความเหมาะสม

การหาค่าความเหมาะสมของพื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่ทะเลสาบสงขลาจะใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือในการคำนวณ โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูล (Overlay) ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และจัดระดับความเหมาะสมของข้อมูลโดยวิธีถ่วงน้ำหนัก (Rating weighting) ตามเกณฑ์การประเมินจากข้อ 4.1.2 มาใช้ในสมการของ Voogd (1983 : 120) (สมการ 4-1) และแสดงผลพื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่ทะเลสาบสงขลา

$$S = X_1W_1 + X_2W_2 + X_3W_3 + \ldots X_nW_n \qquad (4\text{-}1)$$

เมื่อ S = ความเหมาะสม (Suitability)

X_1, X_2, X_3, X_n = ค่าคะแนนเกณฑ์วินิจฉัย ที่ 1, 2, 3, ถึง n (Criterion score of factor)

W_1, W_2, W_3, W_n = ค่าน้ำหนักของเกณฑ์วินิจฉัย ที่ 1, 2, 3 ถึง n (Weight of factor)

1) ปริมาณน้ำท่า

ปริมาณน้ำท่าจัดว่าเป็นเกณฑ์วินิจฉัย ที่มีความสำคัญที่สุดในการประเมินศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำเนื่องจากปริมาณไนโตรเจนที่แขวนลอยและตกตะกอนในแหล่งน้ำบางส่วนมาจากปริมาณน้ำท่าโดยเฉพาะพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่จะมีปริมาณน้ำท่าสูงซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณธาตุไนโตรเจนที่พบแขวนลอยและตกตะกอนในแหล่งน้ำดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

การศึกษานี้ได้ใช้สัดส่วนของปริมาณน้ำท่าจากโดยการคำนวณด้วยแบบจำลอง VIC-2L (ณัฐพล ศรีสุธาสินี, 2545) และนำมาคำนวณเพื่อจัดเกณฑ์ความสำคัญ (Criterion scores) และนำมาจัดแบ่งระดับชั้นความเหมาะสมออกเป็น 5 ระดับ (1-5 คะแนน) แล้วนำมาถ่วงน้ำหนัก (Rating weighting) (ตาราง 4-3)

ตาราง 4-3 ศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำพิจารณาจากปริมาณน้ำท่าของพื้นที่

ระดับความรุนแรงต่อการชะพา	เกณฑ์ (Criteria)	คะแนน (X_1)	ถ่วงน้ำหนัก (W_1)	คะแนนรวม (X_1*W_1)
	ปริมาณน้ำไหลบ่า (ล้าน ลบ.ม./เดือน)			
ต่ำมาก	< 250	1	0.41	0.41
ต่ำ	250-450	2	0.41	0.82
ปานกลาง	450-650	3	0.41	1.23
สูง	650-800	4	0.41	1.64
สูงมาก	< 800	5	0.41	2.05

2) ค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน

การพิจารณาค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน (Soil erodibility ; K) เป็นเกณฑ์วินิจฉัย ที่สำคัญที่ก่อให้เกิดการกษัยการของดิน (Erosion) ถ้าพื้นที่ที่มีค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดินสูง ปริมาณการเกิดการกษัยการของดินในพื้นที่นั้นจะน้อย และนำเอาไนโตรเจนที่อยู่ในรูปสารละลายและสารแขวนลอยในอนุภาคของดินติดไปด้วย การศึกษานี้ใช้ค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดินในภาคใต้ในช่วงฤดูฝน เนื่องจากปริมาณน้ำฝนมีผลต่อการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ ตามรายงานการจัดการสาธารณภัยภาคใต้ของประเทศไทย (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2540) (ภาคผนวกตาราง ช) โดยนำข้อมูลลักษณะชนิดของดิน และความลาดชันของพื้นที่มาซ้อนทับกัน (Overlay) และจัดแบ่งข้อมูลตามค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน หลังจากนั้นนำมาคำนวณเพื่อจัดเกณฑ์ความสำคัญ (Criterion scores) และจัดแบ่งระดับชั้นความเหมาะสมออกเป็น 5 ระดับ แล้วนำมาถ่วงน้ำหนัก (Rating weighting) (ตาราง 4-4)

ตาราง 4-4 ศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำพิจารณาจากค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดินของพื้นที่

ระดับความรุนแรงต่อการชะพา	เกณฑ์ (Criteria)	คะแนน (X_2)	ถ่วงน้ำหนัก (W_2)	คะแนนรวม (X_2W_2)
	ค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดินที่ได้หลังจากแทนค่าในสมการ			
ต่ำมาก	> 0.6	1	0.27	0.27
ต่ำ	0.3-0.6	2	0.27	0.54
ปานกลาง	0.2-0.3	3	0.27	0.81
สูง	0.1-0.2	4	0.27	1.08
สูงมาก	< 0.1	5	0.27	1.35

หมายเหตุ การศึกษานี้ไม่ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35% จึงจัดเป็นพื้นที่กันออกไม่นำมาพิจารณา

3) การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามลักษณะของพืชปกคลุมดินสามารถช่วยลดความรุนแรงของการชะพาพังทลายของดิน โดยพืชแต่ละชนิดมีความสามารถสกัดกั้นการตกกระจายของฝนและน้ำท่าต่างกัน หลังจากนั้นนำข้อมูลมาจัดระดับคะแนน และโอกาสของพื้นที่ที่ก่อให้เกิดการชะพาของไนโตรเจนลงสู่ทะเลสาบ (ตาราง 4-5) โดยใช้ค่าเฉลี่ยของปัจจัยของพืชคลุมดินและการจัดการพืชหรือปัจจัยคลุมดิน (Crop management factor : C-factor) มาใช้ในการประเมินเกณฑ์ศักยภาพการชะพาของไนโตรเจน (ภาคผนวกตาราง ช)

ตาราง 4-5 ศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำพิจารณาจากลักษณะสิ่งปกคลุมดิน

ระดับความรุนแรงต่อการชะพา	เกณฑ์ (Criteria)	คะแนน (X_3)	ถ่วงน้ำหนัก (W_3)	คะแนนรวม (X_3W_3)
	ลักษณะพืชปกคลุมดิน			
ต่ำมาก	ป่าไม้	1	0.15	0.15
ต่ำ	พื้นที่ชุ่มน้ำ	2	0.15	0.30
ปานกลาง	นาข้าว	3	0.15	0.45
สูง	สวนผสม, ปาล์ม, ยางพารา	4	0.15	0.60
สูงมาก	นากุ้ง + พื้นที่รกร้าง	5	0.15	0.75

4) อินทรียวัตถุในดิน

อินทรียวัตถุในดินมีผลต่อปริมาณของไนโตรเจนในดินเนื่องจากอินทรียวัตถุเป็นแหล่งสำรองของธาตุอาหารในดินโดยเฉพาะไนโตรเจนโดยธาตุอาหารเหล่านี้จะถูกปล่อยออกมาเมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลาย โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ นอกจากนี้อินทรียวัตถุยังช่วยให้ไนโตรเจนเกาะยึดกับผิวอนุภาคของดินได้ดียิ่งขึ้น การพิจารณาผลของอินทรียวัตถุในดินเพื่อประเมินระดับคะแนนและศักยภาพการชะพาของไนโตรเจนของการศึกษานี้ ได้นำข้อมูลปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการวิเคราะห์ นำมาจัดเกณฑ์ความสำคัญ (Criterion scores) ตามการประเมินระดับอินทรียวัตถุในดินที่มีผลกระทบต่อดินและพืช (อภิรดี อิ่มเอิบ. 2534; 2542) แล้วจึงจัดระดับความสำคัญของเกณฑ์วินิจฉัย ออกเป็น 5 ระดับ เพื่อทำการถ่วงน้ำหนัก (Rating weighting) (ตาราง 4-6)

ตาราง 4-6 ศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำพิจารณาจากปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

ระดับความรุนแรงต่อการชะพา	เกณฑ์ (Criteria)	คะแนน (X_4)	ถ่วงน้ำหนัก (W_4)	คะแนนรวม (X_4W_4)
	เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ			
ต่ำมาก	< 0.5	1	0.11	0.11
ต่ำ	0.5–1.5	2	0.11	0.22
ปานกลาง	1.5–2.5	3	0.11	0.33
สูง	2.5–4.5	4	0.11	0.44
สูงมาก	> 4.5	5	0.11	0.55

5) ค่าอินทรียไนโตรเจนทั้งหมด

อินทรียไนโตรเจนทั้งหมดที่ใช้ในการประเมินศักยภาพการเกิดการชะพาของไนโตรเจนในพื้นที่ได้มาจากข้อมูลการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ผู้ศึกษาใช้เป็นตัวแทนของปริมาณไนโตรเจนในพื้นที่ และนำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อจัดเกณฑ์ความสำคัญ (Criterion scores) แล้วจึงจัดระดับความสำคัญของเกณฑ์วินิจฉัย ออกเป็น 5 ระดับ เพื่อทำการถ่วงน้ำหนัก (Rating weighting) (ตาราง 4-7)

ตาราง 4-7 ศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำพิจารณาจากปริมาณอินทรียไนโตรเจน

ระดับความรุนแรงต่อการชะพา	เกณฑ์ (Criteria)	คะแนน (X_5)	ถ่วงน้ำหนัก (W_5)	คะแนนรวม (X_5W_5)
	ปริมาณอินทรียไนโตรเจนทั้งหมด (มก.-ไนโตรเจน/กก.)			
1. ต่ำมาก	< 10	1	0.06	0.06
2. ต่ำ	10-25	2	0.06	0.12
3. ปานกลาง	25-50	3	0.06	0.18
4. สูง	50-100	4	0.06	0.24
5. สูงมาก	> 100	5	0.06	0.30

4.1.4 การวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาไนโตรเจนในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

จากสมการ 4-1 นี้จะพบว่า เกณฑ์วินิจฉัยที่มีค่าความสำคัญสูงจะมีค่าถ่วงน้ำหนักสูง และค่าถ่วงน้ำหนักจะลดลงตามความสำคัญของเกณฑ์วินิจฉัย ที่กำหนดหลังจากผ่านการ Overlay โดยใช้โปรแกรม Arc/Info ฐานข้อมูลแต่ละเกณฑ์วินิจฉัยหลังจากการซ้อนทับกันจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นฐานข้อมูลใหม่ (1 Layer) ซึ่งรวมข้อมูลแต่ละเกณฑ์วินิจฉัย เข้าไว้ด้วยกัน แล้วจึงนำมาจัดการฐานข้อมูลในส่วนของข้อมูลเชิงบรรยายโดยใช้สมการของ Voogd (1983 : 120) (สมการ 4-1) หลังจากนั้นนำมาจัดลำดับความเหมาะสมแบ่งเป็นระดับชั้นโดยใช้วิธีการแจกแจงความถี่ (สมการ 4-2) แบ่งจัดเป็นกลุ่ม 5 ระดับ ตามระดับคะแนนรวม

$$\text{อันตรภาคชั้น} = (\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}) / \text{จำนวนชั้น} \qquad (4\text{-}2)$$

$$= (4.46 - 1.48) / 5 = 0.60$$

หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาจัดแบ่งตามระดับความรุนแรงของพื้นที่ คือ พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง สูง และสูงมาก (ตาราง 4-8)

ตาราง 4-8 จำแนกระดับความรุนแรงของศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ

ชั้น	ระดับความรุนแรง	คะแนนระดับความรุนแรง
1	พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาต่ำมาก	< 2.08
2	พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาต่ำ	2.08-2.68
3	พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาปานกลาง	2.68-3.28
4	พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาสูง	3.28-3.88
5	พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาสูงมาก	> 3.88

หลังจากนั้นแสดงผลการศึกษาในรูปแผนที่บริเวณพื้นที่ที่มีศักยภาพการเกิดการชะพาของไนโตรเจนลงสู่ทะเลสาบสงขลาโดยใช้โปรแกรม ArcView version 3.2

จากผลการศึกษาการประเมินศักยภาพของการชะพาไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ได้แสดงในรูปแผนที่ ดังรูป 4-3 และในการศึกษานี้ไม่คิดพื้นที่ที่เป็นเนินเขาและภูเขา พื้นที่เกาะจัดซึ่งว่าเป็นพื้นที่กันออก พบว่า

1) พื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาไนโตรเจนต่ำมากมีอยู่ประมาณ 2,005 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 28.5% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (คิดเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นดินและไม่คิดพื้นที่ลาดชัน >35% และพื้นที่เกาะ) อยู่ในลุ่มน้ำขนาดเล็กมีปริมาณน้ำท่าน้อย ค่าความทนทานต่อการชะพาพังทลายของดินสูง ปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ

2) พื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาไนโตรเจนต่ำมีอยู่ประมาณ 3,321 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 47.1% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (คิดเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นดินและไม่คิดพื้นที่ลาดชัน >35% และพื้นที่เกาะ) ซึ่งมีพื้นที่มากที่สุด ปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ไม่สูงนัก ความทนทานต่อการชะพาของดินค่อนข้างสูง พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นสวนยางและนาข้าว

3) พื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาไนโตรเจนปานกลางมีอยู่ประมาณ 527 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 7.5% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (คิดเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นดินและไม่คิดพื้นที่ลาดชัน >35% และพื้นที่เกาะ) มีขนาดพื้นที่รองลงมาจากพื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาไนโตรเจนต่ำ ลักษณะพื้นที่มีความใกล้เคียงกัน

4) พื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาไนโตรเจนสูงมีอยู่ประมาณ 1,021 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 14.5% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (คิดเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นดินและไม่คิดพื้นที่ลาดชัน >35% และพื้นที่เกาะ)

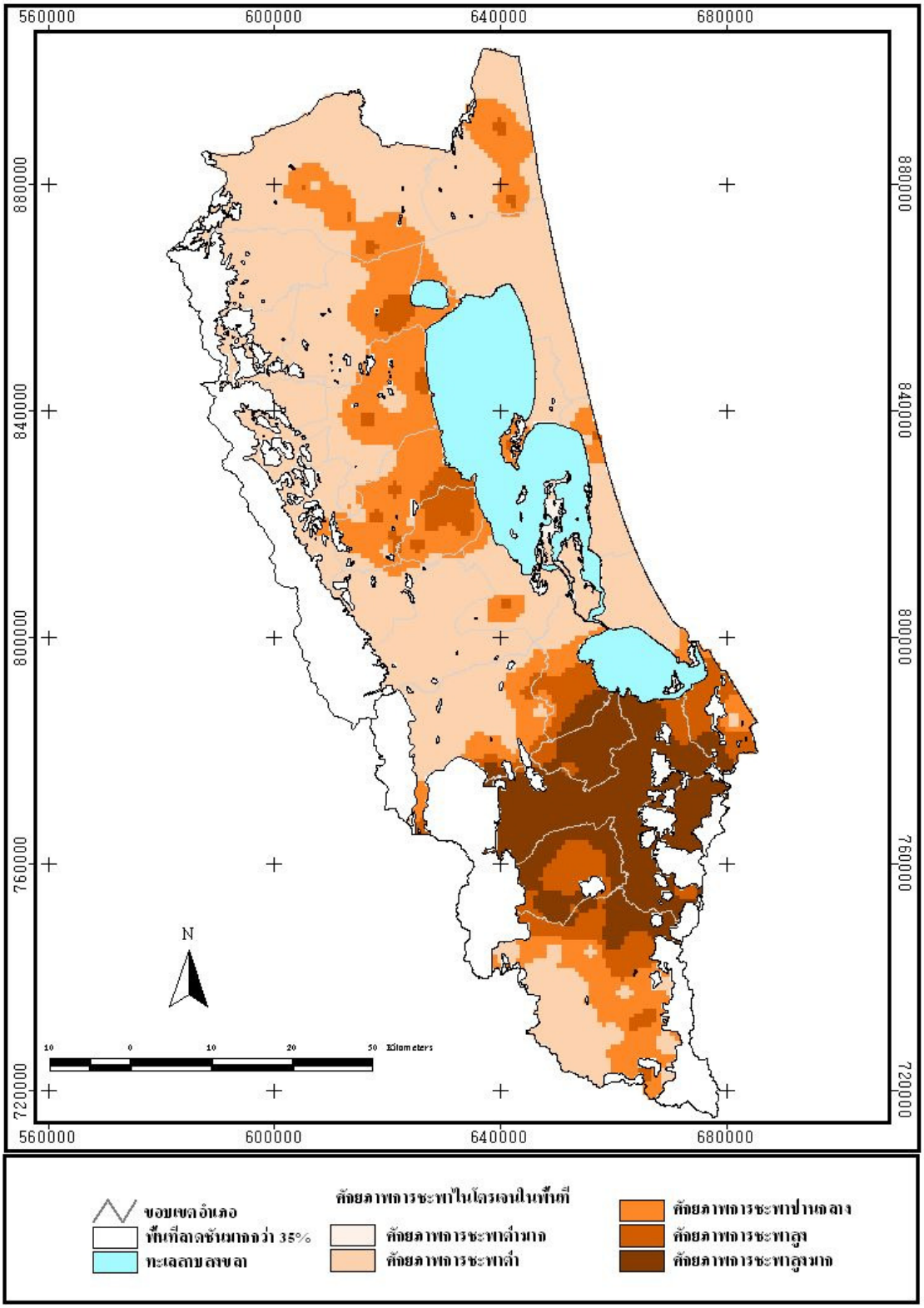
5) พื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาไนโตรเจนสูงมากมีอยู่ประมาณ 173 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 2.5% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (คิดเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นดินและไม่คิดพื้นที่ลาดชัน >35% และพื้นที่เกาะ) อยู่ในลุ่มน้ำขนาดใหญ่มีปริมาณน้ำท่ามาก ค่าความทนทานต่อการชะพาพังทลายของดินต่ำ ปริมาณอินทรียวัตถุสูง

ในภาพรวมพบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีศักยภาพการชะพาไนโตรเจนอยู่ในระดับต่ำจนถึงต่ำมาก พื้นที่ที่มีการชะพาสูงอยู่ทางตอนล่างของพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำย่อยอู่ตะเภา เนื่องจากบริเวณนี้เป็นพื้นที่ที่มีความสูงชัน และมีปริมาณน้ำท่าข้อนข้างมากพื้นที่ติดกับทะเลสาบตอนล่าง

4.3 การศึกษาศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่ทะเลสาบสงขลา

4.3.1 การวิเคราะห์เกณฑ์วินิจฉัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินศักยภาพการชะพาของฟอสฟอรัส

การวิเคราะห์เกณฑ์วินิจฉัยที่เกี่ยวข้องกับการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำได้กล่าวไว้แล้วในข้อ 1.5.2 มีความคล้ายคลึงกับเกณฑ์วินิจฉัยที่มีผลต่อการชะพาไนโตรเจนลงสู่ทะเลสาบ ในการศึกษานี้สามารถเลือกเกณฑ์วินิจฉัยได้ดังนี้ ปริมาณน้ำฝน ในส่วนของน้ำท่า ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ VIC-2L และการกษัยการของดิน (ตารางภาคผนวก จ) ใช้เกณฑ์วินิจฉัยเช่นเดียวกับการชะพาของไนโตรเจนลงสู่ทะเลสาบ และลักษณะธรณีสัณฐานของดินมีความซ้ำซ้อนกับเกณฑ์การประเมินการกษัยการของดิน แต่ในส่วนของการชะละลาย ไม่ได้ใช้ในการพิจารณา เนื่องจากในการศึกษานี้ทำการศึกษาศักยภาพการชะพาของฟอสฟอรัสที่ระดับผิวหน้าดินเพียงอย่างเดียว และการชะพาของฟอสฟอรัสลงสู่ดินชั้นล่างเกิดขึ้นได้น้อยมาก ในส่วนของสมบัติบางประการของดิน พิจารณาเรื่องของขนาดอนุภาคของดิน โดยทั่วไปขนาดอนุภาคของดินจะเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับการยึดเกาะของฟอสฟอรัสในดิน แต่ขนาดอนุภาคของดินได้ใช้พิจารณาแล้วในส่วนของค่าคงที่ต่อการชะล้างพังทลายของดินจึงจัดว่าเป็นเกณฑ์วินิจฉัยที่ซ้ำซ้อน และเกณฑ์วินิจฉัยค่า pH ของดิน ซึ่งมีผลต่อกระบวนการตรึงฟอสฟอรัส การใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้ชนิดของพืชที่ปกคลุมดินเป็นเกณฑ์วินิจฉัย นอกจากนี้เกณฑ์วินิจฉัยจากปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งจัดว่าเป็นแหล่งสะสมของธาตุฟอสฟอรัสในดิน



รูป 4-3 พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาไนโตรเจนในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

และเกณฑ์วินิจฉัยจากปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available-P) ในพื้นที่ศึกษาซึ่งใช้เป็นตัวแทนของปริมาณฟอสฟอรัสในพื้นที่

นำเกณฑ์วินิจฉัยที่ได้มาทำการวิเคราะห์ถึงความซ้ำซ้อนของเกณฑ์วินิจฉัยโดยวิเคราะห์แบบจับคู่ด้วยใช้ตารางเมทริกซ์ (Matrix) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ศักยภาพการชะพาของไนโตรเจน (ตาราง 4-9) และทำการตัดเกณฑ์วินิจฉัย ที่ซ้ำซ้อนออกเหลือเกณฑ์วินิจฉัย ในการประเมิน 6 เกณฑ์ (รูป 4-4) ที่มีอิทธิพลหรือสัมพันธ์เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิดการชะพาของฟอสฟอรัสในดินลงสู่แหล่งน้ำ ได้แก่

1. ปริมาณน้ำท่า (Run off)
2. ความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน (Soil erodibility; K)
3. อินทรียวัตถุ (Organic matter)
4. การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)
5. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
6. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available-P)

ตาราง 4-9 เมทริกซ์ (matrix) วิเคราะห์เลือกเกณฑ์วินิจฉัยที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ

	Run off	Soil erodibility	Land form	Slope gradient	Organic matter	Soil textural	Land-use	pH	Available-P
Run off	■								
Soil erodibility		■							
Land form			■						
Slope gradient		■	■	■					
Organic matter					■				
Soil textural		■				■			
Land-use							■		
pH								■	
Available-P									■

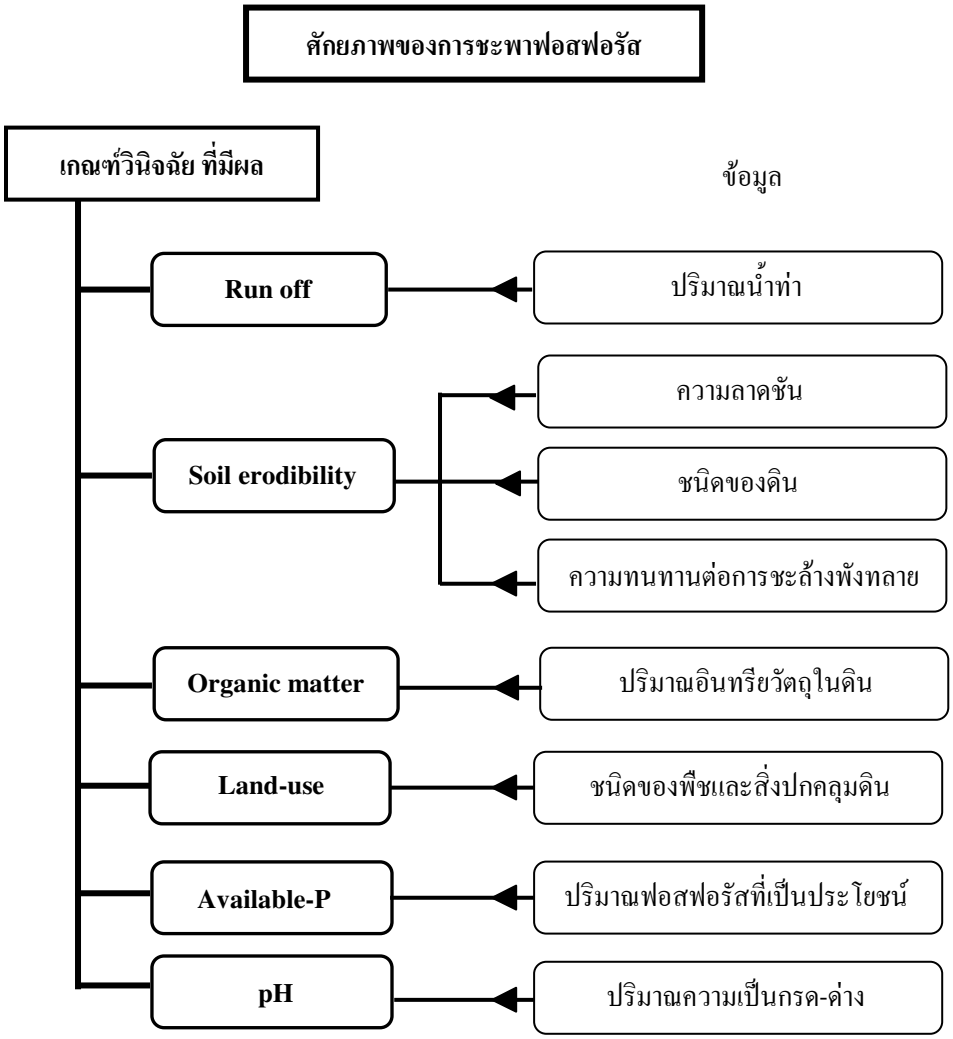
4.3.2 การให้ค่าน้ำหนักของเกณฑ์วินิจฉัย

การให้ค่าน้ำหนักของเกณฑ์วินิจฉัย ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสมีความสำคัญมาก เนื่องจากเกณฑ์วินิจฉัยแต่ละเกณฑ์มีระดับความสำคัญที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะใช้วิธีการเดียวกับการให้คะแนนศักยภาพการชะพาของไนโตรเจน เพื่อช่วยในการตัดสินใจที่อยู่ในรูปลำดับความสำคัญ (ตาราง 4-10 และรูป 4-4)

ตาราง 4-10 การเปรียบเทียบการให้คะแนนของเกณฑ์ เพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักของเกณฑ์วินิจฉัย ที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ

	Criterion	Soil erodibility	Land-use	Run off	Organic matter	Available-P	pH	
ส่วนที่ 2	Soil erodibility	1	5	2	7	4	3	
	Land-use	1/5	1	1/4	5	1/3	3	
	Run off	1/2	4	1	7	2	3	
	Organic matter	1/7	1/5	1/7	1	1/3	1/4	
	Available-P	1/4	3	1/2	3	1	3	
	pH	1/3	1/3	1/3	4	1/3	1	
	Sum	2.42	13.5	4.22	27	7.99	13.25	**Average**
ส่วนที่ 2	Soil erodibility	0.41	0.37	0.47	0.26	0.5	0.23	**0.37**
	Land-use	0.08	0.07	0.06	0.19	0.04	0.23	**0.11**
	Run off	0.21	0.3	0.24	0.26	0.25	0.23	**0.25**
	Organic matter	0.06	0.01	0.03	0.04	0.04	0.02	**0.03**
	Available-P	0.10	0.22	0.12	0.11	0.13	0.23	**0.15**
	pH	0.14	0.02	0.08	0.15	0.04	0.08	**0.08**

จากตาราง 4-10 จะเห็นได้ว่าการให้คะแนนทำโดย การจับคู่เปรียบเทียบเกณฑ์วินิจฉัยเช่นเดียวกับศักยภาพการชะพาของไนโตรเจน ยกตัวอย่าง เช่น การเปรียบเทียบเกณฑ์วินิจฉัยกับตัวเองจะให้คะแนนเป็น 1 (Soil erodibility : Soil erodibility = 1:1) ซึ่งจะเห็นเป็นเส้นทแยงมุมเลข 1 ในตารางส่วนที่ 1 และการเปรียบเทียบ Soil erodibility กับเกณฑ์อื่นๆ (ตามแถว) พบว่าระหว่างการเปรียบเทียบ Soil erodibility : pH เท่ากับ 3:1 (คือ ค่าของ Runoff มีความสำคัญมากกว่าที่ Soil erodibility ส่งผลต่อศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ), Soil erodibility :



รูป 4-4 แผนผังข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ

Organic matter เท่ากับ 7:1, Runoff : Land-use เท่ากับ 4:1 และ Runoff : pH เท่ากับ 3:1 หลังจากนั้นทำการวินิจฉัยเกณฑ์การให้คะแนนอื่นๆ ที่ได้คัดเลือกไว้จากตารางเมตริกซ์

เมื่อจัดลำดับคะแนนครบแล้วนำมาหาผลรวม (Sum) ในแต่ละคอลัมน์ เช่น ในคอลัมน์ของ Soil erodibility ได้ผลรวม เท่ากับ 2.42 มาจาก (1)+(1/5)+(1/2)+(1/7)+(1/4)+(1/3) ทำเช่นนี้ทุกคอลัมน์ หลังจากนั้นนำผลรวมแต่ละในแต่ละคอลัมน์มาหารกับค่าของคะแนนในส่วนของคอลัมน์นั้น เช่น คอลัมน์ Soil erodibility ค่าผลรวมเท่ากับ 2.31 นำมาหารกับคะแนนของ Soil erodibility ในแถวซึ่งเท่ากับ 1 (1÷2.42) ดังนั้นจะได้ 0.41 นำมาใส่ในส่วนที่ 2 ทำเช่นนี้เหมือนกันทั้งคอลัมน์ นำตัวเลขในคอลัมน์ (1), (1/5), (1/2), (1/7), (1/4) และ (1/3) มาหารกับ 2.42 ตามลำดับ จะได้ค่า 0.41, 0.08, 0.21, 0.06, 0.10 และ 0.14 มาใส่ในคอลัมน์ส่วนที่ 2 ตามลำดับ หลังจากนั้นทำเช่นนี้ทุกเกณฑ์วินิจฉัย หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย (Average) ในแต่ละแถว ได้เป็นค่าถ่วงน้ำหนักของเกณฑ์วินิจฉัย ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

	เกณฑ์วินิจฉัย ที่เกี่ยวข้อง	**น้ำหนัก**
W_1	ความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน (Soil erodibility)	0.37
W_2	ปริมาณน้ำท่า (Run off)	0.25
W_3	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available-P)	0.15
W_4	การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	0.11
W_5	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	0.08
W_6	อินทรียวัตถุ (Organic matter)	0.03

4.3.3 การหาค่าความเหมาะสม

การหาค่าความเหมะสมของพื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่ทะเลสาบสงขลาจะใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือในการคำนวณ โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูล (Overlay) ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และจัดระดับความเหมาะสมของข้อมูลโดยวิธีถ่วงน้ำหนัก (Rating weighting) ตามเกณฑ์การประเมินจากข้อ 4.1.2 มาใช้ในสมการของ Voogd (1983 : 120) (สมการ 4-1) และแสดงผลพื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่ทะเลสาบสงขลา

$$S = X_1W_1 + X_2W_2 + X_3V_3 + \ldots X_nW_n \qquad (4\text{-}1)$$

เมื่อ S = ความเหมาะสม (Suitability)

X_1, X_2, X_3, X_n = ค่าคะแนนเกณฑ์วินิจฉัย ที่ 1, 2, 3, ถึง n (Criterion score of factor)

W_1, W_2, W_3, W_n = ค่าน้ำหนักของเกณฑ์วินิจฉัย ที่ 1, 2, 3 ถึง n (Weight of factor)

1) ค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน

ค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดินเป็นเกณฑ์วินิจฉัย ที่มีผลต่อศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำมากที่สุดเนื่องจากคุณสมบัติของฟอสฟอรัสละลายน้ำได้น้อยมาก และอิออนฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในสารละลายดินมีน้อยการสูญเสียฟอสฟอรัสจากดินไปปนเปื้อนระบบสิ่งแวดล้อมมักเป็นการสูญเสียในรูปของฟอสฟอรัสที่ติดไปกับอนุภาคดิน

การพิจารณาค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน (Soil erodibility ; K) ใช้ค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดินในภาคใต้ในช่วงฤดูฝน เนื่องจากปริมาณน้ำฝนในพื้นที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดิน ตามรายงานการจัดการสาธารณภัยภาคใต้ของประเทศไทย (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2540) (ภาคผนวกตาราง จ) โดยนำข้อมูลที่ได้มาพิจารณากับลักษณะชนิดของดิน และความลาดชันของพื้นที่ ด้วยการนำมาซ้อนทับกัน (Overlay) หลังจากนั้นนำมาคำนวณเพื่อจัดเกณฑ์ความสำคัญ (Criterion scores) และจัดแบ่งระดับชั้นความเหมาะสมออกเป็น 5 ระดับ แล้วนำมาถ่วงน้ำหนัก (Rating weighting) (ตาราง 4-11)

ตาราง 4-11 ศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำพิจารณาจากค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดินของพื้นที่

ระดับความรุนแรงต่อการชะพา	เกณฑ์ (Criteria)	คะแนน (X_1)	ถ่วงน้ำหนัก (W_1)	คะแนนรวม (X_1W_1)
	ค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดินที่ได้หลังจากแทนค่าในสมการ			
ต่ำมาก	> 0.6	1	0.37	0.37
ต่ำ	0.3-0.6	2	0.37	0.74
ปานกลาง	0.2-0.3	3	0.37	1.11
สูง	0.1-0.2	4	0.37	1.48
สูงมาก	< 0.1	5	0.37	1.85

หมายเหตุ การศึกษานี้ไม่ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35% จึงจัดเป็นพื้นที่กันออกไม่นำมาพิจารณา

2) ปริมาณน้ำท่า

ปริมาณน้ำท่าเป็นเกณฑ์วินิจฉัยหนึ่งที่มีความสำคัญเพราะจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปริมาณน้ำท่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ลงสู่แหล่งน้ำ การศึกษานี้ได้ใช้สัดส่วนของปริมาณน้ำท่าจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง VIC-2L (ณัฐพล ศรีสุธาสินี, 2545) และนำมาคำนวณเพื่อจัดเกณฑ์ความสำคัญ (Criterion scores) และสามารถจัดแบ่งระดับชั้นความรุนแรงออกเป็น 5 ระดับ แล้วนำมาถ่วงน้ำหนัก (Rating weighting) (ตาราง 4-12)

ตาราง 4-12 ศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำพิจารณาจากปริมาณน้ำท่าของพื้นที่

ระดับความรุนแรงต่อการชะพา	เกณฑ์ (Criteria)	คะแนน (X_2)	ถ่วงน้ำหนัก (W_2)	คะแนนรวม (X_2W_2)
	ค่าน้ำไหลบ่าที่ได้หลังจากแทนค่าในสมการ			
ต่ำมาก	< 250	1	0.25	0.25
ต่ำ	250-450	2	0.25	0.50
ปานกลาง	450-650	3	0.25	0.75
สูง	650-800	4	0.25	1.00
สูงมาก	< 800	5	0.25	1.25

3) ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ใช้ในการประเมินศักยภาพการเกิดการชะพาของฟอสฟอรัสในพื้นที่ได้มาจากข้อมูลการวิเคราะห์ ผู้ศึกษาใช้เป็นตัวแทนของปริมาณฟอสฟอรัสในพื้นที่และนำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อจัดเกณฑ์ความสำคัญ (Criterion scores) โดยอาศัยสมการ (4-3) แล้วจึงจัดระดับความสำคัญของเกณฑ์วินิจฉัย ออกเป็น 5 ระดับ (ตาราง 4-13) เพื่อทำการถ่วงน้ำหนัก (Rating weighting)

ตาราง 4-13 ศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำพิจารณาจากปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ระดับความรุนแรงต่อการชะพา	เกณฑ์ (Criteria)	คะแนน (X_3)	ถ่วงน้ำหนัก (W_3)	คะแนนรวม (X_3W_3)
	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก.ขฟอสฟอรัส/กก.)			
1. ต่ำมาก	< 1	1	0.15	0.15
2. ต่ำ	5-15	2	0.15	0.30
3. ปานกลาง	15-25	3	0.15	0.45
4. สูง	25-40	4	0.15	0.60
5. สูงมาก	> 40	5	0.15	0.75

4) การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามลักษณะของพืชปกคลุมดินที่โดยใช้เกณฑ์ของสิ่งปกคลุมดินเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ศักยภาพการชะพาของไนโตรเจน หลังจากนั้นนำข้อมูลมาจัดระดับคะแนนและโอกาสของพื้นที่ที่ก่อให้เกิดการชะพาของฟอสฟอรัสลงสู่ทะเลสาบ (ตาราง 4-14) โดยใช้ค่าเฉลี่ยของปัจจัยของพืชคลุมดินและการจัดการพืชหรือปัจจัยคลุมดิน (Crop management factor : C-factor) มาใช้ในการประเมินเกณฑ์ศักยภาพการชะพาของไนโตรเจน (ภาคผนวกตาราง ช)

ตาราง 4-14 ศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำพิจารณาจากลักษณะสิ่งปกคลุมดิน

ระดับความรุนแรงต่อการชะพา	เกณฑ์ (Criteria)	คะแนน (X_4)	ถ่วงน้ำหนัก (W_4)	คะแนนรวม (X_4W_4)
	ลักษณะพืชปกคลุมดิน			
ต่ำมาก	ป่าไม้	1	0.11	0.11
ต่ำ	พื้นที่ชุมน้ำ	2	0.11	0.22
ปานกลาง	นาข้าว	3	0.11	0.33
สูง	สวนผสม, ปาล์ม, ยางพารา	4	0.11	0.44
สูงมาก	นากุ้ง + พื้นที่รกร้าง	5	0.11	0.55

5) ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ข้อมูลค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นเกณฑ์วินิจฉัย ที่มีความสำคัญรองลงมาจากค่าความทนทานต่อการชะล้างพังทลายของดิน เนื่องจากที่ค่า pH มีความเป็นกรดจะเกิดกระบวนการตรึงฟอสฟอรัส เช่น การตรึงด้วย cation ของ Fe^{3+} และ Al^{3+} แล้วพัดพามากับน้ำไหลบ่าหน้าดินมากกว่าการถูกชะละลายผ่านดินลงสู่แหล่งน้ำ

การพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างในดินเพื่อประเมินระดับคะแนนและศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสของการศึกษานี้ ได้นำข้อมูลค่าความเป็นกรด-ด่างจากการทดลองมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยนำมาจัดเกณฑ์ความสำคัญ (Criterion scores) และจัดระดับความสำคัญของเกณฑ์วินิจฉัย ออกเป็น 5 ระดับ ตามการประเมินระดับ pH ที่มีผลกระทบต่อดินและพืช (อภิรดี อิ่มเอิบ. 2534; 2542) หลังจากนั้นนำมาทำการถ่วงน้ำหนัก (Rating weighting) (ตาราง 4-15)

ตาราง 4-15 ศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำพิจารณาจากค่าความความเป็นกรด-ด่าง

ระดับความรุนแรงต่อการชะพา	เกณฑ์ (Criteria)	คะแนน (X_5)	ถ่วงน้ำหนัก (W_5)	คะแนนรวม (X_5W_5)
ค่าความเป็นกรด-ด่าง				
ต่ำมาก	> 7.0	1	0.08	0.08
ต่ำ	6.0-7.0	2	0.08	0.16
ปานกลาง	5.5-6.0	3	0.08	0.24
สูง	4.5-5.5	4	0.08	03.2
สูงมาก	< 4.5	5	0.08	0.40

6) อินทรียวัตถุในดิน

อินทรียวัตถุในดินมีผลต่อปริมาณของฟอสฟอรัสในดินเนื่องจากอินทรียวัตถุเป็นแหล่งสำรองของธาตุอาหารในดิน การพิจารณาผลของอินทรียวัตถุในดินเพื่อประเมินระดับคะแนนและศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสของการศึกษานี้ ได้นำข้อมูลปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยนำมาจัดตามเกณฑ์ความสำคัญ (Criterion scores) แล้วจึงนำมาจัดระดับความสำคัญของเกณฑ์วินิจฉัย ออกเป็น 5 ระดับ ตามการประเมินระดับอินทรียวัตถุในดินที่มีผลกระทบต่อดินและพืช (อภิรดี อิ่มเอิบ. 2534; 2542) หลังจากนั้นนำมา ทำการถ่วงน้ำหนัก (Rating weighting) (ตาราง 4-16)

ตาราง 4-16 ศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำพิจารณาจากปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

ระดับความรุนแรงต่อการชะพา	เกณฑ์ (Criteria)	คะแนน (X_5)	ถ่วงน้ำหนัก (W_5)	คะแนนรวม (X_5W_5)
	เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ			
ต่ำมาก	< 0.5	1	0.03	0.12
ต่ำ	0.5–1.5	2	0.03	0.24
ปานกลาง	1.5–2.5	3	0.03	0.36
สูง	2.5–4.5	4	0.03	0.48
สูงมาก	> 4.5	5	0.03	0.60

4.2.4 การวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

จากสมการ 4-1 นี้จะพบว่า เกณฑ์วินิจฉัยที่มีค่าความสำคัญสูงจะมีค่าถ่วงน้ำหนักสูง และค่าถ่วงน้ำหนักจะลดลงตามความสำคัญของเกณฑ์วินิจฉัย ที่กำหนดหลังจากผ่านการ Overlay โดยใช้โปรแกรม Arc/Info ฐานข้อมูลแต่ละเกณฑ์วินิจฉัย หลังจากการซ้อนทับกันจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นฐานข้อมูลใหม่ (1 Layer) ซึ่งรวมข้อมูลแต่ละเกณฑ์วินิจฉัย เข้าไว้ด้วยกัน สมการของ Voogd (1983 : 120) (สมการ 4-1) แล้วจึงนำมาจัดการฐานข้อมูลในส่วนของข้อมูลเชิงบรรยายโดยการใช้ใน หลังจากนั้นนำมาจัดลำดับความเหมาะสมแบ่งเป็นระดับชั้นโดยใช้วิธีการแจกแจงความถี่ (สมการ 4-2) แบ่งจัดเป็นกลุ่ม 5 ระดับ ตามระดับคะแนนรวม

$$\text{อันตรภาคชั้น} = \text{(คะแนนสูงสุด - คะแนนต่ำสุด) / จำนวนชั้น}$$

$$= (5.04 - 1.80) / 5 = 0.65$$

นำค่าที่ได้มาจัดแบ่งตามระดับความรุนแรงของพื้นที่ คือ พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง สูง และสูงมาก (ตาราง 4-17)

ตาราง 4-17 จำแนกระดับความรุนแรงของศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ

ชั้น	ระดับความรุนแรง	คะแนนระดับความรุนแรง
1	พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาต่ำมาก	< 2.45
2	พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาต่ำ	2.45-3.10
3	พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาปานกลาง	3.10-3.75
4	พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาสูง	3.75-4.40
5	พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาสูงมาก	4.40 <

หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากผลการศึกษามาแสดงพื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาฟอสฟอรัสในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พร้อมทั้งหาพื้นที่ทั้งหมดในแต่ละระดับความรุนแรง โดยใช้โปรแกรม Arc View version 3.2 ดังรูป 4-4 พบว่า

1) พื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาฟอสฟอรัสต่ำมากมีอยู่ประมาณ 1,178 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 16.7% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (คิดเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นดินและไม่คิดพื้นที่ลาดชัน >35% และพื้นที่เกาะ)

2) พื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาฟอสฟอรัสต่ำมีอยู่ประมาณ 4,276 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 60.6% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (คิดเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นดินและไม่คิดพื้นที่ลาดชัน >35% และพื้นที่เกาะ)

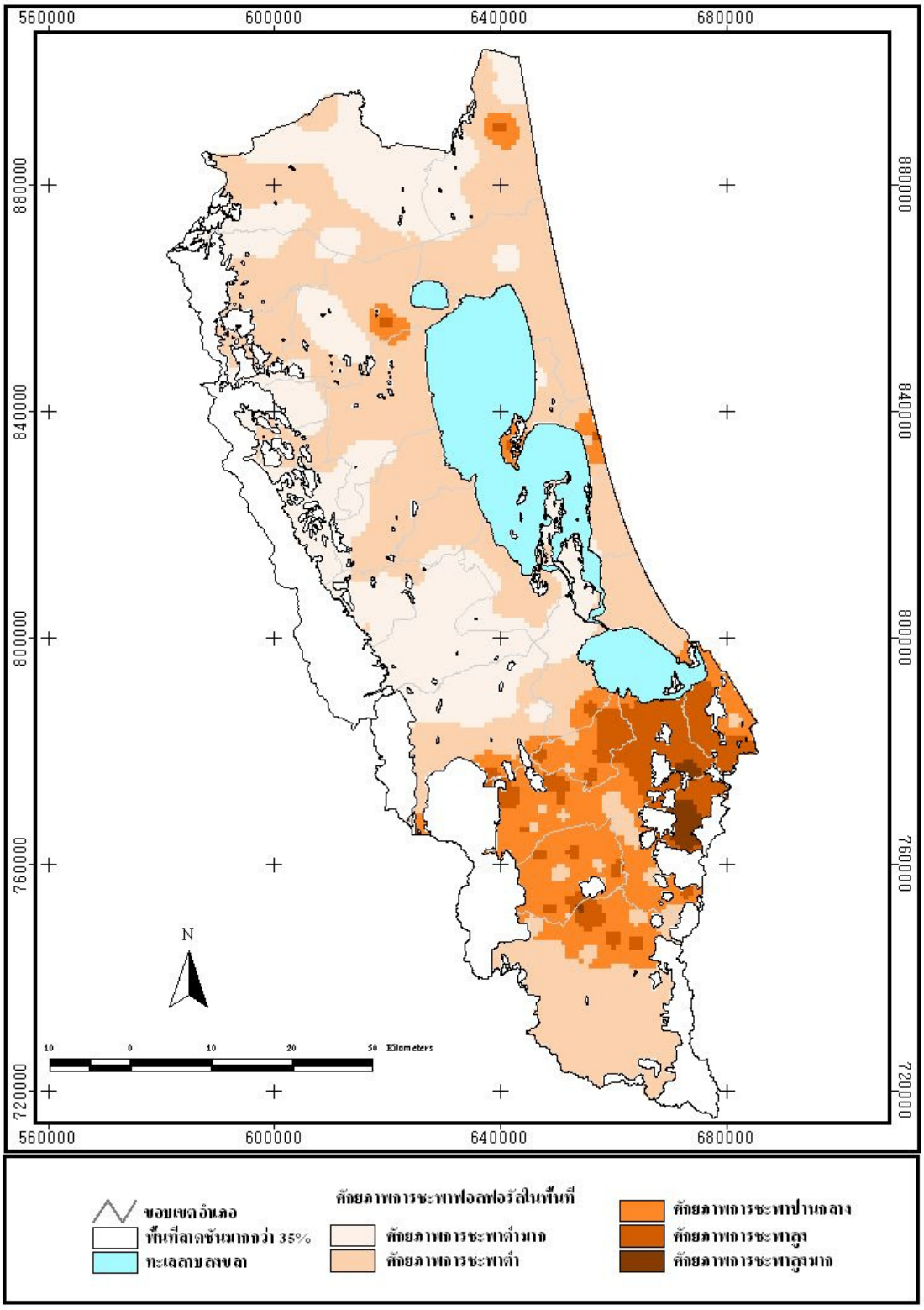
3) พื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาฟอสฟอรัสปานกลางมีอยู่ประมาณ 1,206 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 17.1% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (คิดเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นดินและไม่คิดพื้นที่ลาดชัน >35% และพื้นที่เกาะ) ซึ่งมีพื้นที่มากที่สุดพื้นที่ส่วนใหญ่มีปริมาณอินทรียวัตถุปานกลาง การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นไม้ยืนต้น และนาข้าว

4) พื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาฟอสฟอรัสสูงมีอยู่ประมาณ 321 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 4.6% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (คิดเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นดินและไม่คิดพื้นที่ลาดชัน >35% และพื้นที่เกาะ)

5) พื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาฟอสฟอรัสสูงมากมีอยู่ประมาณ 70 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 1.0% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (คิดเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นดินและไม่คิดพื้นที่

ลาดชัน >35% และพื้นที่เกาะ) พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่มีค่าความทนทานต่อการชะพาพังทลายของดินสูง ดินมีค่ามีความเป็นกรด ปริมาณอินทรียวัตถุค่อนข้างมาก

ในภาพรวมพบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีศักยภาพการชะพาของฟอสฟอรัสอยู่ในระดับต่ำ และพื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาสูงอยู่ทางตอนล่างของพื้นที่ลุ่มน้ำบริเวณลุ่มน้ำอู่ตะเภาติดกับทะเลสาบตอนล่างคล้ายคลึงกับศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่มีปริมาณอินทรียวัตถุไม่สูงมากนัก เป็นลุ่มน้ำย่อยที่มีขนาดใหญ่มีพื้นที่รับน้ำมาก ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยค่อนข้างมาก และเป็นพื้นที่มีความลาดชันมากส่งผลต่อค่าค่าความทนทานต่อการชะพาพังทลายของดิน



รูป 4-5 พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา